Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Ministero della Transizione Ecologica

Ricerca di Sistema elettrico

Sviluppo di una metodologia di calcolo per la stima più realistica dei consumi energetici degli edifici

D. Palladino, V. Del Fatto, C. Lavinia, F. Margiotta, F. Pagliaro

Report RdS/PTR2021/110

SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA DI CALCOLO PER LA STIMA PIÙ REALISTICA DEI CONSUMI ENERGETICI DEGLI EDIFICI

D. Palladino, V. Del Fatto, C. Lavinia, F. Margiotta, F. Pagliaro (ENEA)

Con il contributo di: L. Colasuonno, R. Guida, N. Labia, G. Elmo (ENEA)

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità
Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*
Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*
Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*
Linea di attività: *LA1.17 - Sviluppo di una metodologia di calcolo per la stima più realistica dei consumi energetici degli edifici*
Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi
Responsabile del Work package: Domenico Iatauro

Indice

INDICE DELLE FIGURE 8

INDICE DELLE TABELLE 16

SOMMARIO 28

SUMMARY 29

1 INTRODUZIONE 30

2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI 31

2.1 RISULTATI CONSEGUITI NELLA SECONDA ANNUALITÀ 31
2.2 OBIETTIVI E PROGRAMMAZIONE DELLA TERZA ANNUALITÀ 36
2.3 DEFINIZIONE DEI FATTORI CORRETTIVI 38
2.3.1 Produzione dell'acqua calda sanitaria 38
2.3.2 Riscaldamento 40
2.3.3 Raffrescamento 41
2.4 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA DI CORRELAZIONE SVILUPPATA SU REALI CASI STUDIO 42
2.4.1 Definizione del profilo di utilizzo: definizione del questionario 45
2.4.2 Presentazione dei casi studio 49
2.4.3 Caso Studio n. 1 – E.1-1 51
2.4.3.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 52
2.4.3.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 57
2.4.3.3 Attestato di Prestazione Energetica 58
2.4.3.4 Diagnosi Energetica 59
2.4.3.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina 59
2.4.3.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 60
2.4.3.4.3 Definizione dell'inventario energetico 63
2.4.3.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 65
2.4.3.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 65
2.4.3.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 68
2.4.3.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 71
2.4.3.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 71
2.4.4 Caso Studio n. 2 – E.1-2 73
2.4.4.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 74
2.4.4.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 79
2.4.4.3 Attestato di Prestazione Energetica 80
2.4.4.4 Diagnosi Energetica 81
2.4.4.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina 81
2.4.4.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 82
2.4.4.4.3 Definizione dell'inventario energetico 85
2.4.4.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 87
2.4.4.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 87
2.4.4.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 90
2.4.4.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 93
2.4.4.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 93
2.4.5 Caso Studio n. 3 – E.1-3 95
2.4.5.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 96
2.4.5.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 101
2.4.5.3 Attestato di Prestazione Energetica 102
2.4.5.4 Diagnosi Energetica 104
2.4.5.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina 104
2.4.5.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 105
2.4.5.4.3 Definizione dell'inventario energetico 108
2.4.5.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 110
2.4.5.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 110
2.4.5.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 113
2.4.5.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 117

2.4.5.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 119
2.4.6 Caso Studio n. 4 – E.1-4 122
2.4.6.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 123
2.4.6.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 127
2.4.6.3 Attestato di Prestazione Energetica 129
2.4.6.4 Diagnosi Energetica 130
2.4.6.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina 130
2.4.6.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 131
2.4.6.4.3 Definizione dell'inventario energetico 134
2.4.6.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 136
2.4.6.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 136
2.4.6.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 139
2.4.6.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 142
2.4.6.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 142
2.4.7 Caso Studio n. 5 – E.1-5 144
2.4.7.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 145
2.4.7.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 150
2.4.7.3 Attestato di Prestazione Energetica 152
2.4.7.4 Diagnosi Energetica 153
2.4.7.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina 153
2.4.7.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 154
2.4.7.4.3 Definizione dell'inventario energetico 157
2.4.7.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 159
2.4.7.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 159
2.4.7.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 162
2.4.7.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 165
2.4.7.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 165
2.4.9 Caso studio n. 6 – E.1-6 168
2.4.9.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 169
2.4.9.2 Consumi energetici reali da bolletta 174
2.4.9.3 Attestato di Prestazione Energetica 176
2.4.9.4 Diagnosi Energetica 177
2.4.9.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina 177
2.4.9.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 178
2.4.9.4.3 Definizione dell'inventario energetico 180
2.4.9.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 182
2.4.9.5.1 Confronto degli indicatori energetici per il servizio di produzione acqua calda sanitaria 182
2.4.9.5.2 Confronto degli indicatori energetici per servizio energetico di riscaldamento 185
2.4.9.5.3 Confronto degli indicatori energetici per servizio energetico di raffrescamento 187
2.4.9.5.4 Confronto dei vettori energetici 188
2.4.10 Caso studio n. 7 – E.1-7 190
2.4.10.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 191
2.4.10.2 Consumi energetici reali da bolletta 196
2.4.10.3 Attestato di Prestazione Energetica 197
2.4.10.4 Diagnosi Energetica 198
2.4.10.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina 198
2.4.10.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 199
2.4.10.4.3 Definizione dell'inventario energetico 200
2.4.10.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 202
2.4.10.5.1 Confronto degli indicatori energetici per il servizio di produzione acqua calda sanitaria 202
2.4.10.5.2 Confronto degli indicatori energetici per servizio energetico di riscaldamento 205
2.4.10.5.3 Confronto degli indicatori energetici per servizio energetico di raffrescamento 208
2.4.10.5.4 Confronto dei vettori energetici 208
2.4.11 Caso Studio n. 8 – E.1-8 211
2.4.11.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 212
2.4.11.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 216
2.4.11.3 Attestato di Prestazione Energetica 218
2.4.11.4 Diagnosi Energetica 219
2.4.11.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina 219
2.4.11.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 220
2.4.11.4.3 Definizione dell'inventario energetico 223
2.4.11.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 224

2.4.11.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 224
2.4.11.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 226
2.4.11.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 228
2.4.11.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 228
2.4.12 Caso Studio n. 9 – E.1-9 231
2.4.12.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 232
2.4.12.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 237
2.4.12.3 Attestato di Prestazione Energetica 238
2.4.12.4 Diagnosi Energetica 239
2.4.12.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina 239
2.4.12.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari – solare termico 240
2.4.12.4.3 Stima dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico 244
2.4.12.4.4 Definizione dell'inventario energetico 244
2.4.12.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 246
2.4.12.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 246
2.4.12.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 249
2.4.12.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 252
2.4.12.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 252
2.4.13 Caso Studio n. 10 – E.1-10 254
2.4.13.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 255
2.4.13.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 259
2.4.13.3 Attestato di Prestazione Energetica 261
2.4.13.4 Diagnosi Energetica 262
2.4.13.4.1 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 262
2.4.13.4.2 Stima dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico 264
2.4.13.4.3 Definizione dell'inventario energetico 265
2.4.13.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 266
2.4.13.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 266
2.4.13.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 268
2.4.13.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 271
2.4.13.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 271
2.4.14 Caso Studio n. 11 – E.1-11 273
2.4.14.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 274
2.4.14.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 278
2.4.14.3 Attestato di Prestazione Energetica 280
2.4.14.4 Diagnosi Energetica 281
2.4.14.4.1 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 281
2.4.14.4.2 Stima dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico 283
2.4.14.4.3 Definizione dell'inventario energetico 284
2.4.14.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 285
2.4.14.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 285
2.4.14.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 287
2.4.14.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 290
2.4.14.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 290
2.4.15 Caso Studio n. 13 – E.2-1 292
2.4.15.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 293
2.4.15.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 298
2.4.15.3 Attestato di Prestazione Energetica 300
2.4.15.4 Diagnosi Energetica 301
2.4.15.4.1 Stima dei consumi di illuminazione e delle apparecchiature d'ufficio; 301
2.4.15.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 301
2.4.15.4.3 LDefinizione dell'inventario energetico 303
2.4.15.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 306
2.4.15.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 306
2.4.15.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 309
2.4.15.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 312
2.4.15.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 314
2.4.16 Caso Studio n. 14 – E.2-2 316
2.4.16.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 317
2.4.16.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 322
2.4.16.3 Attestato di Prestazione Energetica 324
2.4.16.4 Diagnosi Energetica 325

2.4.16.4.1 Stima dei consumi di illuminazione e delle apparecchiature d'ufficio; 325
2.4.16.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 325
2.4.16.4.3 Definizione dell'inventario energetico 327
2.4.16.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 330
2.4.16.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 330
2.4.16.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 333
2.4.16.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 336
2.4.16.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 338
2.4.17 Caso Studio n. 15 – E.2-3 341
2.4.17.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 342
2.4.17.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 348
2.4.17.3 Attestato di Prestazione Energetica 349
2.4.17.4 Diagnosi Energetica 350
2.4.17.4.1 Stima dei consumi di illuminazione e delle apparecchiature d'ufficio; 350
2.4.17.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari 350
2.4.17.4.3 Definizione dell'inventario energetico 353
2.4.17.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 356
2.4.17.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 356
2.4.17.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 359
2.4.17.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 362
2.4.17.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 364
2.4.18 Caso Studio n. 16 – E.2-4 367
2.4.18.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 368
2.4.18.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 369
2.4.18.3 Attestato di Prestazione Energetica 370
2.4.18.4 Diagnosi Energetica 371
2.4.18.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 372
2.4.18.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 372
2.4.18.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 373
2.4.18.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 374
2.4.18.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 375
2.4.19 Caso Studio n. 17 – E.2-5 378
2.4.19.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 379
2.4.19.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 380
2.4.19.3 Attestato di Prestazione Energetica 381
2.4.19.4 Diagnosi Energetica 382
2.4.19.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 383
2.4.19.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 383
2.4.19.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 383
2.4.19.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 384
2.4.19.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 385
2.4.20 Caso Studio n. 18 – E.2-6 388
2.4.20.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 389
2.4.20.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 390
2.4.20.3 Attestato di Prestazione Energetica 391
2.4.20.4 Diagnosi Energetica 392
2.4.20.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 393
2.4.20.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 393
2.4.20.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 394
2.4.20.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 395
2.4.20.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 396
2.4.21 Caso Studio n. 19 – E.2-7 398
2.4.21.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto 399
2.4.21.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette 400
2.4.21.3 Attestato di Prestazione Energetica 401
2.4.21.4 Diagnosi Energetica 402
2.4.21.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE} 403
2.4.21.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria 403
2.4.21.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento 403
2.4.21.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento 404
2.4.21.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici 405

2.5 CALCOLO DEGLI INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA PER I CASI STUDIO INDAGATI E CONFRONTO CON I BENCHMARK DI LETTERATURA 408
2.5.1 Calcolo degli indicatori per gli edifici residenziali e confronto con i benchmark 408
2.5.1.1 Servizio di produzione di acqua calda sanitaria 409
2.5.1.2 Servizio di riscaldamento 410
2.5.1.3 Servizio di raffrescamento 411
2.5.1.4 Focus sui casi studio con impiego di fonti energetiche rinnovabili 411
2.5.2 Calcolo degli indicatori per gli edifici ad uso uffici e confronto con i benchmark 413
2.5.2.1 Servizio di raffrescamento 415
2.5.2.2 Servizio di raffrescamento e riscaldamento da vettore di energia elettrica 416
2.6 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA DI CORRELAZIONE SVILUPPATA SUGLI APE CONTENUTI NEL SIAPE 418
2.6.1 Caratteristiche del campione analizzato 418
2.6.2 Produzione di acqua calda sanitaria 419
2.6.2.1 Caratteristiche del campione analizzato 419
2.6.2.2 Risultati 421
2.6.3 Riscaldamento 424
2.6.3.1 Caratteristiche del campione analizzato 424
2.6.3.2 Risultati 427
2.6.4 Raffrescamento 428
2.6.4.1 Caratteristiche del campione analizzato 428
2.6.4.2 Risultati 430
2.7 IMPLEMENTAZIONE DEL TOOL MC_{APE-DE} 433
2.8 RISULTATI 439
3 CONCLUSIONI 456
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 458
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI 460
APPENDICE A 461
CASO STUDIO N. 1 461
CASO STUDIO N. 2 465
CASO STUDIO N. 3 469
CASO STUDIO N. 4 473
CASO STUDIO N. 5 477
CASO STUDIO N. 6 481
CASO STUDIO N. 7 485
CASO STUDIO N. 8 489
CASO STUDIO N. 9 492
CASO STUDIO N. 10 495
CASO STUDIO N. 11 498
CASO STUDIO N. 13 501
CASO STUDIO N. 14 504
CASO STUDIO N. 15 507

Indice delle Figure

Figura 1. Programmazione delle fasi di lavoro nella seconda annualità di ricerca. 32
Figura 2. Programmazione delle fasi di lavoro nella terza annualità di ricerca. 36
Figura 3. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 53
Figura 4. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 58
Figura 5. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 61
Figura 6. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$. 61
Figura 7. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria. 62
Figura 8. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2019. 66
Figura 9. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2020. 66
Figura 10. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 67
Figura 11. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2019. 69
Figura 12. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2020. 69
Figura 13. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 71
Figura 14. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 72
Figura 15. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 75
Figura 16. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 80
Figura 17. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 83
Figura 18. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$. 83
Figura 19. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria. 84
Figura 20. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2019. 88
Figura 21. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2020. 88
Figura 22. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 89
Figura 23. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2019. 91
Figura 24. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2020. 91
Figura 25. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 93
Figura 26. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 94
Figura 27. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 97
Figura 28. Indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 102
Figura 29. Indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato nel caso di assenza della pompa di calore. 103
Figura 30. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 106
Figura 31. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$. 106

Figura 32. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria. 107
Figura 33. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 111
Figura 34. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 111
Figura 35. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 112
Figura 36. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 114
Figura 37. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 114
Figura 38. Servizio di riscaldamento nel caso in cui non si consideri l'impianto a pompa di calore: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 115
Figura 39. Servizio di riscaldamento nel caso in cui non si consideri l'impianto a pompa di calore: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 115
Figura 40. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 118
Figura 41. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 119
Figura 42. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 120
Figura 43. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 121
Figura 44. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 124
Figura 45. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 129
Figura 46. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 132
Figura 47. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di V_{W-acs}. 132
Figura 48. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria. 133
Figura 49. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 137
Figura 50. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 137
Figura 51. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 138
Figura 52. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 140
Figura 53. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 140
Figura 54. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 142
Figura 55. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 143
Figura 56. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 146
Figura 57. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 152
Figura 58. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 155
Figura 59. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di V_{W-acs}. 155
Figura 60. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria. 156
Figura 61. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 160

Figura 62. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 160
Figura 63. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 161
Figura 64. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 163
Figura 65. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 163
Figura 66. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 166
Figura 67. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 166
Figura 68. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 170
Figura 69. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 176
Figura 70. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, depurato di quello destinato all'uso cucina, e il consumo calcolato a partire dal valore del fabbisogno di acqua calda sanitaria stimato. 179
Figura 71. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria. 180
Figura 72. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 183
Figura 73. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020 183
Figura 74. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 184
Figura 75. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 186
Figura 76. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 186
Figura 77. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 188
Figura 78. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 189
Figura 79. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 192
Figura 80. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 197
Figura 81. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua calda per usi sanitari e quello per altri scopi. 200
Figura 82. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 203
Figura 83. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 204
Figura 84. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 204
Figura 85. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 206
Figura 86. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 207
Figura 87. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 209
Figura 88. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 209
Figura 89. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 213
Figura 90. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 218
Figura 91. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 221
Figura 92. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di V_{W-acs}. 221

Figura 93. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria. 222
Figura 94. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 225
Figura 95. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 225
Figura 96. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 227
Figura 97. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 229
Figura 98. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 230
Figura 99. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 233
Figura 100. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 238
Figura 101. Producibilità e volume di acqua calda sanitaria potenzialmente coperto dall'impianto solare termico. 241
Figura 102. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 242
Figura 103. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di V_{W-acs}. 242
Figura 104. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria. 243
Figura 105. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 247
Figura 106. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 247
Figura 107. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto la producibilità del solare termico con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 248
Figura 108. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto del volume di acqua calda sanitaria prodotto dal solare termico con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 249
Figura 109. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 250
Figura 110. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 252
Figura 111. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 256
Figura 112. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 261
Figura 113. Definizione del coefficiente correttivo per la stima del volume di acqua calda per usi sanitari nei mesi più caldi. 263
Figura 114. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 263
Figura 115. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 267
Figura 116. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 267
Figura 117. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 269
Figura 118. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 271
Figura 119. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 275
Figura 120. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 280
Figura 121. Definizione del coefficiente correttivo per la stima del volume di acqua calda per usi sanitari nei mesi più caldi. 282
Figura 122. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 282
Figura 123. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 286

Figura 124. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 286
Figura 125. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 288
Figura 126. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 290
Figura 127. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 294
Figura 128. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 300
Figura 129. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 302
Figura 130. Confronto tra il consumo di energia elettrica di bolletta e quello stimato per i servizi di illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione di acqua calda per usi sanitari. 304
Figura 131. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 307
Figura 132. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 307
Figura 133. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 308
Figura 134. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 310
Figura 135. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 310
Figura 136. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 313
Figura 137. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 313
Figura 138. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 315
Figura 139. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 318
Figura 140. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 324
Figura 141. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 326
Figura 142. Confronto tra il consumo di energia elettrica di bolletta e quello stimato per i servizi di illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione di acqua calda per usi sanitari. 328
Figura 143. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 331
Figura 144. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 331
Figura 145. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}). 332
Figura 146. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 334
Figura 147. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 334
Figura 148. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019. 337
Figura 149. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020. 337
Figura 150. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 339
Figura 151. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 339
Figura 152. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti. 343
Figura 153. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 349
Figura 154. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi. 352

Figura 155. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$. 352
Figura 156. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria. 353
Figura 157. Confronto tra il consumo di energia elettrica di bolletta e quello stimato per i servizi di illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione di acqua calda per usi sanitari. 354
Figura 158. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2019. 357
Figura 159. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2020. 357
Figura 160. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 358
Figura 161. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2019. 360
Figura 162. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2020. 360
Figura 163. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2019. 363
Figura 164. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2020. 363
Figura 165. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 365
Figura 166. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 365
Figura 167. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 370
Figura 168. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 373
Figura 169. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 374
Figura 170. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 375
Figura 171. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 376
Figura 172. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 376
Figura 173. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 381
Figura 174. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 384
Figura 175. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 385
Figura 176. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 386
Figura 177. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 386
Figura 178. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 391
Figura 179. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 394
Figura 180. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 395
Figura 181. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 396
Figura 182. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 397
Figura 183. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato. 401
Figura 184. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 404

Figura 185. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 405
Figura 186. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 406
Figura 187. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 406
Figura 188. Approcci: DE, $MC_{APE-DE,}$ APE - Destinazione d'uso residenziale Indicatore di consumo energetico per la produzione di ACS (anno 2019) 410
Figura 189.Approcci: DE, $MC_{APE-DE,}$ APE - Destinazione d'uso residenziale Indicatore di consumo energetico per il riscaldamento (anno 2019) 411
Figura 190. Destinazione d'uso residenziale Fabbisogno energetico complessivo e produzione da FER 412
Figura 191. Destinazione d'uso residenziale: Indice di autosufficienza energetica da FER [25]. 412
Figura 192. Destinazione d'uso residenziale Ripartizione del contributo da FER fra FV e ST. 413
Figura 193. Approcci: DE, $MC_{APE-DE,}$ APE - Destinazione d'uso uffici Indicatore di consumo energetico medio per il raffrescamento. 416
Figura 194. Approcci: DE, $MC_{APE-DE,}$ APE - Destinazione d'uso uffici Indicatore di consumo energetico medio per (riscaldamento + raffrescamento). 417
Figura 195. Distribuzione del campione per classe energetica. 420
Figura 196. Distribuzione del campione per i Gradi Giorno selezionati (in blu scuro le casistiche con maggiori occorrenze). 420
Figura 197. Distribuzione del campione per range di superficie utile riscaldata SU per i settori residenziale e non residenziale. 421
Figura 198. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($I_{Wnren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo occupazionale minimo ($I_{Wnren-MCAPE-DEmin}$), medio ($I_{Wnren-MCAPE-DEmed}$) e massimo ($I_{Wnren-MCAPE-DEmax}$), variando la superficie utile riscaldata S_U: boiler elettrico. 422
Figura 199. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($I_{Wnren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo occupazionale minimo ($I_{Wnren-MCAPE-DEmin}$), medio ($I_{Wnren-MCAPE-DEmed}$) e massimo ($I_{Wnren-MCAPE-DEmax}$), variando la superficie utile riscaldata S_U:: caldaia standard. 423
Figura 200. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($EP_{Wnren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo occupazionale minimo ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmin}$), medio ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmed}$) e massimo ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmax}$), variando la superficie utile riscaldata S_U: caldaia a condensazione. 424
Figura 201. Distribuzione del campione per classe energetica. 425
Figura 202. Distribuzione del campione per i Gradi Giorno selezionati (in verde scuro le casistiche con maggiori occorrenze). 425
Figura 203. Distribuzione del campione per range di potenza nominale P_n per i settori residenziale e non residenziale. 426
Figura 204. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($EPH_{nren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo di utilizzo dell'impianto minimo ($EPH_{nren\ -MC_{APE-DE}min}$), medio ($EPH_{nren--MC_{APE-DE}med}$), massimo ($EPH_{nren--MC_{APE-DE}max}$) e di una sola ora ($EPH_{nren--MC_{APE-De}1h}$), variando il livello di isolamento Liv-Iso, in località con 1415 Gradi Giorno: caldaia standard con una potenza nominale tra i 20 kW e i 35 kW. 427
Figura 205. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($EPH_{nren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo di utilizzo dell'impianto minimo ($EPH_{nren\ -MC_{APE-DE}min}$), medio ($EPH_{nren--MC_{APE-DE}med}$), massimo ($EPH_{nren--MC_{APE-DE}max}$) e di una sola ora ($EPH_{nren--MC_{APE-De}1h}$), variando il livello di isolamento Liv-Iso, in località con 1415 Gradi Giorno: caldaia a condensazione con una potenza nominale tra i 20 kW e i 35 kW. 428
Figura 206. Distribuzione del campione per classe energetica. 429
Figura 207. Distribuzione del campione per i Gradi Giorno selezionati (in verde scuro le casistiche con maggiori occorrenze). 429
Figura 208. Distribuzione del campione per range di potenza nominale P_n per i settori residenziale e non residenziale. 430
Figura 209. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($EPC_{nren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo di utilizzo dell'impianto minimo ($EPC_{nren\ -MC_{APE-DE}min}$), medio ($EPC_{nren--MC_{APE-DE}med}$), massimo ($EPC_{nren--MC_{APE-DE}max}$) e di una sola ora ($EPC_{nren--MC_{APE-De}1h}$), variando il livello di isolamento Liv-Iso, in località con 2404 Gradi Giorno: pompa di calore con potenza inferiore o uguale a 5 kW. 432
Figura 210. Interfaccia grafica del tool MC_{APE-DE} eseguibile su pc. 434

Figura 211. Tabella di input per il servizio di acqua calda sanitaria: definizione della percentuale di utilizzo delle apparecchiature sanitarie per la definizione del volume di acqua calda per usi sanitari. 434
Figura 212. Tabella di input per il servizio di riscaldamento: definizione dei terminali di emissione, delle caratteristiche del generatore di calore, della temperatura di set-point e delle ore di accensione medie giornaliere dell'impianto. .. 435
Figura 213. Tabella di input per il servizio di raffrescamento: definizione delle caratteristiche della macchina frigorifera, della temperatura di set-point e delle ore di accensione medie giornaliere dell'impianto. 436
Figura 214. Tabella di input per i consumi energetici reali: definizione dei consumi annuali di bolletta per il principale vettore energetico, l'energia elettrica e l'acqua. 437
Figura 215. Applicazione del tool MC_{APE-DE} al primo caso studio: anno di analisi 2019. 437
Figura 216. Applicazione del tool MC_{APE-DE} al primo caso studio: anno di analisi 2020. 438
Figura 217. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto del volume V_{W-acs} stimato con la diagnosi energetica (DE), il calcolo APE, l'approccio standard (V_{W-APE}), quello convenzionale (V_{W-conv}) e il metodo semplificato ($V_{W-bol-50\%}$). 441
Figura 218. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto del volume V_{W-acs} stimato con le diverse metodologie di calcolo in funzione della superficie utile dei casi studio. 442
Figura 219. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto tra l'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{nren}) restituito dalla DE con quello determinato con le altre metodologie di calcolo (APE e MC_{APE-DE}). 443
Figura 220. Servizio di riscaldamento: confronto tra l'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{nren}) restituito dalla DE con quello determinato con le altre metodologie di calcolo (APE e MC_{APE-DE}). 443
Figura 221. Servizio di riscaldamento: confronto dei consumi di metano per unità di volume riscaldato restituiti dalle diverse metodologie di calcolo (DE, APE e MC_{APE-DE}) rispetto i Gradi Giorno della località. 444
Figura 222. Servizio di riscaldamento: confronto dei consumi di metano restituiti dal calcolo APE e dalla metodologia MC_{APE-DE} per specifici orari di accensione dell'impianto. 445
Figura 223. Servizio di raffrescamento: confronto tra l'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{nren}) restituito dalla DE con quello determinato con le altre metodologie di calcolo (APE e MC_{APE-DE}). 445
Figura 224. Servizio di raffrescamento: confronto dei consumi di energia elettrica per unità di volume raffrescato restituiti dalle diverse metodologie di calcolo (DE, APE e MC_{APE-DE}) rispetto i Gradi Giorno Estivi della località. 446
Figura 225. Servizio di raffrescamento: confronto dei consumi di energia elettrica restituiti dal calcolo APE e dalla metodologia MC_{APE-DE} per specifici orari di accensione dell'impianto per casi studio di piccole dimensioni (superficie utile inferiore a 200 m^2). 447
Figura 226. Servizio di raffrescamento: confronto dei consumi di energia elettrica restituiti dal calcolo APE e dalla metodologia MC_{APE-DE} per specifici orari di accensione dell'impianto per casi studio di grandi dimensioni (superficie utile superiori a 200 m^2). 447
Figura 227. Analisi del SIAPE: confronto dell'indicatore di energia primaria non rinnovabile restituito dal calcolo APE e MC_{APE-DE} nel caso di unità immobiliari di categoria E.1 ubicate nel comune di Roma, boiler elettrico e superficie utile variabile da <50m^2 a 200 m^2. 450
Figura 228. Analisi del SIAPE: confronto dell'indicatore di energia primaria non rinnovabile restituito dal calcolo APE e MC_{APE-DE} nel caso di unità immobiliari di categoria E.1 ubicate nel comune di Roma, generatore di calore standard e superficie utile variabile da <50m^2 a 200 m^2. 451
Figura 229. Analisi del SIAPE: confronto dell'indicatore di energia primaria non rinnovabile restituito dal calcolo APE e MC_{APE-DE} nel caso di unità immobiliari di categoria E.1 ubicate nel comune di Roma, generatore di calore a condensazione e superficie utile variabile da <50m^2 a 200 m^2. 452
Figura 230. Analisi del SIAPE: confronto dell'indicatore di energia primaria non rinnovabile restituito dal calcolo APE e MC_{APE-DE} nel caso di unità immobiliari di categoria E.1 ubicate nel comune di Roma, generatore di calore a condensazione al variare del livello di isolamento (epoca di costruzione). 453
Figura 231. Analisi del SIAPE: confronto dell'indicatore di energia primaria non rinnovabile restituito dal calcolo APE e MC_{APE-DE} nel caso di unità immobiliari di categoria E.1 ubicate nel comune di Roma, generatore di calore standard al variare del livello di isolamento (epoca di costruzione). 454
Figura 232. Interfaccia del programma di calcolo che implementa la metodologia MC_{APE-DE}. 455

Indice delle Tabelle

Tabella 1. Profili di utilizzo definiti per la produzione di acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento. 32
Tabella 2. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: valori del coefficiente angolare [m] e dell'intercetta [q] al variare della tipologia impiantistica. 33
Tabella 3. Servizio energetico riscaldamento: valori dei coefficienti a e b al variare della tipologia impiantistica e del livello di isolamento dell'edificio. 34
Tabella 4. Servizio energetico raffrescamento: valori dei coefficienti a e b al variare del livello di isolamento dell'edificio. 35
Tabella 5. Consumo medio di acqua per usi sanitari per apparecchio [11, 12]. 39
Tabella 6. Combinazione dei parametri di input adottate per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 44
Tabella 7. Tempo medio speso a cucinare in una giornata tipo per tipologia di pasto. 46
Tabella 8. Percentuale di pasti cucinati e consumati a casa in una "settimana tipo". 46
Tabella 9. Numero di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile. 46
Tabella 10. Numero di apparecchiature sanitarie presenti e percentuale del loro utilizzo in una "*giornata tipo*". 46
Tabella 11. Numero di giorni e di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento. 46
Tabella 12. Consumi di bolletta registrati per il singolo caso studio e per il singolo anno analizzato. 47
Tabella 13. Principali caratteristiche dei casi studio esaminati. 49
Tabella 14. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 51
Tabella 15. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 52
Tabella 16. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 52
Tabella 17. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 54
Tabella 18. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). 54
Tabella 19. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F). 54
Tabella 20. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala. 54
Tabella 21. Stratigrafia della parete M3: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare. 55
Tabella 22. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso un'altra unità abitativa. 55
Tabella 23. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s1 confinante verso un'altra unità abitativa. 55
Tabella 24. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'esterno. 55
Tabella 25. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 56
Tabella 26. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 56
Tabella 27. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 56
Tabella 28. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 57
Tabella 29. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020). 57
Tabella 30. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 58
Tabella 31. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019. 59
Tabella 32. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020. 60
Tabella 33. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. 60
Tabella 34. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 63
Tabella 35. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 64
Tabella 36. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico. 64
Tabella 37. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 65
Tabella 38. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 67
Tabella 39. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 68
Tabella 40. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 70
Tabella 41. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 70

Tabella 42. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. ... 72
Tabella 43. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. ... 73
Tabella 44. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). ... 74
Tabella 45. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. ... 74
Tabella 46. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. ... 76
Tabella 47. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). ... 76
Tabella 48. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F). ... 76
Tabella 49. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala. ... 76
Tabella 50. Stratigrafia della parete M3: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare. ... 77
Tabella 51. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s1 confinante verso un'altra unità abitativa. ... 77
Tabella 52. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso il sottotetto non isolato (tetto a muricci). ... 77
Tabella 53. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. ... 77
Tabella 54. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. ... 78
Tabella 55. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. ... 78
Tabella 56. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. ... 78
Tabella 57. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020). ... 79
Tabella 58. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. ... 80
Tabella 59. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019. ... 81
Tabella 60. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020. ... 82
Tabella 61. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. ... 82
Tabella 62. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. ... 85
Tabella 63. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. ... 86
Tabella 64. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico. ... 86
Tabella 65. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. ... 87
Tabella 66. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). ... 89
Tabella 67. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. ... 90
Tabella 68. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). ... 92
Tabella 69. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. ... 92
Tabella 70. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. ... 94
Tabella 71. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. ... 95
Tabella 72. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). ... 96
Tabella 73. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. ... 96
Tabella 74. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. ... 98
Tabella 75. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso l'esterno. ... 98
Tabella 76. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). ... 98
Tabella 77. Stratigrafia della parete M3: parete opaca confinante verso il vano scala. ... 98
Tabella 78. Stratigrafia della parete M3: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare. ... 99
Tabella 79. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso un'altra unità abitativa. ... 99
Tabella 80. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s1 confinante verso un sottotetto non isolato. ... 99
Tabella 81. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. ... 99
Tabella 82. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. ... 100

Tabella 83. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 100
Tabella 84. Caratteristiche tecniche della pompa di calore invertibile. 100
Tabella 85. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 101
Tabella 86. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020). 101
Tabella 87. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 103
Tabella 88. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico nel caso di assenza della pompa di calore. 103
Tabella 89. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019. 104
Tabella 90. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020. 105
Tabella 91. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. 105
Tabella 92. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 108
Tabella 93. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 109
Tabella 94. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico. 109
Tabella 95. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 110
Tabella 96. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 112
Tabella 97. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 113
Tabella 98. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 116
Tabella 99. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 117
Tabella 100. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 118
Tabella 101. Servizio di raffrescamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 119
Tabella 102. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 121
Tabella 103. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 122
Tabella 104. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 123
Tabella 105. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 123
Tabella 106. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 124
Tabella 107. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). 125
Tabella 108. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F). 125
Tabella 109. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala. 125
Tabella 110. Stratigrafia della parete M3: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare. 125
Tabella 111. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso un'altra unità abitativa. 126
Tabella 112. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso un'altra unità abitativa. 126
Tabella 113. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 126
Tabella 114. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 126
Tabella 115. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 127
Tabella 116. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 127
Tabella 117. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020). 128
Tabella 118. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 129
Tabella 119. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019. 130
Tabella 120. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020. 131
Tabella 121. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. 131
Tabella 122. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 134

Tabella 123. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 135
Tabella 124. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico. 135
Tabella 125. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 136
Tabella 126. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 138
Tabella 127. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 139
Tabella 128. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 141
Tabella 129. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 141
Tabella 130. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 143
Tabella 131. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 144
Tabella 132. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 145
Tabella 133. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 145
Tabella 134. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 147
Tabella 135. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso l'esterno. 147
Tabella 136. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F): tipologia 1. 147
Tabella 137. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F): tipologia 2. 147
Tabella 138. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F): tipologia 1. 148
Tabella 139. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F): tipologia 2. 148
Tabella 140. Stratigrafia della parete M3: parete opaca confinante verso altre unità immobiliari. 148
Tabella 141. Stratigrafia della parete M4: parete opaca confinante verso il vano scala. 148
Tabella 142. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso un'altra unità abitativa. 148
Tabella 143. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s1 confinante verso l'esterno. 149
Tabella 144. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 149
Tabella 145. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 149
Tabella 146. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 150
Tabella 147. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 150
Tabella 148. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020). 151
Tabella 149. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 152
Tabella 150. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019. 153
Tabella 151. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020. 154
Tabella 152. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. 154
Tabella 153. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 157
Tabella 154. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 158
Tabella 155. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico. 158
Tabella 156. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 159
Tabella 157. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 161
Tabella 158. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 162
Tabella 159. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 164
Tabella 160. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 165
Tabella 161. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 167

Tabella 162. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 168
Tabella 163. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 169
Tabella 164. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 169
Tabella 165. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 171
Tabella 166. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso l'esterno. 171
Tabella 167. Stratigrafia della parete M3: parete opaca confinante verso l'esterno. 171
Tabella 168. Stratigrafia della parete M4: parete opaca confinante verso il vano scala. 171
Tabella 169. Stratigrafia della parete M5: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare. 172
Tabella 170. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante un'altra unità abitativa. 172
Tabella 171. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i2 confinante un'altra unità abitativa. 172
Tabella 172. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s1 confinante verso l'esterno. 172
Tabella 173. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'esterno. 173
Tabella 174. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 173
Tabella 175. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 173
Tabella 176. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 174
Tabella 177. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 174
Tabella 178. Consumi reali dell'immobile: consumi di acqua, energia elettrica e metano dichiarati messi in relazione con i giorni di presenza dell'occupante nei due anni di analisi (2019 e 2020). 175
Tabella 179. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 176
Tabella 180. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019. 177
Tabella 181. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020. 178
Tabella 182. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. 178
Tabella 183. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 180
Tabella 184. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 181
Tabella 185. Fabbisogni di energia primaria (Q) e indici di energia primaria (EP) ripartiti per servizio energetico derivanti dalle DE per gli anni 2019 e 2020. 181
Tabella 186. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$. 182
Tabella 187. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 184
Tabella 188. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$. 185
Tabella 189. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$). 187
Tabella 190. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 187
Tabella 191. Errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia di calcolo $MC_{APE\text{-}DE}$ e la DE. 189
Tabella 192. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 190
Tabella 193. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 191
Tabella 194. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 191
Tabella 195. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 193
Tabella 196. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). 193
Tabella 197. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F). 193
Tabella 198. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala. 193
Tabella 199. Stratigrafia della parete M3: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare. 194
Tabella 200. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante un'altra unità abitativa. 194
Tabella 201. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'esterno. 194
Tabella 202. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 194
Tabella 203. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 195
Tabella 204. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 195
Tabella 205. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 195

Tabella 206. Consumi reali dell'immobile: consumi di acqua, energia elettrica e metano dichiarati messi in relazione con i giorni di presenza dell'occupante nei due anni di analisi (2019 e 2020). 196
Tabella 207. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 197
Tabella 208. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019. 198
Tabella 209. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020. 199
Tabella 210. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. 199
Tabella 211. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 200
Tabella 212. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 201
Tabella 213. Fabbisogni di energia primaria (Q) e indici di energia primaria (EP) ripartiti per servizio energetico derivanti dalle DE per gli anni 2019 e 2020. 201
Tabella 214. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 202
Tabella 215. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 205
Tabella 216. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 206
Tabella 217. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 207
Tabella 218. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 208
Tabella 219. Errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia di calcolo MC_{APE-DE} e la DE. 210
Tabella 220. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 211
Tabella 221. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 212
Tabella 222. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 212
Tabella 223. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 214
Tabella 224. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). 214
Tabella 225. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala. 214
Tabella 226. Stratigrafia del solaio inferiore S_i1 confinante verso il terreno. 214
Tabella 227. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'altra unità abitativa. 215
Tabella 228. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 215
Tabella 229. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 215
Tabella 230. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 216
Tabella 231. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 216
Tabella 232. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nell'anno di analisi (2020). 217
Tabella 233. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 218
Tabella 234. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020. 219
Tabella 235. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. 220
Tabella 236. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 222
Tabella 237. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 223
Tabella 238. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2020) ripartiti per servizio energetico. 223
Tabella 239. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 224
Tabella 240. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 226
Tabella 241. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 226
Tabella 242. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 227
Tabella 243. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 228

Tabella 244. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 230
Tabella 245. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 231
Tabella 246. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 232
Tabella 247. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 232
Tabella 248. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 234
Tabella 249. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). 234
Tabella 250. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala. 234
Tabella 251. Stratigrafia del solaio inferiore S_i1 confinante verso un'altra unità abitativa. 234
Tabella 252. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso sottotetto non riscaldato. 235
Tabella 253. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 235
Tabella 254. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 235
Tabella 255. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 236
Tabella 256. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 236
Tabella 257. Principali caratteristiche dei sistemi di integrazione: solare termico. 236
Tabella 258. Principali caratteristiche dei sistemi di integrazione: fotovoltaico. 236
Tabella 259. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nell'anno di analisi (2020). 237
Tabella 260. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 238
Tabella 261. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020. 239
Tabella 262. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. 240
Tabella 263. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 243
Tabella 264. Energia ceduta e consumata prodotta dall'impianto fotovoltaico e energia richiesta per la copertura dei servizi energetici. 244
Tabella 265. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 245
Tabella 266. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2020) ripartiti per servizio energetico. 245
Tabella 267. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 246
Tabella 268. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 248
Tabella 269. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 250
Tabella 270. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 251
Tabella 271. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 251
Tabella 272. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 253
Tabella 273. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 254
Tabella 274. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 255
Tabella 275. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 255
Tabella 276. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 257
Tabella 277. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). 257
Tabella 278. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala. 257
Tabella 279. Stratigrafia del solaio inferiore S_i1 confinante verso una zona riscaldata. 257
Tabella 280. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'altra unità abitativa. 258
Tabella 281. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 258
Tabella 282. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 258
Tabella 283. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 258
Tabella 284. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 259

Tabella 285. Principali caratteristiche dei sistemi di integrazione: fotovoltaico. 259
Tabella 286. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nell'anno di analisi (2020). 260
Tabella 287. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 261
Tabella 288. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. 262
Tabella 289. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 264
Tabella 290. Energia prodotta dall'impianto fotovoltaico e energia prelevata da rete. 264
Tabella 291. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 265
Tabella 292. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2020) ripartiti per servizio energetico. 265
Tabella 293. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 266
Tabella 294. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 268
Tabella 295. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 269
Tabella 296. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 270
Tabella 297. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 270
Tabella 298. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 272
Tabella 299. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 273
Tabella 300. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 274
Tabella 301. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 274
Tabella 302. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 276
Tabella 303. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). 276
Tabella 304. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala. 276
Tabella 305. Stratigrafia del solaio inferiore S_i1 confinante verso una zona riscaldata. 276
Tabella 306. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'esterno. 277
Tabella 307. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 277
Tabella 308. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 277
Tabella 309. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 278
Tabella 310. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 278
Tabella 311. Principali caratteristiche dei sistemi di integrazione: fotovoltaico. 278
Tabella 312. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nell'anno di analisi (2020). 279
Tabella 313. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 280
Tabella 314. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi. 281
Tabella 315. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 283
Tabella 316. Energia prodotta dall'impianto fotovoltaico e energia prelevata da rete. 283
Tabella 317. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 284
Tabella 318. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2020) ripartiti per servizio energetico. 284
Tabella 319. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 285
Tabella 320. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 287
Tabella 321. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 288
Tabella 322. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 289

Tabella 323. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 289
Tabella 324. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 291
Tabella 325. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 292
Tabella 326. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 293
Tabella 327. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 293
Tabella 328. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 294
Tabella 329. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). 295
Tabella 330. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala e verso ambienti non dotati di impianto termico. 295
Tabella 331. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso un altro ambiente non dotato di impianto termico. 295
Tabella 332. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso un altro ambiente non dotato di impianto termico. 295
Tabella 333. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 296
Tabella 334. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 296
Tabella 335. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 296
Tabella 336. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 297
Tabella 337. Sistemi illuminanti presenti: tipologia, numero, potenza e ore di accensione stimate. 298
Tabella 338. Apparecchiature presenti: tipologia, numero e potenza. 298
Tabella 339. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020). 299
Tabella 340. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 300
Tabella 341. Consumo energetico stimato per l'illuminazione e le apparecchiature presenti. 301
Tabella 342. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 303
Tabella 343. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 304
Tabella 344. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico. 305
Tabella 345. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 306
Tabella 346. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 308
Tabella 347. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 309
Tabella 348. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 311
Tabella 349. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 311
Tabella 350. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 312
Tabella 351. Servizio di raffrescamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 314
Tabella 352. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 315
Tabella 353. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 316
Tabella 354. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 317
Tabella 355. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 317
Tabella 356. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 319
Tabella 357. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F). 319
Tabella 358. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso ambienti riscaldati. 319
Tabella 359. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso il terreno. 319
Tabella 360. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso un ambiente riscaldato. 320
Tabella 361. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 320

Tabella 362. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 320
Tabella 363. Caratteristiche tecniche del generatore di calore e del boiler elettrico. 320
Tabella 364. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 321
Tabella 365. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 321
Tabella 366. Sistemi illuminanti presenti: tipologia, numero, potenza e ore di accensione stimate. 322
Tabella 367. Apparecchiature presenti: tipologia, numero e potenza. 322
Tabella 368. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020). 323
Tabella 369. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 324
Tabella 370. Consumo energetico stimato per l'illuminazione e le apparecchiature presenti. 325
Tabella 371. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 327
Tabella 372. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 328
Tabella 373. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico. 329
Tabella 374. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 330
Tabella 375. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 332
Tabella 376. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 333
Tabella 377. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 335
Tabella 378. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 335
Tabella 379. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 336
Tabella 380. Servizio di raffrescamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 338
Tabella 381. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 340
Tabella 382. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 341
Tabella 383. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020). 342
Tabella 384. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 342
Tabella 385. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno. 344
Tabella 386. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso l'esterno. 344
Tabella 387. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F): tipologia 1. 344
Tabella 388. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F): tipologia 2. 344
Tabella 389. Stratigrafia della parete M3: parete opaca confinante verso locali vicini riscaldati. 345
Tabella 390. Stratigrafia della parete M4: parete opaca confinante verso il corridoio comune (zona non riscaldata). 345
Tabella 391. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso il magazzino. 345
Tabella 392. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'esterno. 345
Tabella 393. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi. 346
Tabella 394. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti. 346
Tabella 395. Caratteristiche tecniche del generatore di calore per il solo raffrescamento. 346
Tabella 396. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 346
Tabella 397. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti. 347
Tabella 398. Sistemi illuminanti presenti: tipologia, numero, potenza e ore di accensione stimate. 347
Tabella 399. Apparecchiature presenti: tipologia, numero e potenza. 348
Tabella 400. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020). 348
Tabella 401. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 349
Tabella 402. Consumo energetico stimato per l'illuminazione e le apparecchiature presenti. 350
Tabella 403. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi. 353

Tabella 404. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 355
Tabella 405. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico. 355
Tabella 406. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 356
Tabella 407. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 358
Tabella 408. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 359
Tabella 409. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 361
Tabella 410. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento. 361
Tabella 411. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 362
Tabella 412. Servizio di raffrescamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}). 364
Tabella 413. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 366
Tabella 414. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 367
Tabella 415. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 368
Tabella 416. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 368
Tabella 417. Caratteristiche tecniche del generatore di calore a pompa di calore per il raffrescamento. 368
Tabella 418. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di energia elettrica e metano. 369
Tabella 419. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 370
Tabella 420. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 371
Tabella 421. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE) ripartiti per servizio energetico. 371
Tabella 422. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 372
Tabella 423. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 373
Tabella 424. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 375
Tabella 425. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 377
Tabella 426. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 378
Tabella 427. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 379
Tabella 428. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 379
Tabella 429. Caratteristiche tecniche del generatore di calore a pompa di calore per il raffrescamento. 379
Tabella 430. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di energia elettrica e metano. 380
Tabella 431. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 381
Tabella 432. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 382
Tabella 433. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE) ripartiti per servizio energetico. 382
Tabella 434. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 383
Tabella 435. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 384
Tabella 436. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 387
Tabella 437. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 388
Tabella 438. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 389
Tabella 439. Caratteristiche tecniche delle pompe di calore. 389
Tabella 440. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di energia elettrica e metano. 390
Tabella 441. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 391
Tabella 442. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 392
Tabella 443. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE) ripartiti per servizio energetico. 392

Tabella 444. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 393
Tabella 445. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 394
Tabella 446. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 396
Tabella 447. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato. 398
Tabella 448. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio. 399
Tabella 449. Caratteristiche tecniche del generatore di calore. 399
Tabella 450. Caratteristiche tecniche dei VRF. 399
Tabella 451. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di energia elettrica e metano. 400
Tabella 452. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico. 401
Tabella 453. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico. 402
Tabella 454. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE) ripartiti per servizio energetico. 402
Tabella 455. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 403
Tabella 456. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}. 404
Tabella 457. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE. 407
Tabella 458- Indicatori di consumo energetico calcolati - Destinazione d'uso residenziale 409
Tabella 459. Approcci: DE, $MC_{APE-DE,}$ APE - Destinazione d'uso residenziale Indicatore di consumo energetico per il raffrescamento (anno 2019) 411
Tabella 460. Indicatori di consumo energetico calcolati. 414
Tabella 461. Benchmark per destinazione d'uso uffici [24] 415
Tabella 462. Analisi di distribuzione dei range di valori dell'indicatore EP_{nren} per ogni servizio energetico. 418
Tabella 463. Distribuzione del campione secondo la classificazione delle destinazioni d'uso (D.P.R. 412/1993 [10]), l'anno di costruzione e il conseguente livello di isolamento (Liv-Iso) e la tipologia impiantistica. 421
Tabella 464. Distribuzione del campione secondo la classificazione delle destinazioni d'uso (D.P.R. 412/1993 [10]), l'anno di costruzione e il conseguente livello di isolamento (Liv-Iso) e la tipologia impiantistica. 426
Tabella 465. Distribuzione del campione secondo la classificazione delle destinazioni d'uso (D.P.R. 412/1993 [10]), l'anno di costruzione e il conseguente livello di isolamento (Liv-Iso) e la tipologia impiantistica. 430
Tabella 466. Servizio di produzione di acqua calda sanitaria: confronto tra volumi di acqua calda per usi sanitari stimati con calcolo APE, standard (V_{W-APE}), convenzionale (V_{W-conv}), semplificato ($V_{W-bol-50\%}$) e Diagnosi Energetica (V_{W-DE}). 441
Tabella 467. Errore relativo per servizio energetico restituito dalle differenti metodologie di calcolo (APE e MCAPE-DE) rispetto al valore "vero" (DE). 448
Tabella 468. Esempio applicativo e confronto degli output restituiti dal calcolo APE, DE e dalla metodologia MC_{APE-DE} su due casi studio (n. 1 e n. 5), stima della presunta spesa energetica e calcolo della differenza percentuale (Δ) degli indicatori e consumi totali rispetto la DE. 449

Sommario

La presente attività di ricerca si basa sull'applicazione della *M*etodologia di *C*orrelazione tra *A*ttestato di *P*restazione *E*nergetica e *D*iagnosi *E*nergetica (MC_{APE-DE}) sviluppata al termine del secondo anno di ricerca su reali casi studio di diversa categoria d'uso.
Questi sono stati oculatamente scelti al fine di verificare la reale accuratezza e affidabilità della metodologia MC_{APE-DE} rispetto ai più consolidati approcci: standard, adottato per redigere gli Attestati di Prestazione Energetica (APE), e tailored, impiegato invece per redigere le Diagnosi Energetiche (DE). Di ciascun caso studio si sono delineati non solo i reali consumi energetici (bollette dei vettori energetici) ma anche il reale profilo occupazionale e di utilizzo al fine di condurre un'accurata analisi di attendibilità e affidabilità della metodologia MC_{APE-DE} al variare della qualità di input (intesa come precisione nella stima del dato). I casi studio selezionati differiscono tra loro per tipologia costruttiva, caratterizzazione termofisica del fabbricato e impiantistica, e/o per profilo occupazione e di utilizzo dell'immobile, permettendo quindi di condurre delle analisi energetiche applicando i tre approcci di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) e dei confronti significativi e non ripetitivi.
Aspetto focale dell'attività ha riguardato il processo di affinamento della procedura MC_{APE-DE} a seguito dei confronti preliminari; in particolare, questi hanno permesso di far emergere delle criticità e dei limiti di applicazione, dovuti principalmente alle assunzioni fatte in fase di sviluppo della metodologia stessa, ampiamente superabili però attraverso l'impiego di fattori correttivi dipendenti da specifici parametri in funzione del servizio energetico esaminato.
A seguito della definizione di questi fattori correttivi, è stato possibile effettuare un confronto completo delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) permettendo di far emergere le criticità del tradizionale calcolo standard e i punti di forza della nuova metodologia MC_{APE-DE} di integrazione al calcolo APE. Assumendo i risultati della DE come i valori veri in virtù anche della loro validazione mediante bollette dei vettori energetici, le analisi condotte hanno permesso di evidenziare una migliore convergenza degli output restituiti dalla nuova metodologia MC_{APE-DE} con quelli della DE rispetto ai risultati dell'APE per tutti i servizi energetici investigati (produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento); in particolare, è emerso come l'APE tenda a restituire un fabbisogno energetico destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria molto divergente da quello desunto in fase di DE, con discrepanza che tendono ad aumentare, a parità di superficie, con l'aumentare del numero dei fruitori dell'immobile. Al contrario, per il riscaldamento il calcolo APE tende a sovrastimare significativamente il reale fabbisogno energetico in quanto non permette di adattare il profilo di utilizzo dell'impianto alle reali abitudini degli utenti. Anche per servizio di raffrescamento si è riscontrata una significativa sottostima del calcolo APE principalmente legata alla difficile approssimazione del comportamento estivo in un approccio medio mensile.
La nuova metodologia MC_{APE-DE}, invece, permette sempre di approssimare più correttamente i risultati della DE con discrepanza che possono variare significativamente con la qualità e precisione dei parametri di input che si forniscono per l'applicazione della procedura stessa. Il confronto, però, ha permesso di evidenziare un importante punto di forza della nuova metodologia MC_{APE-DE}, ossia la possibilità di applicarla anche in mancanza di una conoscenza accurata del sistema edificio-impianto o in caso di assenza di una DE. In questo caso, infatti, sarebbe ugualmente possibile applicare la procedura MC_{APE-DE} applicando dei metodi convenzionali per il calcolo di alcuni fondamentali parametri (quali ad esempio il volume destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria) a discapito però di una minor precisione del risultato finale, sebbene sempre più preciso del calcolo standard.
Una vota testata su reali casi studio, lo studio è proseguito con il mostrare le reali potenzialità della nuova metodologia MC_{APE-DE}; in primo luogo, si è mostrata una sua applicazione agli APE contenuti nel Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE) al fine di far emergere rilevanti spunti di riflessione sui reali consumi energetici del parco edilizio che è stato oggetto di certificazione nonché indicare un suo possibile utilizzo come strumento di supporto per le nuove policy energetiche e sistemi incentivanti che potrebbero basarsi anche sul SIAPE.
Infine, è stato proposto un applicativo eseguibili su pc caratterizzato da un'interfaccia molto user-friendly in cui è sufficiente inserire poche e semplifica informazioni, perlopiù riportate nell'APE, attraverso dei menù a

tendina o dei campi editabili. L'applicativo, ancora in fase di ultimazione, rappresenta solo un potenziale strumento di come si potrebbe rendere fruibile la metodologia MC_{APE-DE}.
La nuova metodologia MC_{APE-DE} sviluppata in questo triennio di ricerca sembrerebbe quindi un interessante strumento che potrebbe essere di integrazione al calcolo standard (APE), permettendo quindi di restituire dei risultati più coerenti con il reale profilo di utilizzo degli utenti. La buona affidabilità della metodologia MC_{APE-DE} apre anche ad altri ed interessanti scenari di applicazione quale ad esempio quello di strumento di supporto alla policy energetica nazionale ma anche strumento decisionale e di controllo per l'erogazione di nuovi sistemi incentivanti. In quest'ottica, è plausibile ipotizzare un ulteriore affinamento della procedura MC_{APE-DE} al fine di renderla ancora più accurata ed efficace incrementando, ad esempio, i contesti climatici esaminati e prendendo in considerazione anche profili occupazionali meno comuni.

Summary

The main purpose of the current research activity is the preliminary testing of the new Correlation Methodology between Energy Performance Certificate and Energy Audit (CM_{EPC-EA}). Many case studies were carefully chosen distinguished by different outdoor climatic conditions, thermal characterization of building envelope, HVAC configuration, and use profile.
For each case study three energy evaluation were performed: the first one was related to the standard calculation (EPC), the second to the tailored rating (EA), and finally the new CM_{EPC-EA}.
After preliminary comparison, several correction factors were defined in order to optimize and to refine the new CM_{EPC-EA} procedure; specifically, for each energy service, two correction factors were introduced capable of correct the application limit of the new procedure due to the preliminary assumption done during the implementation phase.
The comparison analysis allowed confirming the lowest accuracy and reliable of the EPC results, while the outputs of the new CM_{EPC-EA} procedure are closer to the "real" values (EA) with differences which tends to increase or decrease depending on the quality of the input parameters.
Related to the energy service of the hot water production, the EPC tends to significantly diverge from EA results with increasing differences depending on the number of people; while the new CM_{EPC-EA} procedure seems to be reliable also by adopting conventional methodology calculation for the evaluation of the hot water volume, i.e., without using the real value calculated with EA. For the heating service the EPC tends to overestimate the real energy need of buildings (EA) which is well approximated by CM_{EPC-EA}. The higher differences between CM_{EPC-EA} procedure and EA were found for the cooling service mainly due to the monthly calculation method which do not correctly approximate the real building behaviour during the cooling conditions. However, the new CM_{EPC-EA} procedure allowed to better approximate the EA results than EPC which tends to significantly underestimate the real energy consumption.
Based on these results, the application of CM_{EPC-EA} to the national database of EPC was attempted in order to highlight the real potential of the new procedure; in particular, without carrying out an energy audit, the new procedure allows returning different level of energy consumption of the certificated buildings by just adopting the main profile uses of building. This kind of analysis highlighted that the real energy consumption of all certificated buildings can significantly diverge from EPC consumption pointing out how the new procedure could be an useful and interesting tool able to support the national energy policy.
Finally, an application tool was also proposed as a possible solution to make CM_{EPC-EA} more usable; in particular, an user-friendly graphical interface was developed where all the data required for CM_{EPC-EA} application can be easy inserted by using drop-down menu or edit text.
According to the results, the new CM_{EPC-EA} procedure developed in this work, seems to be a very powerful tool that if combined with EPC calculation can return more reliable energy consumption but it can support national energy policy decision.

1 Introduzione

La presente attività di ricerca triennale si è posta come ambizioso obiettivo quello di sviluppare una metodologia di calcolo che, integrata al calcolo standard previsto per l'Attestato di Prestazione Energetica (APE), permetta di restituire un consumo energetico più realistico. L'attività nasce dalla necessità di avere delle prestazioni energetiche degli edifici che, da un lato, siano affidabili e realistiche, come nelle diagnosi energetiche (DE) e, dall'altro, siano calcolabili attraverso un metodo che non richieda una dettagliata conoscenza del sistema edificio-impianto e non comporti un elevato costo per l'utente finale, come avviene nella certificazione energetica (APE).
Su queste premesse, si è quindi deciso di sviluppare la nuova metodologia correlando i risultati ottenuti tramite APE con quelli risultanti dalla redazione della DE, metodologia molto più dettagliata nonché validata con i reali consumi dell'edificio esaminato. La peculiarità di questo nuovo approccio di calcolo, denominato *M*etodologia di *C*orrelazione tra l'*A*ttestato di *P*restazione *E*nergetica e la *D*iagnosi *E*nergetica ($MC_{APE\text{-}DE}$), vuole essere quella sfruttare gli stessi parametri di input richiesti dall'APE ma di restituire dei risultati più congruenti con quelli della DE.
Per il raggiungimento di questo ambizioso obiettivo, l'attività triennale è stata accuratamente programmata prevedendo la definizione di specifiche equazioni matematiche già in conclusione del secondo anno ricerca. Infatti, a partire dalla caratterizzazione termofisica del parco edilizio italiano definita al termine del primo anno di attività, è stato possibile condurre numerose simulazioni energetiche di tipo parametrico applicando sia l'approccio di calcolo "asset rating" (APE) che "tailored rating" (DE). Dalla scrupolosa analisi dei risultati, è stato possibile estrapolare sia delle equazioni matematiche di correlazione ($MC_{APE\text{-}DE}$) tra le due metodologie di calcolo (APE e DE) che alcuni benchmark per i principali servizi energetici (produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento) associati al fabbisogno di energia primaria, al consumo dei vettori energetici impiegati e alla spesa media annua.
A partire dai risultati consolidati in queste due precedenti annualità, l'attività svolta nel terzo anno ha quindi avuto l'importante obiettivo di effettuare un primo e accurato test dell'approccio $MC_{APE\text{-}DE}$ prendendo in esame reali casi studio scelti con le seguenti finalità:

1. Acquisire tutte le informazioni necessarie per applicare i tre approcci di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$);
2. Effettuare un'analisi di affidabilità e precisione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ al variare della precisione delle informazioni acquisite al fine di evidenziare potenzialità e criticità della metodologia stessa.

Il confronto tra le tre metodologie ha permesso di evidenziare importanti criticità del calcolo standard (APE) nonché l'accuratezza dei risultati restituiti dalla procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ al variare della precisione dei seguenti parametri: condizioni climatiche, volume di acqua destinato ai soli usi sanitari e orario di accensione degli impianti. L'esito positivo di tale analisi, in cui si è osservata una netta convergenza dei risultati tra $MC_{APE\text{-}DE}$ e DE, ha permesso di estendere ulteriormente la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ agli APE contenuti nel Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE), ossia il database nazionale degli APE gestito da ENEA. Lo scopo di questa ulteriore analisi è stato quello di mostrare le enormi potenzialità dello strumento sviluppato; esso è infatti capace di valutare come potrebbero cambiare i consumi energetici degli edifici certificati al variare di alcuni fattori nonché condizioni di utilizzo degli immobili stessi, quali ad esempio il numero di fruitori e le ore di accensione dell'impianto.
Infine, per incrementarne la fruibilità e permetterne l'uso a qualsiasi classe di utenza, l'attività si è conclusa sviluppando e proponendo un possibile applicativo eseguibile su pc della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$; in particolare, attraverso l'inserimento di specifici dati derivanti principalmente dall'APE all'interno di un'interfaccia grafica user-friendly, è possibile visualizzare i risultati restituiti dalla metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ per l'immobile indagato.
In accordo con i risultati ottenuti, la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ sviluppata risulta essere un valido strumento che permette di integrare l'attuale calcolo standard (APE) restituendo un risultato di fabbisogno e consumo energetico per i tre servizi energetici indagati più aderente ai reali consumi di bolletta (DE). Il punto di forza della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ è sicuramente quello di mantenere immutato il metodo di calcolo standard per la valutazione energetica degli edifici, ossia il calcolo APE, permettendo di determinare dei risultati variabili con le effettive condizioni di occupazione e utilizzo degli immobili senza comportare, però, un incremento di costi per l'utente finale.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Risultati conseguiti nella seconda annualità

L'attività svolta nel secondo anno [1] è stata incentrata sulla ricerca di equazioni di correlazione tra il calcolo "*asset rating*" e il "*tailored rating*", ossia tra la metodologia di calcolo impiegata per la certificazione energetica di un edificio basata su condizioni di utilizzo di tipo standard e quella adottata per la redazione delle Diagnosi Energetiche (DE) basata cioè su profili occupazionali e di utilizzo dell'edificio reali.
L'obiettivo del lavoro è quello di identificare una metodologia di calcolo di facile applicazione, mantenendo cioè la facilità di applicazione dell'approccio "*asset rating*" ma restituendo dei consumi energetici più affidabili e tendenti ai consumi reali dell'edificio (DE).
Il secondo anno di ricerca è stato pianificato seguendo il processo logico mostrato schematicamente in Figura 1, a partire dall'analisi dello stato dell'arte del patrimonio edilizio italiano [2]; definendo la caratterizzazione tipologica e geometrica prevalente sul territorio, la principali proprietà termofisiche dell'involucro edilizio nonché quelle impiantistiche, è stato possibile definire molteplici modelli di simulazione rappresentativi del parco edilizio italiano che sono stati impiegati per condurre numerose simulazioni energetiche di tipo parametrico. Complessivamente sono stati identificati 24 casi studio differenti per geometria. Il contesto climatico è stato fatto variare identificando 25 località più rappresentative sulla base della distribuzione geografica nel territorio italiano, dei parametri climatici di riferimento (come la temperatura invernale ed estiva di progetto, l'escursione giornaliera estiva e la velocità dell'aria), nonché della popolazione e numero di edifici degli stessi comuni.
L'analisi è proseguita con la caratterizzazione termofisica dell'involucro edilizio dei 24 casi studio. Le componenti opache individuate nel primo anno [2], circa 900 tra componenti verticali e orizzontali, sono state ulteriormente scremate in funzione dei valori di trasmittanza termica, spessore e massa superficiale, con l'obiettivo di scartare le combinazioni con proprietà termiche assimilabili. L'analisi ha permesso di scendere a 152 componenti verticali e 52 orizzontali; queste sono state raggruppate in funzione del livello di isolamento termico, suddivisione poi adottata nelle successive analisi:

1. Liv-Iso-0: isolamento assente, tipico delle strutture datate;
2. Liv-Iso-1: isolamento medio, tipico delle strutture che presentano circa 5 cm di isolante;
3. Liv-Iso-2: isolamento buono, associato a strutture che presentano circa 10 cm di isolante;
4. Liv-Iso-3: isolamento elevato, tipico delle nuove costruzioni con più di 10 cm di isolante.

Per la componente trasparente, invece, sono state assunte delle proprietà termiche variabili tra 2.7 e 1.3 W/m^2K in funzione dell'epoca di costruzione o del livello di isolamento.
Infine, i casi studio sono stati completati caratterizzandoli con diverse tipologie impiantistiche in funzione del servizio energetico analizzato:

- Produzione di acqua calda sanitaria: sono state selezionate sei tipologie impiantistiche (un boiler elettrico, tre generatori di calore standard, un generatore di calore a condensazione e una pompa di calore). Queste sono state analizzate anche considerando la presenza di un impianto solare termico;
- Climatizzazione invernale: sono state analizzate sia le configurazioni centralizzate che autonome considerando differenti sistemi di generazione, distribuzione, regolazione ed emissione. In particolare, sono stati analizzati quattro generatori di calore (tre standard e uno a condensazione), operanti tutti ad alta temperatura (collegati cioè ai radiatori). Solo nella configurazione di impianto autonomo in edifici con buoni livelli di isolamento (quali Liv-Iso-2 e Liv-Iso-3) è stata prevista la possibilità di due ulteriori tipologie impiantistiche, quali il generatore a condensazione e la pompa di calore, entrambi operanti a bassa temperatura (collegati cioè ai pannelli radianti);
- Climatizzazione estiva: è stata adottata un'unica tipologia impiantistica (una macchina frigorifera aria-aria) dotata di split come terminali di immissione in base a quanto emerso in [2].

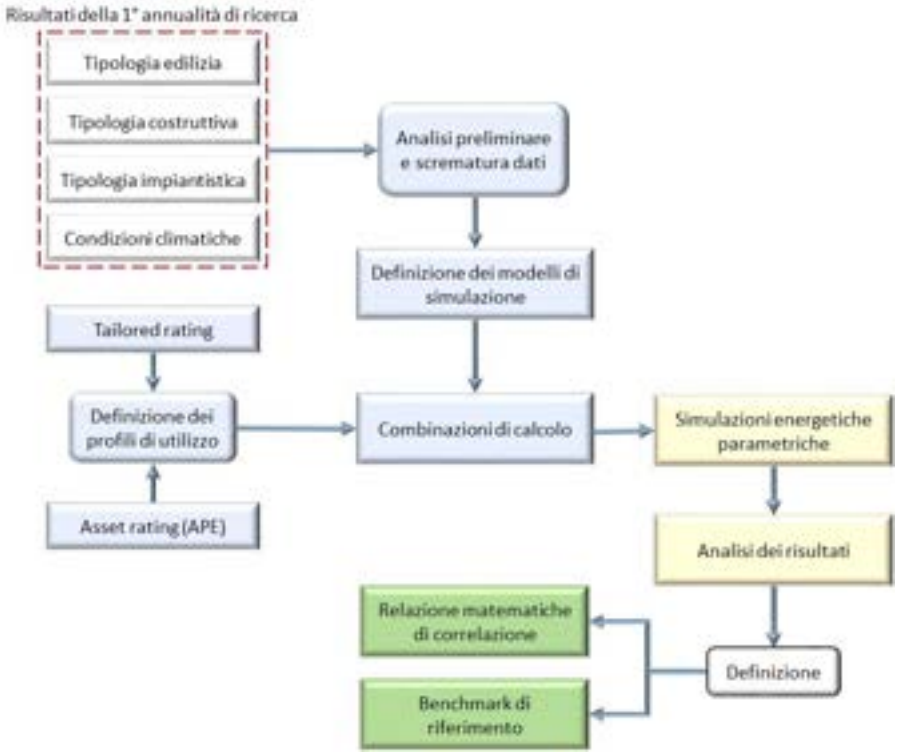


Figura 1. Programmazione delle fasi di lavoro nella seconda annualità di ricerca.

La caratterizzazione dei casi studio è stata completata definendo specifici profili di utilizzo da adottare per il calcolo "*tailored rating*" al variare della categoria di edificio; per la loro definizione, uno degli aspetti cruciali dell'attività, si è fatto riferimento sia a dati di Letteratura che ai dati Istat. In particolare, sono stati introdotti tre profili di utilizzo per ciascun servizio energetico (Tabella 1): per la produzione dell'acqua calda sanitaria variano con il volume di acqua calda consumato per usi sanitari determinato in funzione del numero di fruitori, mentre per la climatizzazione invernale ed estiva sono stati identificati degli orari di accensione degli impianti al variare della zona climatica considerata.
Infine, la caratterizzazione impiantistica è stata completata ipotizzando anche la presenza di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica, la cui producibilità, però, non cambia con la metodologia di calcolo.

Tabella 1. Profili di utilizzo definiti per la produzione di acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento.

Categoria	*Zona Climatica*	*Acqua calda sanitaria [l/giorno]*			*Riscaldamento [h/giorno]*			*Raffrescamento [h/giorno]*		
		$P_{acs\text{-}min}$	$P_{acs\text{-}med}$	$P_{acs\text{-}max}$	$P_{risc\text{-}min}$	$P_{risc\text{-}med}$	$P_{risc\text{-}max}$	$P_{raff\text{-}min}$	$P_{raff\text{-}med}$	$P_{raff\text{-}max}$
E.1	A	172	344	516	3	6	6	9	10	16
	B				3	6	8	6	9	14
	C				3	7	10	4	8	12
	D				4	8	12	3	7	10
	E				6	9	14	3	6	8
	F				9	10	16	3	6	6
E.2-E.5	A	-	-	-	5	6	6	5	8	16
	B				5	8	8	5	8	14
	C				5	8	10	5	8	12
	D				5	8	12	5	8	10
	E				5	8	14	5	8	8
	F				5	8	16	5	6	6

I modelli definiti secondo le precedenti caratteristiche sono stati impiegati per condurre le simulazioni energetiche di tipo parametrico; in totale per ogni caso studio esaminato sono state considerate più di un milione di combinazioni possibili.
I risultati ottenuti sono stati analizzati per singolo servizio energetico, applicando a una metodologia di analisi standardizzata, volta a ottenere delle correlazioni matematiche che non fossero vincolate alle assunzioni preliminari e utilizzabili anche in condizioni diverse da quelle effettivamente simulate. Per questo motivo, i valori ottenuti sono stati normalizzati rispetto i parametri più influenti di ciascun servizio energetico.
Per il servizio di produzione di acqua calda sanitaria, le analisi condotte hanno evidenziato un legame sempre di tipo lineare tra il consumo "*asset rating*" e quello "*tailored rating*", permettendo di definire la relazione matematica (Equazione 1) dove l'indicatore *tailored* ($I_{WTailored}$) è funzione dello stesso indicatore calcolato con l'approccio *asset* (I_{WAPE}), del volume di acqua calda sanitaria, calcolato sia con il metodo *asset* (V_{H2OAPE}) che con quello *tailored* ($V_{H2OTailored}$), e della temperatura esterna media della località di simulazione ($T_{media-ext}$). Nell'equazione identificata, il coefficiente angolare *m* e l'intercetta *q* assumono valori differenti in funzione della tipologia impiantistica (Tabella 2).
In caso di applicazione del solare termico, è stato adottato un approccio differente in cui si è parametrizzata la producibilità media mensile dell'impianto al variare del numero di pannelli e della località (Equazione 2); per questo tipo di analisi è stato introdotto un nuovo parametro di riferimento, denominato *P*arametro *C*limatico (PC), definito come prodotto tra l'irradianza solare globale mensile e la temperatura alla quale si porta l'acqua con il solare termico.
La producibilità media mensile dell'impianto solare (P_{ST}) è calcolata considerando la producibilità media pesata ($P_{STmedia-pesata}$), il parametro climatico relativo alla città che si sta considerando ($PC_{mensile,città}$), il parametro climatico di riferimento ($PC_{medio-mensile-rif}$), il fattore di correzione della producibilità (F_{ST}), il numero di pannelli effettivamente installati (n_{pan}) e un coefficiente correttivo che tiene conto del volume d'acqua effettivamente richiesto (k). Nota la producibilità (P_{ST}), è quindi possibile calcolare il volume di acqua calda coperto dal solo impianto solare termico (Equazione 3). In caso di presenza dell'impianto solare termico, il volume di acqua calda da considerare nell'Equazione 1 è quello derivante dalla sottrazione del volume totale richiesto e quello compensato dall'impianto solare.

$$I_{W\,Tailored} = \left(m \cdot \frac{I_{W\,APE}}{V_{H_2O\,APE} \cdot T_{media-ext}} + q \right) \cdot V_{H_2O\,Tailored} \cdot T_{media-ext} \qquad \textbf{Equazione 1}$$

$$P_{ST} = \frac{P_{ST_{media-pesata}} \cdot PC_{mensile\ città}}{PC_{medio-mensile,rif}} \cdot F_{ST} \cdot n_{pan} \cdot k \qquad \textbf{Equazione 2}$$

$$V_{H_2O-solare} = \frac{P_{ST} \cdot V_{H_2O_{tailored}}}{I_{W_{APE}}} \qquad \textbf{Equazione 3}$$

Tabella 2. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: valori del coefficiente angolare [m] e dell'intercetta [q] al variare della tipologia impiantistica.

Tipologia impiantistica	*Coefficiente angolare [m]*	*Intercetta [q]*
Boiler elettrico	0.8900	0
Caldaia monostadio	0.8699	-0.0056
Caldaia multistadio	0.8715	-0.0052
Caldaia modulante	0.8867	0.0004
Caldaia condensazione	0.8465	-0.0161
Pompa di calore	0.8904	0

L'analisi dei risultati del servizio di climatizzazione invernale ha invece evidenziato un legame di tipo non lineare, e in particolare esponenziale, tra il consumo *asset* e quello *tailored*, portando alla definizione di un sistema di tre equazioni per il calcolo di un valore minimo, medio e massimo dell'Indicatore Energetico Normalizzato (IEN - Equazione 4) in funzione dei Gradi Giorno (GG) della località e di due coefficienti a e b dipendenti dalla tipologia impiantistica e dal livello di isolamento del fabbricato (Tabella 3). Una volta determinato l'indicatore IEN, il generico indicatore tailored ($I_{htailored}$) è determinato secondo l'Equazione 5 in funzione dei Gradi Giorno della località (GG), del numero di ore effettivo di accensione dell'impianto (h_{imp}), delle principali caratteristiche tecniche dell'impianto (potenza e rendimento alle condizioni nominali), e del medesimo indicatore energetico calcolato con il profilo asset (I_{hAPE}).

$$IEN = a \cdot GG^{-b} \qquad \textbf{Equazione 4}$$

$$I_{h_{tailored}} = IEN \cdot GG \cdot I_{h_{APE}} \cdot h_{imp} \cdot P_{n_{imp}} \cdot \eta_{imp} \qquad \textbf{Equazione 5}$$

Le correlazioni individuate per il servizio di climatizzazione invernale risultano applicabili anche per la climatizzazione estiva; tuttavia, in questo caso è necessario un calcolo preliminare, in quanto la normativa non individua un parametro corrispondente ai Gradi Giorno invernali per la stagione estiva. Tale parametro, chiamato Grado Giorno Estivi (GGE), è stato definito in maniera equivalente ai Gradi Giorno, a partire dai valori medi mensili di temperatura esterna e dall'escursione giornaliera estiva della località di simulazione selezionata, entrambi forniti dalla normativa vigente [3]. Quindi, per il servizio di climatizzazione estiva, l'indicatore IEN è calcolato come mostrato dall'Equazione 4, sostituendo i Gradi Giorno invernali (GG) con quelli estivi (GGE) e adottando come valori dei coefficienti *a* e *b* quelli mostrati in Tabella 4.
L'indicatore tailored per la climatizzazione estiva ($I_{Ctailored}$) si ottiene attraverso l'Equazione 6 in funzione dei Gradi Giorno Estivi calcolati per la località (GGE), del numero di ore effettivo di accensione dell'impianto (h_{imp}), delle principali caratteristiche tecniche della macchina frigorifera (potenza nominale e EER), e del medesimo indicatore energetico calcolato con il profilo *asset* (I_{CAPE}).

$$I_{C_{tailored}} = IEN \cdot GGE \cdot I_{C_{APE}} \cdot h_{imp} \cdot P_{n_{imp}} \cdot EER \qquad \textbf{Equazione 6}$$

Tabella 3. Servizio energetico riscaldamento: valori dei coefficienti a e b al variare della tipologia impiantistica e del livello di isolamento dell'edificio.

Tipologia impiantistica	*IEN*	*Livello di isolamento dell'edificio*							
		Liv–Iso–0		*Liv–Iso–1*		*Liv–Iso–2*		*Liv–Iso–3*	
		a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
Generatore standard (alta temperatura)	Minimo	0.180	–1.441	0.039	–1.238	0.017	–1.140	0.010	
	Medio	0.034	–1.267	0.010	–1.116	0.005	–1.028	0.003	–0.979
	Massimo	0.065	–1.399	0.023	–1.276	0.011	–1.190	0.007	
Generatore a condensazione (alta temperatura)	Minimo	0.013	–1.419	0.039	–1.238	0.017	–1.140	0.010	–1.084
	Medio	0.021	–1.229	0.010	–1.116	0.005	–1.028	0.003	
	Massimo	0.043	–1.373	0.023	–1.276	0.011	–1.190	0.007	–1.142
Generatore a condensazione (bassa temperatura)	Minimo	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.021	–1.214	0.020	
	Medio	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.005	–1.086	0.030	–1.292
	Massimo	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.012	–1.245	0.045	
	Minimo	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.025	–1.457	0.019	–1.396
	Medio	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.008	–1.326	0.003	
	Massimo	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.007	–1.358	0.006	–1.334

Tabella 4. Servizio energetico raffrescamento: valori dei coefficienti a e b al variare del livello di isolamento dell'edificio.

Tipologia impiantistica	*IEN*	*Livello di isolamento dell'edificio*							
		Liv–Iso–0		*Liv–Iso–1*		*Liv–Iso–2*		*Liv–Iso–3*	
		a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
Macchina frigorifera	Minimo	0.011	–1.059	0.035	–1.219	0.055	–1.307	0.006	–1.236
	Medio	0.011	–1.118	0.014	–1.186	0.019	–1.254	0.020	–1.275
	Massimo	0.009	–1.126	0.011	–1.226	0.008	–1.244	0.053	–1.320

Le correlazioni identificate per i servizi di climatizzazione invernale ed estiva (Equazione 5 ed Equazione 6) restituiranno quindi tre indicatori tailored (minimo, medio e massimo); il risultato finale si ottiene sommando i tre valori moltiplicati per i rispettivi coefficienti correttivi definiti in funzione della località (Gradi Giorno), del profilo di utilizzo, del livello di isolamento del fabbricato e della tipologia impiantistica considerata [1].

2.2 Obiettivi e programmazione della terza annualità

Le attività svolte nella terza annualità hanno avuto l'obiettivo di applicare su casi studio reali la *M*etodologia di *C*orrelazione tra *A*ttestato di *P*restazione *E*nergetica e *D*iagnosi *E*nergetica (MC_{APE-DE}) sviluppata nel corso della seconda annualità [1], al fine di verificarne l'attendibilità ed evidenziare eventuali criticità.
Il processo logico e la pianificazione della terza annualità di ricerca, è sinteticamente mostrata in Figura 2 in cui si sono evidenziate le differenti fasi in cui è stato suddiviso il lavoro:

1. bianco: è il punto di partenza del terzo anno rappresentando i risultati ottenuti nella seconda annualità ossia le equazioni di correlazione per i tre servizi energetici presi in esame (produzione acqua calda, riscaldamento e raffrescamento);
2. verde: è il primo vero step di questo lavoro in cui attraverso una accurata analisi sono stati selezionati i diversi casi studio su cui è stata testata la procedura. In questa fase del lavoro sono state raccolte tutte le informazioni necessarie per una corretta analisi energetica con le diverse metodologie di calcolo disponibili (APE, DE e MC_{APE-DE});
3. blu: rappresenta il cuore del lavoro nonché la fase più laboriosa dell'attività della ricerca che ha visto condurre valutazioni energetiche secondo l'approccio standard (ossia secondo il calcolo "*asset rating*" – Attestato di Prestazione Energetica), adattato all'utenza (ossia secondo il calcolo "*tailored rating*" – Diagnosi Energetica) e infine mediante la metodologia di correlazione sviluppata (MC_{APE-DE});
4. giallo: a seguito delle valutazioni energetiche, è stato effettuato un confronto tra le diverse metodologie con l'obiettivo di verificare l'attendibilità della procedura MC_{APE-DE}. In funzione dell'esito del confronto si è prevista una fase di revisione delle equazioni implementate (in caso di esito negativo) e una fase finale di implementazione del programma di calcolo per un utilizzo più agevole della metodologia sviluppata.

L'attività si pone l'obiettivo di verificare l'affidabilità dell'approccio MC_{APE-DE}, sviluppato con l'idea di integrare il calcolo standard (APE) per ottenere dei risultati, ossia dei consumi energetici, più aderenti con quelli reali, senza ricorrere necessariamente a metodologie di calcolo più complesse che comporterebbero un maggior dispendio economico per gli utenti finali.

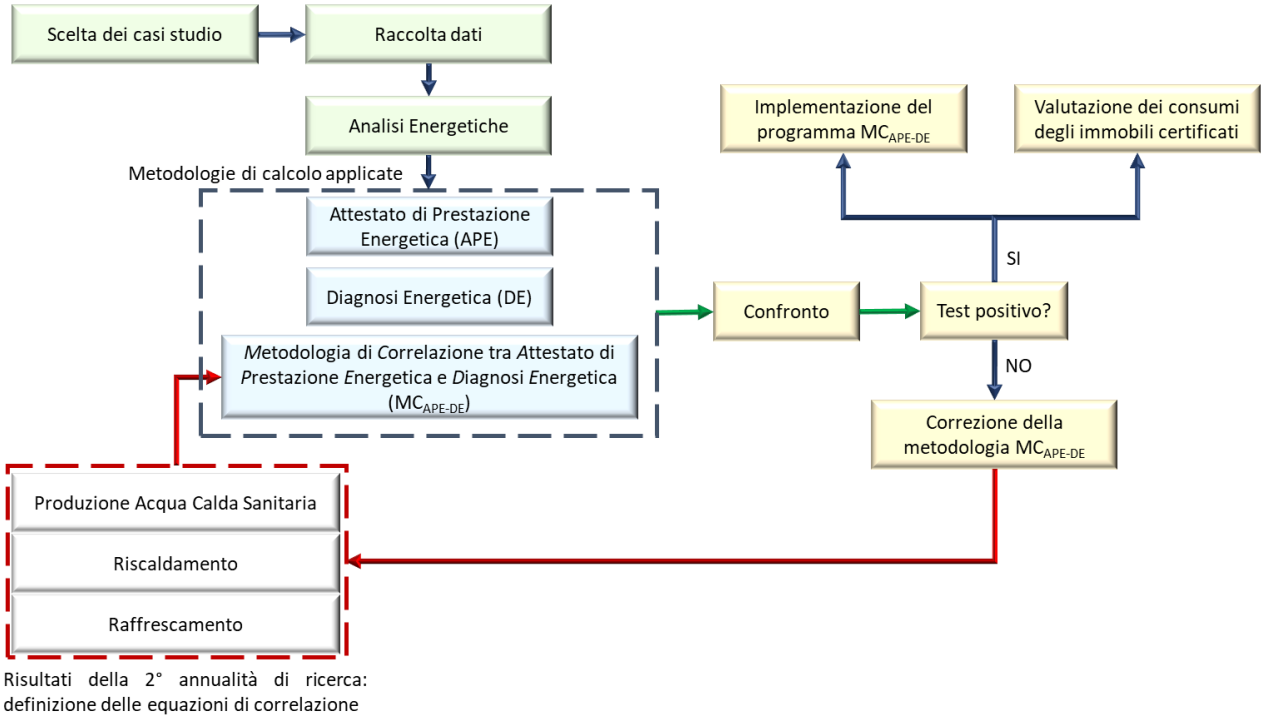


Figura 2. Programmazione delle fasi di lavoro nella terza annualità di ricerca.

In quest'ottica, la prima parte del lavoro si è focalizzata sulla scelta dei casi studio da esaminare, dei quali è stato necessario conoscere non solo i reali consumi energetici (bollette dei vettori energetici) ma anche il reale profilo occupazionale di utilizzo del sistema edificio-impianto. Lo scopo, infatti, non è solo quello di verificare la metodologia sviluppata su reali casi studio, ma anche quello di verificarne l'attendibilità al variare della qualità di input, intesa come accuratezza del dato di input richiesto. Questa ulteriore analisi permetterà di capire se la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ possa essere applicata anche in assenza di una Diagnosi Energetica e con quale precisione.
A valle delle valutazioni energetiche secondo l'approccio APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$, è stato effettuato un primo confronto tra le tre metodologie finalizzato ad individuare le maggiori criticità; questo ha permesso di definire alcuni coefficienti correttivi da applicare alla $MC_{APE\text{-}DE}$ in virtù di alcune assunzioni fatte nella seconda annualità per condurre e simulazioni energetiche [1].
Una volta testata l'attendibilità della procedura, questa è stata applicata anche agli Attestati di Prestazione Energetica (APE) contenuti nel Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE) permettendo di evidenziare con potrebbero realmente essere i consumi energetici degli immobili che sono stati oggetto di certificazione energetica.
Infine, è stato implementato un codice di calcolo con interfaccia di semplice utilizzo per permettere una maggiore fruibilità dell'applicativo sviluppato; in particolare, è stato proposto un tool installabile su PC che permette di applicare in maniera automatica la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ a partire dai dati riportati nell'APE. Non si esclude un possibile ulteriore sviluppo dello stesso su piattaforme web per incrementarne l'accessibilità e la fruibilità.

2.3 Definizione dei fattori correttivi

Come esposto nel precedente paragrafo, la metodologia definita al termine del secondo anno di ricerca [1] è stata sviluppata attraverso specifiche assunzioni in termini di modelli geometrici, condizioni al contorno e condizioni di esercizio. Per questo per poterla estendere a casistiche diverse da quelle considerate è stato necessario introdurre dei coefficienti correttivi che tengano conto sia di come si è giunti alla definizione delle equazioni di correlazione tra "*asset rating*" e "*tailored rating*" che dei principali parametri che influenzano i risultati per ciascun servizio energetico.
La validità e l'affidabilità nell'utilizzo di questi coefficienti sarà evidenziata nei successivi paragrafi attinenti all'applicazione della metodologia a reali casi studio.

2.3.1 Produzione dell'acqua calda sanitaria

Le principali assunzioni fatte per il presente servizio energetico e che potrebbero variare significativamente tra APE e DE riguardano principalmente due parametri: la temperatura media annua ($T_{m\text{-}acs}$) e il volume di acqua calda per usi igienici sanitari ($V_{W\text{-}acs}$).
La temperatura media annua, in accordo con la metodologia esposta dal pacchetto delle norme UNI 11300 [4-9], è utilizzata come valore di partenza della temperatura dell'acqua nelle valutazioni di tipo A1 e A2. Esso è calcolato come valore medio dei valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna della località analizzata, ossia a partire dai valori di temperatura forniti dalla norma UNI 10349 [3]. Solo nel caso di analisi A3 (adattata all'utenza) è possibile fare riferimento a valori di temperatura diversi qualora disponibili.
Come descritto ampiamente nel report della seconda annualità, nella definizione delle equazioni di correlazione si era fatto riferimento ai dati climatici di normativa sia per la redazione dell'APE che per la DE, non considerando di fatto una variazione di questo parametro.
Come sarà discusso nei successivi paragrafi, per la redazione delle DE dei numerosi casi studio esaminati, si è sempre fatto riferimento ai dati climatici reali perché sempre disponibili. Pertanto, per tenerne conto anche nella metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ è stato introdotto il seguente coefficiente correttivo:

$$F_{T_{m-acs}} = 1 + \frac{T_{m-acs-UNI\ 10349} - T_{m-acs-reale}}{T_{m-acs-UNI\ 10349}} \qquad \textbf{Equazione 7}$$

dove $T_{m\text{-}acs\text{-}UNI\ 10349}$ è il valore di temperatura media annuale determinata a partire dai dati climatici della UNI 10349 [3], mentre $T_{m\text{-}acs\text{-}reale}$ è il valore di temperatura media annuale calcolato considerando i dati climatici reali.
Il parametro così definito permette quindi di:

- ✓ Incrementare il fabbisogno energetico della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ quando i dati climatici di normativa restituiscono un valore superiore al valore reale ($T_{m\text{-}acs\text{-}UNI\ 10349} > T_{m\text{-}acs\text{-}reale}$). Infatti, in questa circostanza, a parità degli altri parametri influenti, la DE condotta con dati climatici reali restituirebbe un fabbisogno energetico maggiore di quella redatta con i dati di normativa;
- ✓ Diminuire il fabbisogno energetico della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ quando i dati climatici di normativa restituiscono un valore inferiore al valore reale ($T_{m\text{-}acs\text{-}UNI\ 10349} < T_{m\text{-}acs\text{-}reale}$). Infatti, in questa circostanza, a parità degli altri parametri influenti, la DE condotta con dati climatici reali restituirebbe un fabbisogno energetico inferiore di quella redatta con i dati di normativa.

Il secondo parametro, nonché quello più influente, è rappresentato dal volume di acqua calda (V_w) richiesto dalla singola utenza. Per la definizione delle equazioni di correlazione si erano adottati tre volumi convenzionali dipendenti dal numero di persone, senza però assumere alcuna variazione di utilizzo dell'immobile stesso in termini di numero di giorni di effettiva presenza. Inoltre, ai fini della redazione delle DE, nonché dell'applicazione della metodologia sviluppata, si sono studiate diverse metodologie di calcolo di V_w ognuna delle quali ha evidenziato importanti criticità. In particolare, esso è stato stimato con le seguenti metodologie di calcolo:

1. Metodologia APE ($V_{W\text{-}APE}$): in funzione della categoria d'uso dell'immobile definita dal D.P.R. 412/93 [10], il V_w può essere calcolato a partire da due coefficienti *a* e *b* forniti dalla UNI 11300-2 [5] come segue:

$$categoria\ E.1 \qquad V_W = a{\cdot}S_u + b \qquad \textbf{Equazione 8}$$

$$categoria\ no\ E.1 \qquad V_W = a{\cdot}N_u \qquad \textbf{Equazione 9}$$

dove Su è la superficie utile dell'immobile mentre è N_u un parametro che varia con la categoria d'uso dell'immobile [5].
Il volume calcolato con tale approccio è stato arbitrariamente considerato come l'equivalente volume di acqua calda sanitaria richiesto per ogni singolo fruitore dell'immobile;

2. Metodologia convenzionale ($V_{W\text{-}convenzioanle}$): questo è l'approccio adottato anche nel corso della seconda annualità di ricerca [1] e si basa sull'adozione di consumi di acqua calda ti tipo convenzionale (Tabella 5) desunti a partire da dati disponibili in letteratura in funzione della tipologia e numero delle apparecchiature sanitarie installate/utilizzate [11, 12]. Anche in questo caso il valore calcolato rappresenta il volume di acqua calda sanitaria richiesto per ogni singolo fruitore dell'immobile.
3. Inventario Energetico ($V_{w\text{-}Invetario\ Energetico}$): ai fini della redazione della DE di ogni caso studio, è stata fatta una analisi accurata delle bollette sia di acqua che dei vettori energetici presenti, grazie alla quale è stato possibile definire un inventario energetico molto dettagliato comprensivo anche di uno specifico valore di $V_{w\text{-}acs}$ per ogni mese dell'anno;
4. Consumo di acqua di bolletta ($V_{w\text{-}Bolletta}$): l'ultimo approccio, molto poco accurato e probabilmente troppo cautelativo, è quello di considerare una percentuale pari al 50% del consumo di acqua riportato in bolletta e/o sul contatore. Il valore così stimato sarà sicuramente poco accurato ma potrebbe essere una valida alternativa in caso non fosse possibile calcolarlo con le precedenti metodologie.

In accordo con le quattro metodologie sopra esposte e in considerazione della necessità di applicare la metodologia sviluppata anche in assenza di una DE, il parametro correttivo è stato definito considerando il V_w derivante dalla metodologia APE (punto 1) e convenzionale (punto 2). In particolare, a partire dal numero di giorni di effettiva presenza/utilizzo dell'immobile (g_{eff}) e del numero di fruitori (n_p), si sono determinati due V_w: uno APE (Equazione 10) e uno convenzionale (Equazione 11). Combinando i due volumi, si è definito il corrispettivo fattore correttivo (Equazione 12).

$$V_{W-APE} = n_p \cdot \frac{V_{W-APE}}{365} \cdot g_{eff} \qquad \textbf{Equazione 10}$$

$$V_{W-convenzionale} = n_p \cdot \frac{V_{W-convenzionale}}{365} \cdot g_{eff} \qquad \textbf{Equazione 11}$$

$$F_{V_w} = 1 + \frac{V_{W-APE} - V_{W-convenzioanle}}{V_{W-APE}} \qquad \textbf{Equazione 12}$$

Tabella 5. Consumo medio di acqua per usi sanitari per apparecchio [11, 12].

Apparecchio sanitario	*Consumo medio di acqua [l/giorno]*
Doccia	60
Lavabo	12
Bidet	10
Vasca da bagno	200
Lavello da cucina	20

Il parametro così definito permette di correggere l'errore legato ad un profilo di utilizzo dell'immobile significativamente diverso da quello APE (ad esempio un immobile di categoria E.1 abitato tutto l'anno) e in particolare di:

1. incrementare il fabbisogno energetico quando il volume convenzionale è inferiore di quello determinato con l'APE (consumo energetico derivante dal calcolo standard è maggiore);
2. diminuire il fabbisogno energetico quando il volume convenzionale è maggiore di quello determinato con l'APE (consumo energetico derivante dal calcolo standard è inferiore).

Si precisa che entrambi i coefficienti correttivi sono stati desunti a seguito di numerose valutazioni comparative preliminari e, come sarà descritto nei successivi parametri, permettono di correggere, in maniera più o meno accurata, l'errore restituito dall'applicazione della metodologia messa a punto in questa attività di ricerca che, come descritto nel precedente paragrafo, si basa sui risultati dell'APE.

2.3.2 Riscaldamento

In accordo con la relazione matematica trovata, uno dei parametri che maggiormente influenza il risultato è rappresentato dai Gradi Giorno della località. In particolare, per la definizione nonché per semplificare l'applicazione della metodologia stessa, si è sempre fatto riferimento al valore dei Gradi Giorno di ciascun comune italiano forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10]. Questi valori, sebbene siano ancora quelli ampiamente impiegati per definire la zona climatica del singolo comune, possono divergere significativamente da quelli reali.
Inoltre, è necessario osservare come il legame individuato tra l'asset rating e il tailored rating sia di tipo non lineare ma di tipo esponenziale; questo comporta che la dipendenza dai Gradi Giorno è di tipo inversa, ossia valori inferiori a quelli previsti dal D.P.R. 412/93 comporterebbero un indicatore normalizzato (IEN) più elevato, comportando un consumo finale più elevato (quindi poco corrispondente al vero) e viceversa.
Per il servizio di riscaldamento, quindi, è stato definito un coefficiente correttivo che tenesse conto di questo legame e che considerasse sia i Gradi Giorno previsti dal D.P.R. n. 412/93 [10] che quelli reali.
Esso è stato definito come segue:

$$F_{GG} = \frac{GG_{reali}}{GG_{DPR\ 412/93}} \qquad \textbf{Equazione 13}$$

Pertanto, in caso di Gradi Giorno reali inferiori a quelli del D.P.R. 412/93, e a parità di tutte le altre condizioni, l'equazione di correlazione restituirebbe un valore dell'indicatore normalizzato più elevato mentre il fattore moltiplicativo correttivo (F_{GG}) assumerebbe valori inferiori a 1, correggendo almeno in parte questa divergenza.
Altro fattore correttivo considerato è legato alla temperatura di set point impostata all'interno degli ambienti riscaldati. Infatti, in fase di sviluppo della metodologia di correlazione, si era convenzionalmente impostato il valore previsto da normativa, ossia 20°C per le tre categorie d'uso prevalenti (E.1, E.2 ed E.5). Tuttavia, come è stato riscontrato nei vari casi studio esaminati, il valore settato può anche differire dal valore assunto comportando di fatto una significativa variazione del consumo finale. Per tener conto di questo fattore, quindi, è stato definito un ulteriore fattore correttivo ($F_{H\text{-}set}$) che contempli i diversi valori di set point:

$$F_{H-set} = \frac{T_{set\ point-reale}}{T_{set\ point-convenzionale}} \qquad \textbf{Equazione 14}$$

Pertanto, in caso di temperatura di set point inferiore al valore convenzionale di normativa (20°C), il fattore correttivo assumerà valori inferiori a 1 e il contrario in caso di valori superiori a 20°C, permettendo in entrambi i casi, di scalare il risultato della metodologia di correlazione sviluppata con i canonici 20°C.

2.3.3 Raffrescamento

Il legame tra asset rating e tailored rating riscontrato per il servizio di raffrescamento è del tutto analogo a quello individuato per il riscaldamento. Anche in questo caso il parametro più influente è rappresentato dai Gradi Giorno Estivi (GGE) definiti nel presente lavoro esattamente come i Gradi Giorno invernali ma per il periodo estivo. A differenza di quelli invernali, però, non esistono i corrispondenti valori estivi convenzionali per i comuni italiani; pertanto, per la definizione delle equazioni di correlazione il valore assunto come di riferimento è stato quello ricalcolato per ciascun comune a partire dai dati climatici forniti dalla normativa UNI 10349 [3].

Anche per il servizio di raffrescamento, quindi, è stato definito un coefficiente correttivo che tenesse conto di questo legame e che considerasse sia i Gradi Giorno Estivi di riferimento (calcolati cioè dai dati climatici di normativa [3]) che quelli reali:

$$F_{GGe} = \frac{GGe_{reali}}{GGe_{UNI\ 10349}} \qquad \textbf{Equazione 15}$$

Pertanto, anche per il raffrescamento, in caso di GGE reali inferiori a quelli ricalcolati da dati climatici di normativa, e a parità di tutte le altre condizioni, l'equazione di correlazione restituirebbe un valore dell'indicatore normalizzato più elevato mentre il fattore moltiplicativo correttivo (F_{GGe}) assumerebbe valori inferiori a 1, correggendo almeno in parte questa divergenza.

Anche per il raffrescamento, inoltre, si è considerato un ulteriore fattore correttivo legato alla temperatura di set point impostata all'interno degli ambienti raffrescati. Anche in questo caso, in fase di viluppo della metodologia stessa, si era convenzionalmente impostato il valore previsto da normativa, ossia 26°C per le tre categorie d'uso analizzate. Tuttavia, come è stato riscontrato nei vari casi studio esaminati, il valore settato può anche significativamente differire dal valore assunto comportando di fatto una marcata variazione del consumo finale. Per tener conto di questo fattore, quindi, è stato definito un ulteriore fattore correttivo ($F_{C\text{-}set}$) che contempli i diversi valori di set point:

$$F_{C-set} = \frac{T_{set\ point-convenzionale}}{T_{set\ point-reale}} \qquad \textbf{Equazione 16}$$

Pertanto, in caso di temperatura di set point inferiore al valore convenzionale di normativa (26°C), il fattore correttivo assumerà valori maggiore a 1 e il contrario in caso di valori superiori a 26°C, permettendo in entrambi i casi, di scalare il risultato della metodologia di correlazione sviluppata con i canonici 26°C.

2.4 Applicazione della metodologia di correlazione sviluppata su reali casi studio

Il presente paragrafo è volto ad analizzare, partendo dalle principali caratteristiche termofisiche, i casi studio impiegati per validare la metodologia di calcolo sviluppata nell'ambito della presente attività di ricerca. L'obiettivo è quello di mettere a confronto i principali risultati energetici derivanti dall'applicazione di tre metodologie di analisi:

1. Attestato di Prestazione Energetica (APE): calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio attraverso l'approccio asset rating (standard) con restituzione degli indicatori energetici (rinnovabile, non rinnovabile e globale) e dei consumi per ciascun servizio energetico indagato;
2. Diagnosi Energetica (DE): procedura di analisi più realistica basata sull'approccio tailored (adattata all'utenza) che ha portato alla definizione dell'inventario energetico sulla base dei dati reali di consumo (bollette);
3. Metodologia di calcolo di correlazione asset-tailored rating sviluppata in questa attività di ricerca (MC_{APE-DE}): procedura di analisi energetica semplificata applicata con un diverso livello di dettaglio con lo scopo di effettuare una sua validazione nonché un confronto con i risultati restituiti rispettivamente dall'APE e dalla DE.

Ciascuna delle metodologie di analisi descritte richiede un livello quantitativo e qualitativo di dati ben differente; pertanto, per una maggiore chiarezza nell'esposizione, le analisi descrittive dei singoli casi studio saranno articolate come segue:

1. Inquadramento generale: in questa prima sezione si fornirà una descrizione del contesto in cui è inserito il caso studio esaminato. Esso sarà caratterizzato da valori standard (quali altitudine, zona climatica e Gradi Giorno forniti dal D.P.R. 412/1993 [10]), di normativa (come ad esempio i valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna e della radiazione solare globale forniti dalla UNI 10349 [3] richiesti per la redazione dell'APE), ma anche da dati reali (quali le condizioni climatiche relative agli anni a cui si riferiranno le DE a seconda della disponibilità delle stazioni meteo esistenti);
2. Caratterizzazione del sistema edificio-impianto: oltre alla destinazione d'uso (definita in accordo con il D.P.R. 412/1993 [10]), l'epoca di costruzione e la tipologia edilizia, si fornirà una caratterizzazione geometrica del caso studio in cui, anche mediante elaborati grafici, si evidenzieranno i diversi confini degli ambienti riscaldati. La caratterizzazione sarà completata con la definizione delle proprietà termiche di ciascun componente opaco e trasparente rilevato e dalla descrizione delle componenti impiantistiche (emissione, regolazione, distribuzione e generazione) a servizio dell'unità immobiliare;
3. Consumi energetici e definizione del profilo di occupazione reale: a valle dell'analisi delle bollette si definiranno i consumi reali associati a ciascun vettore energetico per ogni anno oggetto di analisi. Tali dati saranno combinati con i risultati derivanti dal questionario (si veda paragrafo 2.4.1), al fine di definire un profilo di occupazione reale dell'edificio. I consumi risultanti saranno i valori di riferimento sui quali si baserà il confronto delle diverse metodologie di calcolo;
4. Risultati dell'Attestato di Prestazione Energetici (APE): la prima valutazione energetica condotta è quella di tipo standard (asset rating) che, in accordo con la metodologia di calcolo vigente [4-9], deve essere effettuata impiegando dati climatici convenzionali (forniti cioè dalla UNI 10349 [3]), apporti interni calcolati come indicato dalla UNI TS 11300-1 [4] in funzione della categoria d'uso, e mantenendo il periodo di riscaldamento (correlato al periodo di accensione degli impianti) fornito sempre dalla stessa UNI TS 11300-1 [4] in funzione della zona climatica di appartenenza. A partire dalla caratterizzazione del sistema edificio-impianto (punto 2), mediante l'ausilio di un software certificato, è stato implementato un modello di simulazione del singolo caso studio da cui si sono ottenuti gli indicatori energetici e i consumi secondo il calcolo APE;
5. Risultati energetici (DE): la seconda analisi ha riguardato la redazione della DE per ogni caso studio che è stata condotta in conformità con le attuali normative tecniche [13, 14] e linee guida [15]. Al fine di soddisfarne i requisiti [13-15], sono stati raccolti i dati necessari per una "*completa*" definizione del sistema edificio impianto, nonché "*attendibili*" ai fini di una corretta definizione dell'inventario energetico. L'analisi degli stessi è stata condotta applicando una procedura standardizzata ("*tracciabile*") che sarà ampiamente discussa nei successivi paragrafi ("*verificabile*").

In virtù degli scopi prefissati nel presente lavoro, non saranno presi in considerazione scenari di interventi di efficientamento energetico dell'immobile ("*utilità*"), in quanto l'obiettivo è solo quello di verificare l'attendibilità della procedura sviluppata (MC_{APE-DE}); pertanto, le DE si concluderanno con l'inventario energetico, quindi con lo stato di fatto dell'edificio. Inoltre, per una analisi in conformità con l'approccio tailored della normativa vigente [4-9], si è fatto uso dello stesso software certificato adottato per la redazione dell'APE che ha permesso di facilitare il calcolo degli indicatori e dei consumi dei principali vettori energetici. Infine, contrariamente alla procedura suggerita nelle linee guida [15], è stata redatta una DE per ogni anno di cui sono disponili i consumi reali dell'immobile oggetto di analisi, con l'obiettivo di verificare l'attendibilità della metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}) al variare sia dei profili di utilizzo che delle condizioni al contorno;

6. Metodologia di calcolo di correlazione (MC_{APE-DE}): come descritto al capitolo 2.1, tale metodologia parte dai risultati dell'APE e restituisce valori in linea con un profilo di utilizzo di tipo tailored rispettivamente per i servizi di acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento. La procedura MC_{APE-DE} è stata testata e validata confrontandone i risultati energetici (in termini di indicatori EP_{nren}, EP_{ren}, EP_{tot}) con quelli ottenuti rispettivamente con l'APE e le DE, verificandone anche l'attendibilità al variare della qualità degli input (in termini di accuratezza e precisione del dato). Inoltre, la combinazione degli input che ha restituito una migliore approssimazione con i risultati delle DE, sono stati impiegati per un ulteriore confronto in termini sia di consumo dei principali vettori energetici che di spesa media annua.

Si tiene a precisare che oltre ai servizi energetici sopracitati (acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento), nelle unità immobiliari che si analizzeranno sono presenti anche consumi legati sia al servizio di illuminazione che all'utilizzo di apparecchiature domestiche; tuttavia, ai fini degli obiettivi della presente attività di ricerca, queste utenze non sono state analizzate nel dettaglio in quanto non sono considerate né nella procedura di analisi standard (APE) per gli immobili di categoria E.1 né con la metodologia di calcolo sviluppata (MC_{APE-DE}) nel corso del secondo anno di attività.
Ai fini dei confronti tra le tre metodologie di calcolo nonché dello studio dell'affidabilità della metodologia MC_{APE-DE} al variare della qualità delle informazioni acquisite, le analisi energetiche con la nuova metodologia sono state condotte variando la precisione nella stima dei parametri di input richiesti.
Per il servizio di acqua calda sanitaria, in riferimento all'Equazione 1 del paragrafo 2.1, nonché alla Tabella 2 contenente i valori del coefficiente angolare e dell'intercetta della medesima equazione, è stato possibile applicare la metodologia MC_{APE-DE} considerando la variazione dei seguenti parametri di input e combinandoli come mostrato in Tabella 6:

1. Dati climatici: sono state variate le condizioni climatiche facendo riferimento sia ai dati climatici di normativa (UNI 10349 [3]) che a quelli realmente monitorati negli anni oggetto di indagine. Questi ultimi sono stati moltiplicati per il coefficiente F_{Tm-ACS} per correggere l'errore legato all'assunzione fatta per la definizione delle equazioni di correlazione (si veda il par. 2.3.1);
2. Volume di acqua calda sanitaria (V_{W-acs}): questo rappresenta il parametro di input di maggior rilievo ma è anche quello di più difficile valutazione. In questo caso, la variazione dei risultati è stata ottenuta considerando i seguenti volumi medi giornalieri di V_{W-acs}:
    a. V_{W-APE}: è stato calcolato un volume medio giornaliero per persona secondo l'approccio asset rating (APE) ossia in funzione della superficie utile dell'immobile;
    b. $V_{W-Inventario\ Energetico}$: è stato assunto come valore il volume medio giornaliero derivante dall'inventario energetico (DE) stimato per lo specifico anno di analisi;
    c. $V_{W-convenzionale}$: è stato assunto un volume medio giornaliero per persona di tipo convenzionale, ossia calcolato assumendo delle portate d'acqua calda di tipo convenzionale [12] per gli apparecchi sanitari installati all'interno dell'immobile esaminato;
    d. $V_{W-bolletta}$: si è arbitrariamente fissata una percentuale pari al 50% al consumo di acqua risultante in bolletta a partire dal quale si è stimato consumo medio giornaliero.

Tabella 6. Combinazione dei parametri di input adottate per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Combinazione dei parametri di input	*Anno di riferimento 2019*		*Anno di riferimento 2020*	
	Volume d'acqua	*Dati climatici*	*Volume d'acqua*	*Dati climatici*
Vw-APE + T-UNI	$V_{W\text{-}APE}$	UNI 10349	$V_{W\text{-}APE}$	UNI 10349
Vw-APE + T-REALE	$V_{W\text{-}APE}$	Reali	$V_{W\text{-}APE}$	Reali
Vw-CONV + T-UNI	$V_{W\text{-convenzionale}}$	UNI 10349	$V_{W\text{-convenzionale}}$	UNI 10349
Vw-CONV + T-REALE	$V_{W\text{-convenzionale}}$	Reali	$V_{W\text{-convenzionale}}$	Reali
Vw-BOLL + T-UNI	$V_{W\text{-bolletta}}$	UNI 10349	$V_{W\text{-bolletta}}$	UNI 10349
Vw-BOLL + T-REALE	$V_{W\text{-bolletta}}$	Reali	$V_{W\text{-bolletta}}$	Reali
Vw-IEM + T-REALE	$V_{W\text{-Inventario Energetico-media}}$	Reali	$V_{W\text{-Inventario Energetico-media}}$	Reali

Per la climatizzazione invernale, invece, in base all'Equazione 5, nonché alla Tabella 3, contenente i valori dei coefficienti a cui è necessario fare riferimento nella medesima equazione, è stato possibile applicare la metodologia MC_{APE-DE} considerando la variazione dei seguenti parametri di input:

1. Dati climatici: sono state variate le condizioni climatiche esterne facendo riferimento ai Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10] e quelli ricalcolati a partire dai dati climatici monitorati negli anni oggetto di indagine. In questo ultimo caso è stato considerato l'orario medio giornaliero desunto a partire dai valori ottimali determinati mediante DE;
2. Orario di accensione dell'impianto medio giornaliero: questo è il parametro di input più importante in quanto quello più variabile e la cui stima è particolarmente articolata e non sempre possibile. Lo scopo di questa seconda variazione è quello di evidenziare come la metodologia di calcolo sviluppata (MC_{APE-DE}) possa essere applicata anche in assenza dei risultati di una DE.

Infine, in base all'Equazione 6 nonché alla Tabella 4, contenente i valori dei coefficienti a cui è necessario fare riferimento nella medesima equazione, anche per la climatizzazione estiva si è adottata a stessa variabilità dei parametri di input descritta per il servizio di riscaldamento. In questo caso, i Gradi Giorno Estivi sono stati calcolati, in via semplificativa, esattamente come i Gradi Giorno introdotti dal DPR 412/93 [10] sostituendo la temperatura interna di set-point di 20°C quella di 26°C. Questi sono stati determinati a partire sia dai dati climatici di normativa che reali.

2.4.1 Definizione del profilo di utilizzo: definizione del questionario

Uno degli aspetti focali per una corretta analisi energetica degli edifici è la raccolta dati. La qualità del dato, cioè il dettaglio con cui deve essere reperito, può variare significativamente con la metodologia di analisi adottata; in particolare, mentre per la redazione di un Attestato di Prestazione Energetica (APE) è richiesta una accurata caratterizzazione termofisica del sistema edificio-impianto, per la redazione di una Diagnosi Energetica (DE) è necessario carpire anche l'aspetto comportamentale dei fruitori che influenza in maniera determinante il consumo energetico finale.

Le criticità legate all'accuratezza di queste informazioni aggiuntive, come è facilmente intuibile, sono molteplici e variano per ciascun caso studio. Per questo, ai fini della presente attività, è stato elaborato un questionario univoco per tutti i casi studio con lo scopo di carpire e approssimare, il più possibile, il reale utilizzo dell'immobile analizzato. Nello specifico, il questionario permette di acquisire informazioni riguardo le seguenti variabili:

1. Uso cucina: nella quasi totalità delle abitazioni ad uso civile analizzate, questo servizio è coperto dallo stesso combustibile impiegato per il servizio di riscaldamento (generalmente metano). Per una corretta analisi energetica, è quindi necessario stimare più o meno accuratamente il consumo ad esso associato. Per questo sono state predisposte due tabelle: la prima (Tabella 7) relativa al tempo medio speso per cucinare in una "*giornata tipo*", la seconda (Tabella 8) attinente alla percentuale di pasti consumati nell'abitazione in una "*settimana tipo*". L'obiettivo è quello di approssimare un profilo comportamentale il più verosimile possibile in modo da stimarne il consumo per questo servizio. In alternativa a tale metodo, in accordo con i dati pubblicati da alcuni dei principali fornitori di energia, il consumo associato all'uso cucina può essere stimato in un 5% del consumo totale annuo di combustibile. Pertanto, in caso di non risposta alle due presenti tabelle, si adotterà convenzionalmente un consumo pari al 5%;
2. Profilo occupazionale dell'immobile: altro parametro determinante riguarda il profilo occupazionale definito dal numero di fruitori nonché il numero effettivo di giorni trascorsi all'interno dell'immobile. Entrambi i parametri, reperiti attraverso la Tabella 9, risultano determinanti per verificare un significativo scostamento dalla valutazione standard (APE);
3. Consumo di acqua per usi sanitari: in considerazione delle portate per singolo apparecchio sanitario (Tabella 5), è stata elaborata la Tabella 10 da far compilare a ciascun utente al fine di stimare un volume convenzionale di acqua calda per usi sanitari il più vicino possibile alle loro reali abitudini. Essa contiene informazioni relative al numero di apparecchiature sanitarie effettivamente istallate (reperite anche in fase di sopralluogo) nonché il loro utilizzo in termini percentuali in una "*giornata tipo*". Si precisa che, come sarà dettagliato nei successivi paragrafi, il valore convenzionale così stimato rappresenta un primo volume di acqua coerente con le abitudini dei fruitori; tuttavia, questo sarà oggetto di controllo e, se necessario, sarà variato in funzione degli effettivi consumi energetici registrati;
4. Profilo di utilizzo degli impianti: altro parametro di assoluta importanza è rappresentato dal tempo di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento. La valutazione di questo parametro, specialmente nei casi studio di civile abitazione con impianto autonomo, è un compito assai arduo variando significativamente in funzione delle abitudini dei fruitori ma anche delle condizioni climatiche esterne. Per questo motivo per una stima più plausibile con la realtà è stato richiesto agli utenti di indicare una o più delle casistiche riportate in Tabella 11. Pertanto, il calcolo ottimale del profilo di utilizzo degli impianti per ciascun caso studio è stato condotto effettuando sempre un'analisi energetica iterativa e comparativa con i consumi effettivi di bolletta. Questo approccio è risultato necessario a causa delle limitazioni sia dei programmi di calcolo che della metodologia di analisi adottata (valutazione medio mensile) prevista dalle norme vigenti [4-9] che non permettono di considerare una variazione del profilo di utilizzo negli intervalli di calcolo;
5. Consumi dei vettori energetici: ultimo parametro richiesto, fondamentale per la validazione della DE, è rappresentato dai consumi energetici riportati in bolletta. In questo caso è stata predisposta la Tabella 12 contenente i consumi registrati per ogni mese, o nei vari mesi, per tutti vettori energetici presenti (acqua, energia elettrica e metano o altro combustibile impiegato).

Tabella 7. Tempo medio speso a cucinare in una giornata tipo per tipologia di pasto.

Tipologia di pasto	*Tempo medio speso per cucinare [min]*											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
Colazione												
Pranzo												
Cena												

Tabella 8. Percentuale di pasti cucinati e consumati a casa in una "settimana tipo".

Tipologia di pasto	*Giorni della settimana "tipo"*						
	Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato	Domenica
Colazione							
Pranzo							
Cena							

Tabella 9. Numero di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile.

Mese dell'anno	*Numero di fruitori [-]*	*Numero di giorni di presenza [-]*	*Mese dell'anno*	*Numero di fruitori [-]*	*Numero di giorni di presenza [-]*
Gennaio			Luglio		
Febbraio			Agosto		
Marzo			Settembre		
Aprile			Ottobre		
Maggio			Novembre		
Giugno			Dicembre		

Tabella 10. Numero di apparecchiature sanitarie presenti e percentuale del loro utilizzo in una "*giornata tipo*".

Tipologia dell'apparecchio sanitario presente	*Numero di apparecchi sanitari [-]*	*Percentuale di utilizzo in una giornata "tipo" [%]*
Doccia		
Lavabo		
Bidet		
Vasca da bagno		
Lavello da cucina		
Totale		

Tabella 11. Numero di giorni e di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento.

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso		da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Tabella 12. Consumi di bolletta registrati per il singolo caso studio e per il singolo anno analizzato.

Mese dell'anno	*Consumo di acqua [m³/giorno o altra u.m.]*	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm³ o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio			
Febbraio			
Marzo			
Aprile			
Maggio			
Giugno			
Luglio			
Agosto			
Settembre			
Ottobre			
Novembre			
Dicembre			

In aggiunta alle informazioni riportate nelle tabelle appena descritte, sono state formulate alcune domande aggiuntive con l'obiettivo di definire un profilo di utilizzo più realistico possibile, specialmente nel caso di presenza di doppio impianto a copertura dello stesso servizio energetico (come, ad esempio, la presenza di un mono o dual split). Ogni domanda è stata predisposta con delle risposte multiple per facilitarne la comprensione e la risposta, come di seguito illustrato:

- qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.

18°C	18.5°C	19°C	19.5°C	20°C	20.5°C	21°C	21.5°C	22°C	altro
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	_____

- quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.

Sempre spento	0-2 ore	2-4 ore	4-6 ore	6-8 ore	8-10 ore	10-12 ore	12-14 ore	>14 ore	altro
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	_____

- rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?

SI	NO
☐	☐

- sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?

SI	NO
☐	☐

- rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale?

Sempre spento	0-2 ore	2-4 ore	4-6 ore	6-8 ore	8-10 ore	10-12 ore	12-14 ore	>14 ore	altro
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	_____

- puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore nell'arco di una "*giornata tipo*"?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale?

20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C	31°C	32°C	altro
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	_____

- quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento?

Sempre spento	0-2 ore	2-4 ore	4-6 ore	6-8 ore	8-10 ore	10-12 ore	12-14 ore	>14 ore	altro
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	_____

- qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.

16°C	17°C	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	altro
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	_____

- puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento nell'arco di una "*giornata tipo*"?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Ciascuna informazione acquisita mediante il presente questionario è stata accuratamente analizzata per una corretta analisi energetica del singolo caso studio. Nei paragrafi che seguono si riporteranno direttamente le analisi derivanti dal questionario, mentre per le risposte fornite dagli utenti si rimanda all'Appendice A.

2.4.2 Presentazione dei casi studio

Come anticipato, uno degli aspetti di notevole importanza ha riguardato la scelta oculata di casi studi che presentassero caratteristiche peculiari, non ridondanti, e di cui fosse possibile non solo una accurata caratterizzazione termofisica del sistema edificio-impianto ma anche una dettagliata conoscenza del profilo occupazionale e di utilizzo.

In quest'ottica, sono stati esaminati molteplici casi studio tra le quali si sono scelti quelli su cui effettuare le tre analisi energetiche (APE, DE e MC_{APE-DE}); le principali caratteristiche termofisiche (geometriche e impiantistiche), la destinazione d'uso, la località (indicata attraverso i Gradi Giorno di normativa [10]) il profilo occupazionale e la Classe Energetica (CE) di ciascun caso studio esaminato sono dettagliate in Tabella 13.

Tabella 13. Principali caratteristiche dei casi studio esaminati.

caso studio n.	*Profilo*			*GG*	*Caratterizzazione geometrica*				*Servizio Energetico e caratterizzazione impiantistica*							CE
									ACS			RIS				
	anno	NU	G		Su [m²]	Sd [m²]	S/V [1/m]	Liv-Iso	T*	V**	ST	T*	V**	RAFF	FV	
E.1 - 1	2019	1	55	2289	57	95	0.45	1	2	1	×	2	1	×	×	F
E.1 - 1	2020	1	195	2289	57	95	0.45	1	2	1	×	2	1	×	×	F
E.1 - 2	2019	2	342	2289	113	239	0.57	1	2	1	×	2	1	×	×	F
E.1 - 2	2020	2	341	2289	113	239	0.57	1	2	1	×	2	1	×	×	F
E.1 - 3	2019	1	359	2204	93	232	0.63	2	2	1	×	2	1	✓	×	C
E.1 - 3	2020	1	334	2204	93	232	0.63	2	2	1	×	2	1	✓	×	C
E.1 - 4	2019	3	343	1899	77	81	0.28	1	2	1	×	2	1	×	×	C
E.1 - 4	2020	4	355	1899	77	81	0.28	1	2	1	×	2	1	×	×	C
E.1 - 5	2019	1-2	346	2427	146	330	0.59	1	2	1	×	2	1	×	×	C
E.1 - 5	2020	1-2	366	2427	146	330	0.59	1	2	1	×	2	1	×	×	C
E.1 - 6	2019	2	358	1415	78	215	0.68	3	3	1	×	2-3	1	×	×	A2
E.1 - 6	2020	2	321	1415	78	215	0.68	3	3	1	×	2-3	1	×	×	A2
E.1 - 7	2019	2	322	1415	105	261	0.61	0	2	1	×	2	1	×	×	E
E.1 - 7	2020	2	335	1415	105	261	0.61	0	2	1	×	2	1	×	×	E
E.1 - 8	2020	1	366	2193	92	278	0.70	3	3	1	×	3	1	×	×	A1
E.1 - 9	2020	3	366	2193	92	272	0.70	3	3	1	✓	3	1	✓	✓	A2
E.1 - 10	2020	4	344	2192	105	147	0.37	3	4	2	×	4	2	×	✓	A4
E.1 - 11	2020	2	340	2192	105	290	0.59	3	4	2	×	4	2	×	✓	A4
E.2 - 1	2019	10	243	2289	170	634	0.95	2	1	2	×	4	2	✓	×	A2
E.2 - 1	2020	6	205	2289	170	634	0.95	2	1	2	×	4	2	✓	×	A2
E.2 - 2	2019	7	266	2427	154	267	0.45	0	1	2	×	3-4	1-2	✓	×	A1
E.2 - 2	2020	4	226	2427	154	267	0.45	0	1	2	×	3-4	1-2	✓	×	A1
E.2 - 3	2019	4	243	2427	82	269	0.81	1	2	1	×	2	1	✓	×	C
E.2 - 3	2020	3	199	2427	82	269	0.81	1	2	1	×	2	1	✓	×	C
E.2 - 4	-	-	-	2502	82	269	0.81	1	1	2	×	3	1	✓	×	D
E.2 - 5	-	-	-	1415	82	269	0.81	0	n.d.	n.d.	×	2	1	✓	×	F
E.2 - 6	-	-	-	1415	82	269	0.81	0	1	2	×	4	2	✓	×	C
E.2 - 7	-	-	-	2617	82	269	0.81	0	n.d.	n.d.	×	3	1	✓	×	B

**1 - boiler elettrico, 2- generatore di calore standard, 3 - generatore di calore a condensazione, 4 - pompa di calore/VRV/VRF*

***1 - metano, 2 - energia elettrica*

NU = numero di utenti, G = giorni di presenza/utilizzo dell'immobile, GG = Gradi Giorno (D.P.R. 412/93 [10]), Su = superficie utile, Sd = superficie disperdente, S/V = rapporto di forma, Liv-Iso = Livello di isolamento, T = tipologia impiantistica, V = vettore energetico principale, ST = solare termico, FV = fotovoltaico

Come si evince, ogni caso studio presenta caratteristiche molto peculiari e differenti tra loro per condizioni climatiche, profili occupazionali (in termini sia di numero di utenti che di giorni di utilizzo dell'immobile), caratterizzazione termofisica del sistema edificio-impianto (in termini di livello di isolamento e di tipologia impiantistica installata) nonché Classe Energetica.
Complessivamente sono stati esaminati 11 unità immobiliari di categoria E.1 e 7 di categoria E.2; di queste, le ultime quattro (E.2-4, E.2-5, E.2-6 e E.2-7) riguardano interi edifici che sono state già oggetto di diagnosi energetica in passato in conformità con [13, 14] e che sono state riprese solo per valutare l'efficacia della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ quando applicata su casistiche la cui accuratezza dei parametri di input è risultata molto variabile.
L'analisi dell'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ al variare della qualità dei parametri di input, nonché il confronto con le altre metodologie di calcolo permetterà di evidenziare eventuali criticità non solo della procedura sviluppata ma anche della valutazione asset.
In merito al servizio di acqua calda sanitaria di notevole interesse potrebbe essere l'analisi del caso studio n. 1 (E.1-1) il quale sebbene sia un'unità residenziale, è caratterizzato da un profilo occupazionale molto discontinuo e quindi molto divergente da quello generalmente adottato nel calcolo "*asset rating*". Anche il caso studio n. 4 (E.1-4) potrebbe fornire interessanti spunti di riflessione; infatti, pur avendo un profilo occupazionale più in linea rispetto il calcolo "*asset rating*", il numero di utenti è sensibilmente maggiore rispetto alle altre casistiche comportando, come sarà discusso nei successivi paragrafi, un consumo di acqua calda molto differente da quello stimato nel calcolo standard (APE). Discorso analogo potrebbe valere per il caso studio n. 5 (E.1-5) per il quale si è riscontrato un numero di utenti molto discontinuo comportando un consumo di acqua molto variabile mese per mese; com'è noto, questo tipo di variabilità non può in nessun modo essere simulata dall'approccio standard.
Altri spunti di riflessione interessanti potrebbero essere forniti dai casi studio caratterizzati da una configurazione impiantistica diversa dal generatore di calore standard, quali ad esempio il n. 6, 8, 9, 10 e 11; in particolare, gli ultimi casi studio investigati di categoria E.1 (il n. 9, 10 e 11) permetteranno di analizzare e testare la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ prendendo in esame configurazioni impiantistiche univoche caratterizzate da un impianto solare termico e fotovoltaico ad integrazione del generatore di calore a condensazione (caso studio n. 9 – E.1-9) o da un sistema a pompa di calore integrato con impianto fotovoltaico (casi studio n. 10 e 11 – E.1-10, E.1-11).
In merito al servizio di riscaldamento, come sarà ampiamente argomentato nei successivi paragrafi, ciascun caso studio è caratterizzato da un profilo di utilizzo molto differente con orari di accensione molto variabili nonché temperature di set-point anche divergenti dal valore di normativa; ad esempio, il caso studio n. 7 (E.1-7) è caratterizzato da una temperatura interna di 23°C con un orario di accensione dell'impianto maggiore di quello di normativa (pari a 12 ore/giorno per la zona climatica D) mentre il caso studio n. 1 (E.1-1) è caratterizzato da una temperatura interna di 18°C con un orario di accensione medio giornaliero dell'impianto prossimo a 1 ora/giorno, quindi molto distante dall'orario massimo previsto dal D.P.R. 412/93 [10] per la zona climatica E (pari a 14 ore/giorno).
Tra i casi studio esaminati del settore non residenziale, di notevole interesse potrebbe essere il caso n. 14 (E.2-2), il quale è stato caratterizzato da una configurazione impiantistica variabile nel corso degli anni; in particolare, a fine 2019 è stato realizzato un impianto a radiatori alimentato da un generatore a condensazione ad integrazione dell'impianto esistente a pompa di calore funzionante con terminali ad espansione diretta. Questo ha comportato una notevole differenza di consumo tra il 2019 e il 2020 che è stato possibile cogliere solo mediante DE ma non attraverso l'APE; pertanto, sarà rilevante capire se la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ permetterà di approssimare anche questo tipo di variazione.
Infine, è stato possibile analizzare il servizio di raffrescamento solo ed esclusivamente per gli immobili di categoria E.2 non essendo installato, ad eccezione del solo caso studio n. 3 (E.1-3), un impianto per la climatizzazione estiva nei casi studio ad uso abitativo, confermando quanto emerso durante la prima annualità di ricerca [2] ossia la poca diffusione di tale servizio negli edifici ad uso residenziale.

2.4.3 Caso Studio n. 1 – E.1-1

Il primo caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano primo di una piccola palazzina costruita nel 1996 nel comune di Perugia (PG), capoluogo della regione Umbria, contraddistinto dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 14. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi agli ultimi due anni e, in particolare, del 2019 e del 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questi due anni di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 15 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come i valori di temperatura medi annuali registrati nel 2019 (16.2 °C) e nel 2020 (15.8 °C) siano superiori a quello fornito dalla UNI 10349 (12.6 °C) di circa 3-4°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 14. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Perugia
	Altitudine [10]	493 m s.l.m.
	Latitudine	43° 6'
	Longitudine	12° 23'
Climatico invernale ed estivo	Gradi Giorno [10]	2289
	Zona climatica [10]	E
	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	2.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	28.6
	Temperatura di bulbo umido [°C]	18.8
	Escursione termica giornaliera [°C]	10.0
	Umidità relativa [%]	40.0

Tabella 15. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*			*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²]*[1, A e B]
	Normativa [1,A]	*2019* [2,B]	*2020* [2,B]	
Gennaio	3.7	5.0	7.8	4.8
Febbraio	4.9	9.1	10.1	10.1
Marzo	7.7	11.7	10.2	11.6
Aprile	11.3	14.0	14.3	18.1
Maggio	16.7	14.7	18.7	21.5
Giugno	19.5	25.3	21.2	21.8
Luglio	23.5	26.4	25.4	25.0
Agosto	23.6	26.9	26.4	23.5
Settembre	17.1	21.6	21.5	16.3
Ottobre	12.6	17.8	14.5	11.4
Novembre	8.1	12.6	11.7	5.9
Dicembre	2.9	8.9	7.5	5.1
Media annua	12.6	16.2	15.8	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "stazione Perugia Fontivegge" - coordinate geografiche 43.1058333 e 12.3761111, quota 345 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.3.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 16) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 3).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, il caso studio è caratterizzato da tre tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno, una seconda tipologia (M2) divide l'ambiente riscaldato dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.89, e una terza (M3) di separazione tra due zone riscaldate. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata da un'altra unità immobiliare (zona sempre riscaldata), mentre il solaio superiore separa l'ambiente sia da una unità abitativa (solaio indicato con S_s1) che dall'esterno (solaio indicato con S_s2).

Tabella 16. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	1996	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	3	[-]
Piano del caso studio	Primo	[-]
Altezza media vani	2.70	[m^2]
Superficie utile climatizzata	56.98	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	69.79	[m^2]
Volume netto climatizzato	153.75	[m^3]
Volume lordo climatizzato	209.30	[m^3]
Superficie disperdente	94.69	[m^2]
Rapporto S/V	0.45	[m^{-1}]

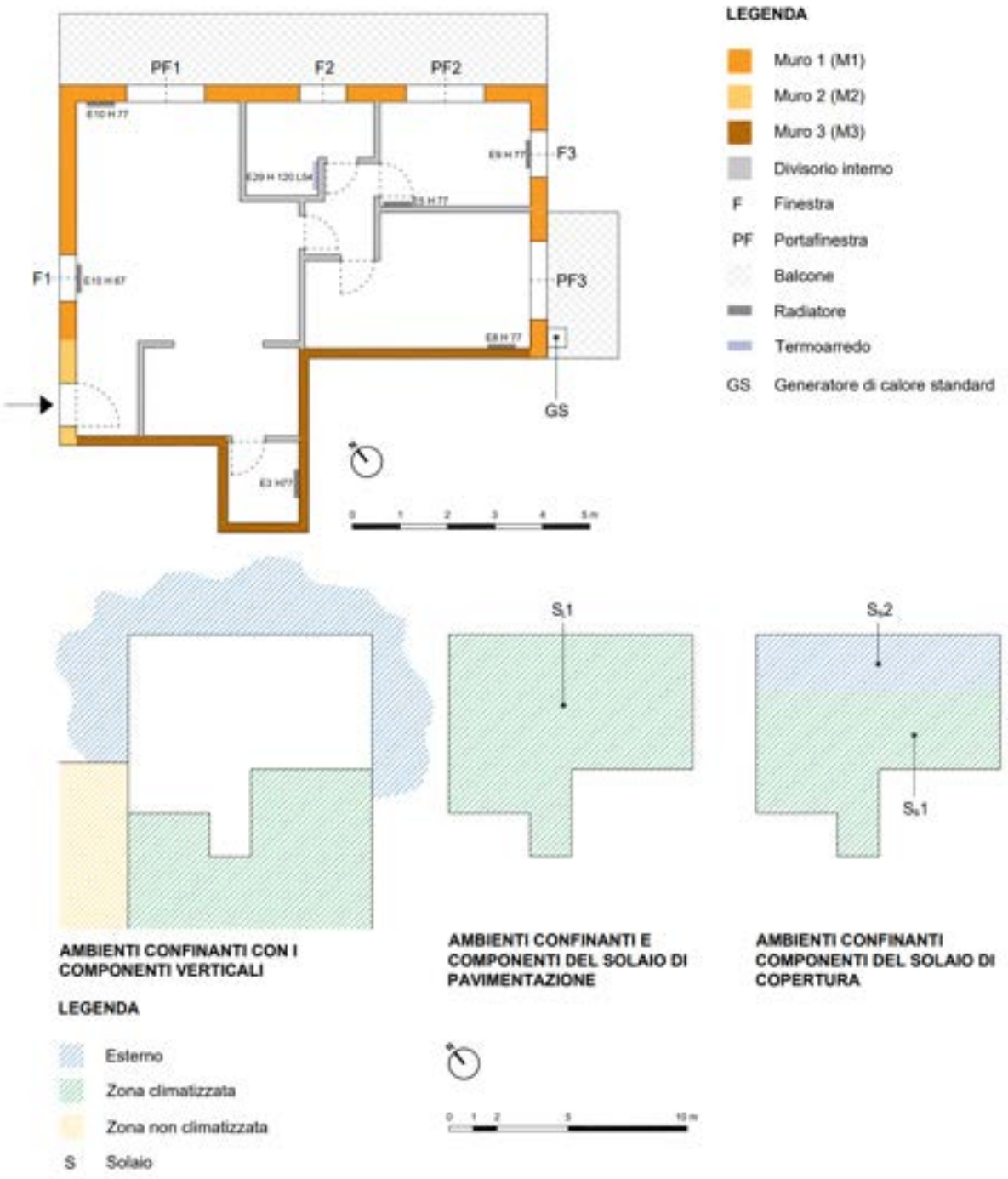


Figura 3. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (struttura con travi e pilastri) con tamponature esterne realizzate con blocchi di laterizio rifinite esternamente con intonaco, mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 18 + 5 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 17 a Tabella 24 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza.

Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.

Tabella 17. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	15	0.700	0.021
2	Mattone forato	80	0.400	0.200
3	Polistirene espanso in lastre	30	0.039	0.769
4	Blocco forato	200	0.328	0.610
5	Intonaco di calce	15	0.900	0.017
Esterno		-	-	0.040
Totale		340	-	1.787
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.560	

Tabella 18. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	15	0.700	0.021
2	Polistirene espanso in lastre	30	0.039	0.769
3	Blocco forato	200	0.328	0.610
4	Intonaco di calce	15	0.900	0.017
Esterno		-	-	0.040
Totale		260	-	1.677
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.596	

Tabella 19. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Cartongesso	13	0.211	0.062
2	Intercapedine d'aria	300	1.6667	0.180
3	Blocco forato	200	0.328	0.610
4	Intonaco di calce	15	0.9	0.017
Esterno		-	-	0.040
Totale		528	-	1.038
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.963	

Tabella 20. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	15	0.700	0.021
2	Mattone forato	80	0.400	0.200
3	Polistirene espanso in lastre	30	0.039	0.769
4	Blocco forato	200	0.328	0.610
5	Intonaco di calce	15	0.900	0.017
Vano scala		-	-	0.130
Totale		340	-	1.877
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.533	

Tabella 21. Stratigrafia della parete M3: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	200	0.328	0.610
3	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.130
Totale		220	-	0.898
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.113	

Tabella 22. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso un'altra unità abitativa.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Parquet	10	0.120	0.083
2	Massetto in calcestruzzo alleggerito	50	0.580	0.086
3	Soletta in laterizio	180	0.500	0.360
4	Intonaco di calce e gesso	15	0.700	0.021
Zona riscaldata		-	-	0.170
Totale		260	-	0.890
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.122	

Tabella 23. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s1 confinante verso un'altra unità abitativa.

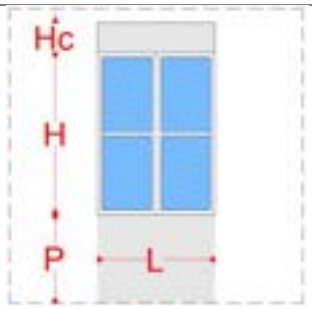
Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.100
1	Parquet	10	0.120	0.083
2	Massetto in calcestruzzo alleggerito	50	0.580	0.086
3	Soletta in laterizio	180	0.500	0.360
4	Intonaco di calce e gesso	15	0.700	0.021
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		260	-	0.750
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.332	

Tabella 24. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Esterno		-	-	0.100
1	Pavimentazione in ceramica	15	1.300	0.012
2	Massetto in calcestruzzo alleggerito	50	0.580	0.086
3	Soletta in laterizio	180	0.500	0.360
4	Intonaco di calce e gesso	15	0.700	0.021
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		260	-	0.619
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.615	

In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 25) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 26) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 25. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		Dimensioni geometriche [m]				Area [m^2]		Trasmittanza termica [W/m^2K]
		L	H	P	Hc	Totale	Vetro	
	PF01	1.69	2.19	0.00	0.35	3.70	2.43	2.694
	F01	0.98	1.19	1.00	0.35	1.17	0.54	2.546
	PF02	1.69	2.19	0.00	0.35	3.70	2.43	2.694
	F02	0.98	1.19	1.00	0.35	1.17	0.54	2.546
	PF03	1.69	2.19	0.00	0.35	3.70	2.43	2.694
	F03	0.98	1.19	1.00	0.35	1.17	0.54	2.546

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 26. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	Trasmittanza termica lineica [W/mK]
W – parete – telaio	0.295
B – parete – balcone	0.277
IF – parete – solaio di interpiano	0.365
C – angolo tra pareti	0.057
R – Parete – copertura	0.085

Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di un generatore di calore di tipo standard, installato come evidenziato in Figura 3 che permette di soddisfare i servizi energetici di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Per il riscaldamento dell'ambiente, il calore viene immesso ad alta temperatura (80°C) attraverso dei radiatori in alluminio e regolato mediante cronotermostato di zona.
Le caratteristiche tecniche del generatore di calore sono riassunte in Tabella 27, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 28.

Tabella 27. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	Pigma system 25 FF
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Esterno
Potenza nominale – P_n [kW]	25.8
Potenza minima – P_{min} [kW]	11.0
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	0.214
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	0.152
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	0.024
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	91.9
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	91.2
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	7.0
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	0.4
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	1.1
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\text{-}min}$ [%]	15.0

Tabella 28. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	×
Generatore di calore		Standard	Standard	n.d.
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	n.d.
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	n.d.
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	n.d.
	Tubazioni	Incassate nel pavimento	Incassate nel pavimento	n.d.
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	n.d.
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in alluminio + termoarredo	n.d.
	T esercizio	38 °C [4]	80 °C	n.d.
	ΔT	-	20 °C	n.d.
	Valvole	-	Assenti	n.d.
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona	n.d.
	Caratteristiche	-	On-off	n.d.

2.4.3.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative agli anni 2019 e il 2020, sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dall'utente) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato abitato da un'unica persona che, per motivi prevalentemente di lavoro, lo ha occupato per un totale di 55 giorni nel 2019 e di 195 giorni nel 2020. Il caso studio selezionato, quindi, risulta di notevole interesse anche per il profilo occupazionale individuato in quanto completamente divergente rispetto quello standard previsto nella valutazione asset (APE); pertanto, è lecito attendersi una impostante scostamento tra l'APE e le due DE.

I consumi di acqua, metano ed energia elettrica acquisiti per i due anni analizzati, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza dell'utente, sono riassunti in Tabella 29.

Risulta rilevante osservare come tra il 2019 e il 2020 i consumi elettrici siano aumentati del 37%, quelli di metano del 62%, mentre quelli di acqua risultano triplicati (passando da poco meno di 10 m^3 a oltre 31 m^3).

Tabella 29. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020).

Mese	*Anno 2019*				*Anno 2020*			
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m^3]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm^3]*	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m^3]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm^3]*
Gennaio	16	2673	35	45	12	2012	39	22
Febbraio	6	1002	23	3	9	1509	30	14
Marzo	7	1169	49	9	2	335	28	4
Aprile	0	0	33	0	0	0	28	0
Maggio	6	1002	29	1	22	3689	29	5
Giugno	0	0	36	0	30	5030	89	3
Luglio	0	0	45	0	27	4277	81	2
Agosto	0	0	50	0	26	4118	50	2
Settembre	5	1026	35	1	16	2534	35	2
Ottobre	0	0	32	0	8	1267	62	3
Novembre	7	1436	29	6	18	2851	60	26
Dicembre	8	1641	47	27	25	3960	78	66
Totale	55	9950	443	92	195	31583	609	149

2.4.3.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 4 e Tabella 30) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica F con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 181.47 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 960 Nm^3/anno e di poco più 150 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 29), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

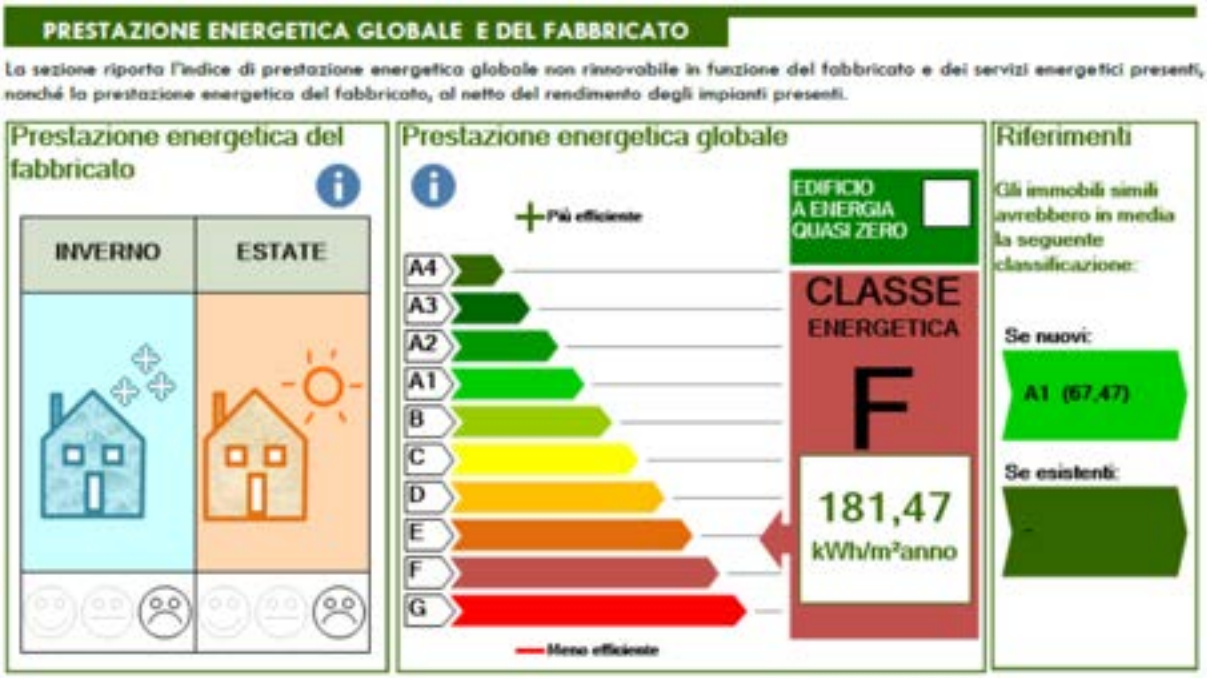


Figura 4. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 30. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m^2]*			*Metano [Nm^3/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	8946	62	9008	157.00	1.09	158.09	832.5	131.9
Acqua Calda Sanitaria	1394	9	1403	24.46	0.16	24.62	130.0	19.1
Raffrescamento	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
Illuminazione	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
Globale	10340	71	10411	181.47	1.25	182.71	962.5	151.1

2.4.3.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre due DE, la prima relativa all'anno 2019 mentre la seconda al 2020. Come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 15, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.3.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di metano destinati all'uso cucina;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.3.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina

L'analisi del questionario ha permesso di stimare il tempo medio speso per cucinare e la percentuale dei pasti consumati a casa all'interno di un "*mese tipo*" composto da quattro "*settimane tipo*". Combinando queste informazioni, si sono stimate le ore medie giornaliere spese per cucinare, pari a 0.08 h/giorno nel 2019 e a 0.33 h/giorno nel 2020. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice A dove, in aggiunta alle informazioni fornite dal fruitore, è riportato anche il calcolo della percentuale media settimanale dei pasti consumati in una "*settimana tipo*" e il tempo medio speso per cucinare associato per ciascuna tipologia di pasto.
Assumendo quindi un consumo di metano medio dei fornelli di 0.10 m^3/h (valore assunto come plausibile in funzione delle abitudini del fruitore) e in considerazione degli effettivi giorni di presenza dichiarati, si è stimato un consumo destinato alla sola cottura dei cibi pari a 0.44 Sm^3/anno (pari a 0.42 Nm^3/anno) nel 2019 (Tabella 31) e a 6.44 Sm^3/anno (pari a 6.09 Nm^3/anno) nel 2020 (Tabella 32), corrispondenti rispettivamente allo 0.48% e il 4.32% del consumo totale di metano registrato.

Tabella 31. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm^3]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm^3]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	16	1.29	0.13	45	0.29
Febbraio	6	0.48	0.05	3	1.61
Marzo	7	0.56	0.06	9	0.63
Aprile	0	0.00	0.00	0	-
Maggio	6	0.48	0.05	1	4.82
Giugno	0	0.00	0.00	0	-
Luglio	0	0.00	0.00	0	-
Agosto	0	0.00	0.00	0	-
Settembre	5	0.40	0.04	1	4.02
Ottobre	0	0.00	0.00	0	-
Novembre	7	0.56	0.06	6	0.94
Dicembre	8	0.64	0.06	27	0.24
Totale	55	4.42	0.44	92	0.48

Tabella 32. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm³]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm³]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	12	3.96	0.40	22	1.80
Febbraio	9	2.97	0.30	14	2.12
Marzo	2	0.66	0.07	4	1.65
Aprile	0	0.00	0.00	0	-
Maggio	22	7.27	0.73	5	14.54
Giugno	30	9.91	0.99	3	33.04
Luglio	27	8.92	0.89	2	44.60
Agosto	26	8.59	0.86	2	42.95
Settembre	16	5.29	0.53	2	26.43
Ottobre	8	2.64	0.26	3	8.81
Novembre	18	5.95	0.59	26	2.29
Dicembre	25	8.26	0.83	66	1.25
Totale	195	64.42	6.44	149	4.32

2.4.3.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dall'utente mediante questionario (Tabella 33), da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari ($V_{W\text{-}acs}$) di 102 l/giorno per persona; questo valore è stato mantenuto uguale per entrambi gli anni analizzati.
A partire dal fabbisogno stimato si è proceduto con un duplice controllo:

1. Il valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato mensilmente non deve essere maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette;
2. Il consumo di metano calcolato a partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato non deve superare quello dichiarato in bolletta depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina.

Il primo controllo è anche quello più facilmente verificabile e ha restituito esito positivo per entrambi gli anni esaminati (Figura 5).
Ai fini del secondo controllo, invece, è stata fatta la seguente assunzione: il combustibile riportato in bolletta da maggio a settembre è destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria e cottura dei cibi. Questa ipotesi trova riscontro sia con le abitudini dell'occupante sia con il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento previsto da normativa per la zona climatica E. A partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato, in accordo con la metodologia prevista dalla UNI TS 11300-2 [5], è stato calcolato il relativo consumo di metano che è stato messo a confronto con il valore dichiarato in bolletta congiuntamente con il consumo stimato per l'uso cucina (Figura 6).

Tabella 33. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*	*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato [l/giorno·persona]*
Doccia	1	100	60	60
Lavabo	2	50	12	12
Bidet	1	100	10	10
Vasca da bagno	1	0	200	0
Lavello da cucina	1	100	20	20
Totale	6	-	-	102

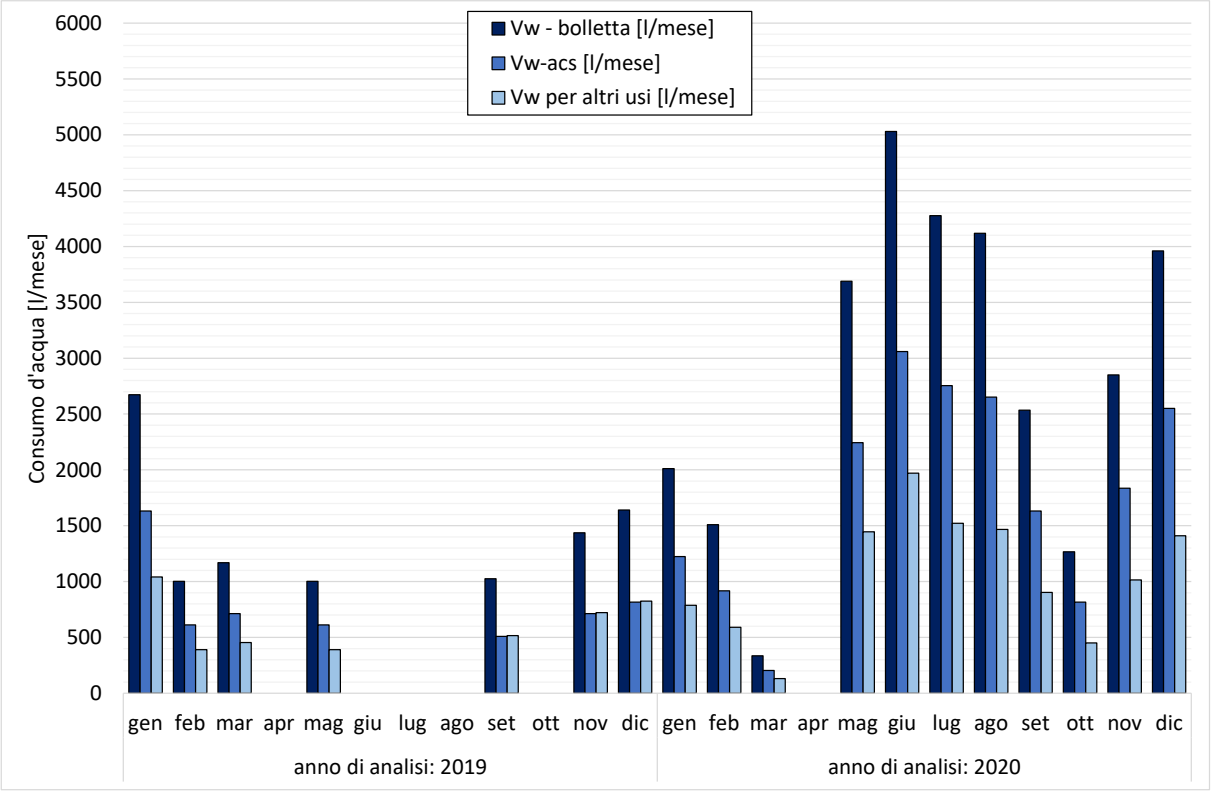


Figura 5. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

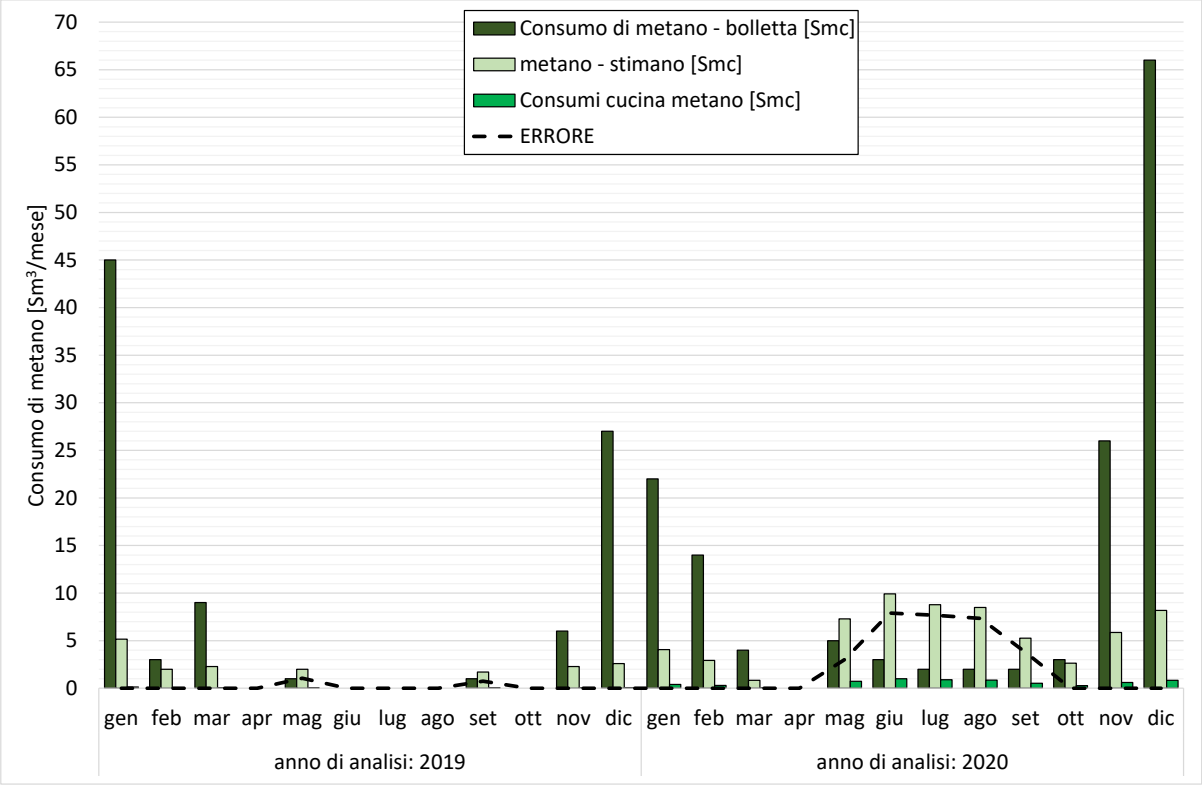


Figura 6. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$.

Il risultato evidenzia come il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato con l'approccio standard non possa essere mantenuto costante in ogni mese dell'anno, in quanto si evidenzia un importante scostamento (linea tratteggiata in nero) specialmente nei mesi intermedi del 2020. Questa discrepanza è dovuta al fatto che durante i mesi più caldi, a parità di volume d'acqua consumato, la richiesta di acqua calda è in realtà più contenuta.
In virtù del risultato ottenuto, per i soli mesi in cui si è determinato un consumo di metano superiore a quello di bolletta (quelli per cui il secondo controllo non è soddisfatto), si è deciso di stimare il volume di acqua calda sanitaria a partire dall'effettivo consumo dichiarato (depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina). Il risultato è riportato in Figura 7, in cui si mostra un duplice confronto tra:

1. Il metano riportato in bolletta depurato del consumo stimato per l'uso cucina e il metano consumato per il servizio di acqua calda sanitaria associato in funzione dell'effettivo volume d'acqua calda consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di sinistra);
2. Il volume d'acqua totale riportato in bolletta e il volume d'acqua calda effettivamente consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di destra).

In accordo con i risultati ottenuti, si evince che circa il 50% del consumo di acqua di bolletta del 2019 è stato destinato ai soli usi sanitari, mentre la medesima percentuale si è attestata al 33% nel 2020.
Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dall'utente; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$, il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata ($MC_{APE\text{-}DE}$) è richiesto il valore giornaliero medio annuale. Entrambi i valori sono dettagliati in Tabella 34 messi a confronto con il valore giornaliero medio mensile stimato applicando il calcolo standard (APE). Risulta importante evidenziare come il valore stimato con l'approccio APE sia quasi 7 volte il valore individuato per il 2019 e quasi 3 volte quello del 2020. In accordo con il risultato atteso, quindi, per il servizio di acqua calda sanitaria è lecito attendersi una netta divergenza dei consumi determinati mediante APE e DE.

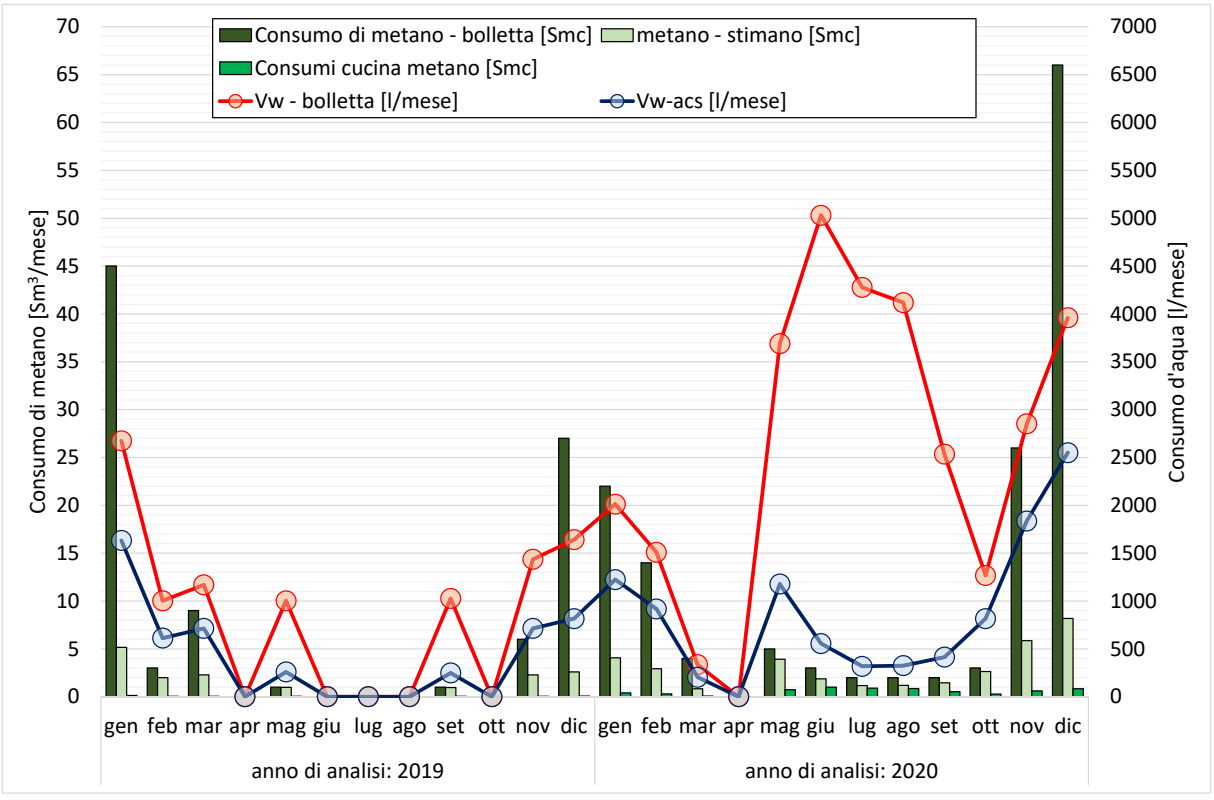


Figura 7. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria.

Tabella 34. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2019*		*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	1632	52.6	1224	39.5	97.5
Febbraio	612	21.9	918	31.7	97.5
Marzo	714	23.0	204	6.6	97.5
Aprile	0	0.0	0	0.0	97.5
Maggio	258	8.3	1195	38.6	97.5
Giugno	0	0.0	564	18.8	97.5
Luglio	0	0.0	322	10.4	97.5
Agosto	0	0.0	329	10.6	97.5
Settembre	249	8.3	420	14.0	97.5
Ottobre	0	0.0	816	26.3	97.5
Novembre	714	23.8	1836	61.2	97.5
Dicembre	816	26.3	2550	82.3	97.5
Media	*416*	*13.7*	*865*	*30.9*	*97.5*

2.4.3.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dall'utente mediante il questionario; in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta.
L'analisi ha permesso di definire quindi le configurazioni di funzionamento dell'impianto di riscaldamento medio giornaliero ottimale, ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi:

- anno di analisi 2019: 2 giorni a settimana per 3 ore/giorno;
- anno di analisi 2020: 3 giorni a settimana per 2-3 ore/giorno.

È stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 35); il servizio più energivoro è risultato il riscaldamento con poco più dell'83% del metano consumato nel 2019 e il 71% nel 2020, mentre l'incidenza sul consumo dello stesso vettore energetico dovuto al servizio di produzione di acqua calda sanitaria è cresciuto nel 2020 passando dal 16.0%, registrato nel 2019, al 24.1%. Relativamente al vettore energia elettrica si è stimato che il servizio più energivoro sia costituito dall'illuminazione e dall'uso di elettrodomestici, per i quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni.
Il risultato conseguito mediante anche il software di simulazione può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di metano calcolato con quello reale, si ottiene una discrepanza pari a -3.3% per l'anno 2019 e -1.7% per il 2020 (Tabella 35). Questa difformità può essere considerata come un errore accettabile essendo inferiore al ±5% [15].
Infine, in Tabella 36 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo dei vettori energetici) derivanti dalle DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ che con l'approccio APE.

Tabella 35. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Metano [Nm³]	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Nm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
*Cottura dei cibi**	0.4	0.0	6.1	0.0
Riscaldamento	75.1	10.6	103.0	17.0
Produzione di acqua calda sanitaria	14.5	2.1	34.5	6.4
Raffrescamento	-	0.0	-	0.0
*Illuminazione ed Elettrodomestici***	-	430.2	-	585.6
Totale	90.1	443.0	143.6	609.0
Bollette	87.2	443.0	141.2	609.0
scostamento	-3.3%	0.0%	-1.7%	0.0%

** valore stimato e non restituito dal software di calcolo*
*** valore attributo come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 36. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2019	Riscaldamento	805	5	810	14.1	0.1	14.2	75.1	10.6
	Acqua Calda Sanitaria	156	1	157	2.7	0.0	2.8	14.5	2.1
	Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	961	6	967	16.9	0.1	17.0	89.7	12.8
2020	Riscaldamento	1108	8	1116	19.4	0.1	19.6	103.0	17.0
	Acqua Calda Sanitaria	373	3	376	6.5	0.1	6.6	34.5	6.4
	Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	1481	11	1492	26.0	0.2	26.2	137.5	23.4

2.4.3.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.3.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 37, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 8 (anno 2019) e in Figura 9 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: nel 2019 non si evidenzia una significativa differenza tra le tre combinazioni, al contrario nel 2020 i risultati più accurati si ottengono impiegando per il volume d'acqua un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI") o adottando il valore pari al 50% del consumo di bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI. Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wtot}) compresa tra il +4% al +66% (Figura 10);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wtot} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari al -7% nel 2020 e 0% nel 2019 (Figura 10).

Tabella 37. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	2020	
Tipologia di generatore		Generatore standard		[-]
Vettore energetico		Metano		[-]
Superficie utile dell'immobile		56.98		[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		12.63		[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		16.17	15.78	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	14.7	52.1	[litri/giorno]
	Convenzionale	15.4	54.5	[litri/giorno]
	Bolletta	27.3	86.5	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	14.3	33.7	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.720	0.751	[-]
	F_{Vw}	0.953	0.953	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	24.5		[kWh/m²]
	EP_{Wren}	0.2		[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	24.6		[kWh/m²]
	Energia elettrica	19.1		[kWh]
	Metano	130.0		[Nm³]

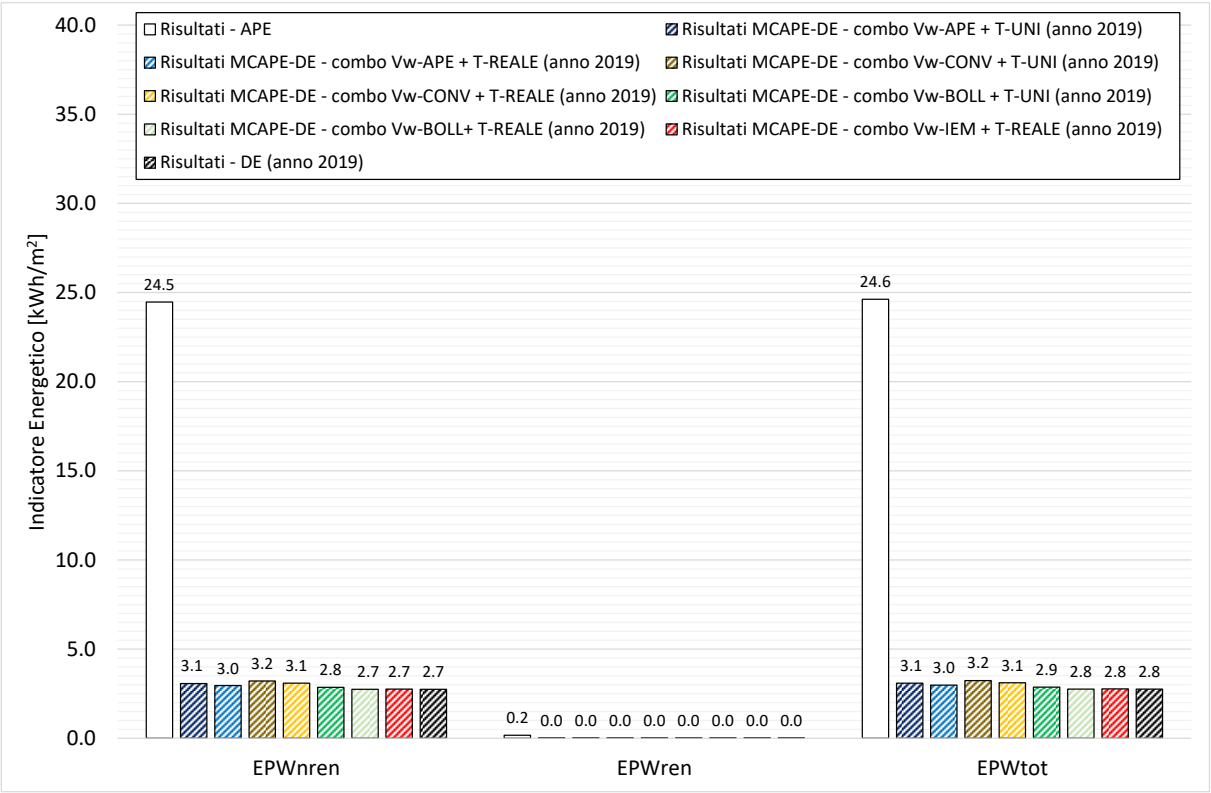


Figura 8. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

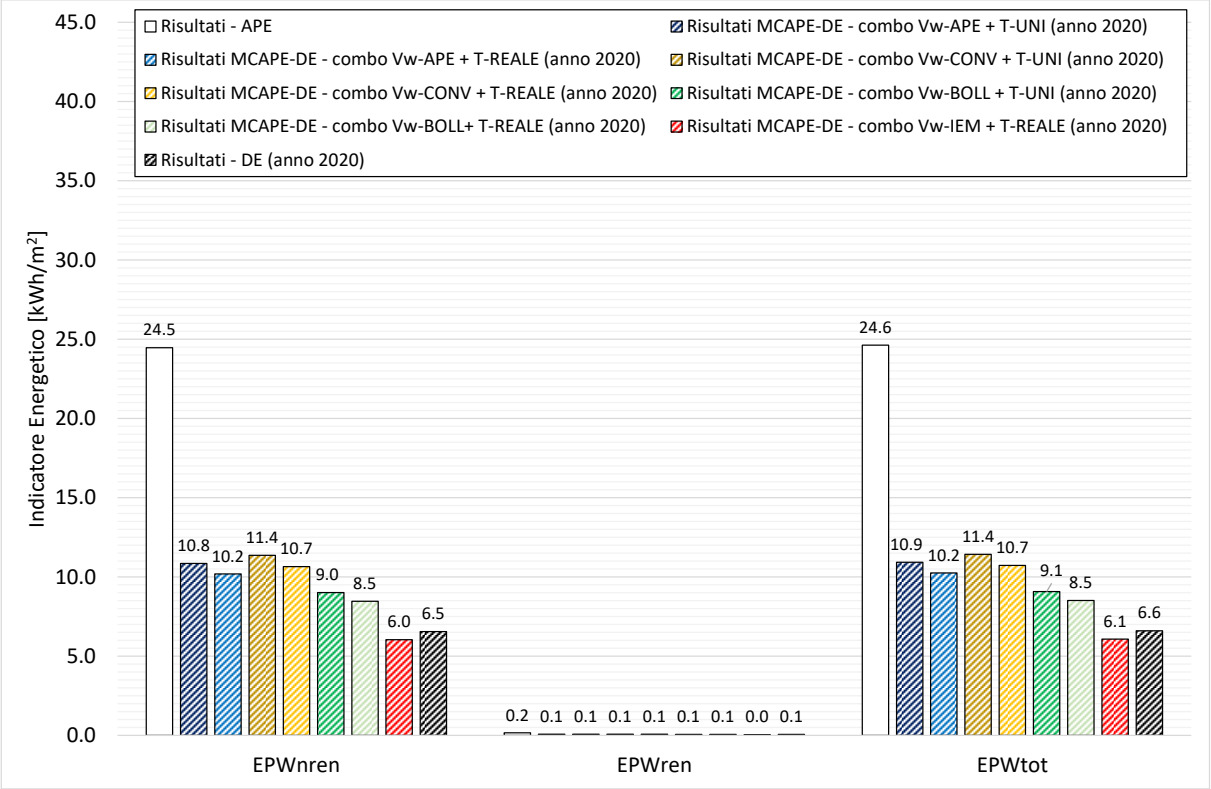


Figura 9. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

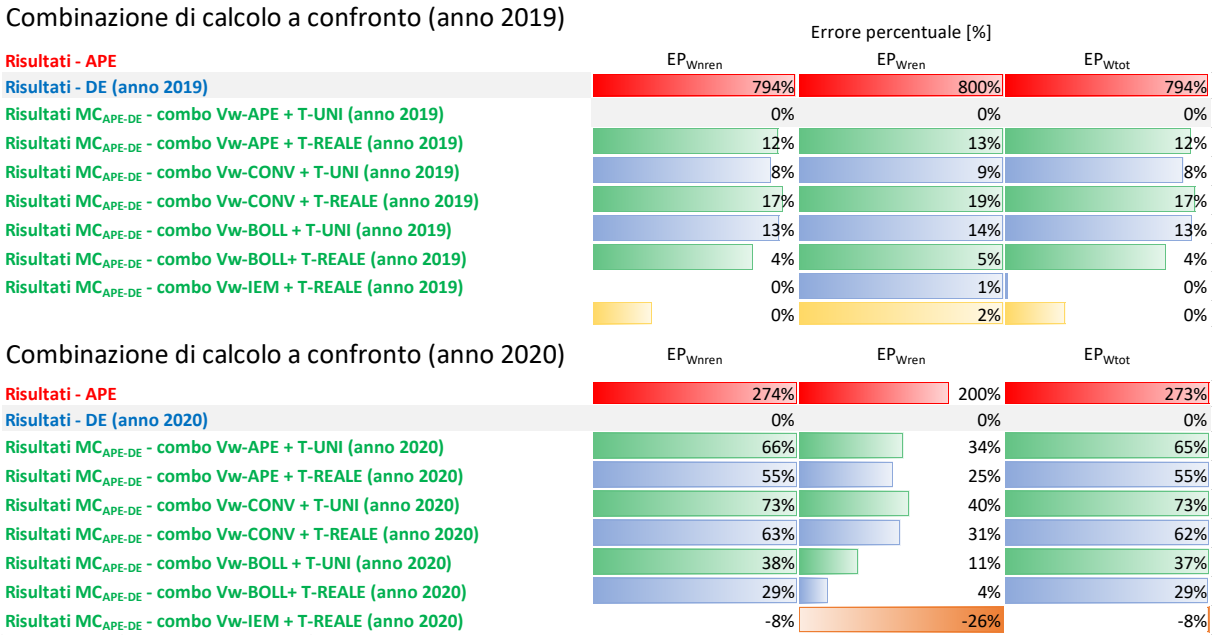


Figura 10. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. Al contrario, il calcolo APE tende a sovrastimare nettamente i risultati della DE con divergenze che variano da un minimo di 273% (indicatore EP_{Wtot} del 2020) ad un massimo del 794% (indicatore EP_{Wtot} del 2019).

La divergenza maggiore è stata riscontrata per l'indicatore rinnovabile (EP_{Wren}) con tutte le metodologie di calcolo; questa è principalmente dovuta ai piccolissimi valori assunti dall'indicatore stesso (valori della DE inferiori a 0.0 kWh/m^2). Tuttavia, come evidenziato in Tabella 38, l'errore assoluto tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±0.50 kWh/m^2 e, nello specifico, dell'ordine di ±0.01 kWh/m^2 per l'indicatore EP_{Wren}.

In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE", sebbene la stessa restituisca un valore leggermente sottostimato nel 2020. In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, tutte e tre le metodologie alternative sembrano restituire un risultato più aderente ai reali consumi energetici; si tiene a precisare, comunque, che qualsiasi valutazione conclusiva sulla combinazione di calcolo più idonea da adottare dovrà tener presente anche della peculiarità del caso studio indagato. Infatti, come più volte riportato, esso è caratterizzato da profili occupazionali molto specifici che hanno determinato un consumo molto basso di entrambi i vettori energetici.

Tabella 38. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m^2]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	21.71	18.41	88.76	75.25
	EP_{Wren}	0.14	0.12	88.72	75.16
	EP_{Wtot}	21.86	18.53	88.76	75.25
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-0.01	0.49	-0.44	7.49
	EP_{Wren}	0.00	0.01	-1.51	25.48
	EP_{Wtot}	-0.01	0.50	-0.45	7.63

2.4.3.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 39, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 11 (anno 2019) e in Figura 12 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra +17% e +84% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso tra +20% e +33%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali, come era lecito attendersi in virtù di quanto descritto in 2.3.2, determina una sovrastima dei risultati delle DE (discrepanze dell'ordine del +66% e del 84%).

Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 40, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del 30% e del 40%). Una correlazione ancora migliore si ottiene effettuando anche la seconda correzione per il coefficiente F_{H-set}; in questo caso le differenze percentuali si attestano tra il 17% e il 26%.

In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, reali ma corretti per il fattore F_{GG}, o reali ma corretti per i fattori F_{GG} e F_{H-set}, la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

Tabella 39. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	*2020*	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-1		[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore standard multistadio		[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta		[-]
Vettore energetico principale		Metano		[-]
Potenza nominale del generatore		25.8		[kW]
Efficienza nominale del generatore		91.9		[%]
Superficie utile		57.0		[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2289		[GG]
Gradi Giorno – reali		1742	1796	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		0.86	1.07	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.761	0.785	[-]
	F_{H-set}	0.900	0.900	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	157.0		[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	1.1		[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	158.1		[kWh/m^2]
	Energia elettrica	131.9		[kWh]
	Metano	832.5		[Nm^3]

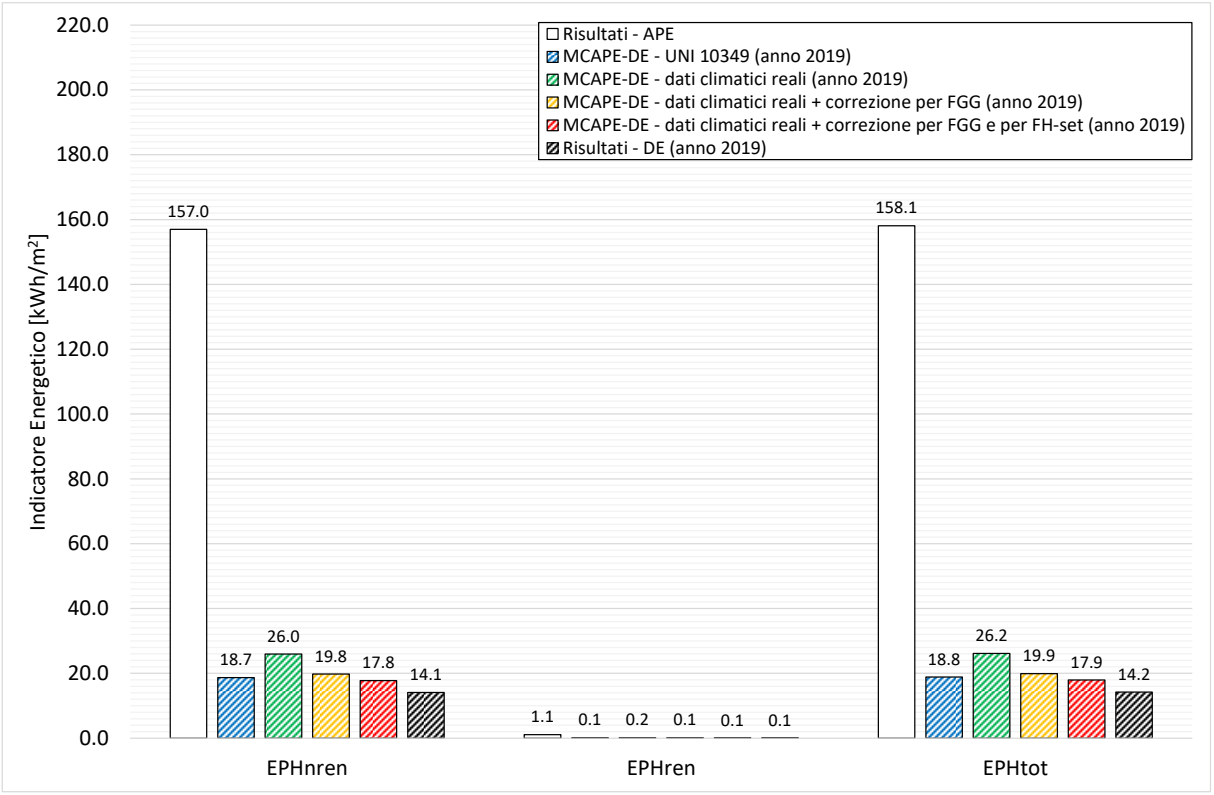


Figura 11. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

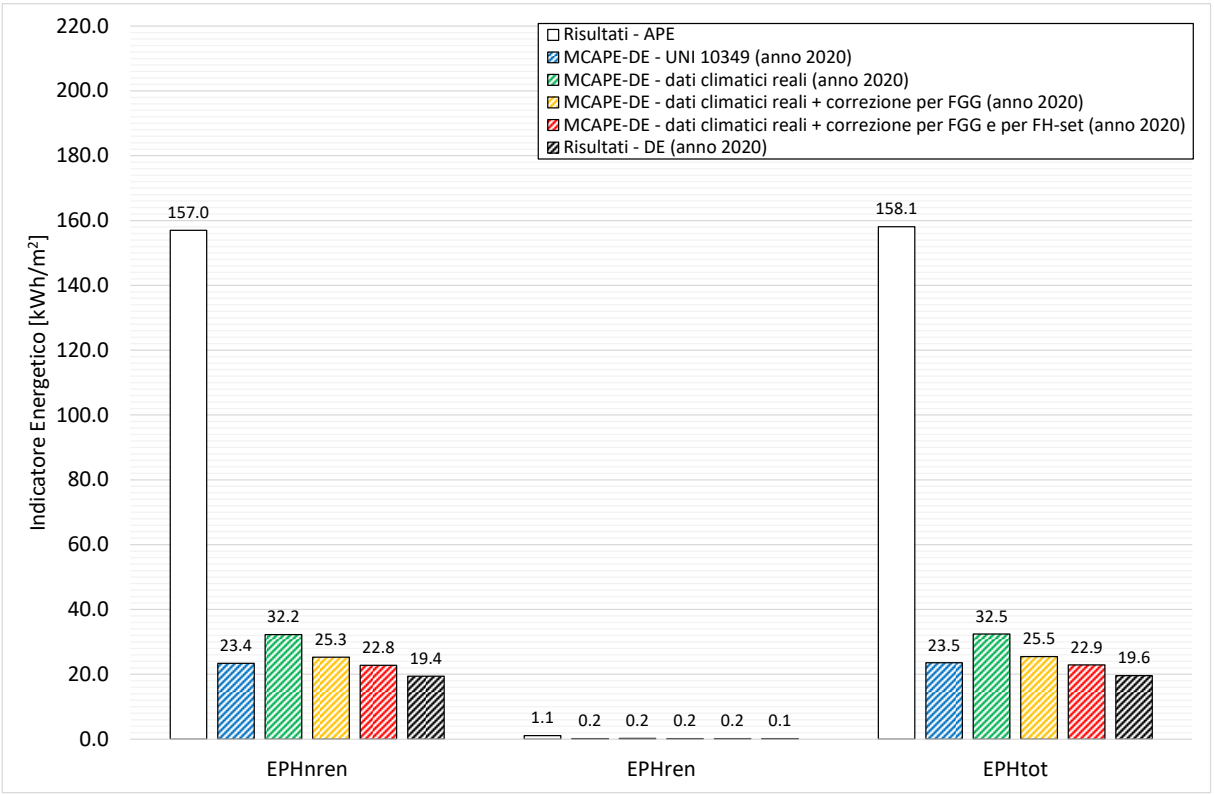


Figura 12. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 40. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	Indicatori Energetici	Errore			
		Assoluto [kWh/m²]		Relativo [%]	
		2019	2020	2019	2020
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	-4.58	-3.94	-32.42	-20.26
	EP_{Hren}	-0.04	-0.02	-47.75	-15.43
	EP_{Htot}	-4.62	-3.96	-32.51	-20.22
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-11.85	-12.79	-83.87	-65.78
	EP_{Hren}	-0.09	-0.08	-105.17	-59.13
	EP_{Htot}	-11.94	-12.87	-84.01	-65.73
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	-5.65	-5.85	-39.96	-30.10
	EP_{Hren}	-0.05	-0.03	-56.17	-24.88
	EP_{Htot}	-5.69	-5.89	-40.06	-30.06
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	-3.67	-3.32	-25.96	-17.09
	EP_{Hren}	-0.04	-0.02	-40.55	-12.39
	EP_{Htot}	-3.70	-3.34	-26.05	-17.06

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.
I risultati, riportati in Tabella 41, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE. In particolare, si osservi come anche in caso informazioni poco accurate sull'orario di accensione dell'impianto, la metodologia avrebbe permesso di identificare un orario medio giornaliero (valore evidenziato in rosso) come quello più probabile.
Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 41. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} [kWh/m²]	EP_{Hren} [kWh/m²]	EP_{Htot} [kWh/m²]	Consumo elettrico [kWh/anno]	Consumo metano [Nm³/anno]
1	21.8	0.2	22.0	16.3	116.2
2	35.2	0.2	35.4	26.3	187.3
3	48.5	0.3	48.9	36.3	258.3
4	61.9	0.4	62.3	46.3	329.4
5	75.2	0.5	75.7	56.3	400.5
6	88.6	0.6	89.2	66.2	471.5
7	103.3	0.7	104.0	77.3	550.1
8	118.1	0.8	118.9	88.3	628.7
9	132.9	0.9	133.8	99.4	707.3
10	133.8	0.9	134.7	100.1	712.4
11	134.8	0.9	135.7	100.8	717.6
12	135.7	0.9	136.7	101.5	722.7
13	136.7	0.9	137.7	102.3	727.8
14	137.7	1.0	138.6	103.0	733.0
APE	157.0	1.1	158.1	131.9	832.5

2.4.3.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Il presente caso studio, come riportato in Tabella 28, non presenta il servizio energetico di raffrescamento; pertanto, non è stato possibile effettuare un confronto tra le tre metodologie di calcolo.

2.4.3.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi.

Il confronto dei consumi di metano e di quelli di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 13 e in Figura 14. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.
Entrando più nel dettaglio, l'errore più elevato (rimarcato in Tabella 42) si riscontra per l'energia elettrica (pari al -40% nel 2019 corrispondete ad una differenza di appena 4 kWh) mentre il metano si attesta al -21% nel 2019 (pari a circa 20 Nm^3) e al -11% nel 2020 (circa 18 Nm^3). I risultati evidenziano, invece, una importante sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale compresa tra l'80-90%). Gli esiti del confronto confermano quindi una buona affidabilità della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$.

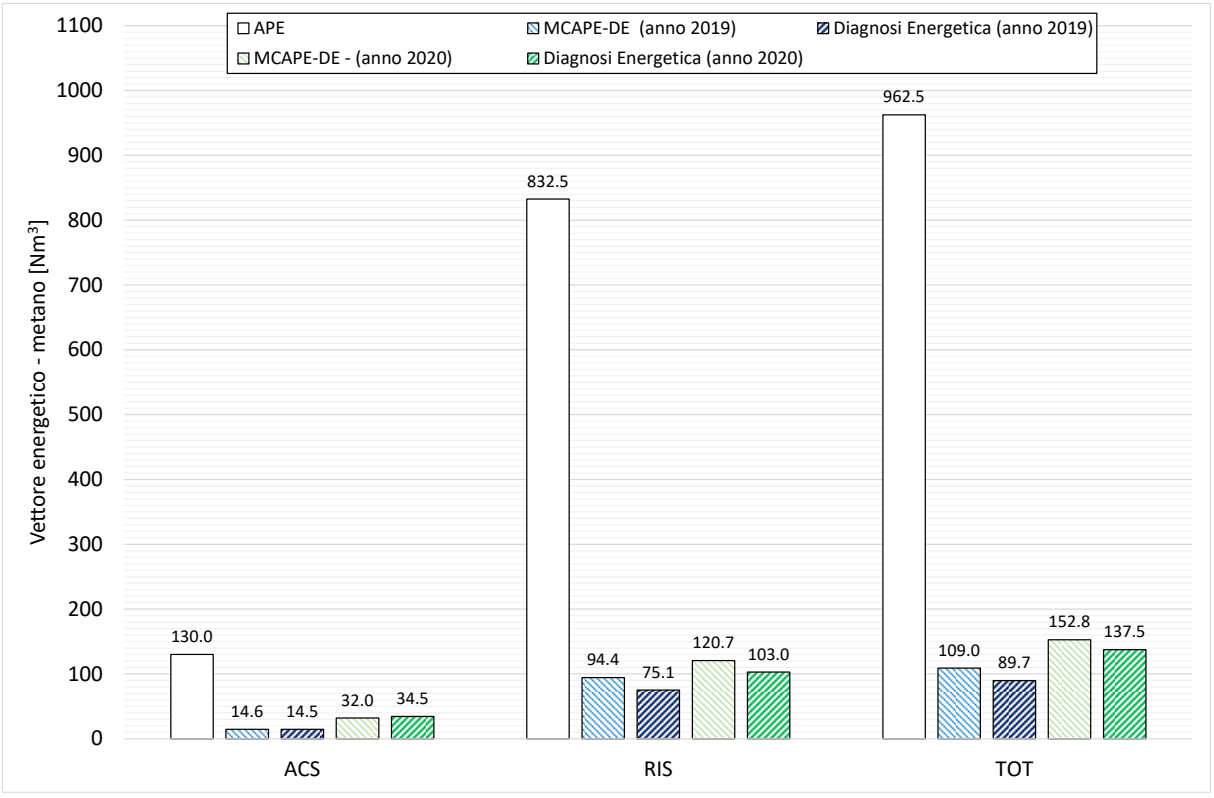


Figura 13. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$).

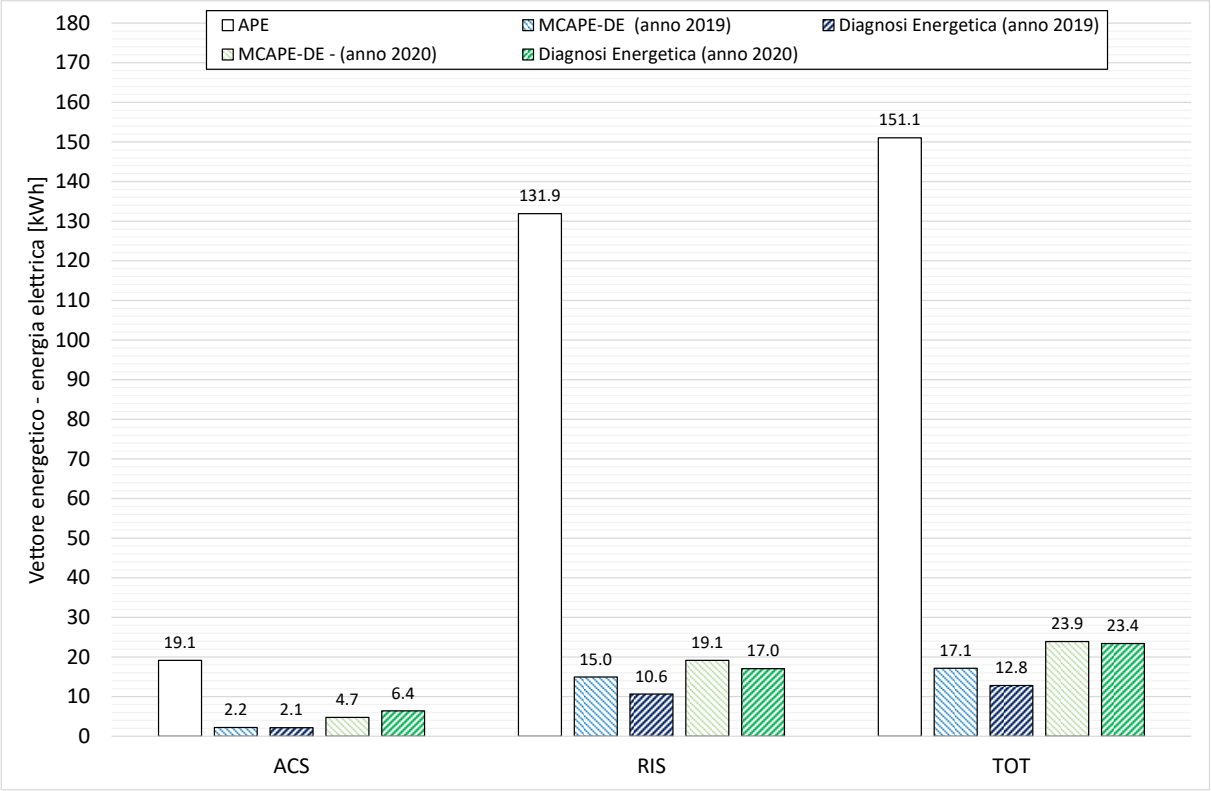


Figura 14. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 42. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2019	0.0	-4.3	0.0	-4.3	-1.5	-40.5	0.0	-34.0
	2020	1.6	-2.1	0.0	-0.5	25.5	-12.4	0.0	-2.1
Metano	2019	-0.1	-19.2	0.0	-19.3	-0.4	-25.6	0.0	-21.5
	2020	2.4	-17.8	0.0	-15.4	6.9	-17.2	0.0	-11.2

2.4.4 Caso Studio n. 2 – E.1-2

Il secondo caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano quarto di una palazzina costruita nel 1990 nel comune di Perugia (PG), capoluogo della regione Umbria, contraddistinto dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 43. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi agli ultimi due anni e, in particolare, del 2019 e del 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questi due anni di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 44 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come i valori di temperatura medi annuali registrati nel 2019 (16.2 °C) e nel 2020 (15.8 °C) siano superiori a quello fornito dalla UNI 10349 (12.6 °C) di circa 3-4°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 43. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Perugia
	Altitudine [10]	493 m s.l.m.
	Latitudine	43° 6'
	Longitudine	12° 23'
Climatico invernale ed estivo	Gradi Giorno [10]	2289
	Zona climatica [10]	E
	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	2.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	28.6
	Temperatura di bulbo umido [°C]	18.8
	Escursione termica giornaliera [°C]	10.0
	Umidità relativa [%]	40.0

Tabella 44. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*			*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²]*[1, A e B]
	Normativa [1,A]	*2019* [2,B]	*2020* [2,B]	
Gennaio	3.7	5.0	7.8	4.8
Febbraio	4.9	9.1	10.1	10.1
Marzo	7.7	11.7	10.2	11.6
Aprile	11.3	14.0	14.3	18.1
Maggio	16.7	14.7	18.7	21.5
Giugno	19.5	25.3	21.2	21.8
Luglio	23.5	26.4	25.4	25.0
Agosto	23.6	26.9	26.4	23.5
Settembre	17.1	21.6	21.5	16.3
Ottobre	12.6	17.8	14.5	11.4
Novembre	8.1	12.6	11.7	5.9
Dicembre	2.9	8.9	7.5	5.1
Media annua	12.6	16.2	15.8	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "stazione Perugia Fontivegge" - coordinate geografiche 43.1058333 e 12.3761111, quota 345 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.4.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 45) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 15).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, il caso studio è caratterizzato da tre tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno, una seconda tipologia (M2) divide l'ambiente riscaldato dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.33, e una terza (M3) di separazione tra due zone riscaldate. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata da un'altra unità immobiliare (zona sempre riscaldata), mentre il solaio superiore (S_{S2}) separa l'ambiente da un sottotetto non isolato a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.90.

Tabella 45. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	1996	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	3	[-]
Piano del caso studio	Primo	[-]
Altezza media vani	2.70	[m^2]
Superficie utile climatizzata	56.98	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	69.79	[m^2]
Volume netto climatizzato	153.75	[m^3]
Volume lordo climatizzato	209.30	[m^3]
Superficie disperdente	94.69	[m^2]
Rapporto S/V	0.45	[m^{-1}]

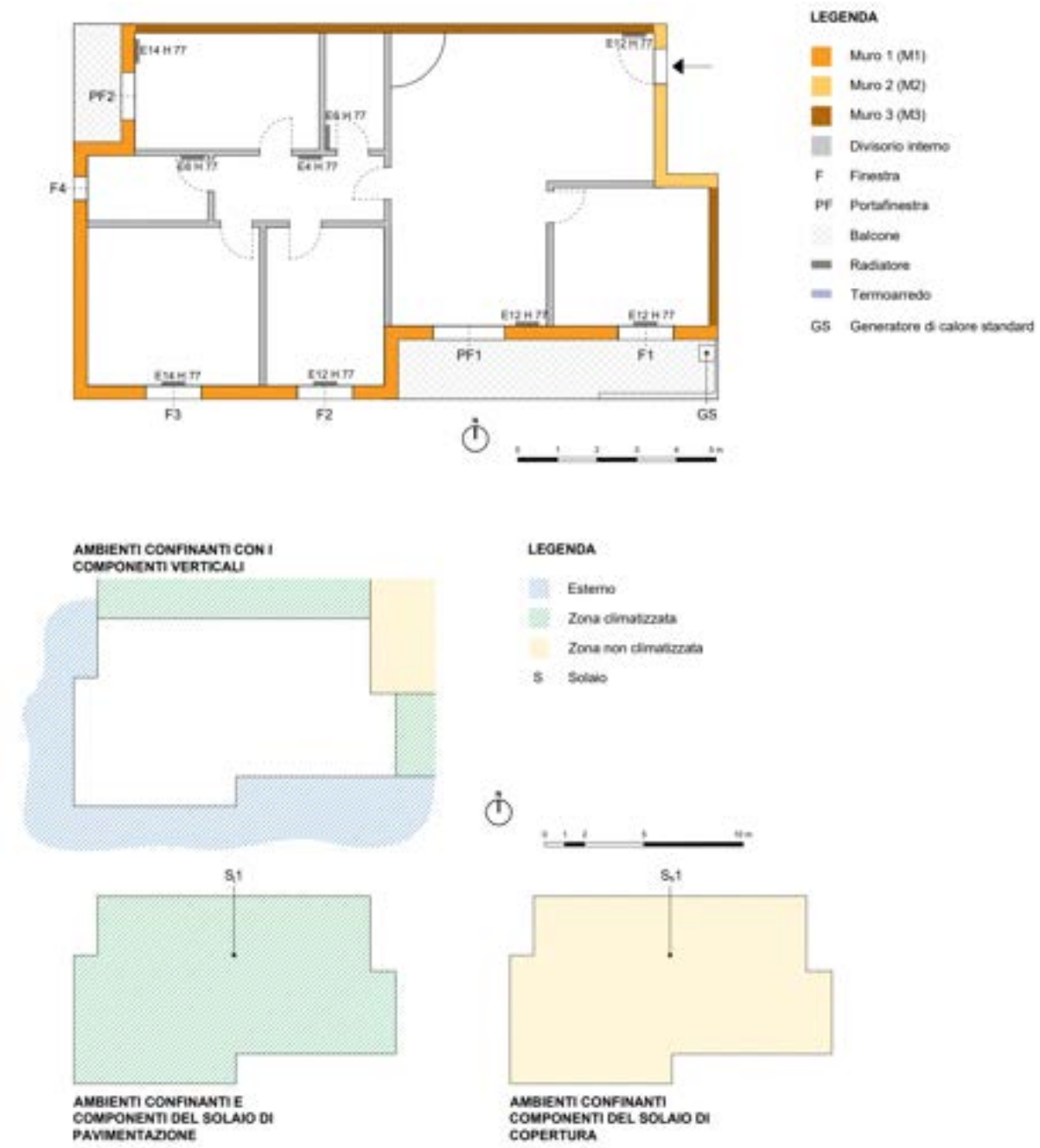


Figura 15. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (struttura con travi e pilastri) con tamponature esterne realizzate con blocchi di laterizio rifinite esternamente con intonaco, mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 20 + 5 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 46 a Tabella 52 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza.

Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.

In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 53) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 54) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 46. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	80	0.400	0.200
3	Intercapedine d'aria	100	0.556	0.180
4	Polistirene espanso in lastre	20	0.039	0.513
5	Mattone forato	120	0.387	0.310
6	Intonaco di calce o di cemento	10	0.900	0.011
Esterno		-	-	0.040
Totale		340	-	1.398
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.715	

Tabella 47. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	80	0.400	0.200
3	Intercapedine d'aria	50	0.556	0.180
4	Polistirene espanso in lastre	20	0.039	0.513
5	Mattone forato	120	0.387	0.310
6	Intonaco di calce o di cemento	10	0.900	0.011
Esterno		-	-	0.040
Totale		290	-	1.398
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.715	

Tabella 48. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Cartongesso	13	0.211	0.062
2	Intercapedine d'aria	300	1.667	0.180
3	Blocco forato	120	0.387	0.310
4	Intonaco di calce	10	0.9	0.011
Esterno		-	-	0.040
Totale		443		0.733
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.365	

Tabella 49. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Blocco forato	300	0.319	0.940
3	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Vano scale		-	-	0.130
Totale		320	-	1.228
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.814	

Tabella 50. Stratigrafia della parete M3: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	200	0.328	0.610
3	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.130
Totale		220	-	0.898
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.113	

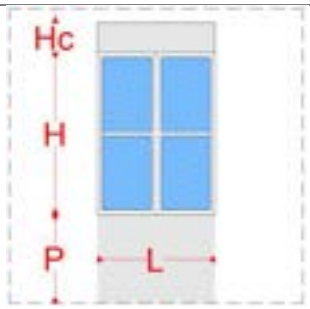
Tabella 51. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s1 confinante verso un'altra unità abitativa.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	*Pavimentazione in ceramica*	15	1.300	0.012
2	*Massetto alleggerito*	50	0.580	0.086
3	*Massetto armato*	50	0.850	0.059
4	*Soletta in laterizio*	200	0.660	0.303
5	*Intonaco di calce e gesso*	20	0.700	0.021
Zona riscaldata		-	-	0.170
Totale		335	-	0.821
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.218	

Tabella 52. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso il sottotetto non isolato (tetto a muricci).

Descrizione del singolo strato (dall'esterno verso l'interno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Sottotetto non isolato		-	-	0.100
1	*Pavimentazione in ceramica*	15	1.300	0.012
2	*Massetto in cls alleggerito*	50	0.580	0.086
3	*Fibra di vetro*	20	0.046	0.435
4	*Massetto armato*	50	0.850	0.059
5	*Soletta in laterizio*	200	0.660	0.303
6	*Intonaco di calce e gesso*	20	0.700	0.029
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		355	-	1.124
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.891	

Tabella 53. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
	F01	1.40	1.20	1.00	0.35	1.68	0.92	2.581
	PF01	1.80	2.20	0.00	0.35	3.96	2.32	2.661
	F02	1.40	1.20	1.00	0.35	1.68	0.92	2.581
	F03	1.40	1.20	1.00	0.35	1.68	0.92	2.581
	F04	0.60	1.20	1.00	0.35	0.720	0.29	2.430
	PF02	1.20	2.20	0.00	0.35	2.64	1.44	2.616

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 54. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete – telaio	0.295
B – parete – balcone	0.465
IF – parete – solaio di interpiano (con zona riscaldata)	0.407
C – angolo tra pareti	0.061
IF – parete – solaio di interpiano (con zona non riscaldata)	-0.343

Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di un generatore di calore di tipo standard, installato come evidenziato in Figura 15 che permette di soddisfare i servizi energetici di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Per il riscaldamento dell'ambiente, il calore viene immesso ad alta temperatura (80°C) attraverso dei radiatori in alluminio e regolato mediante cronotermostato di zona.
Le caratteristiche tecniche del generatore di calore sono riassunte in Tabella 55, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 56.

Tabella 55. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Pigma system 25 FF*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Esterno
Potenza nominale – P_n [kW]	25.8
Potenza minima – P_{min} [kW]	11.0
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	0.214
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	0.152
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	0.024
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	91.9
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	91.2
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	7.0
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	0.4
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	1.1
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\ -\ min}$ [%]	15.0

Tabella 56. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	✖
Generatore di calore		Standard	Standard	n.d.
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	n.d.
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	n.d.
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	n.d.
	Tubazioni	Incassate nel pavimento	Incassate nel pavimento	n.d.
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	n.d.
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in alluminio	n.d.
	T esercizio	42 °C [4]	80 °C	n.d.
	ΔT	-	20 °C	n.d.
	Valvole	-	Assenti	n.d.
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona	n.d.
	Caratteristiche	-	On-off	n.d.

2.4.4.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative agli anni 2019 e il 2020, sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dall'utente) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato abitato da un nucleo familiare costituito da due persone per un totale di 342 giorni nel 2019 e di 341 giorni nel 2020. Il caso studio selezionato, quindi, presenta un profilo occupazionale di poco divergente rispetto quello standard previsto nella valutazione asset (APE).

I consumi di acqua, metano ed energia elettrica acquisiti per i due anni analizzati, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza degli utenti, sono riassunti in Tabella 57.

Risulta rilevante osservare come tra il 2019 e il 2020 i consumi elettrici siano aumentati del 15.3% mentre quelli di metano e di acqua sono risultati praticamente invariati (aumentati rispettivamente di 1.2% e di 0.5%).

Tabella 57. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020).

Mese	*Anno 2019*				*Anno 2020*			
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m^3]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm^3]*	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m^3]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm^3]*
Gennaio	31	9027	177	166	31	9657	161	132
Febbraio	28	8154	160	122	29	8773	161	76
Marzo	31	9027	161	65	31	9378	176	91
Aprile	30	8736	161	22	30	9075	176	17
Maggio	31	8808	135	14	31	9378	150	11
Giugno	26	7387	135	6	25	7001	150	7
Luglio	28	7955	138	6	26	7282	149	5
Agosto	15	4262	138	4	26	7282	149	5
Settembre	30	8523	131	7	20	5601	210	5
Ottobre	31	8808	131	12	31	8682	210	16
Novembre	30	9345	164	45	30	8402	190	87
Dicembre	31	9657	164	125	31	9657	190	149
Totale	342	99688	1796	594	341	100165	2071	601

2.4.4.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 16 e Tabella 58) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica F con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 198.67 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 2100 Nm^3/anno e di quasi 320 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 57), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

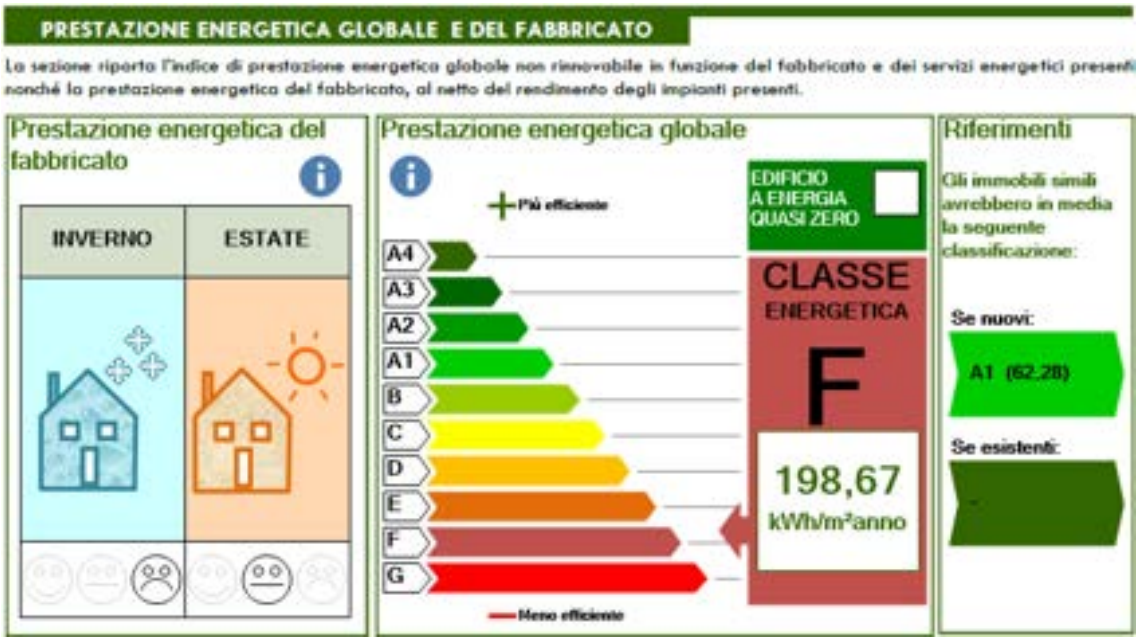


Figura 16. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 58. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m^2]*			*Metano [Nm^3/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	20315	142	20457	179.2	1.3	180.5	1890.0	302.1
Acqua Calda Sanitaria	2204	7	2211	19.4	0.1	19.5	208.4	14.9
Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Globale	22519	149	22668	198.7	1.3	200.0	2098.4	317.0

2.4.4.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre due DE, la prima relativa all'anno 2019 mentre la seconda al 2020. Come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 44, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.4.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di metano destinati all'uso cucina;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.4.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina

L'analisi del questionario ha permesso di stimare il tempo medio speso per cucinare e la percentuale dei pasti consumati a casa all'interno di un "*mese tipo*" composto da quattro "*settimane tipo*". Combinando queste informazioni, si sono stimate le ore medie giornaliere spese per cucinare, pari a 0.78 h/giorno sia nel 2019 che nel 2020. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice A dove, in aggiunta alle informazioni fornite dai fruitori, è riportato anche il calcolo della percentuale media settimanale dei pasti consumati in una "*settimana tipo*" e il tempo medio speso per cucinare associato per ciascuna tipologia di pasto.
Assumendo quindi un consumo di metano medio dei fornelli di 0.16 m^3/h (valore assunto come plausibile in funzione delle abitudini degli utenti) e in considerazione degli effettivi giorni di presenza dichiarati, si è stimato un consumo destinato alla sola cottura dei cibi pari a 42.67 Sm^3/anno (pari a 40.45 Nm^3/anno) nel 2019 (Tabella 59) e a 42.54 Sm^3/anno (pari a 40.33 Nm^3/anno) nel 2020 (Tabella 60), corrispondenti rispettivamente allo 7.20% e il 7.08% del consumo totale di metano registrato.

Tabella 59. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm^3]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm^3]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	24.17	3.87	166	2.33
Febbraio	28	21.83	3.49	122	2.86
Marzo	31	24.17	3.87	65	5.95
Aprile	30	23.39	3.74	22	17.01
Maggio	31	24.17	3.87	14	27.63
Giugno	26	20.27	3.24	6	54.06
Luglio	28	21.83	3.49	7	49.90
Agosto	15	11.70	1.87	2	93.57
Settembre	30	23.39	3.74	7	53.47
Ottobre	31	24.17	3.87	12	32.23
Novembre	30	23.39	3.74	45	8.32
Dicembre	31	24.17	3.87	125	3.09
Totale	342	266.68	42.67	593	7.20

Tabella 60. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm³]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm³]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	24.17	3.87	132	2.93
Febbraio	29	22.61	3.62	76	4.76
Marzo	31	24.17	3.87	91	4.25
Aprile	30	23.39	3.74	17	22.02
Maggio	31	24.17	3.87	11	35.16
Giugno	25	19.49	3.12	7	44.56
Luglio	26	20.27	3.24	5	64.88
Agosto	26	20.27	3.24	5	64.88
Settembre	20	15.60	2.50	5	49.90
Ottobre	31	24.17	3.87	16	24.17
Novembre	30	23.39	3.74	87	4.30
Dicembre	31	24.17	3.87	149	2.60
Totale	341	265.90	42.54	601	7.08

2.4.4.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dagli utenti mediante questionario, da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari ($V_{W\text{-}acs}$) di 113 l/giorno per persona (Tabella 61); questo valore è stato mantenuto uguale per entrambi gli anni analizzati.
A partire dal fabbisogno stimato si è proceduto con un duplice controllo:

1. Il valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato mensilmente non deve essere maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette;
2. Il consumo di metano calcolato a partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato non deve superare quello dichiarato in bolletta depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina.

Il primo controllo è anche quello più facilmente verificabile e ha restituito esito positivo per entrambi gli anni esaminati (Figura 17).
Ai fini del secondo controllo, invece, è stata fatta la seguente assunzione: il combustibile riportato in bolletta da maggio a settembre è destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria e cottura dei cibi. Questa ipotesi trova riscontro sia con le abitudini dei fruitori sia con il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento previsto da normativa per la zona climatica E. A partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato, in accordo con la metodologia prevista dalla UNI TS 11300-2 [5], è stato calcolato il relativo consumo di metano che è stato messo a confronto con il valore dichiarato in bolletta congiuntamente con il consumo stimato per l'uso cucina (Figura 18).

Tabella 61. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*		*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato [l/giorno·persona]*	
		Utente n. 1	Utente n. 2		Utente n. 1	Utente n. 2
Doccia	1	85	70	60	51	42
Lavabo	2	50	50	12	12	12
Bidet	1	100	100	10	10	10
Vasca da bagno	1	15	30	200	30	60
Lavello da cucina	1	50	50	20	10	10
Totale	6	-		-	113	134

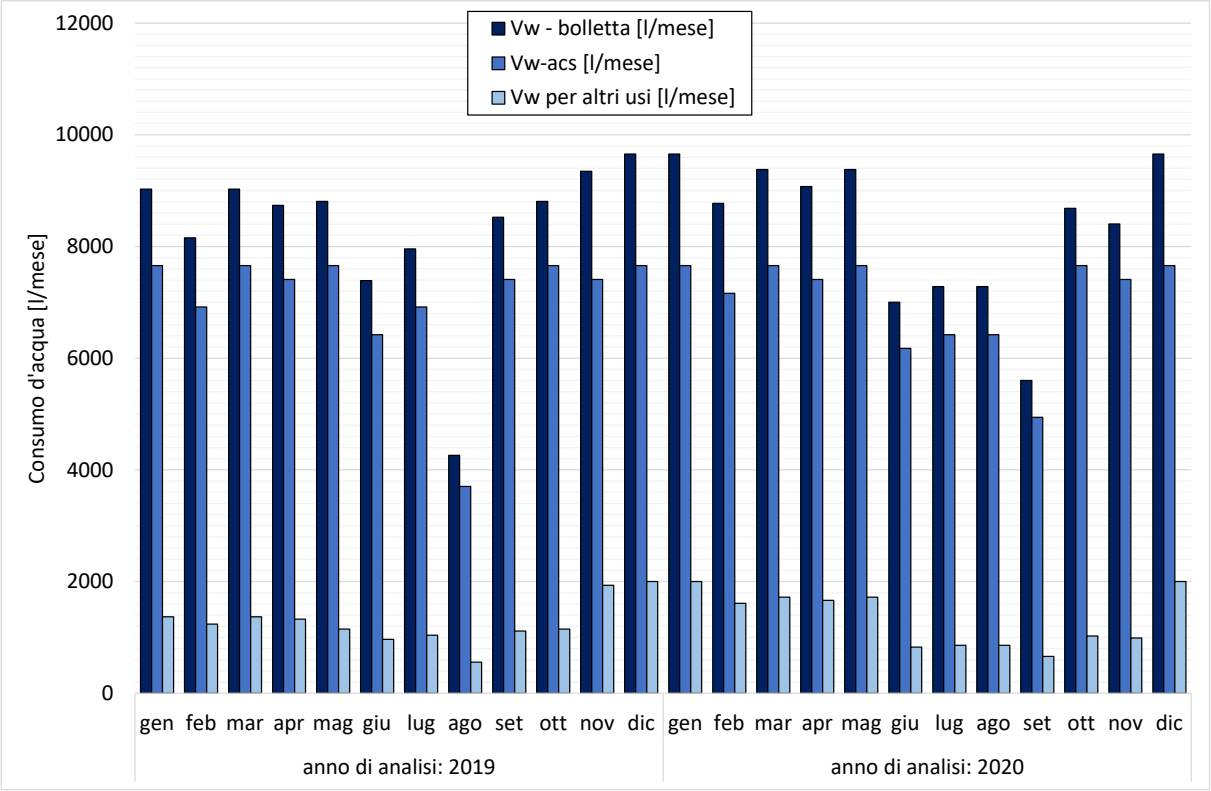


Figura 17. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

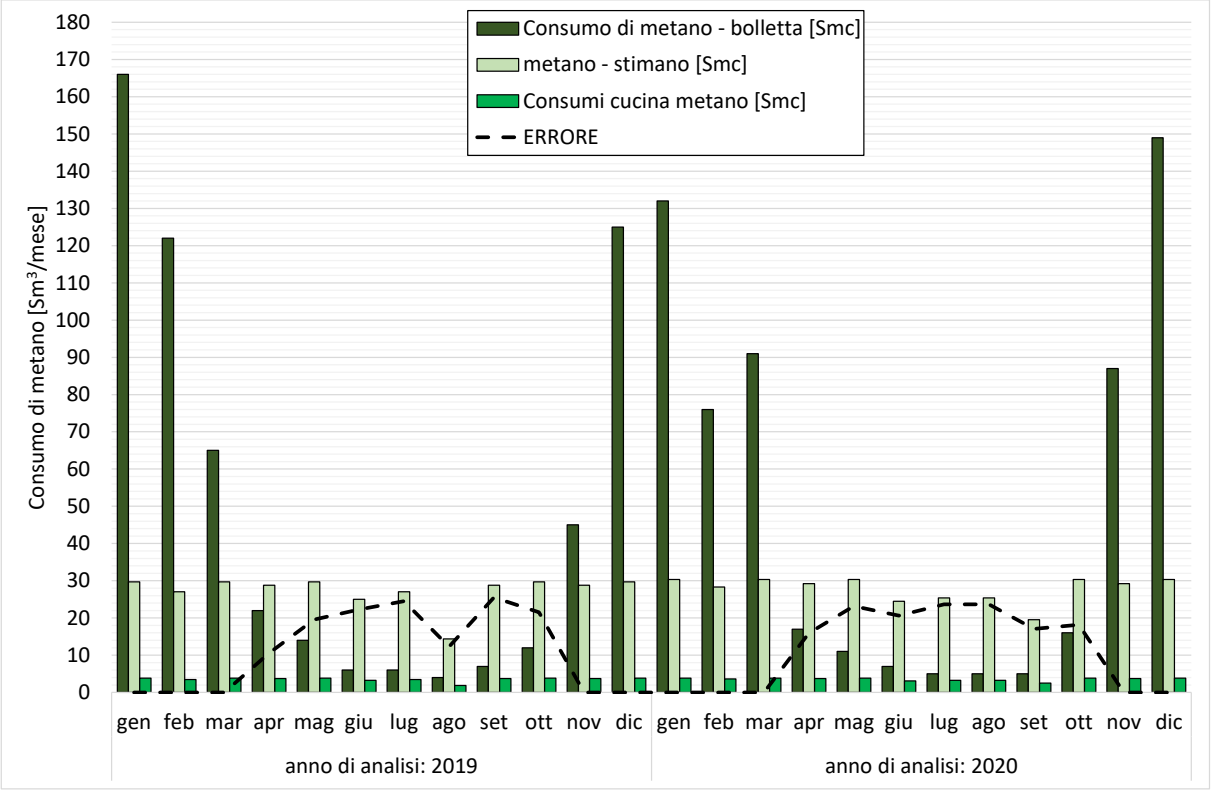


Figura 18. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$.

Il risultato evidenzia come il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato con l'approccio standard non possa essere mantenuto costante in ogni mese dell'anno, in quanto si evidenzia un importante scostamento (linea tratteggiata in nero) specialmente nei mesi intermedi. Questa discrepanza è dovuta al fatto che durante i mesi più caldi, a parità di volume d'acqua consumato, la richiesta di acqua calda è in realtà più contenuta.
In virtù del risultato ottenuto, per i soli mesi in cui si è determinato un consumo di metano superiore a quello di bolletta (quelli per cui il secondo controllo non è soddisfatto), si è deciso di stimare il volume di acqua calda sanitaria a partire dall'effettivo consumo dichiarato (depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina). Il risultato è riportato in Figura 19, in cui si mostra un duplice confronto tra:

1. Il metano riportato in bolletta depurato del consumo stimato per l'uso cucina e il metano consumato per il servizio di acqua calda sanitaria associato in funzione dell'effettivo volume d'acqua calda consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di sinistra);
2. Il volume d'acqua totale riportato in bolletta e il volume d'acqua calda effettivamente consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di destra).

In accordo con i risultati ottenuti, si evince che circa il 48% del consumo di acqua di bolletta del 2019 è stato destinato ai soli usi sanitari, mentre la medesima percentuale si è attestata al 47% nel 2020.
Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dagli utenti; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$, il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. Infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata ($MC_{APE\text{-}DE}$) è richiesto il valore giornaliero medio annuale. Entrambi i valori sono dettagliati in Tabella 62 messi a confronto con il valore giornaliero medio mensile stimato applicando il calcolo standard (APE). In particolare, si osservi come sebbene la DE e l'APE restituiscano un valore medio annuale molto simile, i valori invernali stimati con l'approccio standard (APE) risultano quasi la metà dei reali fabbisogni individuati con le DE.

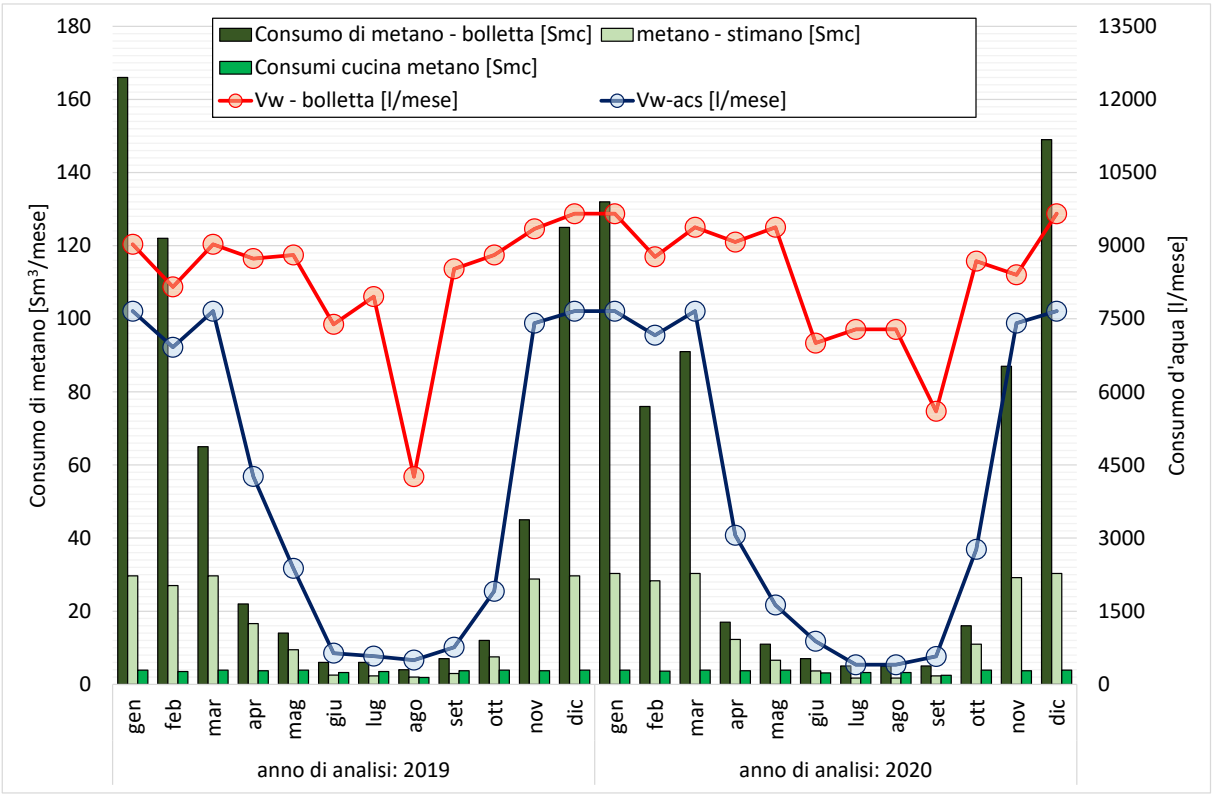


Figura 19. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria.

Tabella 62. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2019*		*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	7657	247.0	7657	247.0	157.6
Febbraio	6916	247.0	7163	247.0	157.6
Marzo	7657	247.0	7657	247.0	157.6
Aprile	4266	142.2	3059	102.0	157.6
Maggio	2381	76.8	1628	52.5	157.6
Giugno	640	21.3	884	29.5	157.6
Luglio	578	18.7	403	13.0	157.6
Agosto	498	16.1	403	13.0	157.6
Settembre	761	25.4	573	19.1	157.6
Ottobre	1911	61.6	2769	89.3	157.6
Novembre	7410	247.0	7410	247.0	157.6
Dicembre	7657	247.0	7657	247.0	157.6
Media	*4028*	*133.1*	*3938*	*129.4*	*157.6*

2.4.4.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dagli utenti mediante il questionario; in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta.
L'analisi ha permesso di definire quindi le configurazioni di funzionamento dell'impianto di riscaldamento medio giornaliero ottimale, ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi:

- anno di analisi 2019: 4 giorni a settimana per circa 2.5 ore/giorno;
- anno di analisi 2020: 4 giorni a settimana per 2.5 ore/giorno.

È stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 63); il servizio più energivoro è risultato il riscaldamento con poco più del 63% del metano consumato nel 2019 e circa il 65% nel 2020, mentre l'incidenza sul consumo dello stesso vettore energetico dovuto al servizio di produzione di acqua calda sanitaria è passato dal 29.2% del 2019, al 28.3% del 2020. Relativamente al vettore energia elettrica si è stimato che il servizio più energivoro sia costituito dall'illuminazione e dall'uso di elettrodomestici, per i quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni.
Il risultato conseguito mediante anche il software di simulazione può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di metano calcolato con quello reale, si ottiene una discrepanza pari a -0.6% per l'anno 2019 e -1.6% per il 2020 (Tabella 63). Questa difformità può essere considerata come un errore accettabile essendo inferiore al ±5% [15].
Infine, in Tabella 64 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo dei vettori energetici) derivanti dalle DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ che con l'approccio APE.

Tabella 63. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Metano [Nm³]	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Nm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
*Cottura dei cibi**	40.4	0.0	40.3	0.0
Riscaldamento	362.4	48.9	375.5	44.7
Produzione di acqua calda sanitaria	163.9	23.4	163.0	12.8
Raffrescamento	-	0.0	-	0.0
*Illuminazione ed Elettrodomestici***	-	1723.9	-	2013.5
Totale	566.7	1796.3	578.8	2070.9
Bollette	563.1	1796.3	569.7	2070.9
scostamento	-0.6%	0.0%	-1.6%	0.0%

** valore stimato e non restituito dal software di calcolo*
*** valore attributo come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 64. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2019	Riscaldamento	3878	23	3901	34.2	0.2	34.4	362.4	48.9
	Acqua Calda Sanitaria	1756	11	1767	15.5	0.1	15.6	163.9	23.4
	Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	5634	34	5668	49.7	0.3	50.0	526.3	72.3
2020	Riscaldamento	4006	21	4027	35.3	0.2	35.5	375.5	44.7
	Acqua Calda Sanitaria	1726	6	1732	15.2	0.1	15.3	163.0	12.8
	Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	5732	27	5759	50.6	0.2	50.8	538.5	57.4

2.4.4.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.4.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 65, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 20 (anno 2019) e in Figura 21 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: i risultati più accurati si ottengono assumendo un volume d'acqua per usi sanitari pari al 50% del valore registrato in bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI") o adottando un valore determinato dal calcolo convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI), mentre l'approccio standard (combo "Vw-APE + T-UNI) determina una minor convergenza con i risultati della DE. Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wtot}) compresa tra il +21% al +166% (Figura 22);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wtot} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari al 10% nel 2020 e al 14% nel 2019 (Figura 22).

Tabella 65. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	2020	
Tipologia di generatore		Generatore standard		[-]
Vettore energetico		Metano		[-]
Superficie utile dell'immobile		113.35		[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		12.63		[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		16.17	15.78	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	133.1	129.4	[litri/giorno]
	Convenzionale	295.4	293.7	[litri/giorno]
	Bolletta	211.8	210.6	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	136.6	136.8	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.720	0.751	[-]
	F_{Vw}	1.283	1.283	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	19.4		[kWh/m²]
	EP_{Wren}	0.1		[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	19.5		[kWh/m²]
	Energia elettrica	14.9		[kWh]
	Metano	208.4		[Nm³]

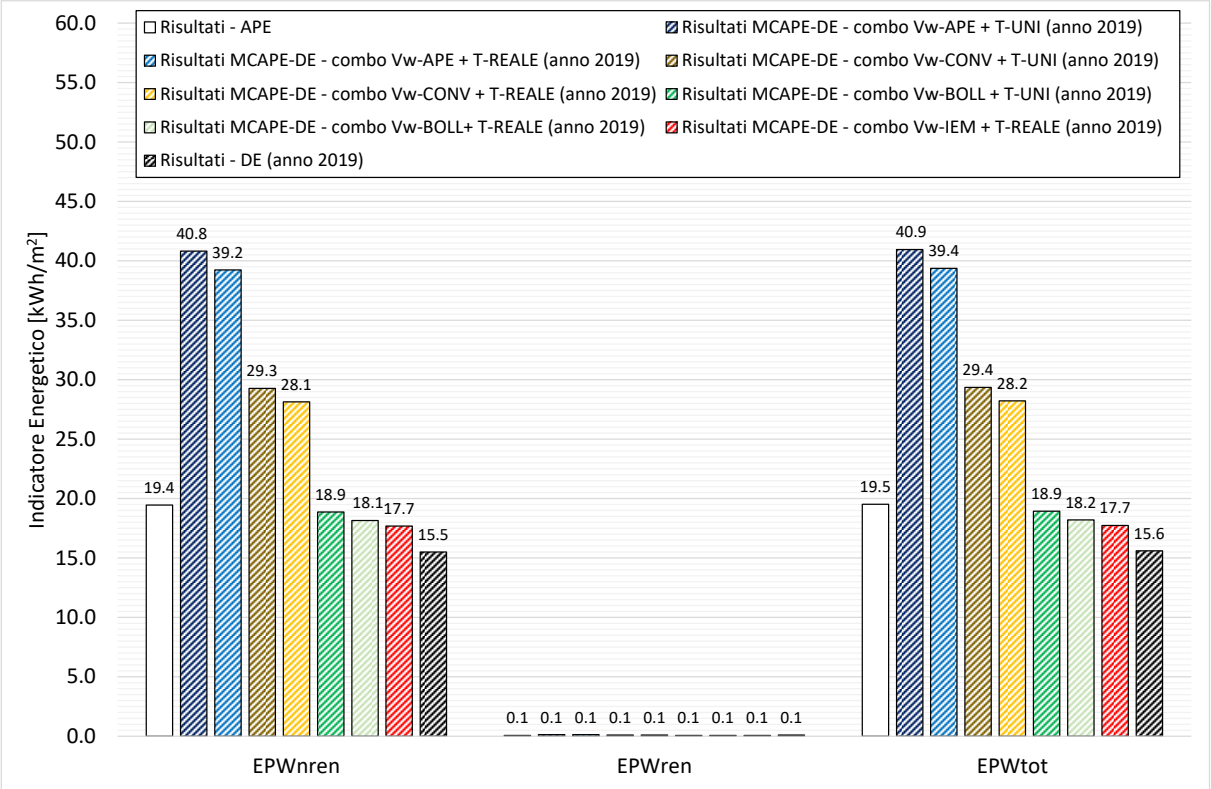


Figura 20. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

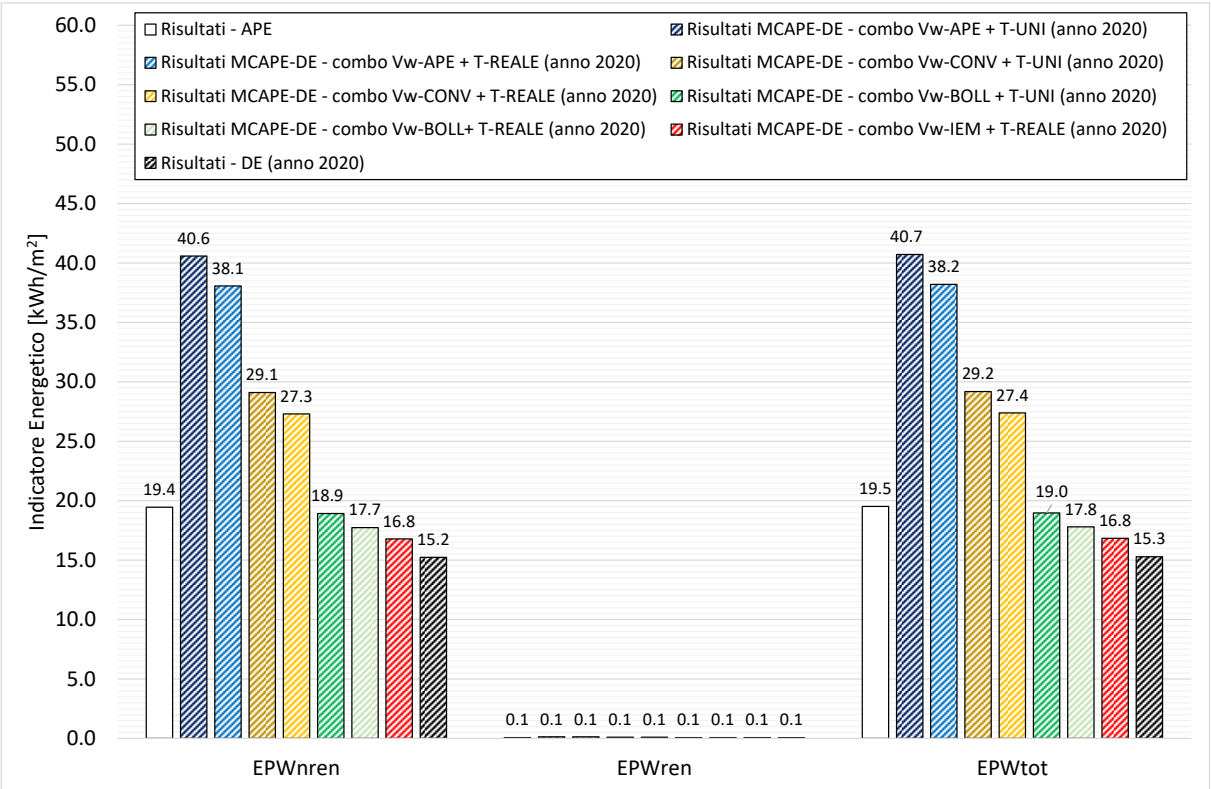


Figura 21. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

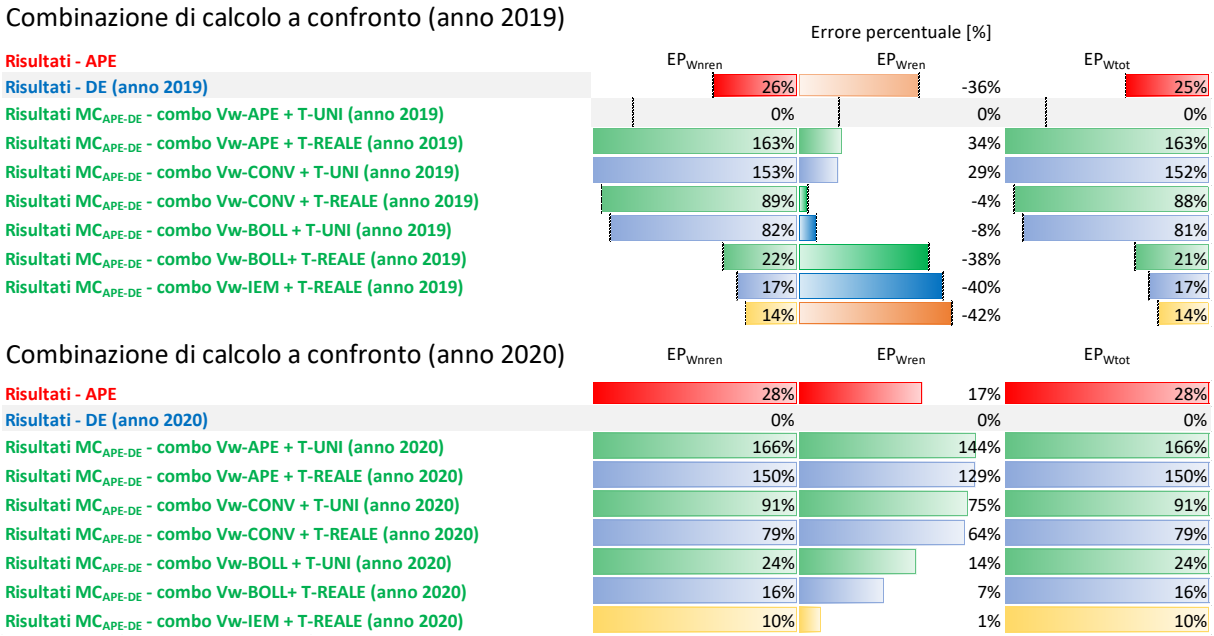


Figura 22. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. In questo caso, il calcolo APE tende a sovrastimare leggermente i risultati della DE con divergenze che variano tra il 26% (indicatore EP_{Wtot} del 2019) e il 28% (indicatore EP_{Wtot} del 2020). La divergenza maggiore è stata riscontrata per l'indicatore rinnovabile (EP_{Wren}) con tutte le metodologie di calcolo; questa è principalmente dovuta ai piccolissimi valori assunti dall'indicatore stesso (valori della DE inferiori a 0.1 kWh/m^2). Tuttavia, come evidenziato in Tabella 66, l'errore assoluto tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±2.2 kWh/m^2 e, nello specifico, dell'ordine di ±0.05 kWh/m^2 per l'indicatore EP_{Wren}.
In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE", sebbene la stessa restituisca un valore leggermente sovrastimato. In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, sembrerebbe opportuno stimare il volume di acqua calda per usi sanitari in maniera semplificata, ossia assumendo arbitrariamente un 50% del volume dichiarato in bolletta. In questo caso, infatti, la metodologia MC_{APE-DE} restituirebbe un risultato più aderente ai reali consumi energetici. Si tiene a precisare, comunque, che qualsiasi valutazione conclusiva sulla combinazione di calcolo più idonea da adottare dovrà tener presente anche della peculiarità del caso studio indagato. Infatti, come più volte riportato, esso è caratterizzato da profili occupazionali molto specifici che hanno determinato un consumo molto basso di entrambi i vettori energetici.

Tabella 66. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m^2]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	1.76	2.67	9.08	13.71
	EP_{Wren}	0.01	0.01	8.75	13.40
	EP_{Wtot}	1.77	2.67	9.08	13.71
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-2.19	-1.55	-14.12	-10.19
	EP_{Wren}	0.04	0.00	41.93	-1.04
	EP_{Wtot}	-2.15	-1.55	-13.77	-10.16

2.4.4.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 67, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 23 (anno 2019) e in Figura 24 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra +1% e +41% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso tra +1% e +4%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali, come era lecito attendersi in virtù di quanto descritto in 2.3.2, determina una sovrastima dei risultati delle DE (discrepanze dell'ordine del +41% e del 45%).

Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 68, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del 10%). In questo caso specifico, la seconda correzione non determina alcuna miglioria non essendo la temperatura di set-point differente da quella prevista da normativa.

In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, o reali ma corretti per il fattore F_{GG}, la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

Tabella 67. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	*2020*	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-1		[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore standard multistadio		[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta		[-]
Vettore energetico principale		Metano		[-]
Potenza nominale del generatore		25.8		[kW]
Efficienza nominale del generatore		91.9		[%]
Superficie utile		113.35		[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2289		[GG]
Gradi Giorno – reali		1742	1796	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		1.43	1.43	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.761	0.785	[-]
	$F_{H\text{-}set}$	1.000	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	179.2		[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	1.3		[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	180.5		[kWh/m^2]
	Energia elettrica	302.1		[kWh]
	Metano	1890.0		[Nm^3]

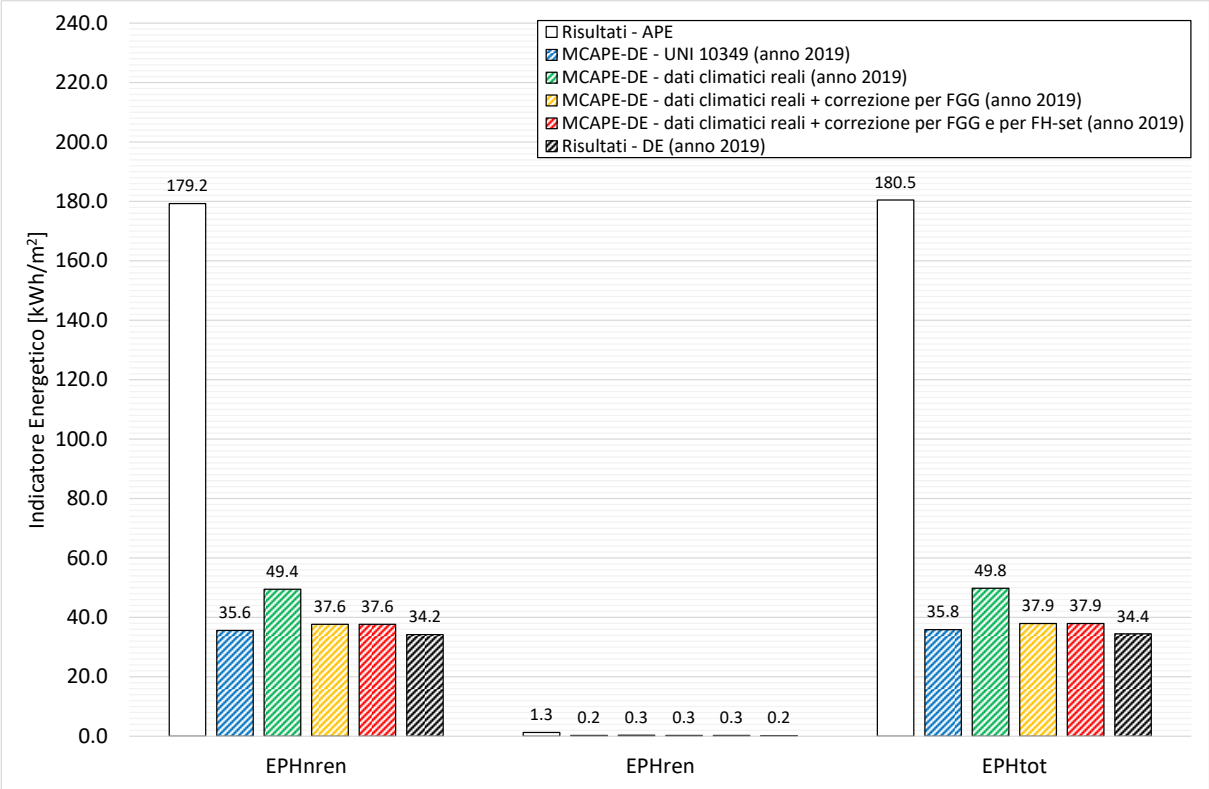


Figura 23. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

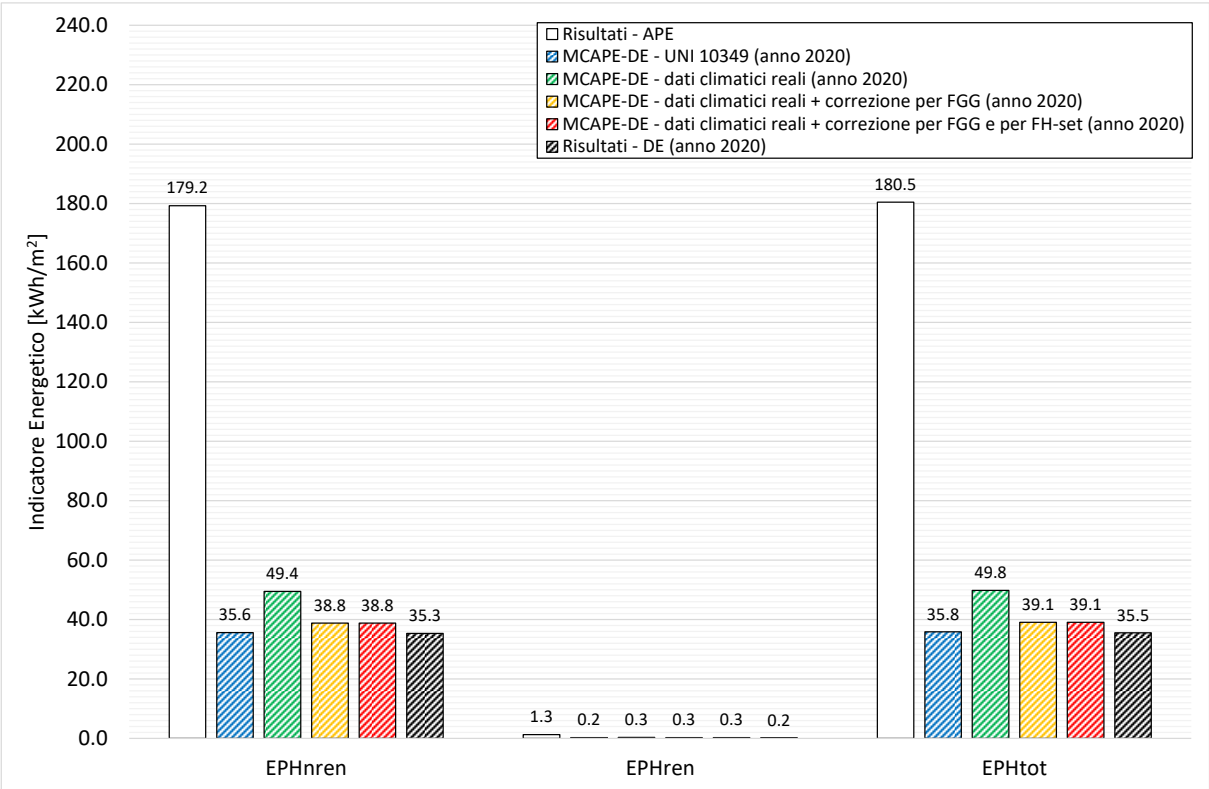


Figura 24. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 68. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	Indicatori Energetici	Errore			
		Assoluto [kWh/m²]		Relativo [%]	
		2019	2020	2019	2020
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	-1.38	-0.25	-4.03	-0.71
	EP_{Hren}	-0.05	-0.06	-22.61	-34.29
	EP_{Htot}	-1.43	-0.31	-4.14	-0.88
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-15.21	-14.08	-44.46	-39.84
	EP_{Hren}	-0.14	-0.16	-70.25	-86.47
	EP_{Htot}	-15.35	-14.24	-44.61	-40.09
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	-3.41	-3.45	-9.96	-9.75
	EP_{Hren}	-0.06	-0.09	-29.59	-46.34
	EP_{Htot}	-3.47	-3.53	-10.07	-9.94
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	-3.41	-3.45	-9.96	-9.75
	EP_{Hren}	-0.06	-0.09	-29.59	-46.34
	EP_{Htot}	-3.47	-3.53	-10.07	-9.94

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.
I risultati, riportati in Tabella 69, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE. In particolare, si osservi come anche in caso informazioni poco accurate sull'orario di accensione dell'impianto, la metodologia avrebbe permesso di identificare un orario medio giornaliero (valore evidenziato in rosso) come quello più probabile.
Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 69. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} [kWh/m²]	EP_{Hren} [kWh/m²]	EP_{Htot} [kWh/m²]	Consumo elettrico [kWh/anno]	Consumo metano [Nm³/anno]
1	24.9	0.2	25.1	37.1	263.9
2	40.2	0.3	40.4	59.7	425.3
3	55.4	0.4	55.8	82.4	586.7
4	70.6	0.5	71.1	105.1	748.0
5	85.9	0.6	86.5	127.8	909.4
6	101.1	0.7	101.8	150.5	1070.8
7	118.0	0.8	118.8	175.5	1249.3
8	134.8	0.9	135.7	200.6	1427.8
9	151.7	1.1	152.7	225.7	1606.2
10	152.8	1.1	153.8	227.3	1617.9
11	153.9	1.1	154.9	229.0	1629.6
12	155.0	1.1	156.0	230.6	1641.2
13	156.1	1.1	157.2	232.2	1652.9
14	157.2	1.1	158.3	233.9	1664.6
APE	179.2	1.3	180.5	302.1	1890.0

2.4.4.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Il presente caso studio, come riportato in Tabella 56, non presenta il servizio energetico di raffrescamento; pertanto, non è stato possibile effettuare un confronto tra le tre metodologie di calcolo.

2.4.4.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per il fattore correttivo F_{GG}.

Il confronto dei consumi di metano e di quelli di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 25 e in Figura 26. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.
Entrando più nel dettaglio, l'errore più elevato (rimarcato in Tabella 70) si riscontra per l'energia elettrica (pari al -36% nel 2020 corrispondete ad una differenza di circa 21 kWh) mentre il metano si attesta al -11% nel 2019 (pari a circa 60 Nm^3) e al -9% nel 2020 (circa 50 Nm^3). I risultati evidenziano, invece, una importante sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale compresa tra il 75-82%). Gli esiti del confronto confermano quindi una buona affidabilità della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$.

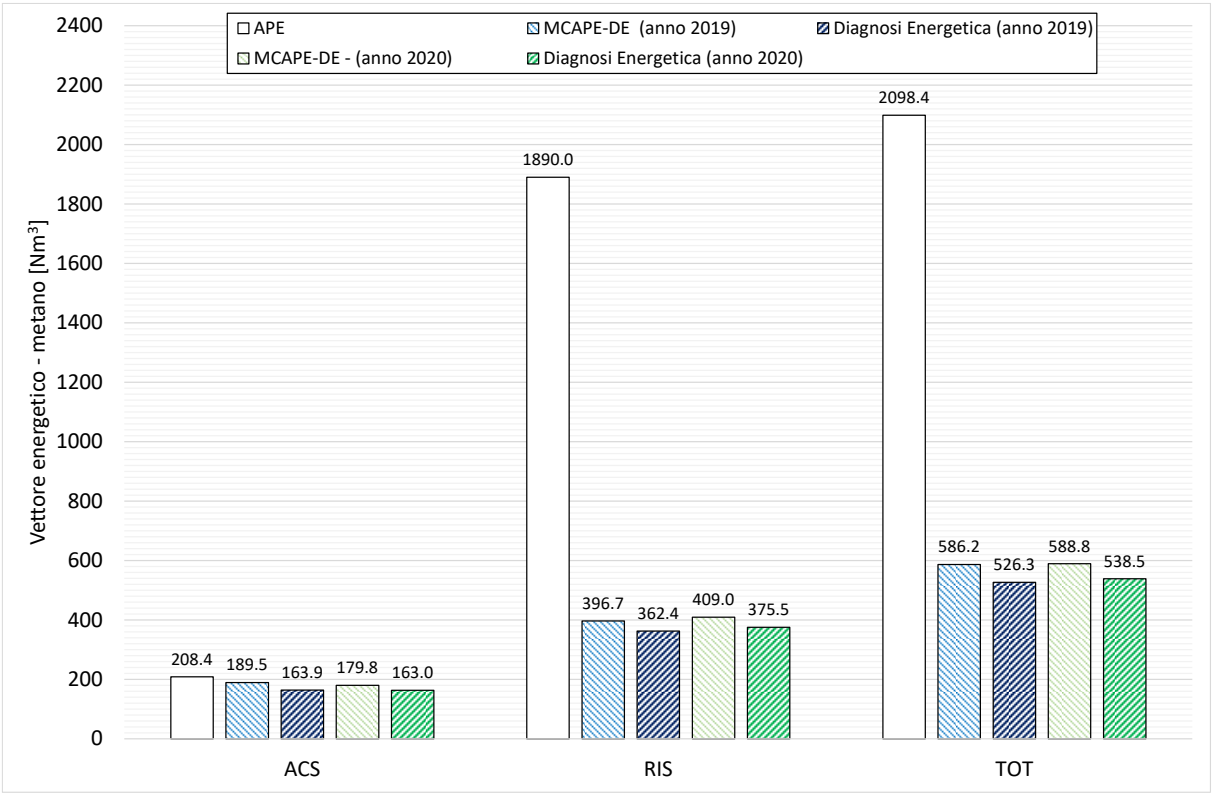


Figura 25. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$).

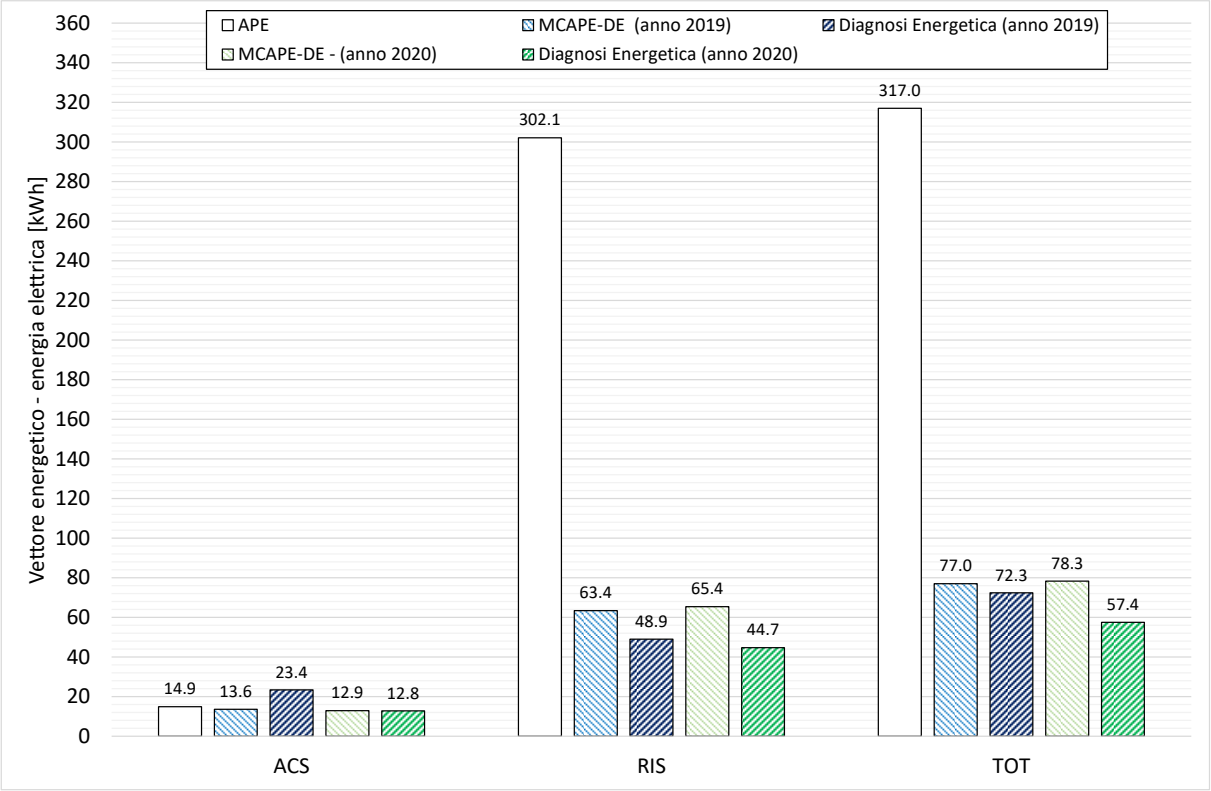


Figura 26. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 70. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2019	9.8	-14.5	0.0	-4.7	41.9	-29.6	0.0	-6.5
	2020	-0.1	-20.7	0.0	-20.8	-1.0	-46.3	0.0	-36.3
Metano	2019	-25.6	-34.3	0.0	-59.9	-15.6	-9.5	0.0	-11.4
	2020	-16.8	-33.6	0.0	-50.4	-10.3	-8.9	0.0	-9.4

2.4.5 Caso Studio n. 3 – E.1-3

Il terzo caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano secondo di una piccola palazzina costruita nel 2005 nel comune di Corciano (PG), città della regione Umbria contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 71. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi agli ultimi due anni e, in particolare, del 2019 e del 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questi due anni di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 72 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come i valori di temperatura medi annuali registrati nel 2019 (16.2 °C) e nel 2020 (15.8 °C) siano superiori a quello fornito dalla UNI 10349 (12.6 °C) di circa 3-4°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 71. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Corciano
	Altitudine [10]	408 m s.l.m.
	Latitudine	43° 7'
	Longitudine	12° 17'
Climatico invernale ed estivo	Gradi Giorno [10]	2204
	Zona climatica [10]	E
	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	2.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	28.6
	Temperatura di bulbo umido [°C]	18.8
	Escursione termica giornaliera [°C]	10.0
	Umidità relativa [%]	40.0

Tabella 72. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*			*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²]*[1, A e B]
	Normativa [1,A]	*2019* [2,B]	*2020* [2,B]	
Gennaio	4.3	3.9	7.0	4.8
Febbraio	5.5	8.4	9.4	10.1
Marzo	8.3	11.5	9.5	11.6
Aprile	11.9	13.2	14.3	18.1
Maggio	17.3	14.2	18.7	21.5
Giugno	20.1	24.4	21.2	21.8
Luglio	24.1	25.4	25.4	25.0
Agosto	24.2	25.1	26.4	23.5
Settembre	17.7	20.7	21.5	16.3
Ottobre	13.2	17.0	14.5	11.4
Novembre	8.7	12.0	11.7	5.9
Dicembre	3.5	8.2	7.5	5.1
Media annua	13.3	15.4	15.6	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "Corciano" - coordinate geografiche 43.10687 e 12.30697, quota 408 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.5.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 73) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 27).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, il caso studio è caratterizzato da quattro tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno, una seconda tipologia sempre verso l'esterno in corrispondenza dei baconi (M2), una terza (M3) che divide l'ambiente riscaldato dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.40, e una quarta (M4) di separazione tra due zone riscaldate. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata da un'altra unità immobiliare (zona sempre riscaldata), mentre il solaio superiore (S_s1) separa l'ambiente da un sottotetto a muricci ipotizzato come non isolato a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.70.

Tabella 73. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	2005	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	3	[-]
Piano del caso studio	Secondo	[-]
Altezza media vani	2.70	[m^2]
Superficie utile climatizzata	92.91	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	116.06	[m^2]
Volume netto climatizzato	250.86	[m^3]
Volume lordo climatizzato	371.68	[m^3]
Superficie disperdente	232.37	[m^2]
Rapporto S/V	0.63	[m^{-1}]

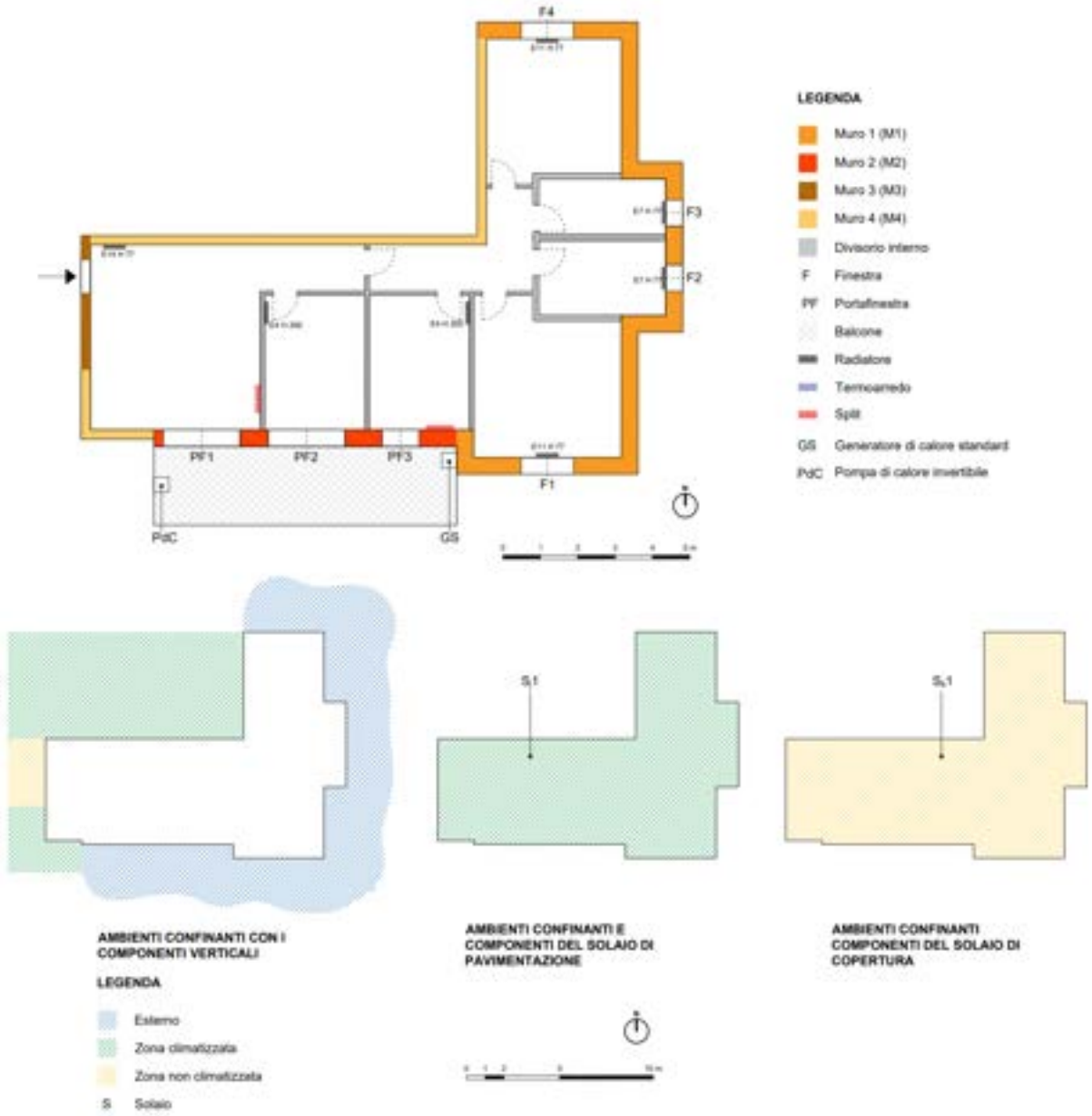


Figura 27. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (struttura con travi e pilastri) con tamponature esterne realizzate con blocchi di laterizio rifinite esternamente sia con intonaco (M2) che con mattoni faccia a vista (M1), mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 22 + 5 cm).
Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 74 a Tabella 80 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza. Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.
In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 81) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 82) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 74. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Blocco forato	250	0.325	0.769
3	Pannello in lana di roccia	30	0.035	0.857
4	Mattone forato	150	0.333	0.450
5	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	2.274
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.439	

Tabella 75. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Blocco forato	250	0.325	0.769
3	Pannello in lana di roccia	30	0.035	0.857
4	Mattone forato	150	0.333	0.450
5	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	2.274
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.439	

Tabella 76. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Blocco forato	250	0.325	0.769
3	Pannello in lana di roccia	30	0.035	0.857
4	Mattone forato	150	0.333	0.450
5	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	2.274
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.439	
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.963	

Tabella 77. Stratigrafia della parete M3: parete opaca confinante verso il vano scala.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Blocco forato	200	0.328	0.610
3	Pannello in lana di roccia	40	0.035	1.143
4	Mattone forato	80	0.400	0.200
5	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Vano scala non riscaldato		-	-	0.130
Totale		340	-	2.241
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.446	

Tabella 78. Stratigrafia della parete M3: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	*Intonaco di calce e gesso*	20	0.700	0.029
2	*Blocco forato*	300	0.319	0.940
3	*Intonaco di calce e gesso*	20	0.700	0.029
Zona riscaldata		-	-	0.130
Totale		220	-	1.258
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.795	

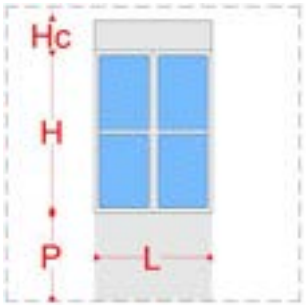
Tabella 79. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso un'altra unità abitativa.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	*Pavimentazione in legno (parquet)*	10	0.120	0.083
2	*Pannello in lana di roccia*	20	0.035	0.571
3	*Massetto alleggerito*	50	0.580	0.086
4	*Soletta in laterizio*	220	0.500	0.440
5	*Intonaco di calce e gesso*	15	0.700	0.021
Zona riscaldata		-	-	0.170
Totale		315	-	1.541
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.649	

Tabella 80. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s1 confinante verso un sottotetto non isolato.

Descrizione del singolo strato (dall'esterno verso l'interno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona non riscaldata		-	-	0.100
1	*Pannello in lana di roccia*	60	0.035	1.714
2	*Massetto alleggerito*	50	0.580	0.086
3	*Soletta in laterizio*	220	0.500	0.440
4	*Intonaco di calce e gesso*	15	0.700	0.021
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		345	-	2.461
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.406	

Tabella 81. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
	PF01	2.05	2.20	0.00	0.00	4.51	2.97	2.582
	PF01	2.05	2.20	0.00	0.00	4.51	2.97	2.582
	PF03	1.00	2.20	0.00	0.00	2.20	1.38	2.546
	F01	1.40	1.20	1.00	0.00	1.68	0.88	2.551
	F02	0.70	1.20	1.00	0.00	0.84	0.41	2.515
	F03	1.40	1.20	1.00	0.00	1.68	0.88	2.551
	F04	0.70	1.20	1.00	0.00	0.84	0.41	2.515

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 82. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete – telaio	0.234
B – parete – balcone	0.364
IF – parete – solaio di interpiano verso zona riscaldata	0.365
C – angolo tra pareti - sporgente	0.105
C – angolo tra pareti – rientrante	0.266
R – Parete – solaio di interpiano verso zona non riscaldata	0.005

Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di un generatore di calore di tipo standard, installato come evidenziato in Figura 27 che permette di soddisfare i servizi energetici di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Per il riscaldamento dell'ambiente, il calore viene immesso ad alta temperatura (80°C) attraverso dei radiatori in alluminio e regolato mediante cronotermostato di zona. Il sistema impiantistico descritto, inoltre, è integrato da una pompa di calore invertibile (dual split) con capacità di riscaldare e di raffrescare i due ambienti (il salone e lo studio) in cui è stato installato.
Le caratteristiche tecniche del generatore di calore sono riassunte in Tabella 83, quelle della pompa di calore in Tabella 84, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 85.

Tabella 83. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Modula 23 MFFi*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Esterno - Centrale termica
Potenza nominale – P_n [kW]	25.6
Potenza minima – P_{min} [kW]	11.0
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	0.044
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	0.151
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	0.024
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	91.4
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	89.3
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	10.0
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	1.2
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	2.2
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\ -\ min}$ [%]	12.0

Tabella 84. Caratteristiche tecniche della pompa di calore invertibile.

Caratteristiche del generatore di calore	*2AMX40*
Potenza nominale in riscaldamento – P_n [kW]	3.4
COP [-]	4.53
Potenza nominale in raffrescamento – P_n [kW]	4.55
EER [-]	2.5

Tabella 85. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	✖
Generatore di calore		Standard	Standard	Condizionatore
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	Aria
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	Autonomo
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	-
	Tubazioni	Incassate nel pavimento	Incassate nel pavimento	Incassate nella parete
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	D.P.R. 412/93 [10]
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in alluminio	split
	T esercizio	40 °C [4]	80 °C	21°C
	ΔT	-	20 °C	-
	Valvole	-	Assenti	-
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona	Singolo ambiente
	Caratteristiche	-	On-off	proporzionale

2.4.5.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative agli anni 2019 e il 2020, sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dall'utente) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato abitato da un'unica persona per un totale di 359 giorni nel 2019 e di 334 giorni nel 2020. Il caso studio selezionato, quindi, presenta due profili occupazionali leggermente differenti con il primo (quello del 2019) più convergente a quello previsto nella valutazione asset (APE). Pertanto, è lecito attendersi un maggior scostamento tra l'APE e la DE condotta per l'anno 2020.

I consumi di acqua, metano ed energia elettrica acquisiti per i due anni analizzati, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza dell'utente, sono riassunti in Tabella 86. Risulta rilevante osservare come tra il 2019 e il 2020 i consumi elettrici siano aumentati dell'8.5%, così come i consumi di acqua (+3.1%), mentre quelli di metano (+0.4%) sono rimasti praticamente invariati nonostante un minor profilo occupazionale.

Tabella 86. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020).

Mese	*Anno 2019*				*Anno 2020*			
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*
Gennaio	31	3906	106	148	31	3674	117	147
Febbraio	28	3528	84	45	29	3437	109	60
Marzo	31	4006	94	50	31	4445	116	35
Aprile	30	3876	89	47	30	4302	114	15
Maggio	31	4006	91	4	31	4445	117	10
Giugno	30	3876	130	3	20	2868	130	4
Luglio	31	4006	134	3	26	3728	134	4
Agosto	25	3230	122	4	26	3728	122	4
Settembre	30	3555	118	4	18	2817	118	4
Ottobre	31	3674	101	4	31	4851	101	12
Novembre	30	3555	97	60	30	3930	97	32
Dicembre	31	3674	117	77	31	4061	117	124
Totale	359	44891	1283	449	334	46284	1392	451

2.4.5.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 28 e Tabella 87) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica C con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 114.30 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 800 Nm^3/anno e di quasi 1200 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 86), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

Solo per il caso in esame, inoltre, è stata condotta una seconda analisi energetici di tipo standard; infatti, dall'analisi del questionario è emerso come la pompa di calore venga utilizzata solo ed esclusivamente per il raffrescamento, quindi, non per il riscaldamento dei due ambienti in cui è installata. In termini di valutazione APE, come previsto da norma, la pompa di calore andrebbe comunque considerata avendo anche la precedenza rispetto all'impianto tradizionale. Questo, quindi, può comportare una significativa divergenza tra la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ (che si basa sugli output dell'APE) e i risultati stessi della DE. Per questo motivo, per il presente caso studio è stata condotta una seconda valutazione standard in cui si è ipotizzata l'assenza della pompa di calore per il solo riscaldamento (ossia l'impianto è stato simulato come solo una macchina frigorifera). Questo approccio, sebbene non sia corretto ai fini della stesura dell'APE, serve per valutare l'affidabilità della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ nonché capire eventuali criticità nella sua applicazione. I risultati del calcolo standard, in assenza della pompa di calore, sono riportati in Figura 29 e Tabella 88; in particolare, l'edificio presenterebbe una classe energetica D con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 115.88 kWh/m^2, un consumo di metano di circa 890 Nm^3/anno e di quasi 760 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei servizi di riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria e raffrescamento.

È importante osservare come tra le due analisi standard vi sia una differenza minima tra gli indicatori energetici ($EP_{H,nren}$ aumenta di quasi 1.5 kWh/m^2, $EP_{H,ren}$ diminuisce di oltre 2 kWh/m^2, $EP_{H,tot}$ diminuisce di meno di 1 kWh/m^2); tuttavia, questa discrepanza comporta una significativa variazione dei consumi dei vettori energetici presenti. In accordo con questi risultati, sarà quindi di notevole interesse verificare l'affidabilità della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ al variare di questi parametri.

Figura 28. Indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 87. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	7450	258	7708	80.2	2.8	83.0	611.2	548.9
Acqua Calda Sanitaria	1930	6	1936	20.8	0.1	20.8	182.5	12.8
Raffrescamento	1239	299	1538	13.3	3.2	16.6	-0.1	636.2
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Globale	10619	563	11182	114.3	6.1	120.4	793.6	1197.9

Figura 29. Indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato nel caso di assenza della pompa di calore.

Tabella 88. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico nel caso di assenza della pompa di calore.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	ren	tot	nren	ren	tot		
Riscaldamento	7597	52	7649	81.8	0.6	82.3	707.2	110.6
Acqua Calda Sanitaria	1930	6	1936	20.8	0.1	20.8	182.5	12.8
Raffrescamento	1239	299	1538	13.3	3.2	16.6	-0.1	636.2
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Globale	10766	357	11123	115.9	3.8	119.7	889.6	759.6

2.4.5.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre due DE, la prima relativa all'anno 2019 mentre la seconda al 2020. Come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 72, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.5.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di metano destinati all'uso cucina;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.5.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina

L'analisi del questionario ha permesso di stimare il tempo medio speso per cucinare e la percentuale dei pasti consumati a casa all'interno di un "*mese tipo*" composto da quattro "*settimane tipo*". Combinando queste informazioni, si sono stimate le ore medie giornaliere spese per cucinare, pari a 0.44 h/giorno nel 2019 e a 0.57 h/giorno nel 2020. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice A dove, in aggiunta alle informazioni fornite dal fruitore, è riportato anche il calcolo della percentuale media settimanale dei pasti consumati in una "*settimana tipo*" e il tempo medio speso per cucinare associato per ciascuna tipologia di pasto.
Assumendo quindi un consumo di metano medio dei fornelli di 0.08 m^3/h (valore assunto come plausibile in funzione delle abitudini del fruitore) e in considerazione degli effettivi giorni di presenza dichiarati, si è stimato un consumo destinato alla sola cottura dei cibi pari a 12.57 Sm^3/anno (pari a 11.91 Nm^3/anno) nel 2019 (Tabella 89) e a 15.35 Sm^3/anno (pari a 14.55 Nm^3/anno) nel 2020 (Tabella 90), corrispondenti rispettivamente allo 2.8% e il 3.4% del consumo totale di metano registrato.

Tabella 89. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm^3]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm^3]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	13.56	1.09	148	0.73
Febbraio	28	12.25	0.98	45	2.18
Marzo	31	13.56	1.09	50	2.17
Aprile	30	13.13	1.05	47	2.23
Maggio	31	13.56	1.09	4	27.13
Giugno	30	13.13	1.05	3	35.00
Luglio	31	13.56	1.09	3	36.17
Agosto	25	10.94	0.88	4	21.88
Settembre	30	13.13	1.05	4	26.25
Ottobre	31	13.56	1.09	4	27.13
Novembre	30	13.13	1.05	60	1.75
Dicembre	31	13.56	1.09	77	1.41
Totale	359	157.06	12.57	449	2.80

Tabella 90. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm³]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm³]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	17.81	1.42	147	0.97
Febbraio	29	16.66	1.33	60	2.22
Marzo	31	17.81	1.42	35	4.07
Aprile	30	17.23	1.38	15	9.19
Maggio	31	17.81	1.42	10	14.25
Giugno	20	11.49	0.92	4	22.98
Luglio	26	14.93	1.19	4	29.87
Agosto	26	14.93	1.19	4	29.87
Settembre	18	10.34	0.83	4	20.68
Ottobre	31	17.81	1.42	12	11.87
Novembre	30	17.23	1.38	32	4.31
Dicembre	31	17.81	1.42	124	1.15
Totale	334	191.85	15.35	451	3.40

2.4.5.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dall'utente mediante questionario (Tabella 91), da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari ($V_{W\text{-}acs}$) di 87 l/giorno per persona; questo valore è stato mantenuto uguale per entrambi gli anni analizzati.
A partire dal fabbisogno stimato si è proceduto con un duplice controllo:

1. Il valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato mensilmente non deve essere maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette;
2. Il consumo di metano calcolato a partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato non deve superare quello dichiarato in bolletta depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina.

Il primo controllo è anche quello più facilmente verificabile e ha restituito esito positivo per entrambi gli anni esaminati (Figura 30).
Ai fini del secondo controllo, invece, è stata fatta la seguente assunzione: il combustibile riportato in bolletta da maggio a settembre è destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria e cottura dei cibi. Questa ipotesi trova riscontro sia con le abitudini dell'occupante sia con il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento previsto da normativa per la zona climatica E. A partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato, in accordo con la metodologia prevista dalla UNI TS 11300-2 [5], è stato calcolato il relativo consumo di metano che è stato messo a confronto con il valore dichiarato in bolletta congiuntamente con il consumo stimato per l'uso cucina (Figura 31).

Tabella 91. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*	*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato [l/giorno·persona]*
Doccia	1	100	60	60
Lavabo	2	50	12	12
Bidet	2	50	10	10
Vasca da bagno	1	0	200	0
Lavello da cucina	1	25	20	5
Totale	7	-	-	87

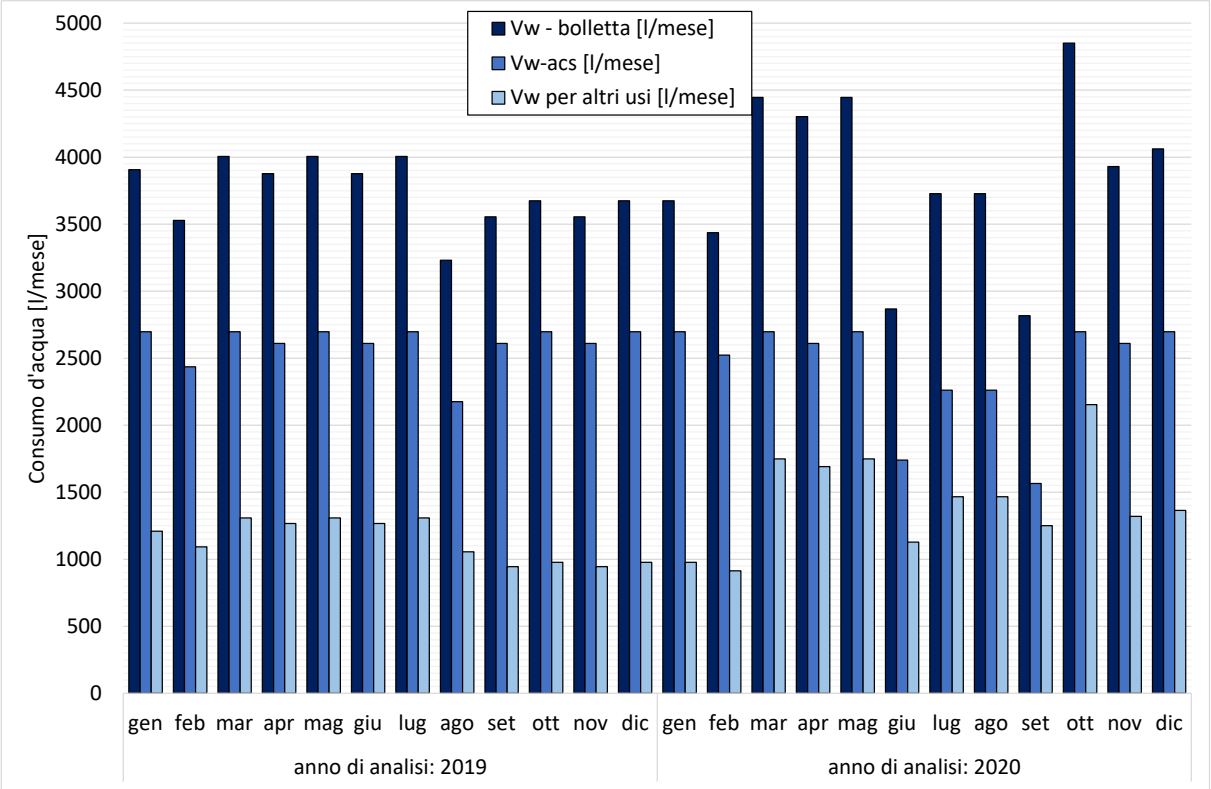


Figura 30. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

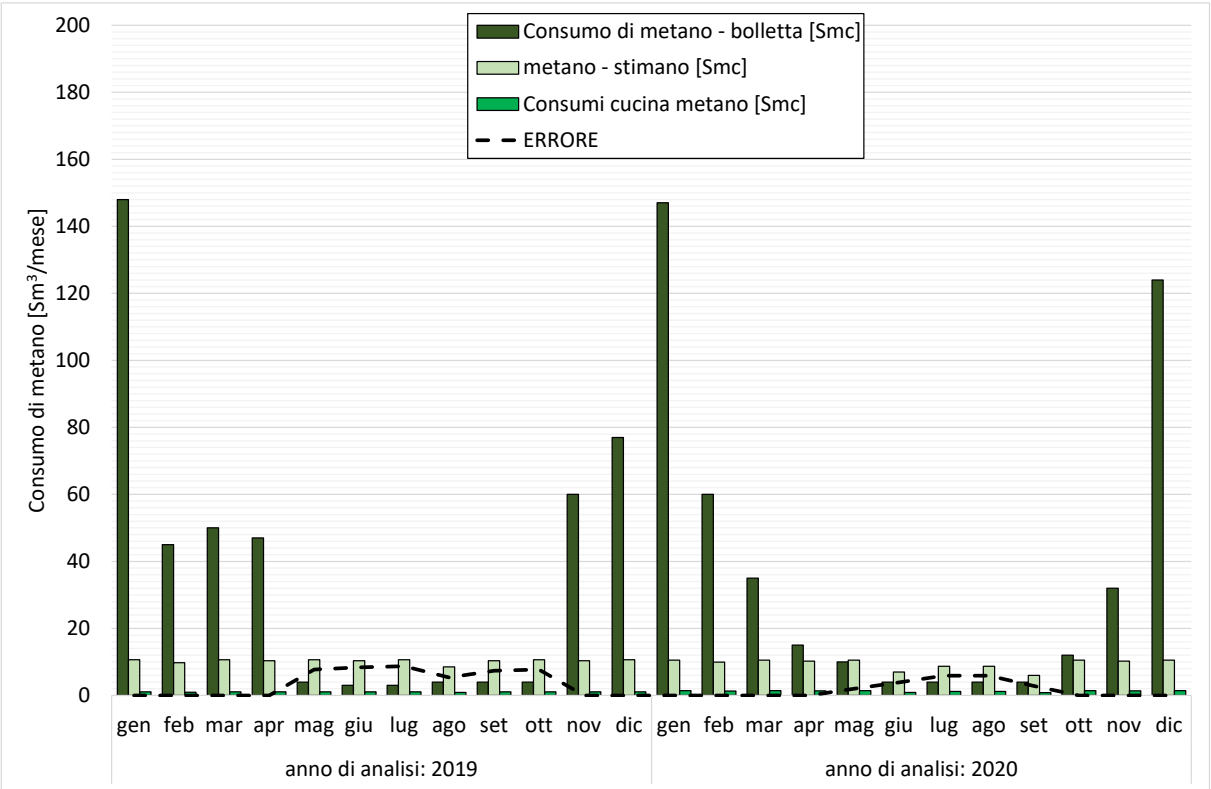


Figura 31. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$.

Il risultato evidenzia come il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato con l'approccio standard non possa essere mantenuto costante in ogni mese dell'anno, in quanto si evidenzia un importante scostamento (linea tratteggiata in nero) specialmente nei mesi intermedi. Questa discrepanza è dovuta al fatto che durante i mesi più caldi, a parità di volume d'acqua consumato, la richiesta di acqua calda è in realtà più contenuta.
In virtù del risultato ottenuto, per i soli mesi in cui si è determinato un consumo di metano superiore a quello di bolletta (quelli per cui il secondo controllo non è soddisfatto), si è deciso di stimare il volume di acqua calda sanitaria a partire dall'effettivo consumo dichiarato (depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina). Il risultato è riportato in Figura 32, in cui si mostra un duplice confronto tra:

1. Il metano riportato in bolletta depurato del consumo stimato per l'uso cucina e il metano consumato per il servizio di acqua calda sanitaria associato in funzione dell'effettivo volume d'acqua calda consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di sinistra);
2. Il volume d'acqua totale riportato in bolletta e il volume d'acqua calda effettivamente consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di destra).

In accordo con i risultati ottenuti, si evince che circa il 52% del consumo di acqua di bolletta del 2019 è stato destinato ai soli usi sanitari, mentre la medesima percentuale si è attestata a circa il 61% nel 2020.
Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dall'utente; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$, il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata ($MC_{APE\text{-}DE}$) è richiesto il valore giornaliero medio annuale. Entrambi i valori sono dettagliati in Tabella 92 messi a confronto con il valore giornaliero medio mensile stimato applicando il calcolo standard (APE). La tabella mostra una importante divergenza tra i valori stimati; in particolare, si osservi come il valore stimato con l'APE sia quasi 2 volte i valori individuati nel 2019 e nel 2020. In accordo con il risultato atteso, quindi, è lecito attendersi una divergenza dei consumi determinati con APE e DE per il servizio di acqua calda sanitaria.

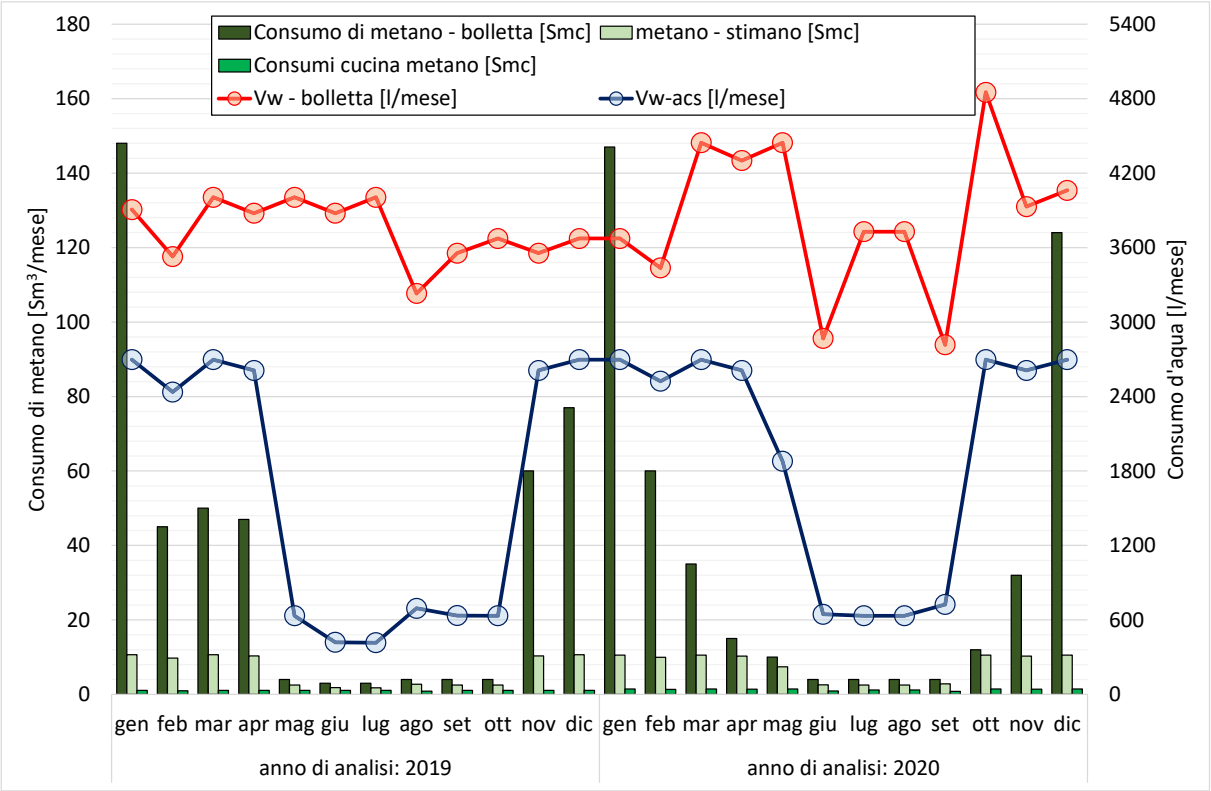


Figura 32. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria.

Tabella 92. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	Anno 2019		Anno 2020		APE
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	2697	87.0	2697	87.0	135.8
Febbraio	2436	87.0	2523	87.0	135.8
Marzo	2697	87.0	2697	87.0	135.8
Aprile	2610	87.0	2610	87.0	135.8
Maggio	634	20.4	1878	60.6	135.8
Giugno	420	14.0	646	21.5	135.8
Luglio	416	13.4	633	20.4	135.8
Agosto	693	22.4	633	20.4	135.8
Settembre	635	21.2	724	24.1	135.8
Ottobre	634	20.4	2697	87.0	135.8
Novembre	2610	87.0	2610	87.0	135.8
Dicembre	2697	87.0	2697	87.0	135.8
Media	*1598*	*52.8*	*1921*	*63.0*	*135.8*

2.4.5.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dall'utente mediante il questionario; in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta.
L'analisi ha permesso di definire quindi le configurazioni di funzionamento dell'impianto di riscaldamento medio giornaliero ottimale, ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi:

- anno di analisi 2019: 7 giorni a settimana per 4 ore/giorno;
- anno di analisi 2020: 7 giorni a settimana per 4 ore/giorno.

È stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 93); il servizio più energivoro è risultato il riscaldamento con poco più dell'81% del metano consumato nel 2019 e il 78% nel 2020, mentre l'incidenza sul consumo dello stesso vettore energetico dovuto al servizio di produzione di acqua calda sanitaria è cresciuto nel 2020 passando dal 15.8%, registrato nel 2019, al 18.3%. Relativamente al vettore energia elettrica si è stimato che il servizio più energivoro sia costituito dall'illuminazione e dall'uso di elettrodomestici, per i quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni.
Il risultato conseguito mediante anche il software di simulazione può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di metano calcolato con quello reale, si ottiene una discrepanza pari a +1.8% per l'anno 2019 e +1.2% per il 2020 (Tabella 93). Questa difformità può essere considerata come un errore accettabile essendo inferiore al ±5% [15].
Infine, in Tabella 94 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo dei vettori energetici) derivanti dalle DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ che con l'approccio APE.

Tabella 93. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Metano [Nm³]	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Nm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
*Cottura dei cibi**	11.9	0.0	14.5	0.0
Riscaldamento	339.9	48.9	330.7	44.7
Produzione di acqua calda sanitaria	66.1	4.3	77.2	6.4
Raffrescamento	-	181.4	-	213.0
*Illuminazione ed Elettrodomestici***	-	1048.4	-	1127.9
Totale	417.9	1283.0	422.5	1392.0
Bollette	425.6	1283.0	427.5	1392.0
scostamento	1.8%	0.0%	1.2%	0.0%

** valore stimato e non restituito dal software di calcolo*
*** valore attributo come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 94. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2019	Riscaldamento	3643	23	3666	39.2	0.2	39.5	339.9	48.9
	Acqua Calda Sanitaria	698	2	700	7.5	0.0	7.5	66.1	4.3
	Raffrescamento	354	85	439	3.8	0.9	4.7	0.0	181.4
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	4341	25	4366	46.7	0.3	47.0	406.0	53.2
2020	Riscaldamento	3539	21	3560	38.1	0.2	38.3	330.7	44.7
	Acqua Calda Sanitaria	818	3	821	8.8	0.0	8.8	77.2	6.4
	Raffrescamento	415	100	515	4.5	1.1	5.5	0.0	213.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	4357	24	4381	46.9	0.3	47.2	407.9	51.1

2.4.5.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.5.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 95, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 33 (anno 2019) e in Figura 34 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: nel 2019 non si evidenzia una significativa differenza tra le tre combinazioni, al contrario nel 2020 i risultati più accurati si ottengono adottando un volume di acqua calda sanitaria pari al 50% del consumo di bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI) o impiegando per il volume d'acqua un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI"). Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wtot}) compresa tra il +30% al +223% (Figura 35);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wtot} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari al 26% nel 2020 e 21% nel 2019 (Figura 35).

Tabella 95. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	2020	
Tipologia di generatore		Generatore standard		[-]
Vettore energetico		Metano		[-]
Superficie utile dell'immobile		92.91		[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		13.23		[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		15.33	15.59	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	52.8	63.0	[litri/giorno]
	Convenzionale	133.6	123.9	[litri/giorno]
	Bolletta	85.6	79.4	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	50.1	51.1	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.841	0.822	[-]
	F_{Vw}	1.359	1.359	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	20.8		[kWh/m²]
	EP_{Wren}	0.1		[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	20.8		[kWh/m²]
	Energia elettrica	12.8		[kWh]
	Metano	182.5		[Nm³]

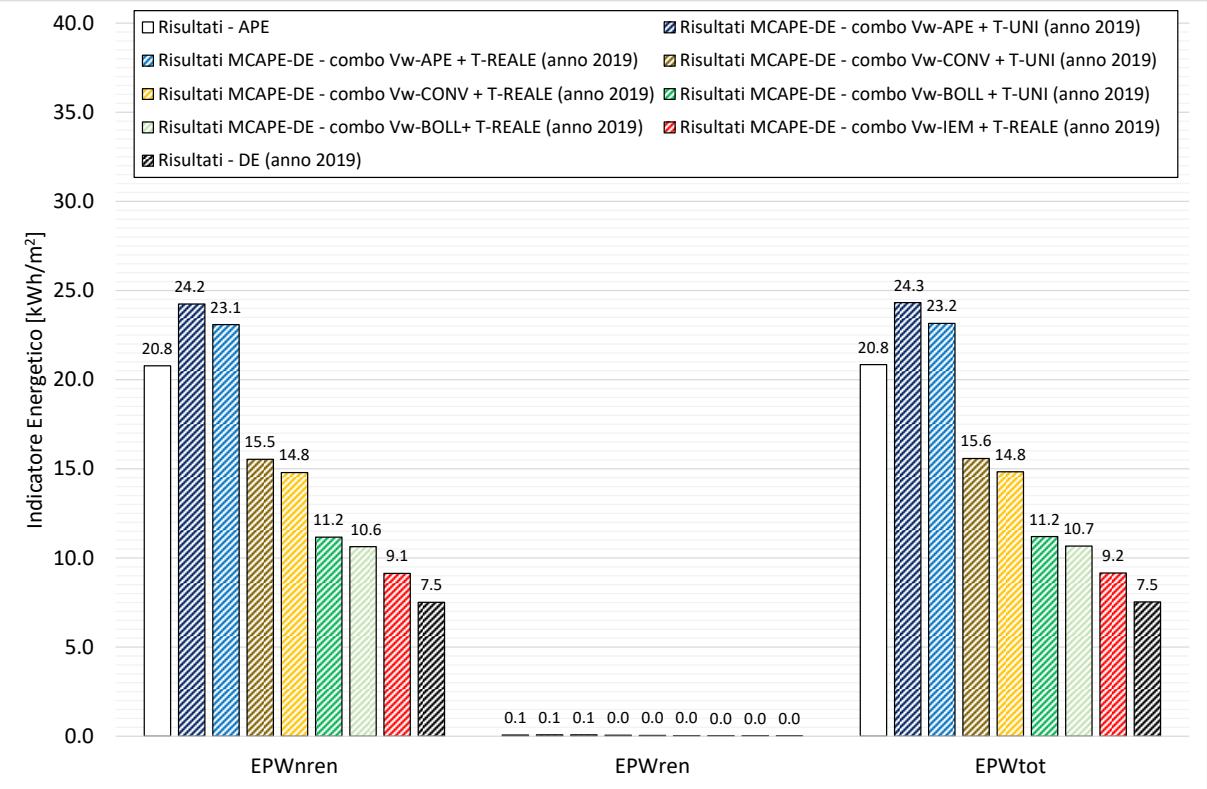


Figura 33. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

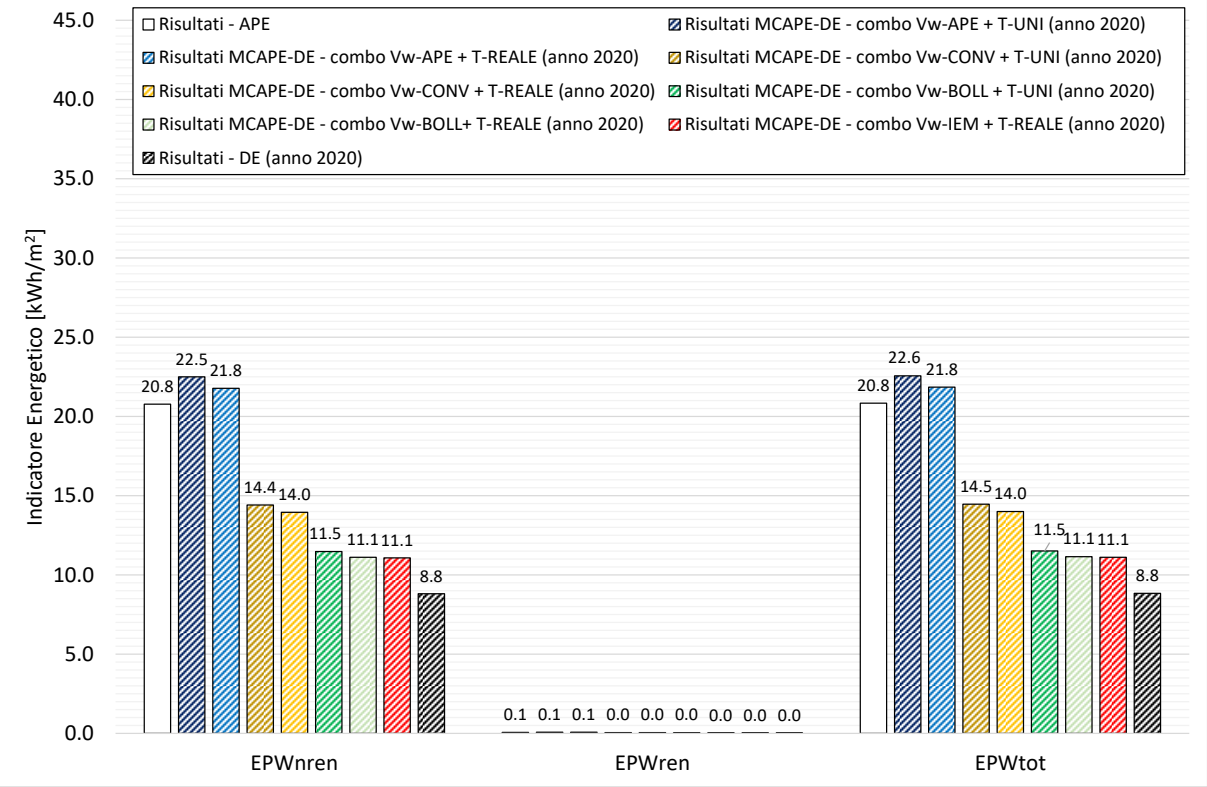


Figura 34. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

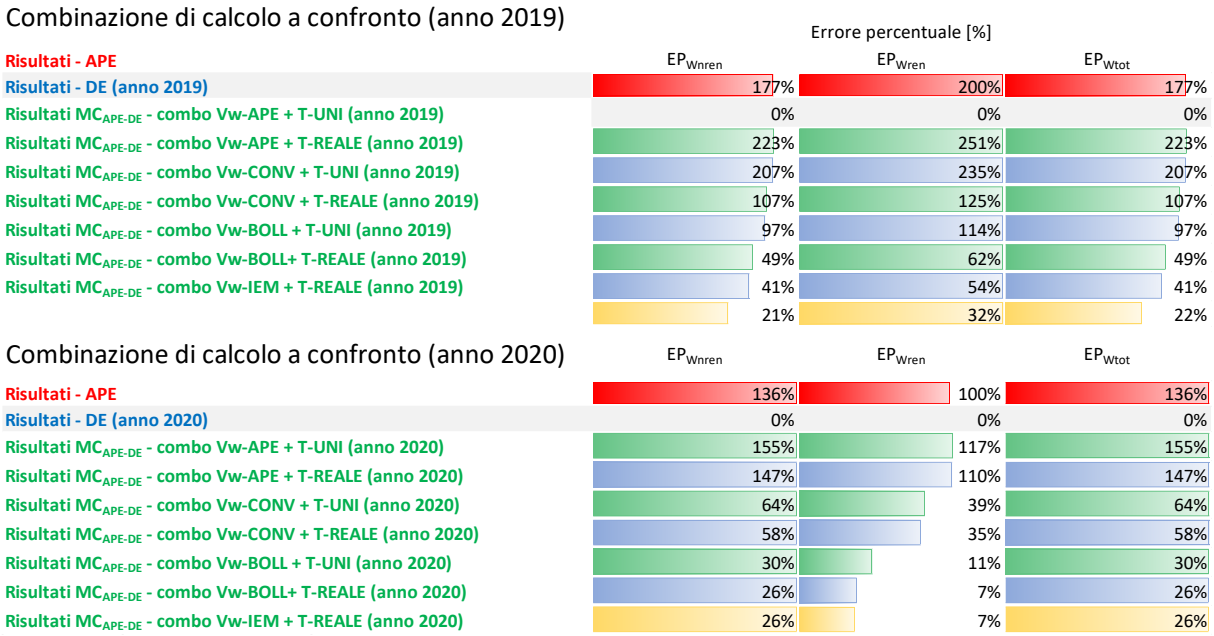


Figura 35. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. Al contrario, il calcolo APE tende a sovrastimare nettamente i risultati della DE con divergenze che variano da un minimo di 136% (indicatore EP_{Wtot} del 2020) ad un massimo del 177% (indicatore EP_{Wtot} del 2019).

La divergenza maggiore è stata riscontrata per l'indicatore rinnovabile (EP_{Wren}) con tutte le metodologie di calcolo; questa è principalmente dovuta ai piccolissimi valori assunti dall'indicatore stesso (valori della DE inferiori a 0.1 kWh/m^2). Tuttavia, come evidenziato in Tabella 96, l'errore assoluto tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±2.0 kWh/m^2 e, nello specifico, dell'ordine di ±0.02 kWh/m^2 per l'indicatore EP_{Wren}.

In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE", sebbene la stessa restituisca un valore leggermente sottostimato nel 2020.

In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, tutte e tre le metodologie alternative sembrano restituire un risultato più aderente ai reali consumi energetici; si tiene a precisare, comunque, che qualsiasi valutazione conclusiva sulla combinazione di calcolo più idonea da adottare dovrà tener presente anche della peculiarità del caso studio indagato. Infatti, come più volte riportato, esso è caratterizzato da profili occupazionali molto specifici che hanno determinato un consumo molto basso di entrambi i vettori energetici.

Tabella 96. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m^2]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	11.64	9.70	56.06	46.70
	EP_{Wren}	0.04	0.03	55.90	46.50
	EP_{Wtot}	11.68	9.73	56.06	46.70
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-1.62	-2.27	-21.50	-25.76
	EP_{Wren}	-0.01	0.00	-32.31	-7.00
	EP_{Wtot}	-1.62	-2.27	-21.53	-25.69

2.4.5.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 97, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 36 (anno 2019) e in Figura 37 (anno 2020), nel caso in cui si considerasse anche l'impianto a pompa di calore, e in Figura 38 (anno 2019) e in Figura 39 (anno 2020) in caso contrario.

In generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra +0% e +24% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso tra +3% e +7%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali, come era lecito attendersi in virtù di quanto descritto in 2.3.2, determina una sovrastima dei risultati delle DE (discrepanze dell'ordine del +20% e del 24%).

Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 98, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del 0-4%). In questo caso specifico, la seconda correzione non determina alcuna miglioria non essendo la temperatura di set-point differente da quella prevista da normativa.

Le discrepanze nel caso in cui si trascurasse l'impianto a pompa di calore sono dello stesso ordine di grandezza; risulta però interessante osservare come l'errore relativo legato all'indicatore rinnovabile diminuisca sensibilmente (fino a +7%) come conseguenza di un minore valore dell'errore assoluto (Tabella 98). Sebbene infatti l'indicatore rinnovabile assuma dei valori molto piccoli, il considerare anche l'impianto a pompa di calore, in realtà mai utilizzato nel periodo invernale, comporta un errore nell'applicazione della metodologia maggiore di 1 kWh/m^2 contro gli appena 0.1 kWh/m^2 del secondo caso.

Tabella 97. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento (con impianto a pompa di calore)*		*Anno di riferimento (senza impianto a pompa di calore)*		*u.m.*
		2019	2019	2019	2020	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-2		Liv-Iso-2		[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore standard multistadio		Generatore standard multistadio		[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta		Alta		[-]
Vettore energetico principale		Metano		Metano		[-]
Potenza nominale del generatore		25.6		25.6		[kW]
Efficienza nominale del generatore		91.4		91.4		[%]
Superficie utile		92.91		92.91		[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2204		2204		[GG]
Gradi Giorno – reali		1833	1858	1833	1858	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		4.0	4.0	4.0	4.0	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.831	0.843	0.831	0.843	[-]
	$F_{H\text{-}set}$	1.000	1.000	1.000	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	80.2		81.8		[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	2.8		0.6		[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	83.0		82.3		[kWh/m^2]
	Energia elettrica	548.9		110.6		[kWh]
	Metano	611.2		707.2		[Nm^3]

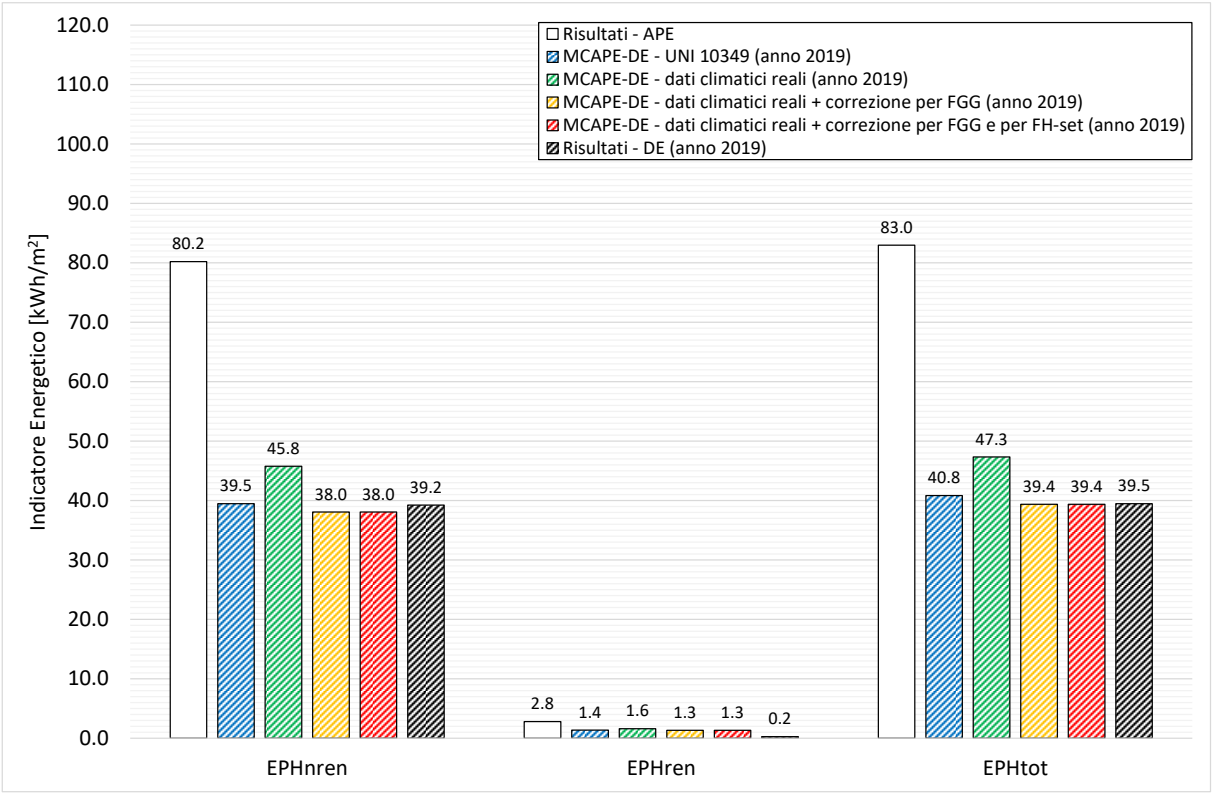


Figura 36. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

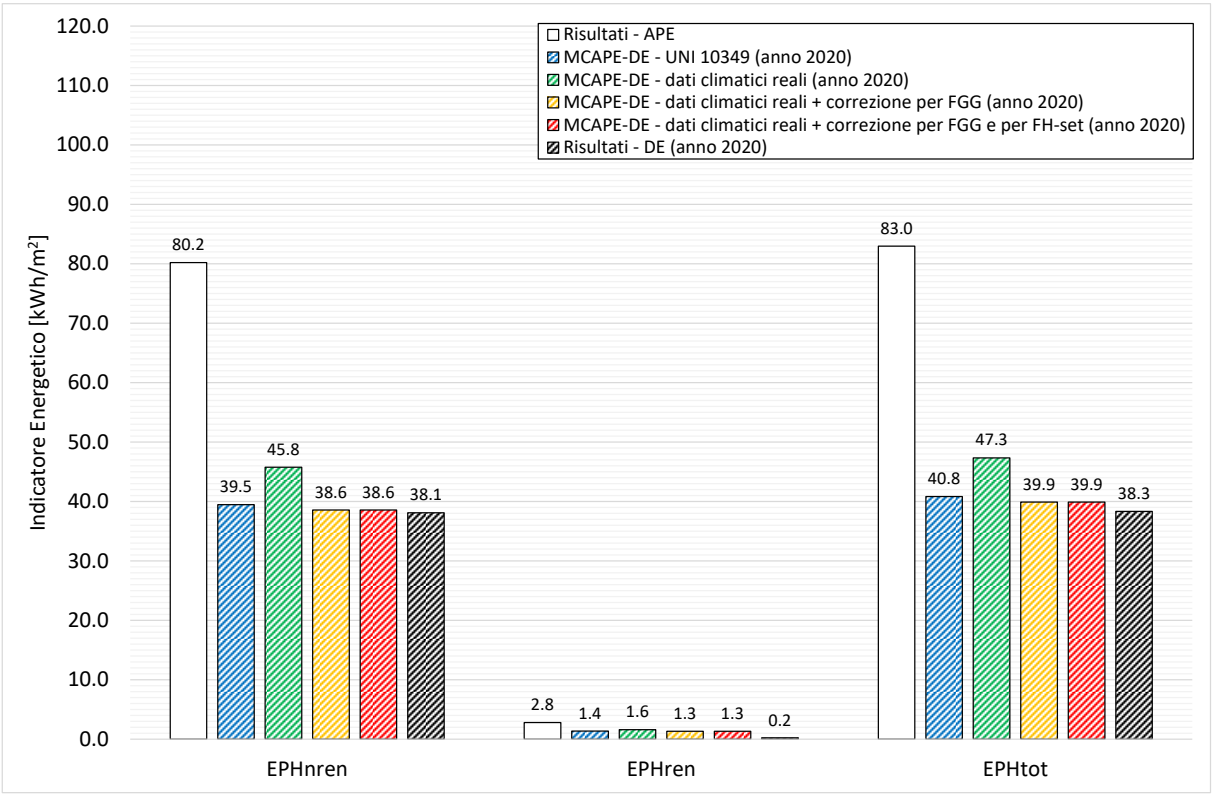


Figura 37. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

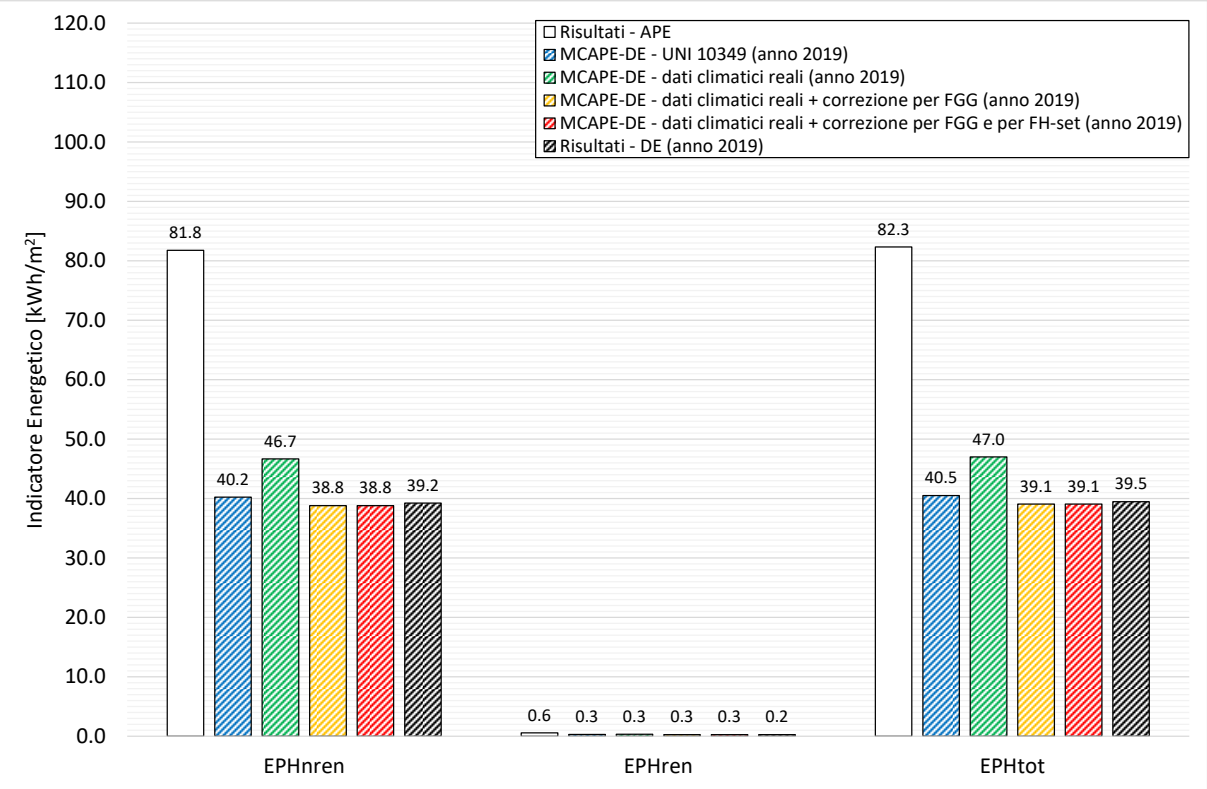


Figura 38. Servizio di riscaldamento nel caso in cui non si consideri l'impianto a pompa di calore: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

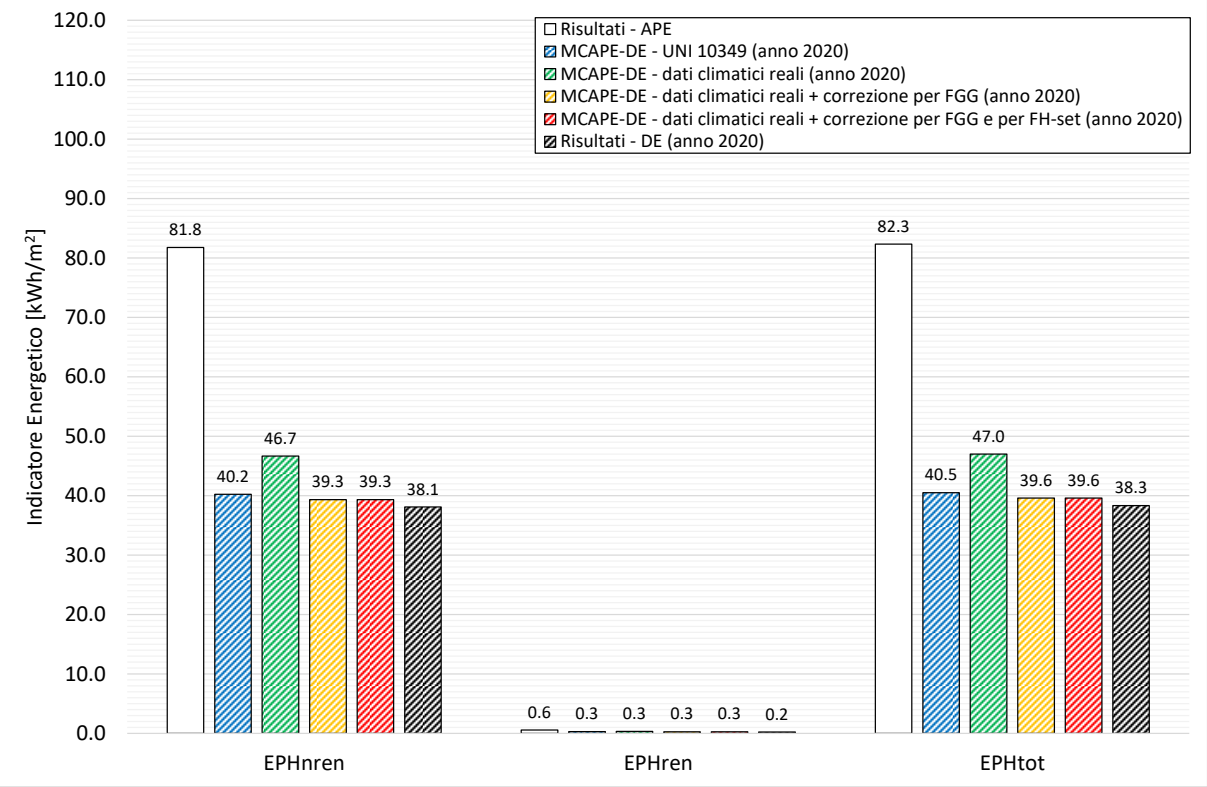


Figura 39. Servizio di riscaldamento nel caso in cui non si consideri l'impianto a pompa di calore: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 98. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore (con pompa di calore)*				*Errore (senza pompa di calore)*			
		Assoluto [kWh/m²]		Relativo [%]		Assoluto [kWh/m²]		Relativo [%]	
		2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	-0.24	-1.36	-0.61	-3.57	-1.02	-2.14	-2.60	-5.61
	EP_{Hren}	-1.12	-1.14	-451.89	-504.45	-0.03	-0.05	-11.23	-21.83
	EP_{Htot}	-1.36	-2.50	-3.45	-6.53	-1.05	-2.19	-2.65	-5.71
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-6.55	-7.67	-16.70	-20.13	-7.45	-8.57	-19.00	-22.50
	EP_{Hren}	-1.34	-1.36	-540.12	-601.08	-0.07	-0.09	-29.02	-41.30
	EP_{Htot}	-7.88	-9.03	-19.98	-23.55	-7.52	-8.66	-19.06	-22.61
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	1.16	-0.48	2.97	-1.26	0.41	-1.24	1.05	-3.26
	EP_{Hren}	-1.07	-1.11	-432.25	-490.95	-0.02	-0.04	-7.27	-19.11
	EP_{Htot}	0.09	-1.59	0.24	-4.15	0.39	-1.28	1.00	-3.35
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	1.16	-0.48	2.97	-1.26	0.41	-1.24	1.05	-3.26
	EP_{Hren}	-1.07	-1.11	-432.25	-490.95	-0.02	-0.04	-7.27	-19.11
	EP_{Htot}	0.09	-1.59	0.24	-4.15	0.39	-1.28	1.00	-3.35

In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, o reali ma corretti per il fattore F_{GG}, la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

L'importante criticità riscontrata evidenzia un limite dell'applicazione della metodologia stessa in mancanza di una seconda APE limitandone l'applicazione a specifiche casistiche. Una possibile soluzione a tale problematica applicabile anche in assenza di una seconda APE, ossia quella senza impianto a pompa di calore, potrebbe essere quella di effettuare dei semplici passaggi matematici andando a depurare gli output dell'APE dal contributo della pompa di calore e ricalcolando gli indicatori con il solo contributo del generatore di calore. Pertanto, per il caso in esame si avrebbe che il $Q_{Hn,ren}$ complessivo è pari a 7450 kWh di cui una parte è dovuto al metano (611 Nm^3) mentre l'altra dall'energia elettrica assorbita sia dal generatore di calore che dalla pompa di calore. A partire dall'energia prodotta dal metano (6377 kWh), è possibile approssimare le ore di accensione dell'impianto (pari a 580 h) e stimare il conseguente consumo di energia elettrica (pari a circa 113 kWh) legato agli ausiliari del generatore di calore. Applicando i relativi fattori di conversione, si ottiene un'energia primaria non rinnovabile legata al solo impianto a pompa di calore di 853 kWh. Seguendo quindi lo stesso approccio, ma in maniera inversa, è possibile calcolare un consumo di metano aggiuntivo per compensare il fabbisogno coperto precedentemente dalla pompa di calore, ottenendo un consumo addizionale di metano pari a circa 96 Nm^3 e di energia elettrica di circa 2 kWh. Combinando quindi i vari risultati (metano complessivo pari a 707 Nm^3 ed energia elettrica pari a circa 115 kWh), si determinano degli indicatori e dei consumi in linea con quelli mostrati in Tabella 97 senza però disporre del secondo calcolo standard. Si precisa che questo è solo un calcolo approssimativo che può essere applicato per quelle casistiche in cui sia necessario depurare il contributo di un generatore non utilizzato.

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.

I risultati, riportati in Tabella 99, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE. In particolare, si osservi come anche in caso informazioni poco accurate sull'orario di accensione dell'impianto, la metodologia avrebbe permesso di identificare un orario medio giornaliero (valore evidenziato in rosso) come quello più probabile.

Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 99. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} [kWh/m²]	EP_{Hren} [kWh/m²]	EP_{Htot} [kWh/m²]	*Consumo elettrico [kWh/anno]*	*Consumo metano [Nm³/anno]*
1	9.9	0.3	10.2	6.6	89.3
2	16.0	0.6	16.6	10.7	145.3
3	22.2	0.8	23.0	14.9	201.3
4	28.4	1.0	29.4	19.0	257.2
5	34.6	1.2	35.8	23.1	313.2
6	40.8	1.4	42.2	27.3	369.2
7	47.6	1.6	49.2	31.8	430.7
8	54.4	1.9	56.2	36.4	492.2
9	61.2	2.1	63.3	40.9	553.8
10	61.7	2.1	63.9	41.3	558.9
11	62.3	2.2	64.4	41.7	564.1
12	62.9	2.2	65.0	42.1	569.2
13	63.4	2.2	65.6	42.4	574.4
14	64.0	2.2	66.2	42.8	579.5
APE	80.2	2.8	83.0	548.9	611.2

2.4.5.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 100, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche della macchina frigorifera, i Gradi Giorno estivi ricalcolati a partire dai dati climatici di normativa [3], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto. Contrariamente alle equazioni trovate per il servizio di riscaldamento (caratterizzate da coefficienti R^2 maggiori di 0.95/0.98), per il raffrescamento l'accuratezza è inferiore presentando valori di R^2 variabile tra un minimo di 0.65 e un massimo di 0.87. Per questo motivo nelle analisi che seguono si è tenuto conto di questa minore affidabilità andando a definire un range di valori plausibili degli indicatori stessi.

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 40 (anno 2019) e in Figura 41 (anno 2020). Anche per il raffrescamento, si riscontra una evidente sovrastima dei risultati dell'APE in tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra -69% e -29% del principale indicatore energetico (EP_{Ctot}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore del 60%; tale discrepanza tende a crescere quando si utilizzano i dati climatici reali che determinano una maggiore sottostima dei risultati rispetto le DE (discrepanze dell'ordine del -64%).

Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GGe}, come si evince anche dalla Tabella 101, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi leggermente portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del -43% e del -53%). Effettuando anche la correzione legata alla differente temperatura di set point, invece, si riesce ridurre ulteriormente questo divario dalla DE, con un errore relativo compreso tra il -29% e il -42%.

Come anticipato, queste discrepanze fin qui argomentate possono in realtà subire delle variazioni più o meno marcate in funzione dell'accuratezza delle equazioni impiegate. Per questo, nelle figure sono stati riportati anche i range (linee in nero) rappresentanti i valori minimi e massimi che possono essere assunti dai vari indicatori energetici. Si osservi come la maggior variazione dei valori si riscontri per quelle combinazioni per

le quali si è effettuata la correzione per i fattori F_{GGe} e $F_{C\text{-}set}$, mentre risultano nettamente più contenute per le prime due combinazioni. Se si considerasse questo range, le discrepanze rispetto la DE potrebbero variare significativamente; ad esempio, nel caso della combinazione $MC_{APE\text{-}DE}$ basata sui dati reali e corretti per i fattori correttivi, il range superiore (valore massimo) permetterebbe di ottenere una migliore convergenza con le DE presentando un errore relativo del +5% o del -14%.

Tabella 100. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$.

Parametro di input		*Anno di riferimento*	
		2019	*2020*
Livello di isolamento dell'edificio [-]		Liv-Iso-2	
Tipologia del generatore di calore [-]		Macchina frigorifera	
Potenza nominale del generatore [kW]		4.60	
EER [-]		2.50	
Superficie utile [m²]		92.9	
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		4186	
Gradi Giorno – reali		6659	6402
Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]		8.00	8.00
Fattori correttivi	F_{GGe}	1.593	1.529
	$F_{C\text{-}set}$	1.238	1.238
Risultati APE	EP_{nren} [kWh/m²]	13.34	
	EP_{ren} [kWh/m²]	3.22	
	EP_{tot} [kWh/m²]	16.55	
	Energia elettrica [kWh]	636.17	

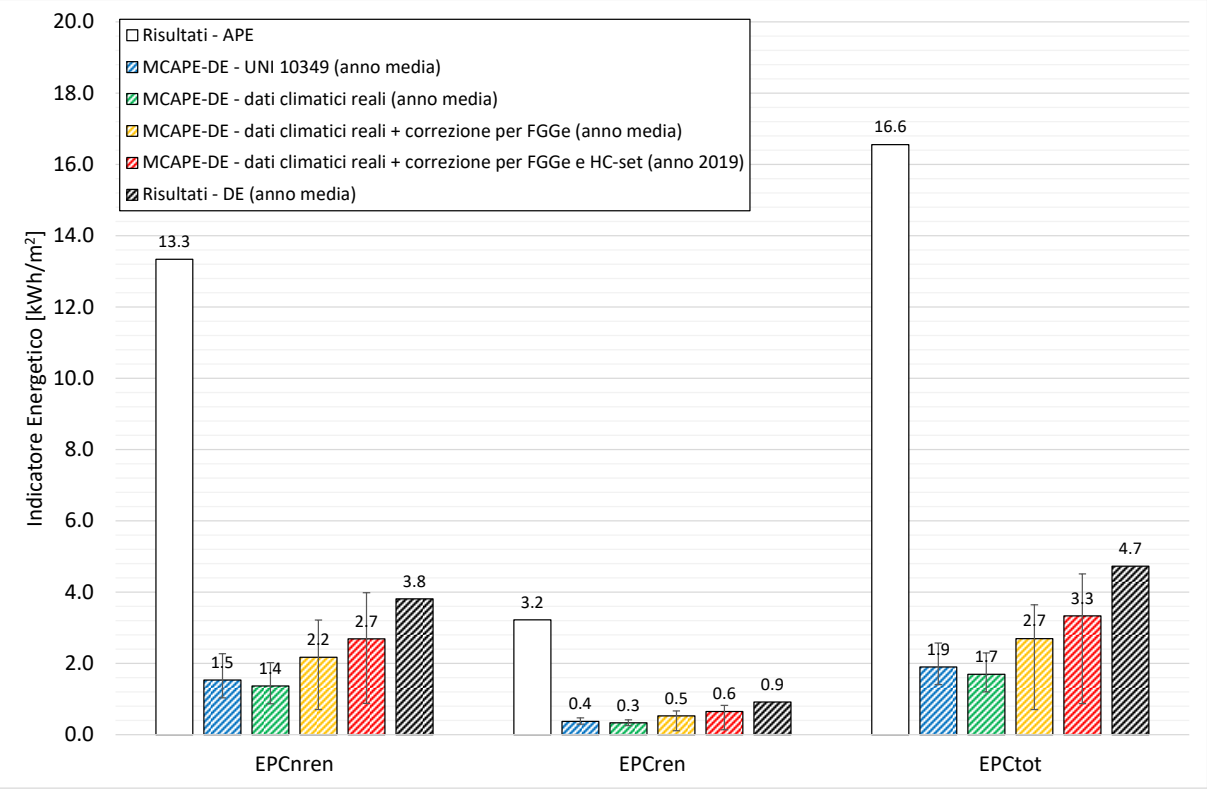


Figura 40. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$) per l'anno 2019.

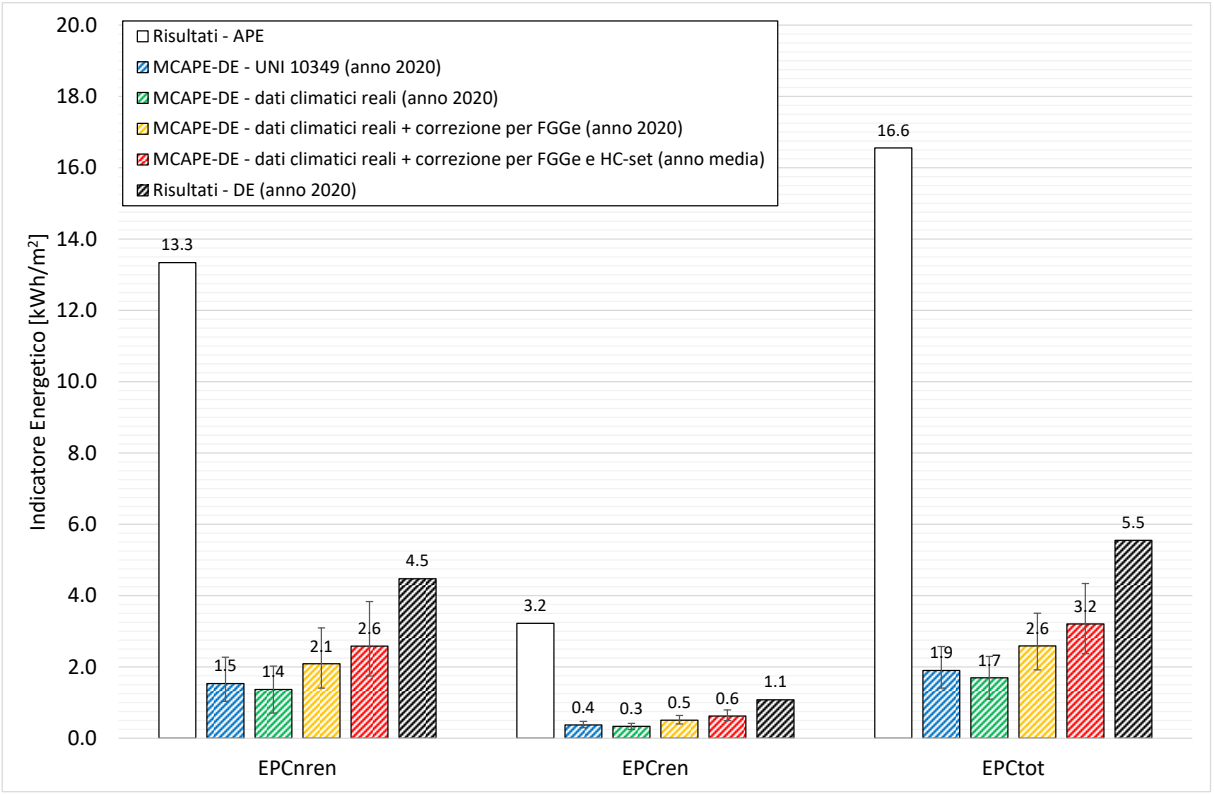


Figura 41. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 101. Servizio di raffrescamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore (con pompa di calore)*			
		Assoluto [kWh/m²]		Relativo [%]	
		2019	2020	2019	2020
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno Estivi	EP_{Cnren}	2.28	2.94	59.84	65.79
	EP_{Cren}	0.55	0.71	59.79	65.75
	EP_{Ctot}	2.83	3.65	59.83	65.79
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno Estivi ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Cnren}	2.44	3.11	64.18	69.49
	EP_{Cren}	0.59	0.75	64.14	69.46
	EP_{Ctot}	3.03	3.86	64.18	69.49
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno Estivi ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GGe}	EP_{Cnren}	1.64	2.39	43.03	53.35
	EP_{Cren}	0.39	0.57	42.96	53.29
	EP_{Ctot}	2.03	2.96	43.02	53.34
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GGe} e F_{C-set}	EP_{Cnren}	1.12	1.89	29.46	42.24
	EP_{Cren}	0.27	0.45	29.38	42.17
	EP_{Ctot}	1.39	2.34	29.45	42.23

2.4.5.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia MC_{APE-DE} sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per il fattore correttivo F_{GG};
- Raffrescamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi (F_{GGe} e $F_{C\text{-set}}$);

Il confronto dei consumi di metano e di quelli di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 42 e in Figura 43. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.
Entrando più nel dettaglio, l'errore più elevato (rimarcato in Tabella 102) si riscontra per l'energia elettrica (pari al +21% nel 2019 corrispondete ad una differenza di appena 50 kWh) mentre il metano si attesta al -2% nel 2019 (pari a circa 9 Nm^3) e al -7% nel 2020 (circa 27 Nm^3). I risultati evidenziano, invece, una importante sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale compresa tra il 60-75%). Gli esiti del confronto confermano quindi una buona affidabilità della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$.

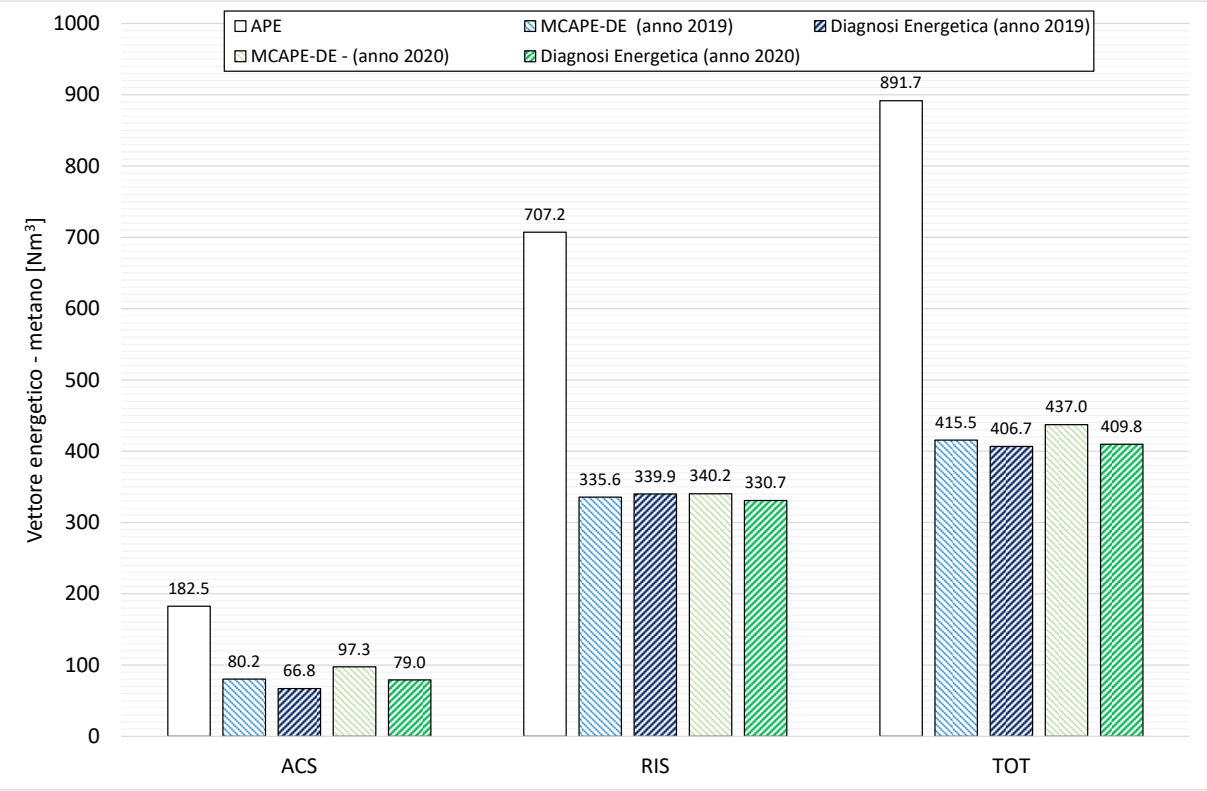


Figura 42. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$).

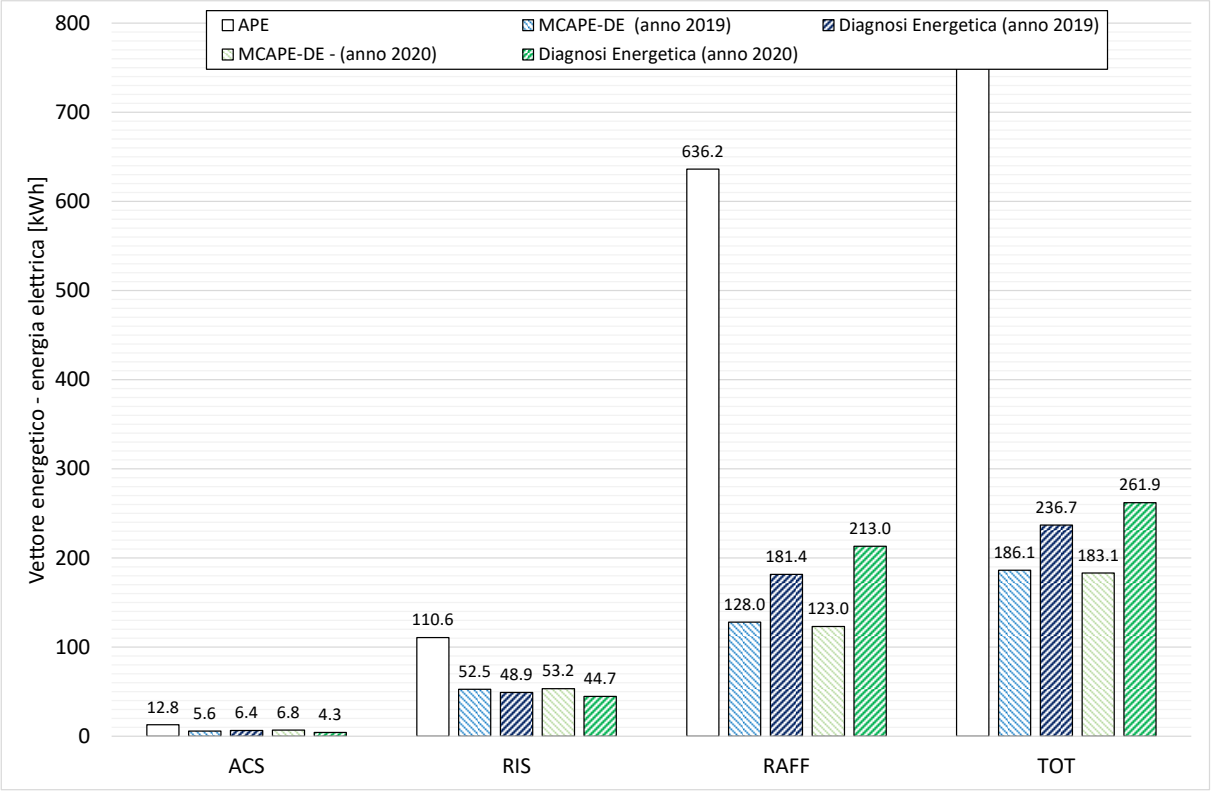


Figura 43. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 102. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2019	0.8	-3.6	53.5	50.6	11.8	-7.3	29.5	21.4
	2020	-2.6	-8.5	90.0	78.9	-60.5	-19.1	42.2	30.1
Metano	2019	-13.4	4.3	0.0	-8.7	-20.0	1.3	0.0	-2.1
	2020	-18.3	-9.4	0.0	-27.3	-23.1	-2.9	0.0	-6.7

2.4.6 Caso Studio n. 4 – E.1-4

Il quarto caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano secondo di una palazzina costruita nel 1990 nel comune di Foligno (PG), regione Umbria, città contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 103. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi agli ultimi due anni e, in particolare, del 2019 e del 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questi due anni di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 104 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come i valori di temperatura medi annuali registrati nel 2019 (15.8 °C) e nel 2020 (15.1 °C) siano di poco superiori a quello fornito dalla UNI 10349 (14.4 °C) di circa 1-1.5°C, evidenziando già una modesta divergenza tra divergenza tra gli input impiegati per le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 103. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Foligno
	Altitudine [10]	234 m s.l.m.
	Latitudine	42° 57'
	Longitudine	12° 42'
	Gradi Giorno [10]	1899
	Zona climatica [10]	D
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	166 giorni dal 1/11 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	2.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	29.6
	Temperatura di bulbo umido [°C]	19.1
	Escursione termica giornaliera [°C]	10.0
	Umidità relativa [%]	37.6

Tabella 104. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*			*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²][1, A e B]*
	Normativa [1,A]	*2019 [2,B]*	*2020 [2,B]*	
Gennaio	5.5	4.1	6.2	4.8
Febbraio	6.7	8.1	9.0	10.1
Marzo	9.5	11.3	9.9	11.6
Aprile	13.1	13.5	13.3	18.1
Maggio	18.5	15.1	18.4	21.5
Giugno	21.3	24.7	20.7	21.8
Luglio	25.3	27.3	25.2	25.0
Agosto	25.4	26.5	26.2	23.5
Settembre	18.9	21.2	21.0	16.3
Ottobre	14.4	17.0	14.1	11.4
Novembre	9.9	12.8	10.9	5.9
Dicembre	4.7	8.3	6.5	5.1
Media annua	14.4	15.8	15.1	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "Foligno" - coordinate geografiche 42.95314 e 12.67908, quota 224 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.6.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 105) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 44).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, il caso studio è caratterizzato da tre tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno, una seconda tipologia (M2) divide l'ambiente riscaldato dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.90, e una terza (M3) di separazione tra due zone riscaldate. Sia il solaio inferiore (S_i1) che quello superiore (S_S1) dividono la zona climatizzata da altre unità immobiliari (zone sempre riscaldate).

Tabella 105. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	1995	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	4	[-]
Piano del caso studio	Secondo	[-]
Altezza media vani	2.70	[m^2]
Superficie utile climatizzata	76.80	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	91.24	[m^2]
Volume netto climatizzato	207.36	[m^3]
Volume lordo climatizzato	290.82	[m^3]
Superficie disperdente	81.27	[m^2]
Rapporto S/V	0.28	[m^{-1}]

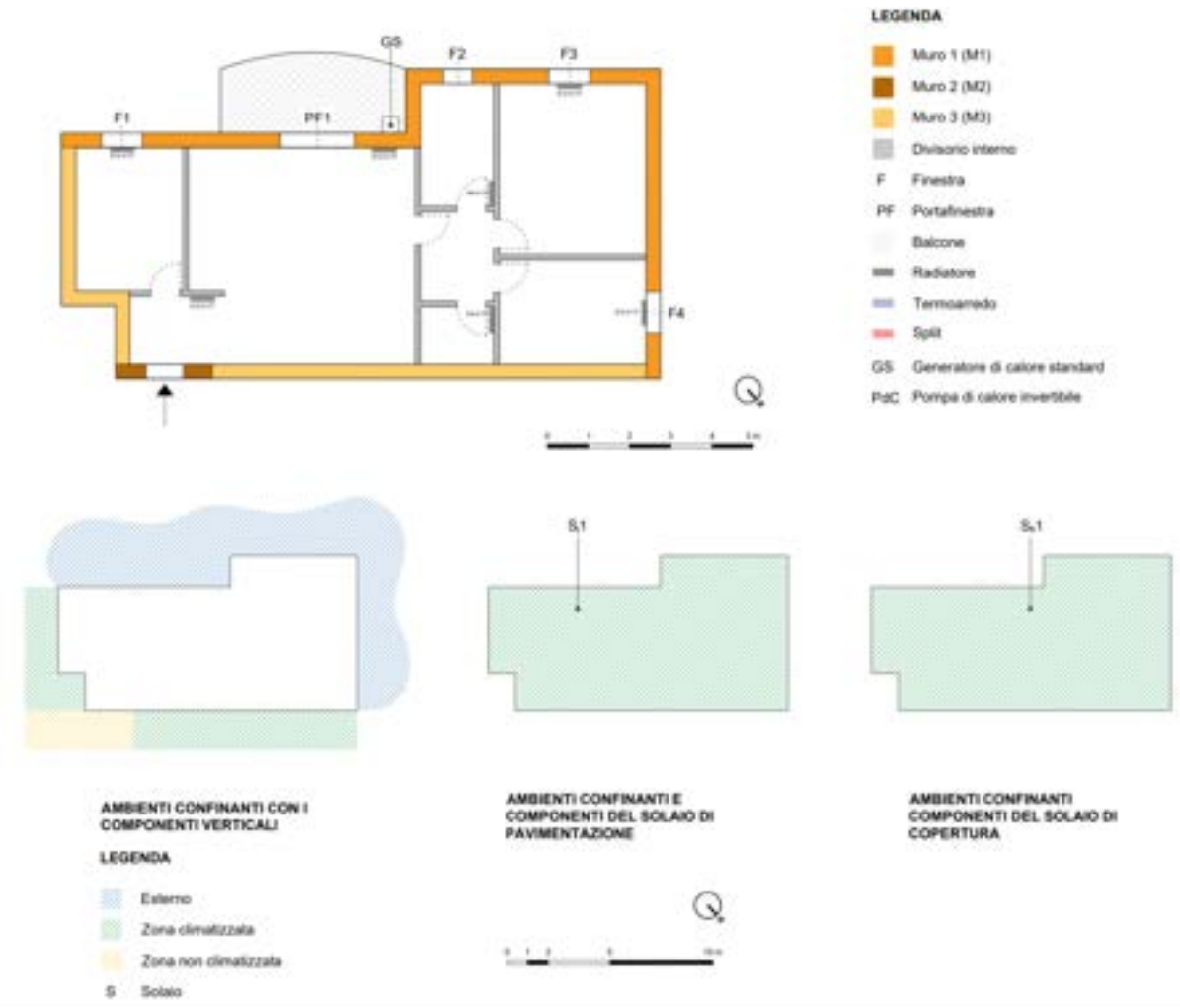


Figura 44. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (struttura con travi e pilastri) con tamponature esterne realizzate con blocchi di laterizio rifinite esternamente con intonaco, mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 18 + 5 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 106 a Tabella 112 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza.
Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.

Tabella 106. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	*Intonaco di calce e gesso*	10	0.700	0.014
2	*Mattone forato*	80	0.400	0.200
3	*Intercapedine d'aria*	90	0.500	0.180
4	*Polistirene espanso in lastre*	30	0.036	0.833
5	*Mattone forato*	120	0.800	0.150
6	*Intonaco di calce e gesso*	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		350	-	1.576
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.634	

Tabella 107. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	80	0.400	0.200
3	Intercapedine d'aria	90	0.500	0.180
4	Polistirene espanso in lastre	30	0.036	0.833
5	Mattone forato	120	0.800	0.150
6	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		350	-	1.576
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.634	

Tabella 108. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Cartongesso	13	0.211	0.062
2	Intercapedine d'aria	300	1.667	0.180
3	Polistirene sintetizzato	20	0.036	0.556
4	Blocco forato	120	0.800	0.150
5	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.015
Esterno		-	-	0.040
Totale		473		1.133
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.873	

Tabella 109. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	80	0.400	0.200
3	Intercapedine d'aria	90	0.500	0.180
4	Polistirene espanso in lastre	30	0.036	0.833
5	Mattone forato	120	0.800	0.150
6	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Vano scale		-	-	0.130
Totale		350	-	1.666
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.600	

Tabella 110. Stratigrafia della parete M3: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	300	0.319	0.940
3	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.130
Totale		320	-	1.228
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.814	

Tabella 111. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso un'altra unità abitativa.

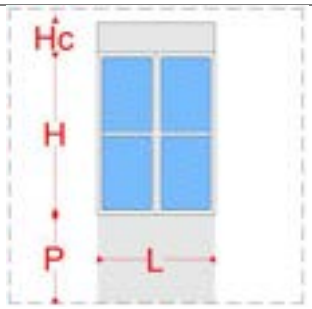
	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	*Pavimentazione in ceramica*	15	1.300	0.012
2	*Polistirene*	20	0.036	0.556
3	*Massetto alleggerito*	50	0.580	0.086
4	*Soletta in laterizio*	180	0.500	0.360
5	*Intonaco di calce e gesso*	20	0.700	0.021
Zona riscaldata		-	-	0.170
Totale		285	-	1.375
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.724	

Tabella 112. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso un'altra unità abitativa.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.100
1	*Pavimentazione in ceramica*	15	1.300	0.012
2	*Polistirene*	20	0.036	0.556
3	*Massetto alleggerito*	50	0.580	0.086
4	*Soletta in laterizio*	180	0.500	0.360
5	*Intonaco di calce e gesso*	20	0.700	0.021
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		285	-	1.235
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.805	

In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 113) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 114) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 113. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
	F01	1.00	1.40	1.00	0.30	1.40	0.74	2.610
	PF01	1.80	2.40	0.00	0.30	4.32	2.70	2.740
	F02	0.70	1.40	1.00	0.30	0.98	0.58	2.624
	F03	1.40	1.20	1.00	0.35	1.68	0.92	2.581
	F04	1.40	1.20	1.00	0.35	1.68	0.92	2.581

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 114. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete – telaio	0.018
B – parete – balcone	0.369
IF – parete – solaio di interpiano (con zona riscaldata)	0.328
C – angolo tra pareti (sporgente)	0.170
C – angolo tra pareti (rientrante)	0.292

Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di un generatore di calore di tipo standard, installato come evidenziato in Figura 44 che permette di soddisfare i servizi energetici di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Per il riscaldamento dell'ambiente, il calore viene immesso ad alta temperatura (80°C) attraverso dei radiatori in alluminio e regolato mediante cronotermostato di zona.
Le caratteristiche tecniche del generatore di calore sono riassunte in Tabella 115, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 116.

Tabella 115. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*ECO AR 24 KIS*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Esterno
Potenza nominale – P_n [kW]	26.3
Potenza minima – P_{min} [kW]	11
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	216
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	153
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	24
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	92.9
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	91.2
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	7
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	0.07
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	0.8
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\ -\ min}$ [%]	15.0

Tabella 116. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	×
Generatore di calore		Standard	Standard	n.d.
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	n.d.
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	n.d.
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	n.d.
	Tubazioni	Incassate nel pavimento	Incassate nel pavimento	n.d.
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	n.d.
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in alluminio	n.d.
	T esercizio	42 °C [4]	80 °C	n.d.
	ΔT	-	20 °C	n.d.
	Valvole	-	Assenti	n.d.
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona	n.d.
	Caratteristiche	-	On-off	n.d.

2.4.6.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative agli anni 2019 e il 2020, sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dall'utente) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale.
Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato abitato da un nucleo familiare costituito da inizialmente tre persone aumentato a quattro a fine 2019, per un totale di 343 giorni nel 2019 e di 355 giorni nel 2020. Il caso studio selezionato, quindi, presenta un profilo occupazionale molto interessante e differente nei due anni di analisi sia in termini di utilizzo che di nucleo familiare; in considerazione di quello adottato generalmente nel calcolo "*asset rating*" è lecito attendersi una significativa divergenza tra APE e DE.

I consumi di acqua, metano ed energia elettrica acquisiti per i due anni analizzati, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza degli utenti, sono riassunti in Tabella 117.
Risulta rilevante osservare come tra il 2019 e il 2020 i consumi elettrici siano aumentati del quasi 45%, quelli di metano del quasi 36% mentre quelli di acqua del 3.3%. Questo incremento potrebbe essere legato ad un differente utilizzo dell'immobile da parte degli utenti a seguito della nascita del secondo figlio; in particolare, in accordo con quanto affermato nel questionario, all'aumento della temperatura di set-point all'interno dell'abitazione passata da 20°C (2019) a 22°C (2020).

Tabella 117. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020).

Mese	*Anno 2019*				*Anno 2020*			
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*
Gennaio	31	18823	160	132	31	19316	153	165
Febbraio	28	17002	149	117	29	18070	141	142
Marzo	31	18823	132	77	31	19316	154	127
Aprile	30	19682	128	55	30	18693	132	95
Maggio	31	20338	139	28	31	19899	157	34
Giugno	28	18370	137	15	28	17973	175	28
Luglio	22	14434	111	11	22	14122	190	19
Agosto	22	14434	115	12	31	19899	131	21
Settembre	28	18370	105	23	30	19257	127	32
Ottobre	31	18981	138	47	31	19899	231	72
Novembre	30	18369	135	75	30	18369	327	102
Dicembre	31	18981	168	109	31	18981	425	119
Totale	343	216607	1617	701	355	223794	2343	956

2.4.6.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 45 e Tabella 118) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica C con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 72.24 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 530 Nm^3/anno e di quasi 72 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 117), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato. Il presente caso studio rappresenta, inoltre, una casistica molto interessante e peculiare in quanto è il primo che presenta un consumo di metano reale maggiore di quello derivante dal calcolo standard.

Figura 45. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 118. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	4132	29	4161	53.8	0.4	54.2	384.4	61.7
Acqua Calda Sanitaria	1569	5	1574	20.4	0.1	20.5	148.3	10.6
Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Globale	5701	34	5735	74.2	0.4	74.7	532.7	72.3

2.4.6.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre due DE, la prima relativa all'anno 2019 mentre la seconda al 2020. Come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 104, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.6.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di metano destinati all'uso cucina;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.6.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina

L'analisi del questionario ha permesso di stimare il tempo medio speso per cucinare e la percentuale dei pasti consumati a casa all'interno di un "*mese tipo*" composto da quattro "*settimane tipo*". Combinando queste informazioni, si sono stimate le ore medie giornaliere spese per cucinare, pari a 0.61 h/giorno sia nel 2019 che nel 2020. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice A dove, in aggiunta alle informazioni fornite dai fruitori, è riportato anche il calcolo della percentuale media settimanale dei pasti consumati in una "*settimana tipo*" e il tempo medio speso per cucinare associato per ciascuna tipologia di pasto.
Assumendo quindi un consumo di metano medio dei fornelli di 0.16 m^3/h (valore assunto come plausibile in funzione delle abitudini degli utenti) e in considerazione degli effettivi giorni di presenza dichiarati, si è stimato un consumo destinato alla sola cottura dei cibi pari a 33.32 Sm^3/anno (pari a 31.59 Nm^3/anno) nel 2019 (Tabella 119) e a 34.49 Sm^3/anno (pari a 32.69 Nm^3/anno) nel 2020 (Tabella 120), corrispondenti rispettivamente allo 4.75% e il 3.61% del consumo totale di metano registrato.

Tabella 119. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm^3]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm^3]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	18.82	3.01	132	2.28
Febbraio	28	17.00	2.72	117	2.32
Marzo	31	18.82	3.01	77	3.91
Aprile	30	18.21	2.91	55	5.30
Maggio	31	18.82	3.01	28	10.76
Giugno	28	17.00	2.72	15	18.13
Luglio	22	13.36	2.14	11	19.43
Agosto	22	13.36	2.14	12	17.81
Settembre	28	17.00	2.72	23	11.83
Ottobre	31	18.82	3.01	47	6.41
Novembre	30	18.21	2.91	75	3.89
Dicembre	31	18.82	3.01	109	2.76
Totale	343	208.25	33.32	701	4.75

Tabella 120. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm³]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm³]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	18.82	3.01	165	1.83
Febbraio	29	17.61	2.82	142	1.98
Marzo	31	18.82	3.01	127	2.37
Aprile	30	18.21	2.91	95	3.07
Maggio	31	18.82	3.01	34	8.86
Giugno	28	17.00	2.72	28	9.71
Luglio	22	13.36	2.14	19	11.25
Agosto	31	18.82	3.01	21	14.34
Settembre	30	18.21	2.91	32	9.11
Ottobre	31	18.82	3.01	72	4.18
Novembre	30	18.21	2.91	102	2.86
Dicembre	31	18.82	3.01	119	2.53
Totale	355	215.54	34.49	956	3.61

2.4.6.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dagli utenti mediante questionario, da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari ($V_{W\text{-}acs}$) di circa 100 l/giorno per persona (Tabella 121).
A partire dal fabbisogno stimato si è proceduto con un duplice controllo:

1. Il valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato mensilmente non deve essere maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette;
2. Il consumo di metano calcolato a partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato non deve superare quello dichiarato in bolletta depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina.

Il primo controllo è anche quello più facilmente verificabile e ha restituito esito positivo per entrambi gli anni esaminati (Figura 46).
Ai fini del secondo controllo, invece, è stata fatta la seguente assunzione: il combustibile riportato in bolletta da maggio a settembre è destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria e cottura dei cibi. Questa ipotesi trova riscontro sia con le abitudini dei fruitori sia con il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento previsto da normativa per la zona climatica D. A partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato, in accordo con la metodologia prevista dalla UNI TS 11300-2 [5], è stato calcolato il relativo consumo di metano che è stato messo a confronto con il valore dichiarato in bolletta congiuntamente con il consumo stimato per l'uso cucina (Figura 47).

Tabella 121. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo per utente [%]*				*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato per utente [l/giorno·persona]*			
		n. 1	*n. 2*	*n. 3*	*n. 4*		*n. 1*	*n. 2*	*n. 3*	*n. 4*
Doccia	1	100	100	0	0	60	60	60	0	0
Lavabo	2	50	50	50	0	12	12	12	12	0
Bidet	1	100	100	50	0	10	10	10	5	0
Vasca da bagno	1	0	0	50	50	200	0	0	100	100
Lavello da cucina	1	50	50	0	0	20	10	10	0	0
Totale	6	-	-	-	-	-	92	92	117	100

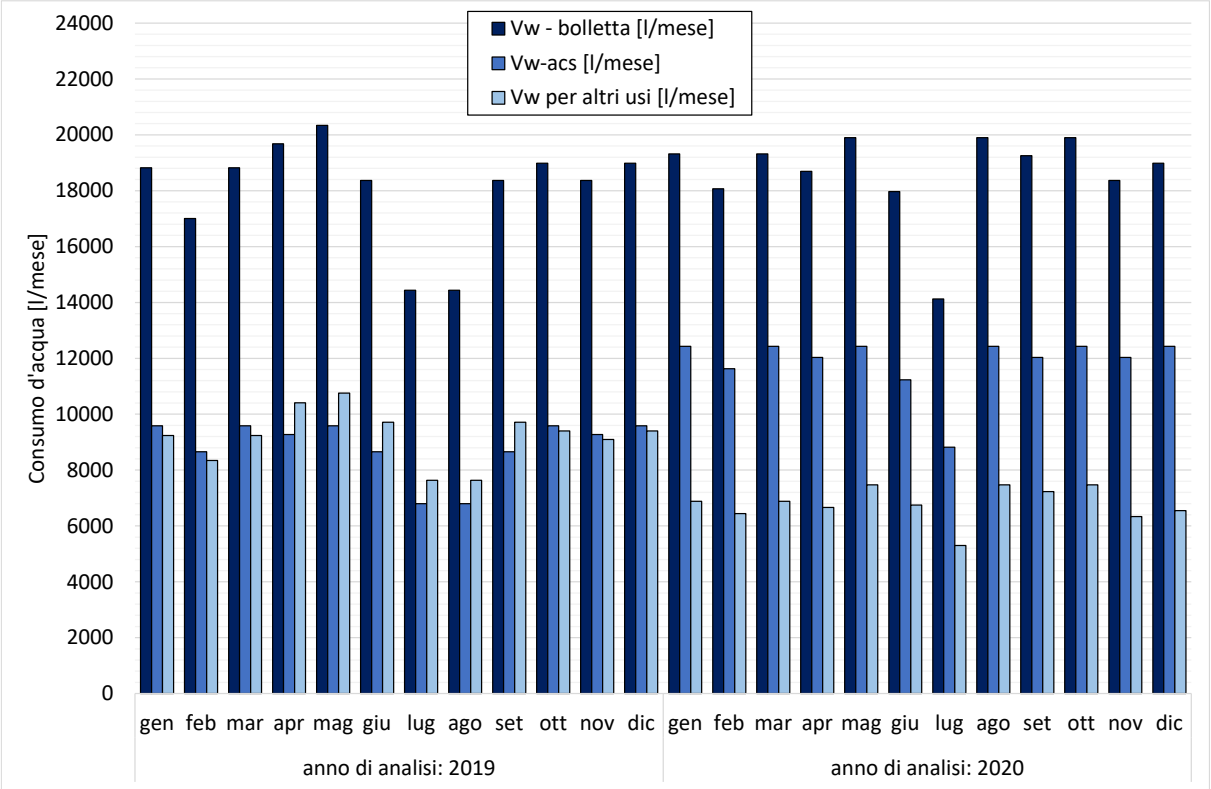


Figura 46. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

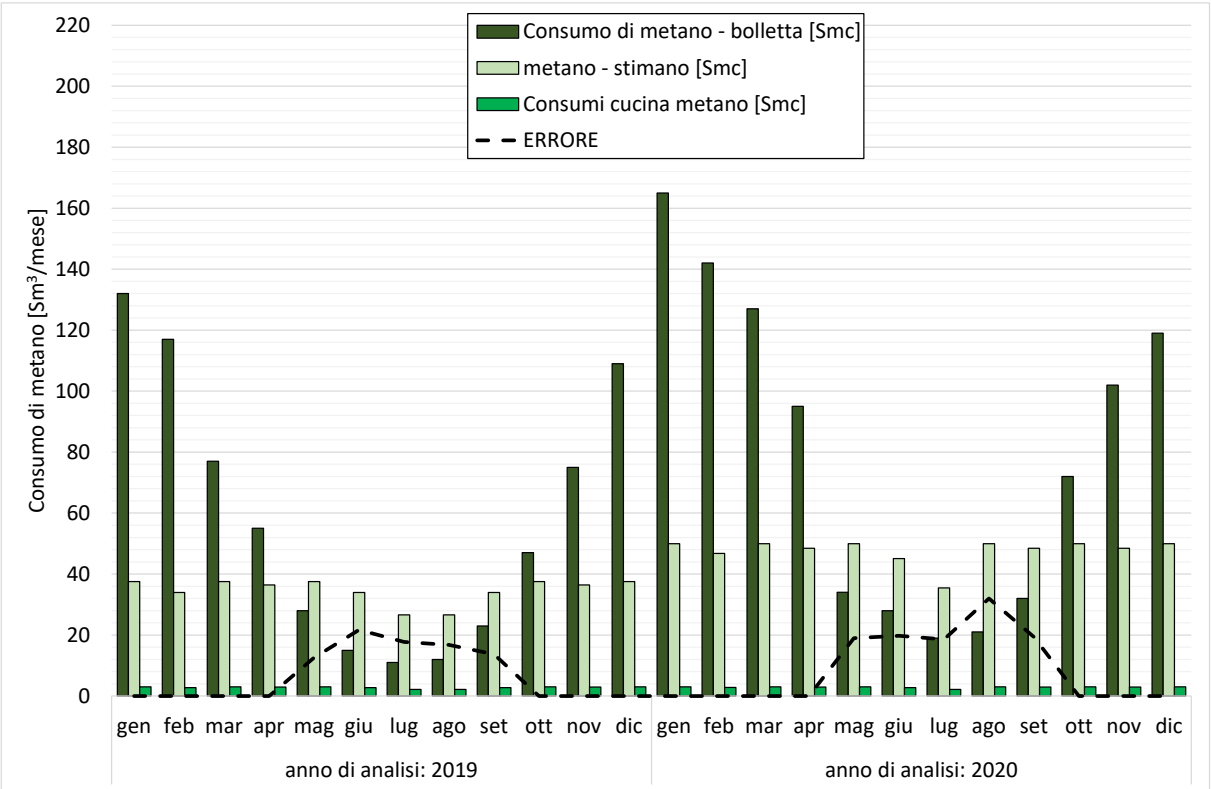


Figura 47. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$.

Il risultato evidenzia come il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato con l'approccio standard non possa essere mantenuto costante in ogni mese dell'anno, in quanto si evidenzia un importante scostamento (linea tratteggiata in nero) specialmente nei mesi intermedi. Questa discrepanza è dovuta al fatto che durante i mesi più caldi, a parità di volume d'acqua consumato, la richiesta di acqua calda è in realtà più contenuta sebbene sia aumentata nel 2020 probabilmente dovuta alla nascita del figlio.
In virtù del risultato ottenuto, per i soli mesi in cui si è determinato un consumo di metano superiore a quello di bolletta (quelli per cui il secondo controllo non è soddisfatto), si è deciso di stimare il volume di acqua calda sanitaria a partire dall'effettivo consumo dichiarato (depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina). Il risultato è riportato in Figura 48, in cui si mostra un duplice confronto tra:

1. Il metano riportato in bolletta depurato del consumo stimato per l'uso cucina e il metano consumato per il servizio di acqua calda sanitaria associato in funzione dell'effettivo volume d'acqua calda consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di sinistra);
2. Il volume d'acqua totale riportato in bolletta e il volume d'acqua calda effettivamente consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di destra).

In accordo con i risultati ottenuti, si evince che circa il 38% del consumo di acqua di bolletta del 2019 è stato destinato ai soli usi sanitari, mentre la medesima percentuale si è attestata al 50% nel 2020.
Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dagli utenti; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$, il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. Infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata ($MC_{APE\text{-}DE}$) è richiesto il valore giornaliero medio annuale. I valori medi della DE sono dettagliati in Tabella 122 messi a confronto con il valore giornaliero medio mensile stimato applicando il calcolo standard (APE); in particolare, si osservi come il valore medio stimato con l'APE sia quasi il 50% del valore stimato nel 2019 e circa il 38% di quello del 2020. È quindi lecito attendersi una significativa divergenza dei consumi per il servizio di acqua calda sanitaria.

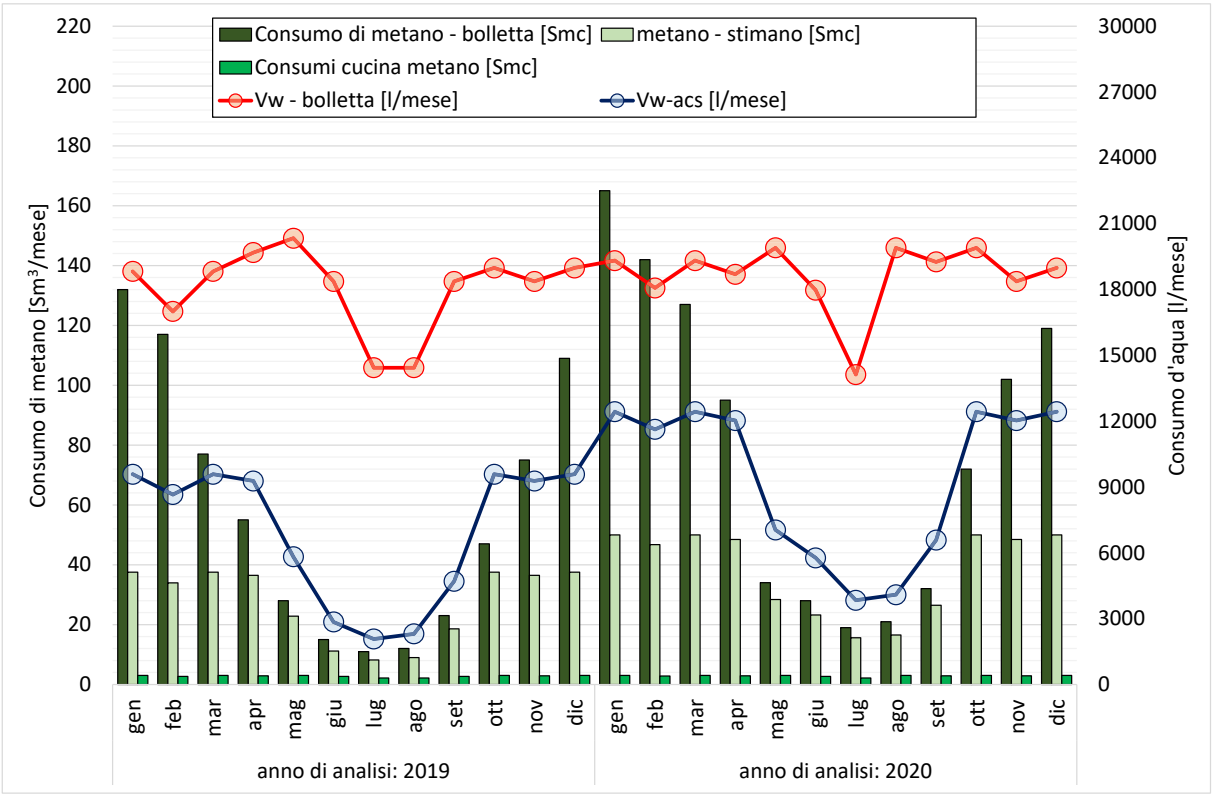


Figura 48. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria.

Tabella 122. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	Anno 2019		Anno 2020		APE
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	9582	309.1	12431	401.0	118.6
Febbraio	8655	309.1	11629	401.0	118.6
Marzo	9582	309.1	12431	401.0	118.6
Aprile	9273	309.1	12030	401.0	118.6
Maggio	5818	187.7	7045	227.3	118.6
Giugno	2849	95.0	5770	192.3	118.6
Luglio	2073	66.9	3839	123.8	118.6
Agosto	2307	74.4	4090	131.9	118.6
Settembre	4706	156.9	6577	219.2	118.6
Ottobre	9582	309.1	12431	401.0	118.6
Novembre	9273	309.1	12030	401.0	118.6
Dicembre	9582	309.1	12431	401.0	118.6
Media	*6940*	*228.7*	*9394*	*308.5*	*118.6*

2.4.6.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dagli utenti mediante il questionario; in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta.
L'analisi ha permesso di definire quindi le configurazioni di funzionamento dell'impianto di riscaldamento medio giornaliero ottimale, ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi:

- anno di analisi 2019: 7 giorni a settimana per 14 ore/giorno;
- anno di analisi 2020: 7 giorni a settimana per 14 ore/giorno.

È stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 123); il servizio più energivoro è risultato il riscaldamento con poco più del 52% del metano consumato nel 2019 e circa il 50% nel 2020, mentre l'incidenza sul consumo dello stesso vettore energetico dovuto al servizio di produzione di acqua calda sanitaria è passato dal 42.8% del 2019, al 46.2% del 2020. Relativamente al vettore energia elettrica si è stimato che il servizio più energivoro sia costituito dall'illuminazione e dall'uso di elettrodomestici, per i quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni.
Il risultato conseguito mediante anche il software di simulazione può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di metano calcolato con quello reale, si ottiene una discrepanza pari a +1.9% per l'anno 2019 e +4.2% per il 2020 (Tabella 123). Questa difformità può essere considerata come un errore accettabile essendo inferiore al ±5% [15].
Infine, in Tabella 124 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo dei vettori energetici) derivanti dalle DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ che con l'approccio APE.

Tabella 123. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Metano [Nm³]	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Nm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
*Cottura dei cibi**	31.6	0.0	32.7	0.0
Riscaldamento	341.2	55.3	430.7	59.6
Produzione di acqua calda sanitaria	279.3	19.1	405.1	27.7
Raffrescamento	-	0.0	-	0.0
*Illuminazione ed Elettrodomestici***	-	1542.5	-	2255.8
Totale	652.1	1617.0	868.5	2343.0
Bollette	664.5	1617.0	906.2	2343.0
scostamento	1.9%	0.0%	4.2%	0.0%

** valore stimato e non restituito dal software di calcolo*
*** valore attributo come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 124. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2019	Riscaldamento	3669	26	3695	47.8	0.3	48.1	341.2	55.3
	Acqua Calda Sanitaria	2952	9	2961	38.4	0.1	38.6	279.3	19.1
	Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	6621	35	6656	86.2	0.5	86.7	620.5	74.5
2020	Riscaldamento	4611	28	4639	60.0	0.4	60.4	430.7	59.6
	Acqua Calda Sanitaria	4282	13	4295	55.8	0.2	55.9	405.1	27.7
	Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	8893	41	8934	115.8	0.5	116.3	835.8	87.2

2.4.6.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.6.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 125, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 49 (anno 2019) e in Figura 50 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: i risultati più accurati si ottengono assumendo un volume d'acqua per usi sanitari pari al 50% del valore registrato in bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI") o adottando un valore determinato dal calcolo convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI), mentre l'approccio standard (combo "Vw-APE + T-UNI) determina una minor convergenza con i risultati della DE. Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wtot}) compresa tra il -5% al +55% (Figura 51);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale una piccola variazione dell'indicatore energetico EP_{wtot} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari al -4% nel 2020 e all'8% nel 2019 (Figura 51).

Tabella 125. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	2020	
Tipologia di generatore		Generatore standard		[-]
Vettore energetico		Metano		[-]
Superficie utile dell'immobile		76.80		[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		14.43		[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		15.83	15.12	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	228.7	308.5	[litri/giorno]
	Convenzionale	343.7	460.2	[litri/giorno]
	Bolletta	290.5	388.9	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	296.7	305.7	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.904	0.953	[-]
	F_{Vw}	1.155	1.155	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	20.4		[kWh/m²]
	EP_{Wren}	0.1		[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	20.5		[kWh/m²]
	Energia elettrica	10.6		[kWh]
	Metano	148.3		[Nm³]

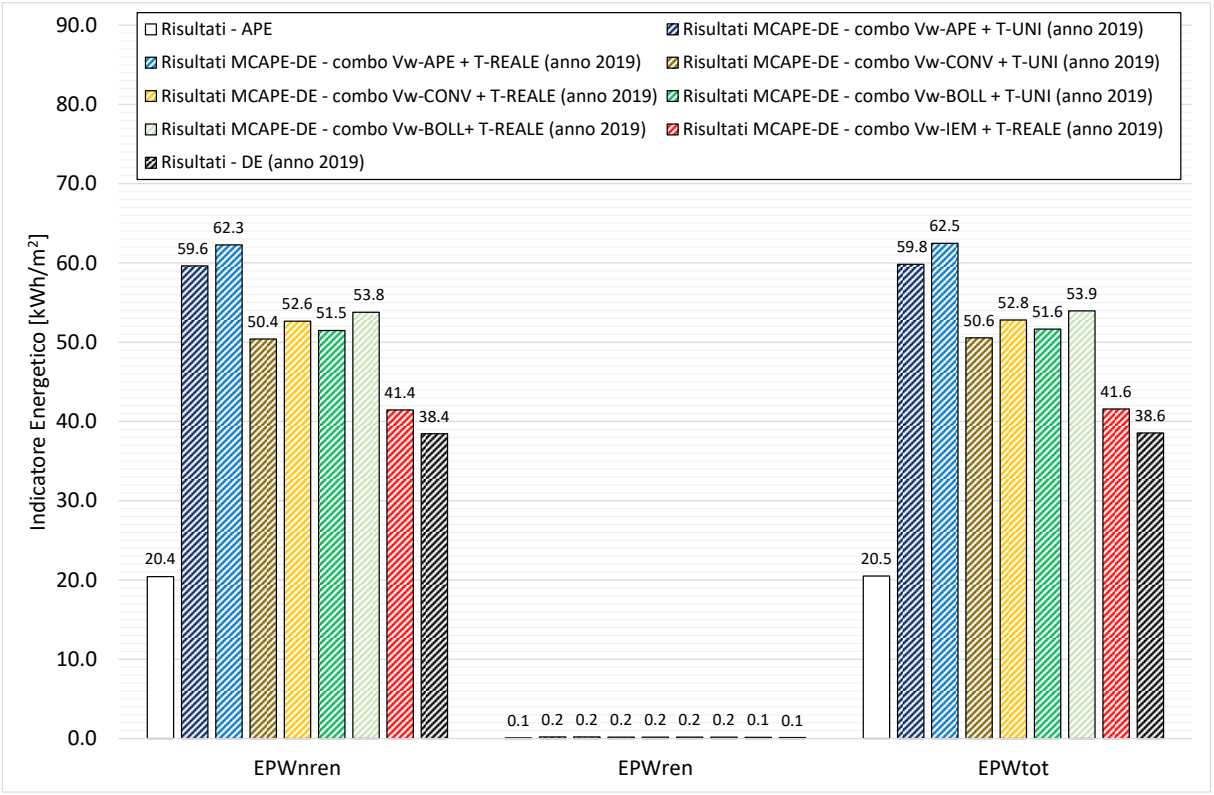


Figura 49. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

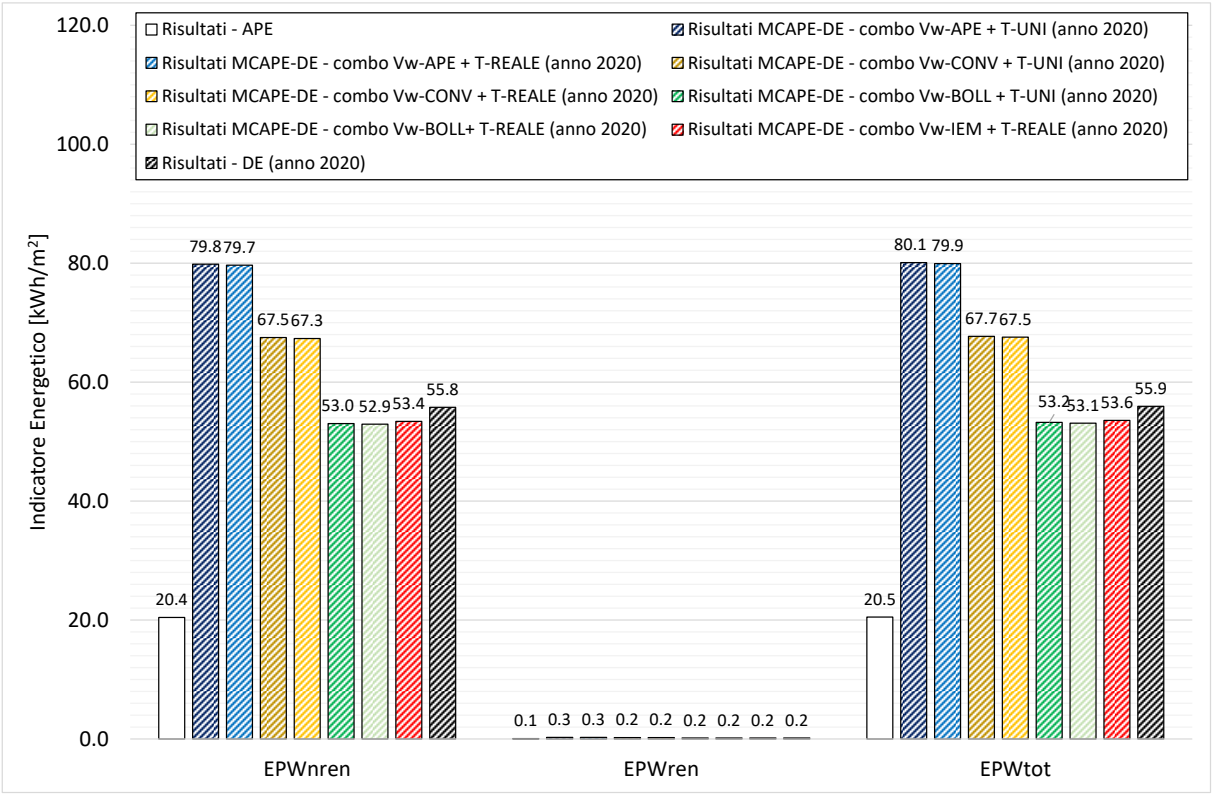


Figura 50. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

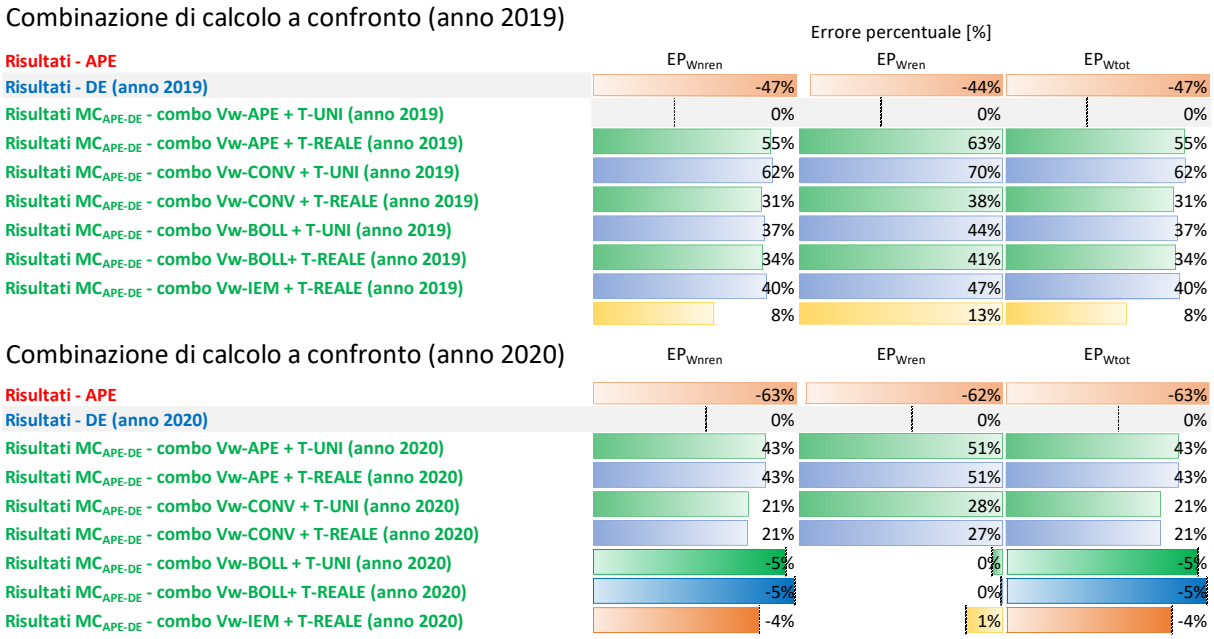


Figura 51. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. In questo caso, il calcolo APE tende a sottostimare leggermente i risultati della DE con divergenze che variano tra il -47% (indicatore EP_{Wtot} del 2019) e il -63% (indicatore EP_{Wtot} del 2020). La divergenza maggiore è stata riscontrata per l'indicatore rinnovabile (EP_{Wren}) con tutte le metodologie di calcolo; questa è principalmente dovuta ai piccolissimi valori assunti dall'indicatore stesso (valori della DE inferiori a 0.1 kWh/m^2). Tuttavia, come evidenziato in Tabella 126, l'errore assoluto tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±3.0 kWh/m^2 e, nello specifico, dell'ordine di ±0.05 kWh/m^2 per l'indicatore EP_{Wren}.
In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE", sebbene la stessa restituisca un valore leggermente sovrastimato. In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, sembrerebbe opportuno stimare il volume di acqua calda per usi sanitari in maniera semplificata, ossia assumendo arbitrariamente un 50% del volume dichiarato in bolletta oppure applicando l'approccio convenzionale sebbene questo restituisca un valore sovrastimato nel 2020. Si tiene a precisare, comunque, che qualsiasi valutazione conclusiva sulla combinazione di calcolo più idonea da adottare dovrà tener presente anche della peculiarità del caso studio indagato. Infatti, come più volte riportato, esso è caratterizzato da profili occupazionali molto specifici che hanno determinato un consumo molto basso di entrambi i vettori energetici.

Tabella 126. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-21.02	-32.97	-102.87	-161.37
	EP_{Wren}	-0.07	-0.11	-103.75	-162.50
	EP_{Wtot}	-21.08	-33.07	-102.87	-161.37
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-3.01	2.36	-7.83	4.23
	EP_{Wren}	-0.02	0.00	-13.19	-0.96
	EP_{Wtot}	-3.02	2.36	-7.84	4.21

2.4.6.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 127, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 52 (anno 2019) e in Figura 53 (anno 2020); in generale, la divergenza dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato in linea con i risultati della DE solo con determinate combinazioni di input; la metodologia, infatti, presenta delle discrepanze che oscillano tra il -17% e +6% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}). In particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore più marcato e compreso tra +5% e -17%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali determina una divergenza dei risultati delle DE con discrepanze dell'ordine del +6% e del -16%.
Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 128, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del 2% nel 2019 e del -12% nel 2020). In questo caso specifico, la seconda correzione non determina alcuna miglioria nel 2019 non essendo la temperatura di set-point differente da quella prevista da normativa; al contrario nel 2020 permette di approssimare più correttamente i risultati della DE con un errore relativo del -4%.
In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, o reali ma corretti per il fattore F_{GG}, la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

Tabella 127. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	*2020*	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-1		[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore standard multistadio		[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta		[-]
Vettore energetico principale		Metano		[-]
Potenza nominale del generatore		26.3		[kW]
Efficienza nominale del generatore		92.9		[%]
Superficie utile		76.80		[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		1899		[GG]
Gradi Giorno – reali		1839	1977	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		14	14	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.968	1.041	[-]
	$F_{H\text{-}set}$	1.000	1.100	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	179.2		[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	1.3		[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	180.5		[kWh/m^2]
	Energia elettrica	302.1		[kWh]
	Metano	1890.0		[Nm^3]

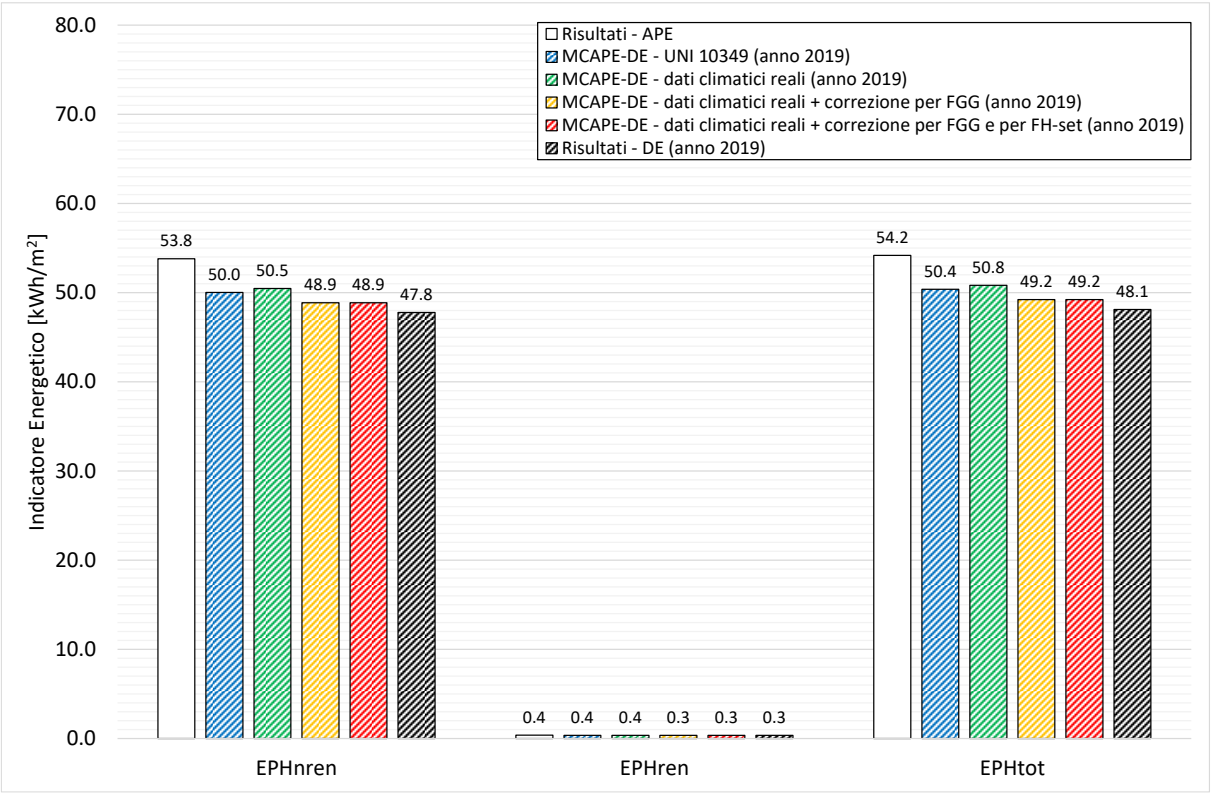


Figura 52. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

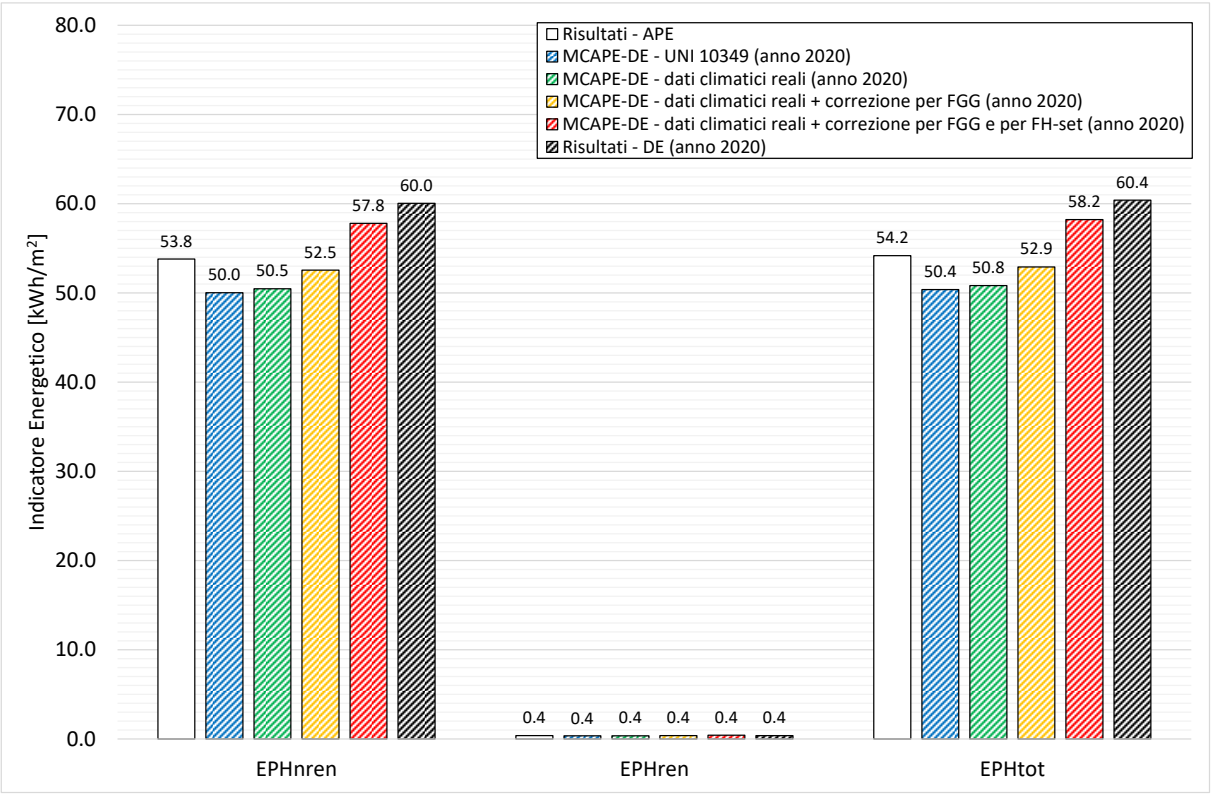


Figura 53. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 128. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	-2.25	10.01	-4.71	16.68
	EP_{Hren}	-0.01	0.01	-3.71	3.70
	EP_{Htot}	-2.26	10.03	-4.70	16.60
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-2.69	9.57	-5.64	15.95
	EP_{Hren}	-0.02	0.01	-4.62	2.85
	EP_{Htot}	-2.71	9.58	-5.63	15.87
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	-1.09	7.49	-2.29	12.48
	EP_{Hren}	0.00	0.00	-1.30	-1.16
	EP_{Htot}	-1.10	7.49	-2.28	12.39
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	-1.09	2.24	-2.29	3.72
	EP_{Hren}	0.00	-0.04	-1.30	-11.27
	EP_{Htot}	-1.10	2.19	-2.28	3.63

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 12 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.
I risultati, riportati in Tabella 129, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE. In particolare, si osservi come anche in caso informazioni poco accurate sull'orario di accensione dell'impianto, la metodologia avrebbe permesso di identificare come orario medio giornaliero un valore maggiore di quello previsto da normativa (12 ore/giorno) come quello più probabile, essendo gli indicatori energetici sempre inferiore a quelli riscontrati nelle DE.
Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 12 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 129. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} *[kWh/m²]*	EP_{Hren} *[kWh/m²]*	EP_{Htot} *[kWh/m²]*	*Consumo elettrico [kWh/anno]*	*Consumo metano [Nm³/anno]*
1	8.9	0.1	9.0	9.0	63.9
2	12.6	0.1	12.7	12.7	90.2
3	16.2	0.1	16.4	16.4	116.6
4	19.9	0.1	20.1	20.1	143.0
5	24.9	0.2	25.1	25.1	178.7
6	29.9	0.2	30.1	30.1	214.5
7	34.9	0.2	35.1	35.1	250.2
8	39.8	0.3	40.1	40.2	286.0
9	40.6	0.3	40.9	40.9	291.4
10	41.4	0.3	41.7	41.7	296.8
11	42.1	0.3	42.4	42.5	302.3
12	42.9	0.3	43.2	43.2	307.7
APE	53.8	0.4	54.2	61.7	384.4

2.4.6.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Il presente caso studio, come riportato in Tabella 116, non presenta il servizio energetico di raffrescamento; pertanto, non è stato possibile effettuare un confronto tra le tre metodologie di calcolo.

2.4.6.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per i fattori correttivi F_{GG} e $F_{H\text{-set}}$.

Il confronto dei consumi di metano e di quelli di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 54 e in Figura 55. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.
Entrando più nel dettaglio, l'errore più elevato (rimarcato in Tabella 130) si riscontra per l'energia elettrica (pari al -8% nel 2020 corrispondete ad una differenza di circa 7 kWh) mentre il metano si attesta al ±5% (pari a circa 30-35 Nm^3). I risultati evidenziano, invece, una importante sottostima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale compresa tra il -56% e il -22%).
Gli esiti del confronto confermano quindi una buona affidabilità della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$.

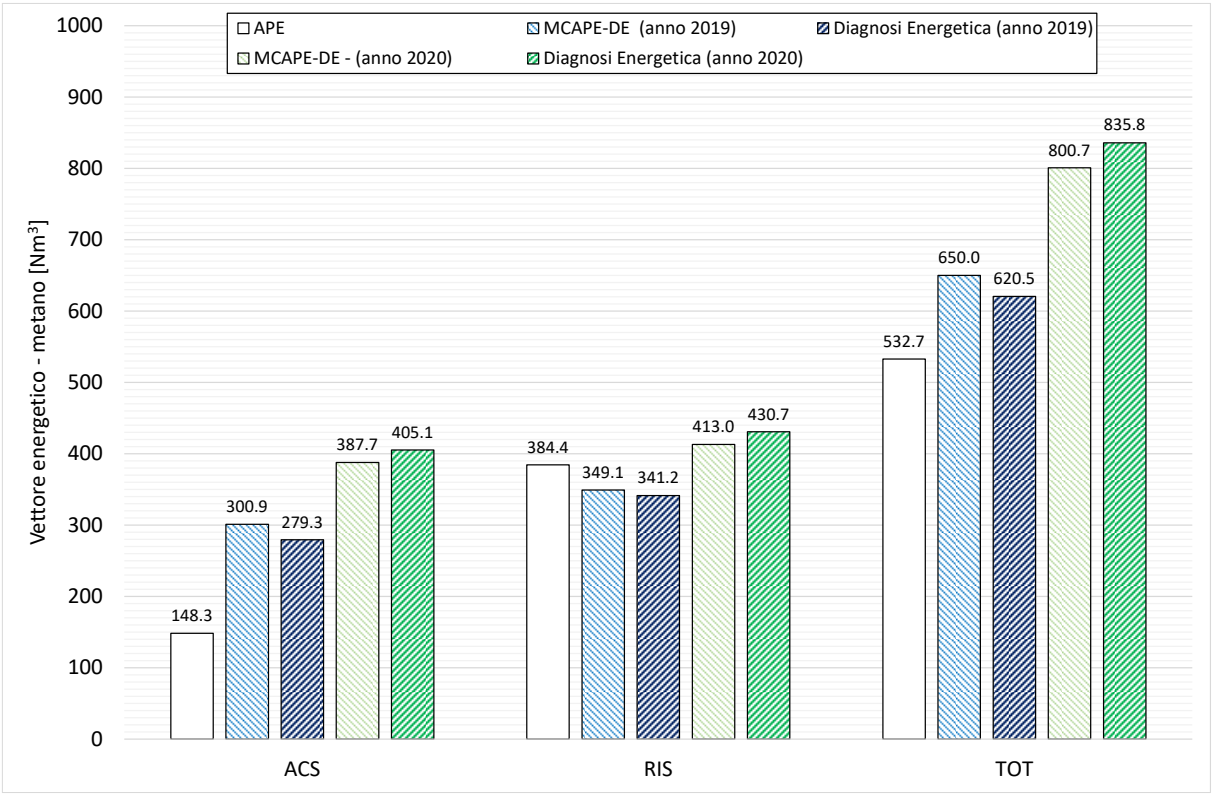


Figura 54. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$).

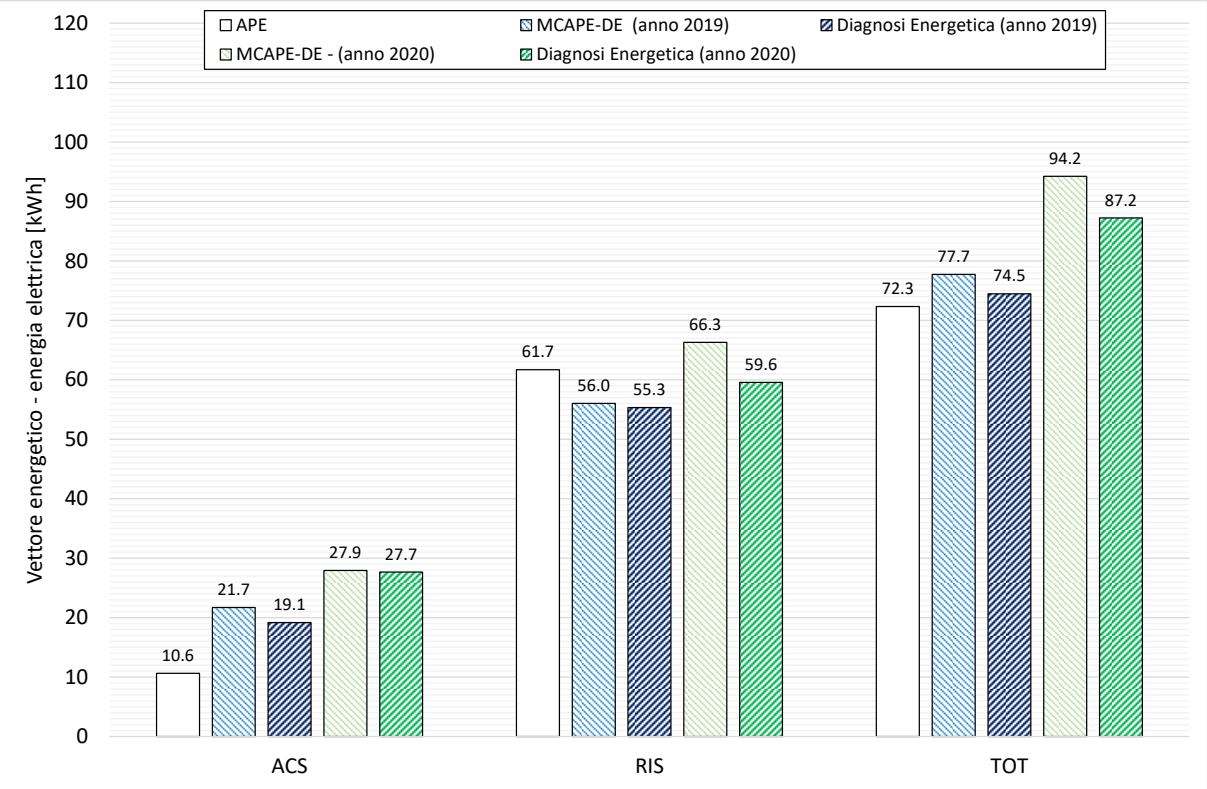


Figura 55. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 130. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2019	-2.5	-0.7	0.0	-3.2	-13.2	-1.3	0.0	-4.4
	2020	-0.3	-6.7	0.0	-7.0	-1.0	-11.3	0.0	-8.0
Metano	2019	-21.7	-7.9	0.0	-29.6	-7.8	-2.3	0.0	-4.8
	2020	17.4	17.7	0.0	35.1	4.3	4.1	0.0	4.2

2.4.7 Caso Studio n. 5 – E.1-5

Il quinto caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano primo e secondo di una piccola palazzina costruita alla fine degli anni 80' nel comune di Spoleto (PG), regione Umbria, città contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 131. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi agli ultimi due anni e, in particolare, del 2019 e del 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questi due anni di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 132 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come i valori di temperatura medi annuali registrati nel 2019 (15.7 °C) e nel 2020 (15.2 °C) siano superiori a quello fornito dalla UNI 10349 (12.3 °C) di circa 3°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra gli input impiegati per le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 131. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Spoleto
	Altitudine [10]	396 m s.l.m.
	Latitudine	42° 43'
	Longitudine	12° 44'
	Gradi Giorno [10]	2427
	Zona climatica [10]	E
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	1.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	32.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	20.8
	Escursione termica giornaliera [°C]	9.0
	Umidità relativa [%]	37.2

Tabella 132. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*			*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²][1, A e B]*
	Normativa [1,A]	*2019 [2,B]*	*2020 [2,B]*	
Gennaio	4.4	4.1	6.7	5.0
Febbraio	4.2	8.0	9.4	9.1
Marzo	7.8	11.5	9.9	11.6
Aprile	11.3	13.3	13.6	16.3
Maggio	15.7	14.4	18.4	20.4
Giugno	18.7	24.7	20.7	22.9
Luglio	21.8	25.9	25.2	26.6
Agosto	22	26.5	26.0	23.7
Settembre	16.4	21.2	20.8	16.5
Ottobre	12.4	17.3	14.0	11
Novembre	8.1	12.5	10.9	6.3
Dicembre	4.3	8.5	7.1	4.4
Media annua	12.3	15.7	15.2	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "Spoleto" - coordinate geografiche 42.7558333 e 12.7386111, quota 357 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.7.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 133) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 56).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, il caso studio è caratterizzato da quattro tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno, una seconda tipologia (M2) differente da M1 confinante sempre verso l'esterno, una terza (M3) che divide l'ambiente riscaldato da altre zone riscaldate, e un'ultima tipologia (M4) che separa la zona climatizzata dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.80. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata da un'altra unità immobiliare (zona sempre riscaldata), mentre il solaio superiore (S_{s1}) separa l'ambiente dall'esterno.

Tabella 133. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	Fine 1980	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	3	[-]
Piano del caso studio	Primo e secondo	[-]
Altezza media vani	2.70	[m^2]
Superficie utile climatizzata	145.88	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	176.14	[m^2]
Volume netto climatizzato	393.88	[m^3]
Volume lordo climatizzato	561.44	[m^3]
Superficie disperdente	329.52	[m^2]
Rapporto S/V	0.59	[m^{-1}]

Figura 56. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (struttura con travi e pilastri) con tamponature esterne realizzate con blocchi di laterizio rifinite esternamente con intonaco (M1) o con mattone faccia a vista (M2), mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 20 + 4 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 134 a Tabella 143 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza.
Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.
In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 144) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 145) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 134. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	250	0.312	0.801
3	Fibra di vetro	20	0.038	0.526
4	Intercapedine d'aria	30	0.167	0.180
5	Mattone forato	120	0.387	0.310
6	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	2.03
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.493	

Tabella 135. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	250	0.312	0.801
3	Fibra di vetro	20	0.038	0.526
4	Intercapedine d'aria	40	0.222	0.180
5	Mattone pieno	120	0.800	0.150
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	1.841
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.543	

Tabella 136. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F): tipologia 1.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	250	0.312	0.801
3	Fibra di vetro	20	0.038	0.526
4	Intercapedine d'aria	30	0.167	0.180
5	Mattone forato	120	0.387	0.310
6	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	2.03
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.493	

Tabella 137. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F): tipologia 2.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	250	0.312	0.801
3	Fibra di vetro	20	0.038	0.526
4	Intercapedine d'aria	40	0.222	0.180
5	Mattone pieno	120	0.800	0.150
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	1.841
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.543	

Tabella 138. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F): tipologia 1.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Cartongesso	13	0.211	0.062
2	Intercapedine d'aria	300	1.667	0.180
3	Mattone forato	120	0.387	0.310
4	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		453	-	0.751
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.332	

Tabella 139. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F): tipologia 2.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Cartongesso	13	0.211	0.062
2	Intercapedine d'aria	320	1.778	0.180
3	Mattone pieno	120	0.800	0.150
Esterno		-	-	0.040
Totale		453	-	0.562
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.779	

Tabella 140. Stratigrafia della parete M3: parete opaca confinante verso altre unità immobiliari.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	300	0.319	0.940
3	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.130
Totale		320	-	1.228
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.814	

Tabella 141. Stratigrafia della parete M4: parete opaca confinante verso il vano scala.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	300	0.319	0.940
3	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Vano scale/ingresso comune		-	-	0.130
Totale		320	-	1.228
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.814	

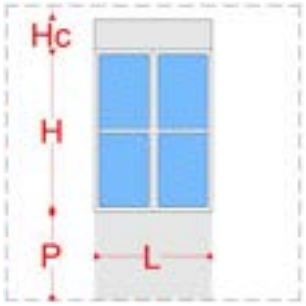
Tabella 142. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso un'altra unità abitativa.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Pavimentazione in ceramica	15	1.300	0.012
2	Massetto alleggerito	50	0.580	0.086
3	Soletta in laterizio	240	0.500	0.480
4	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.021
Zona riscaldata		-	-	0.170
Totale		325	-	0.939
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.065	

Tabella 143. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s1 confinante verso l'esterno.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.100
1	*Piastrelle in ceramica*	15	1.300	0.012
2	*Fibra di vetro*	40	0.038	1.053
3	*Massetto alleggerito*	50	0.580	0.086
4	*Soletta in laterizio*	240	0.500	0.480
5	*Intonaco di calce e gesso*	20	0.700	0.021
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		365	-	1.852
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.539	

Tabella 144. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
	PF01	1.60	2.30	0.00	0.30	3.68	2.49	2.755
	F01	1.00	1.40	0.90	0.30	1.40	0.74	2.610
	PF02	1.60	2.30	0.00	0.30	3.68	2.49	2.755
	PF03	1.60	2.30	0.00	0.30	3.68	2.49	2.755
	F02	1.00	1.40	0.90	0.30	1.40	0.74	2.610
	PF04	1.60	2.30	0.00	0.30	3.68	2.49	2.755
	F03	1.00	1.40	0.90	0.30	1.40	0.74	2.610
	F04	1.60	1.40	0.90	0.30	2.24	1.39	2.640
	F05	1.00	1.40	0.90	0.30	1.40	0.74	2.610

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 145. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete M1 – telaio	0.127
W – parete M2 – telaio	0.162
B – parete M1 – balcone	0.172
B – parete M2 – balcone	0.206
IF – parete M1 – solaio di interpiano (con zona riscaldata)	0.257
C – angolo tra pareti M1 (sporgente)	-0.431
C – angolo tra pareti M2 (sporgente)	-0.327
C – angolo tra pareti M1 (rientrante)	0.120

Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di un generatore di calore di tipo standard, installato come evidenziato in Figura 56 che permette di soddisfare i servizi energetici di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Per il riscaldamento dell'ambiente, il calore viene immesso ad alta temperatura (80°C) attraverso dei radiatori in alluminio e regolato mediante cronotermostato di zona.

Le caratteristiche tecniche del generatore di calore sono riassunte in Tabella 146, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 147.

Tabella 146. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*28 CSI*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Esterno
Potenza nominale – P_n [kW]	30
Potenza minima – P_{min} [kW]	12.7
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	45
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	153
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	24
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	93
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	91.9
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	6.7
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	0.8
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	0.3
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\text{-}min}$ [%]	15.0

Tabella 147. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	✗
Generatore di calore		Standard	Standard	n.d.
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	n.d.
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	n.d.
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	n.d.
	Tubazioni	Incassate nel pavimento	Incassate nel pavimento	n.d.
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	n.d.
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in alluminio	n.d.
	T esercizio	44 °C [4]	80 °C	n.d.
	ΔT	-	20 °C	n.d.
	Valvole	-	Assenti	n.d.
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona	n.d.
	Caratteristiche	-	On-off	n.d.

2.4.7.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative agli anni 2019 e il 2020, sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dagli utenti) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato abitato prevalentemente da un'unica persona e solo saltuariamente da un'altra (figlia che studia fuori sede) per un totale di 346 giorni nel 2019 e di 366 giorni nel 2020. Il caso studio selezionato, quindi, risulta di notevole interesse anche per il profilo occupazionale individuato in quanto molto peculiare sebbene il 2020 presenti un profilo perfettamente aderente a quello standard.

I consumi di acqua, metano ed energia elettrica acquisiti per i due anni analizzati, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza dell'utente, sono riassunti in Tabella 148.

Risulta rilevante osservare come tra il 2019 e il 2020 i consumi elettrici siano diminuiti del 4.2%, quelli di metano aumentati del 20%, così come il consumo di acqua del 15.6%.

Tabella 148. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020).

Mese	*Anno 2019*				*Anno 2020*			
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*
Gennaio	31	7564	141	133	31	8464	116	
Febbraio	28	6286	138	87	29	6826	114	108
Marzo	31	6959	137	71	31	8464	124	
Aprile	30	7030	158	51	30	8191	115	97
Maggio	31	7263	168	10	31	8419	115	
Giugno	30	7030	138	7	30	7024	139	11
Luglio	25	5858	168	5	31	7258	166	
Agosto	20	5501	184	4	31	8419	177	5
Settembre	28	6561	127	8	30	7024	131	
Ottobre	31	6745	155	16	31	7258	143	16
Novembre	30	6527	92	83	30	7211	145	
Dicembre	31	7331	135	128	31	8643	183	138

2.4.7.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 57 e Tabella 149) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica C con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 82.5 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 1130 Nm^3/anno e di poco più 130 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 148), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

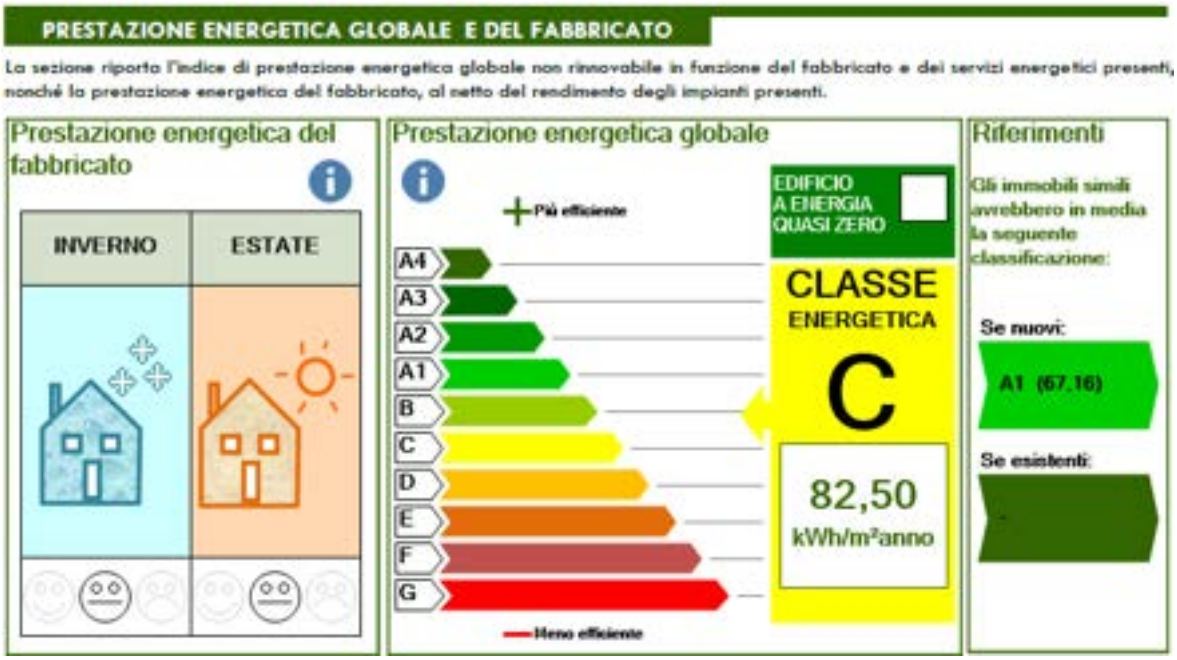


Figura 57. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 149. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	9299	56	9355	63.7	0.4	64.1	868.7	119.1
Acqua Calda Sanitaria	2737	7	2744	18.8	0.0	18.8	259.5	14.9
Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Globale	12036	63	12099	82.5	0.4	82.9	1128.2	134.0

2.4.7.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre due DE, la prima relativa all'anno 2019 mentre la seconda al 2020. Come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 132, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.7.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di metano destinati all'uso cucina;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.7.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina

L'analisi del questionario ha permesso di stimare il tempo medio speso per cucinare e la percentuale dei pasti consumati a casa all'interno di un "*mese tipo*" composto da quattro "*settimane tipo*". Combinando queste informazioni, si sono stimate le ore medie giornaliere spese per cucinare, pari a 0.84 h/giorno sia nel 2019 che nel 2020. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice A dove, in aggiunta alle informazioni fornite dal fruitore, è riportato anche il calcolo della percentuale media settimanale dei pasti consumati in una "*settimana tipo*" e il tempo medio speso per cucinare associato per ciascuna tipologia di pasto.
Assumendo quindi un consumo di metano medio dei fornelli di 0.10 m^3/h (valore assunto come plausibile in funzione delle abitudini del fruitore/fruitori) e in considerazione degli effettivi giorni di presenza dichiarati, si è stimato un consumo destinato alla sola cottura dei cibi pari a 29.14 Sm^3/anno (pari a 27.63 Nm^3/anno) nel 2019 (Tabella 150) e a 30.83 Sm^3/anno (pari a 29.22 Nm^3/anno) nel 2020 (Tabella 151), corrispondenti rispettivamente allo 4.8% e il 4.2% del consumo totale di metano registrato.

Tabella 150. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm^3]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm^3]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	26.11	2.61	133	1.96
Febbraio	28	23.58	2.36	87	2.71
Marzo	31	26.11	2.61	71	3.68
Aprile	30	25.27	2.53	51	4.95
Maggio	31	26.11	2.61	10	26.11
Giugno	30	25.27	2.53	7	36.10
Luglio	25	21.06	2.11	5	42.11
Agosto	20	16.85	1.68	4	42.11
Settembre	28	23.58	2.36	8	29.48
Ottobre	31	26.11	2.61	16	16.32
Novembre	30	25.27	2.53	83	3.04
Dicembre	31	26.11	2.61	128	2.04
Totale	346	291.42	29.14	603	4.83

Tabella 151. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm³]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm³]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	26.11	2.61	135	1.93
Febbraio	29	24.43	2.44	108	2.26
Marzo	31	26.11	2.61	115	2.27
Aprile	30	25.27	2.53	97	2.60
Maggio	31	26.11	2.61	13	20.08
Giugno	30	25.27	2.53	11	22.97
Luglio	31	26.11	2.61	6	43.52
Agosto	31	26.11	2.61	5	52.22
Settembre	30	25.27	2.53	8	31.58
Ottobre	31	26.11	2.61	16	16.32
Novembre	30	25.27	2.53	73	3.46
Dicembre	31	26.11	2.61	138	1.89
Totale	366	308.27	30.83	725	4.25

2.4.7.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dall'utente mediante questionario (Tabella 152), da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari ($V_{W\text{-}acs}$) di 127 l/giorno per persona; questo valore è stato mantenuto uguale per entrambi gli anni analizzati.
A partire dal fabbisogno stimato si è proceduto con un duplice controllo:

1. Il valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato mensilmente non deve essere maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette;
2. Il consumo di metano calcolato a partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato non deve superare quello dichiarato in bolletta depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina.

Il primo controllo è anche quello più facilmente verificabile e ha restituito esito positivo per entrambi gli anni esaminati (Figura 58).
Ai fini del secondo controllo, invece, è stata fatta la seguente assunzione: il combustibile riportato in bolletta da maggio a settembre è destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria e cottura dei cibi. Questa ipotesi trova riscontro sia con le abitudini dell'occupante sia con il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento previsto da normativa per la zona climatica E. A partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato, in accordo con la metodologia prevista dalla UNI TS 11300-2 [5], è stato calcolato il relativo consumo di metano che è stato messo a confronto con il valore dichiarato in bolletta congiuntamente con il consumo stimato per l'uso cucina (Figura 59).

Tabella 152. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*		*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato [l/giorno·persona]*	
		Utente n. 1	*Utente n. 2*		*Utente n. 1*	*Utente n. 2*
Doccia	1	50	100	60	30	60
Lavabo	2	50	50	12	12	12
Bidet	2	50	50	10	10	10
Vasca da bagno	1	50	0	200	100	0
Lavello da cucina	1	100	0	20	20	0
Totale	7	-	-	-	172	82

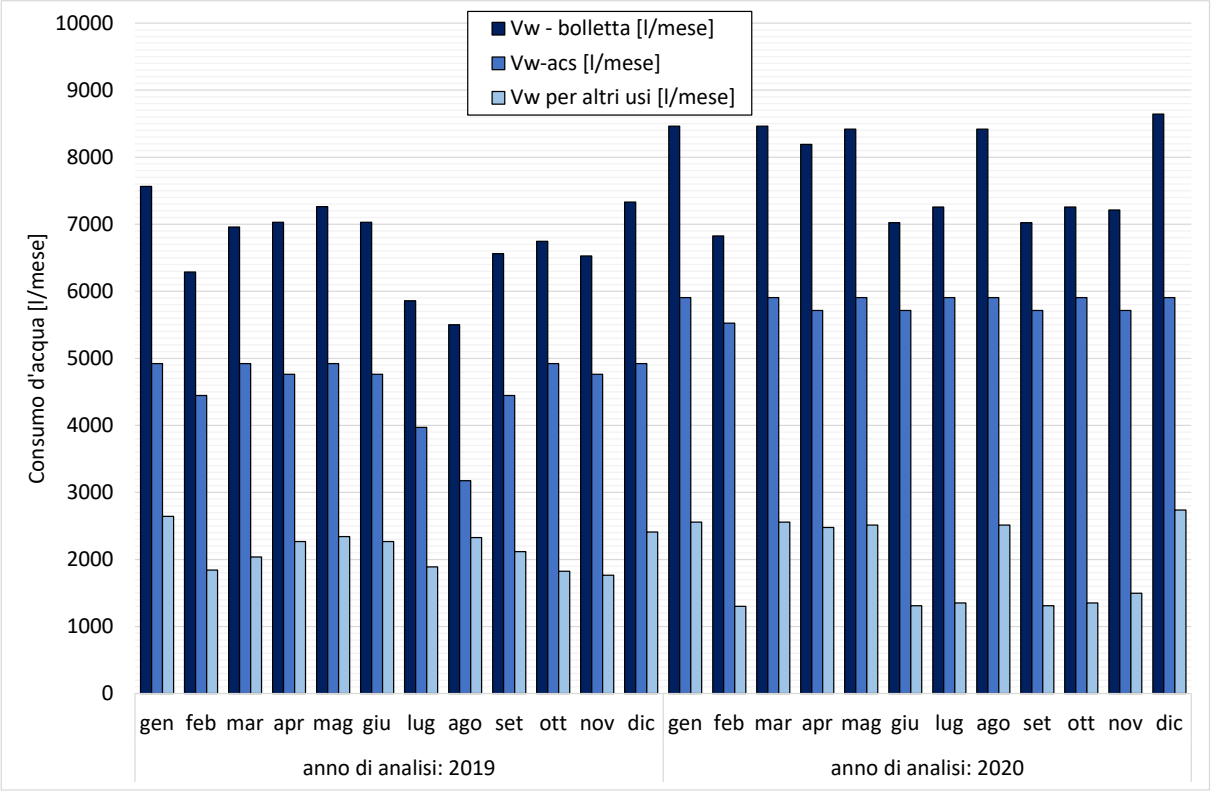


Figura 58. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

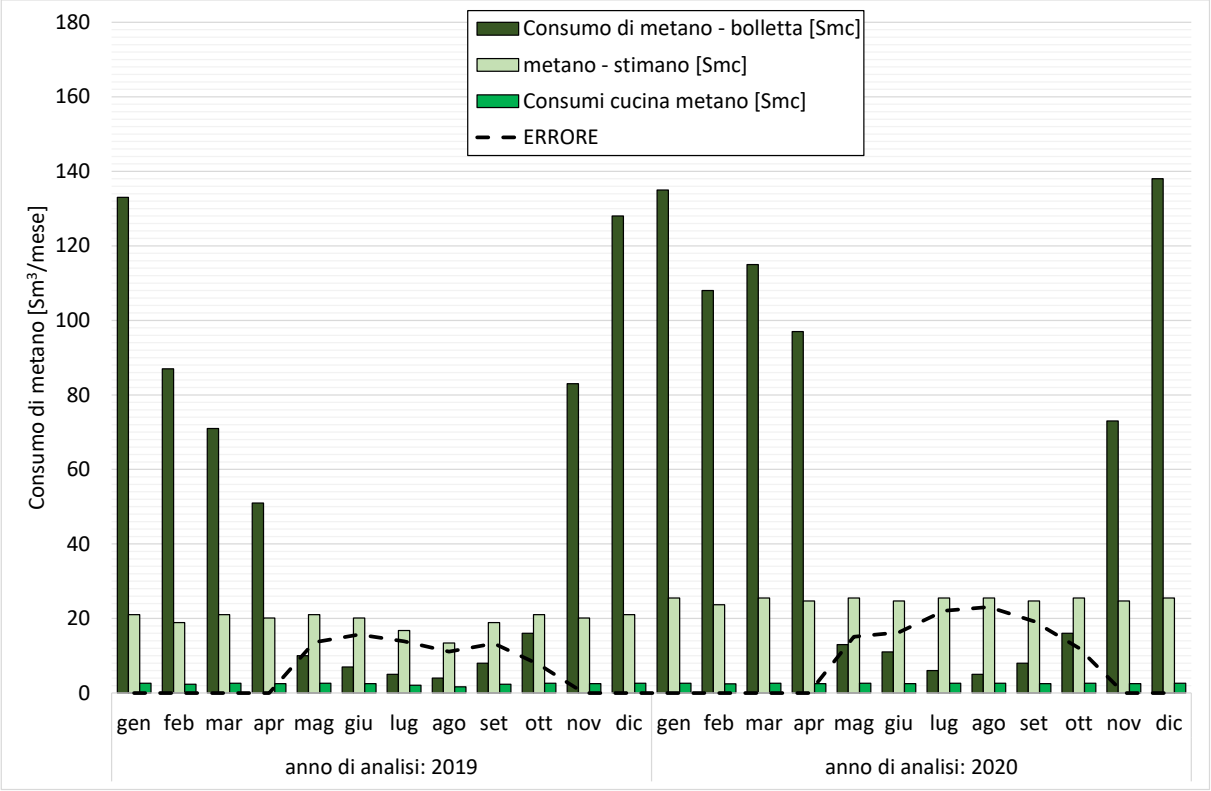


Figura 59. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$.

Il risultato evidenzia come il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato con l'approccio standard non possa essere mantenuto costante in ogni mese dell'anno, in quanto si evidenzia un importante scostamento (linea tratteggiata in nero) specialmente nei mesi intermedi. Questa discrepanza è dovuta al fatto che durante i mesi più caldi, a parità di volume d'acqua consumato, la richiesta di acqua calda è in realtà più contenuta.
In virtù del risultato ottenuto, per i soli mesi in cui si è determinato un consumo di metano superiore a quello di bolletta (quelli per cui il secondo controllo non è soddisfatto), si è deciso di stimare il volume di acqua calda sanitaria a partire dall'effettivo consumo dichiarato (depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina). Il risultato è riportato in Figura 60, in cui si mostra un duplice confronto tra:

1. Il metano riportato in bolletta depurato del consumo stimato per l'uso cucina e il metano consumato per il servizio di acqua calda sanitaria associato in funzione dell'effettivo volume d'acqua calda consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di sinistra);
2. Il volume d'acqua totale riportato in bolletta e il volume d'acqua calda effettivamente consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di destra).

In accordo con i risultati ottenuti, si evince che circa il 45% del consumo di acqua di bolletta del 2019 è stato destinato ai soli usi sanitari, mentre la medesima percentuale si è attestata al 47% nel 2020.
Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dall'utente; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$, il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata ($MC_{APE\text{-}DE}$) è richiesto il valore giornaliero medio annuale. Entrambi i valori sono dettagliati in Tabella 153 messi a confronto con il valore giornaliero medio mensile stimato applicando il calcolo standard (APE). Risulta importante evidenziare come il valore medio stimato con l'approccio APE sia quasi il doppio del valore individuato sia nel 2019 che 2020; tuttavia si osservi come nel periodo invernale il valore calcolato con l'approccio standard sia molto vicino a quello reale.

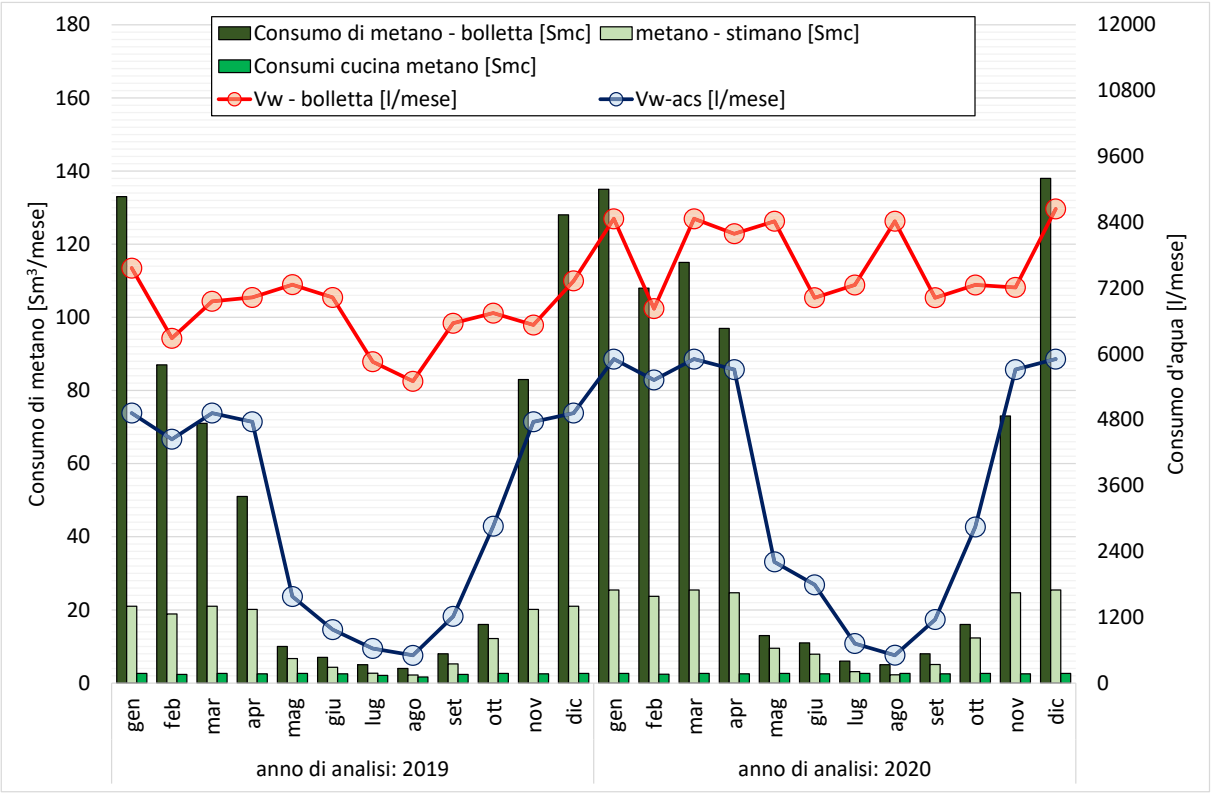


Figura 60. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria.

Tabella 153. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2019*		*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	4921	158.8	5906	190.5	192.3
Febbraio	4445	158.8	5525	190.5	192.3
Marzo	4921	158.8	5906	190.5	192.3
Aprile	4763	158.8	5715	190.5	192.3
Maggio	1578	50.9	2208	71.2	192.3
Giugno	974	32.5	1791	59.7	192.3
Luglio	631	20.3	720	23.2	192.3
Agosto	505	16.3	508	16.4	192.3
Settembre	1215	40.5	1157	38.6	192.3
Ottobre	2859	92.2	2846	91.8	192.3
Novembre	4763	158.8	5715	190.5	192.3
Dicembre	4921	158.8	5906	190.5	192.3
Media	*3041*	*100.4*	*3658*	*120.3*	*192.3*

2.4.7.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dagli utenti mediante il questionario; in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta.
L'analisi ha permesso di definire quindi le configurazioni di funzionamento dell'impianto di riscaldamento medio giornaliero ottimale, ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi:

- anno di analisi 2019: 7 giorni a settimana per 3.5 ore/giorno;
- anno di analisi 2020: 7 giorni a settimana per 4 ore/giorno.

È stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 154); il servizio più energivoro è risultato il riscaldamento con il 70% del metano consumato sia nel 2019 che nel 2020, mentre l'incidenza sul consumo dello stesso vettore energetico dovuto al servizio di produzione di acqua calda sanitaria è rimasto invariato (circa il 25% sia nel 2019 che nel 2020). Relativamente al vettore energia elettrica si è stimato che il servizio più energivoro sia costituito dall'illuminazione e dall'uso di elettrodomestici, per i quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni.
Il risultato conseguito mediante anche il software di simulazione può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di metano calcolato con quello reale, si ottiene una discrepanza pari a -2.6% per l'anno 2019 e -2.8% per il 2020 (Tabella 154). Questa difformità può essere considerata come un errore accettabile essendo inferiore al ±5% [15].
Infine, in Tabella 155 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo dei vettori energetici) derivanti dalle DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ che con l'approccio APE.

Tabella 154. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	Anno 2019		Anno 2020	
	Metano [Nm³]	Energia elettrica [kWh]	Metano [Nm³]	Energia elettrica [kWh]
Cottura dei cibi*	27.6	0.0	29.2	0.0
Riscaldamento	410.4	17.0	498.2	36.2
Produzione di acqua calda sanitaria	148.6	8.5	178.8	10.6
Raffrescamento	-	0.0	-	0.0
Illuminazione ed Elettrodomestici**	-	1715.5	-	1621.2
Totale	586.7	1741.0	706.2	1668.0
Bollette	571.6	1741.0	687.3	1668.0
scostamento	-2.6%	0.0%	-2.8%	0.0%

** valore stimato e non restituito dal software di calcolo*
*** valore attributo come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 155. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	Servizio energetico	Energia Primaria - Q [kWh]			Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]			Metano [Nm³/anno]	Energia elettrica [kWh/anno]
		nren	ren	tot	nren	ren	tot		
2019	Riscaldamento	4317	8	4325	29.6	0.1	29.6	410.4	17.0
	Acqua Calda Sanitaria	1568	4	1572	10.7	0.0	10.8	148.6	8.5
	Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	5885	12	5897	40.3	0.1	40.4	559.1	25.5
2020	Riscaldamento	5270	17	5287	36.1	0.1	36.2	498.2	36.2
	Acqua Calda Sanitaria	1887	5	1892	12.9	0.0	13.0	178.8	10.6
	Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	7157	22	7179	49.1	0.2	49.2	677.0	46.8

2.4.7.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.7.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 156, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 61 (anno 2019) e in Figura 62 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: nel 2019 non si evidenzia una significativa differenza tra le tre combinazioni, al contrario nel 2020 i risultati più accurati si ottengono impiegando per il volume d'acqua un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI") o adottando il valore pari al 50% del consumo di bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI. Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wtot}) compresa tra il +12% al +156% (Figura 63);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wtot} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari allo 0% nel 2020 e al 3% nel 2019 (Figura 63).

Tabella 156. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	2020	
Tipologia di generatore		Generatore standard		[-]
Vettore energetico		Metano		[-]
Superficie utile dell'immobile		145.88		[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		12.26		[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		15.66	15.23	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	100.4	120.3	[litri/giorno]
	Convenzionale	227.9	288.5	[litri/giorno]
	Bolletta	150.5	190.5	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	110.5	127.3	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.723	0.758	[-]
	F_{Vw}	1.340	1.340	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	18.8		[kWh/m²]
	EP_{Wren}	0.0		[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	18.8		[kWh/m²]
	Energia elettrica	14.9		[kWh]
	Metano	259.5		[Nm³]

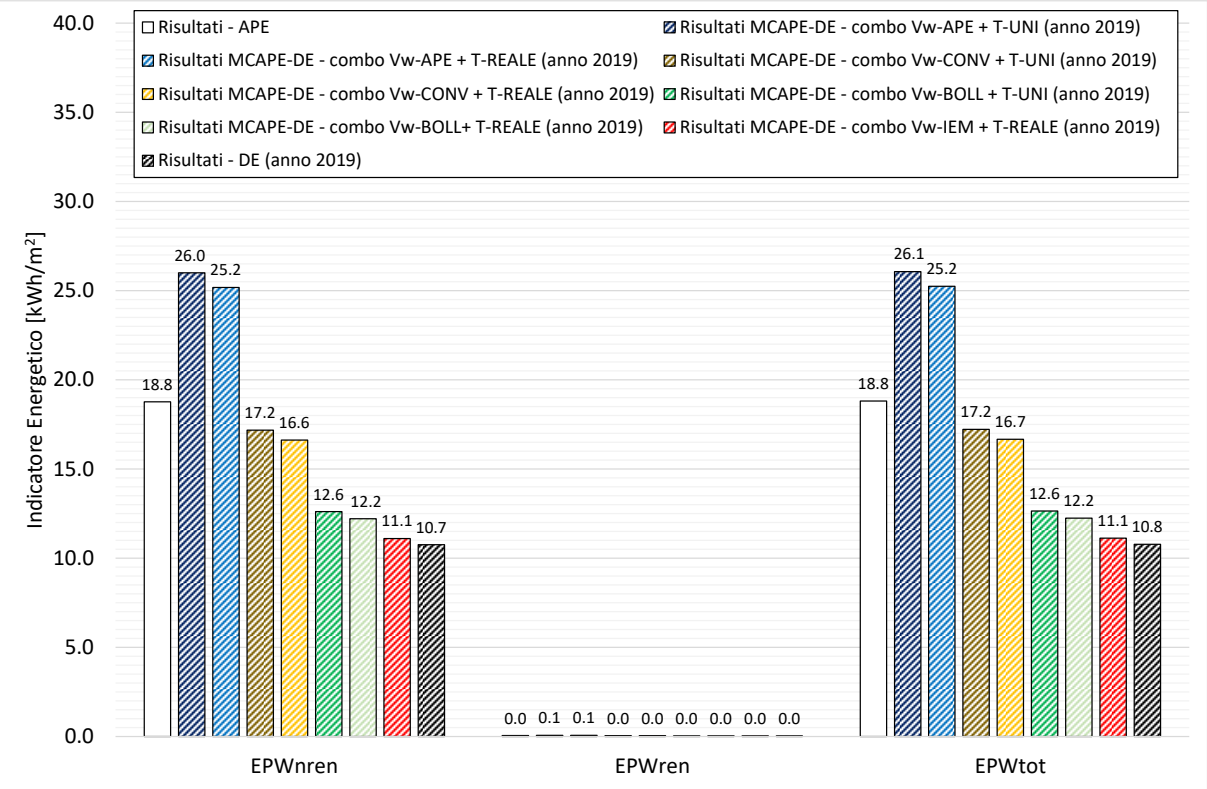


Figura 61. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

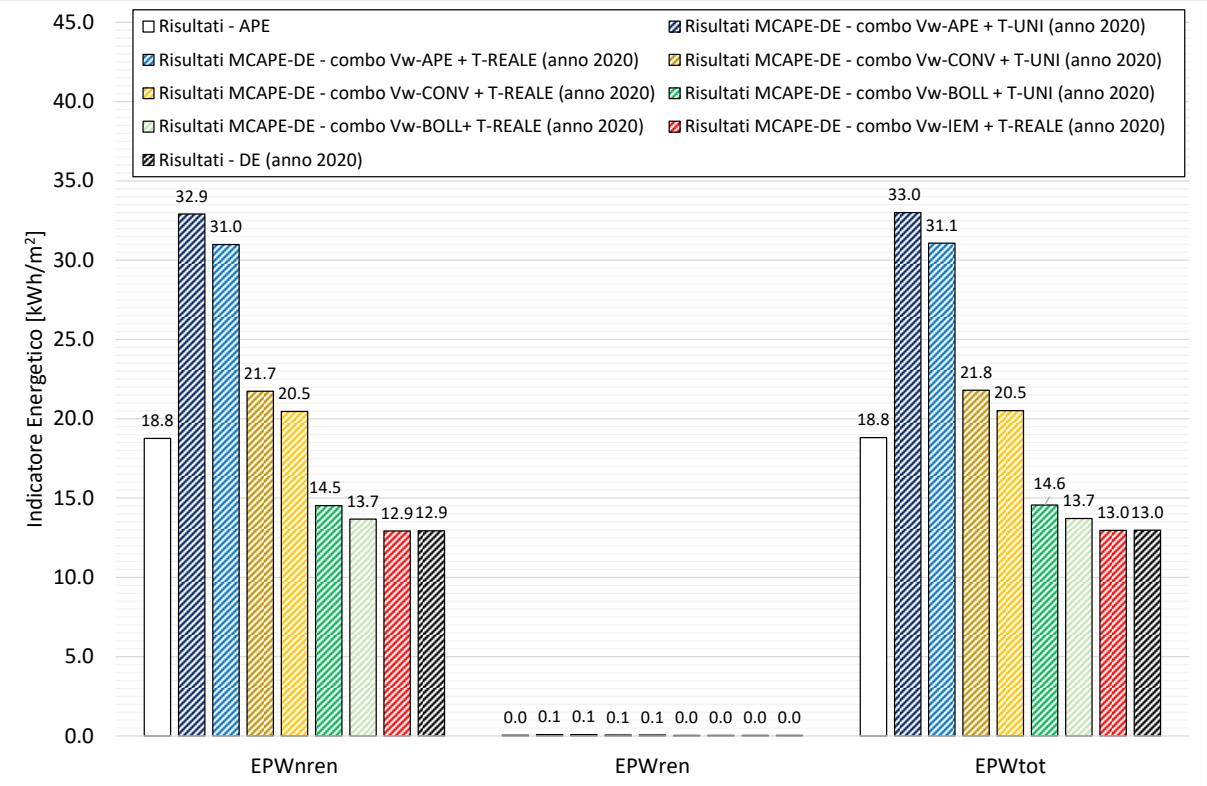


Figura 62. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

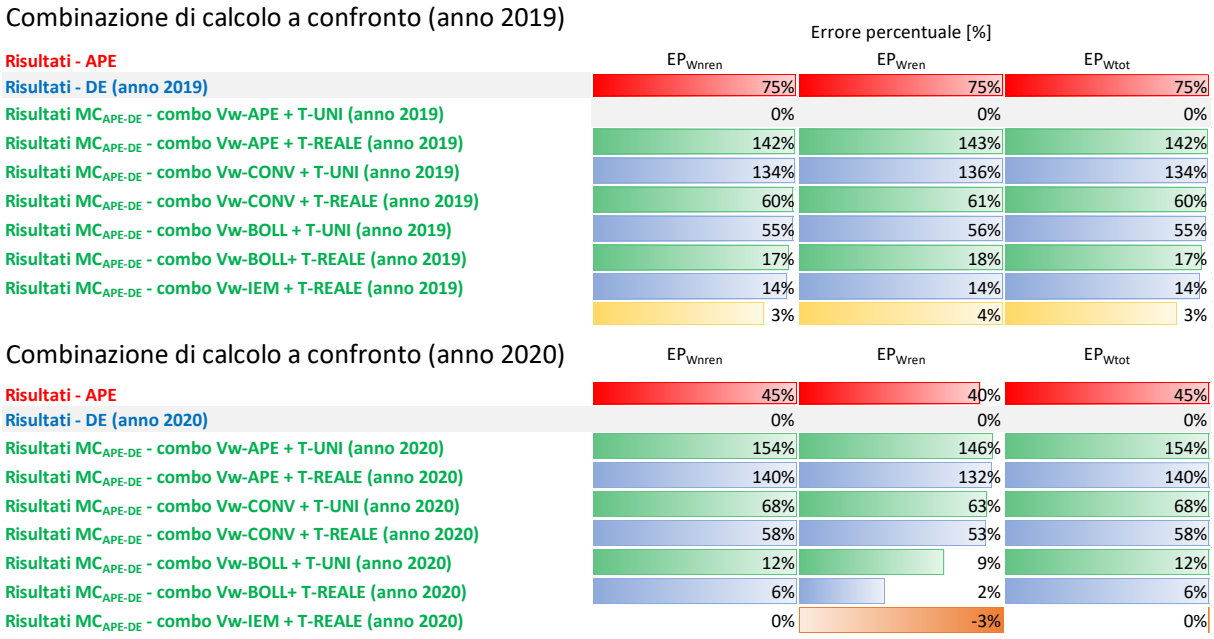


Figura 63. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. Al contrario, il calcolo APE tende a sovrastimare nettamente i risultati della DE con divergenze che variano da un minimo di 45% (indicatore EP_{Wtot} del 2020) ad un massimo del 75% (indicatore EP_{Wtot} del 2019). Una significativa divergenza è stata riscontrata per l'indicatore rinnovabile (EP_{Wren}) con tutte le metodologie di calcolo; questa è principalmente dovuta ai piccolissimi valori assunti dall'indicatore stesso (valori della DE inferiori a 0.1 kWh/m^2). Tuttavia, come evidenziato in Tabella 157, l'errore assoluto tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±0.50 kWh/m^2 e, nello specifico, dell'ordine di ±0.01 kWh/m^2 per l'indicatore EP_{Wren}.

In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE", sebbene la stessa restituisca un valore leggermente sottostimato nel 2020.

In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, sia l'approccio convenzionale che quello semplificativo di assunzione di un volume pari al 50% del volume di bolletta, sembrano restituire un risultato più aderente ai reali consumi energetici; si tiene a precisare, comunque, che qualsiasi valutazione conclusiva sulla combinazione di calcolo più idonea da adottare dovrà tener presente anche della peculiarità del caso studio indagato. Infatti, come più volte riportato, esso è caratterizzato da profili occupazionali molto specifici che hanno determinato un consumo molto basso di entrambi i vettori energetici.

Tabella 157. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	7.67	5.84	40.86	31.11
	EP_{Wren}	0.02	0.01	40.66	30.88
	EP_{Wtot}	7.69	5.85	40.86	31.11
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-0.35	0.01	-3.23	0.08
	EP_{Wren}	0.00	0.00	-3.84	3.23
	EP_{Wtot}	-0.35	0.01	-3.23	0.09

2.4.7.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 158, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 64 (anno 2019) e in Figura 65 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra +5% e +44% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso tra +16% e +24%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali, come era lecito attendersi in virtù di quanto descritto in 2.3.2, determina una sovrastima dei risultati delle DE (discrepanze dell'ordine del +33% e del 44%).
Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 159, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del 5% e del 9%). In questo caso specifico, la seconda correzione non determina alcuna miglioria non essendo la temperatura di set-point differente da quella prevista da normativa.
In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, o reali ma corretti per il fattore F_{GG} la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

Tabella 158. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	*2020*	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-1		[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore standard multistadio		[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta		[-]
Vettore energetico principale		Metano		[-]
Potenza nominale del generatore		30.0		[kW]
Efficienza nominale del generatore		93.0		[%]
Superficie utile		145.88		[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2427		[GG]
Gradi Giorno – reali		1843	1918	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		3.5	4.0	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.759	0.790	[-]
	$F_{H\text{-}set}$	1.000	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	63.7		[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	0.4		[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	64.1		[kWh/m^2]
	Energia elettrica	119.1		[kWh]
	Metano	868.7		[Nm^3]

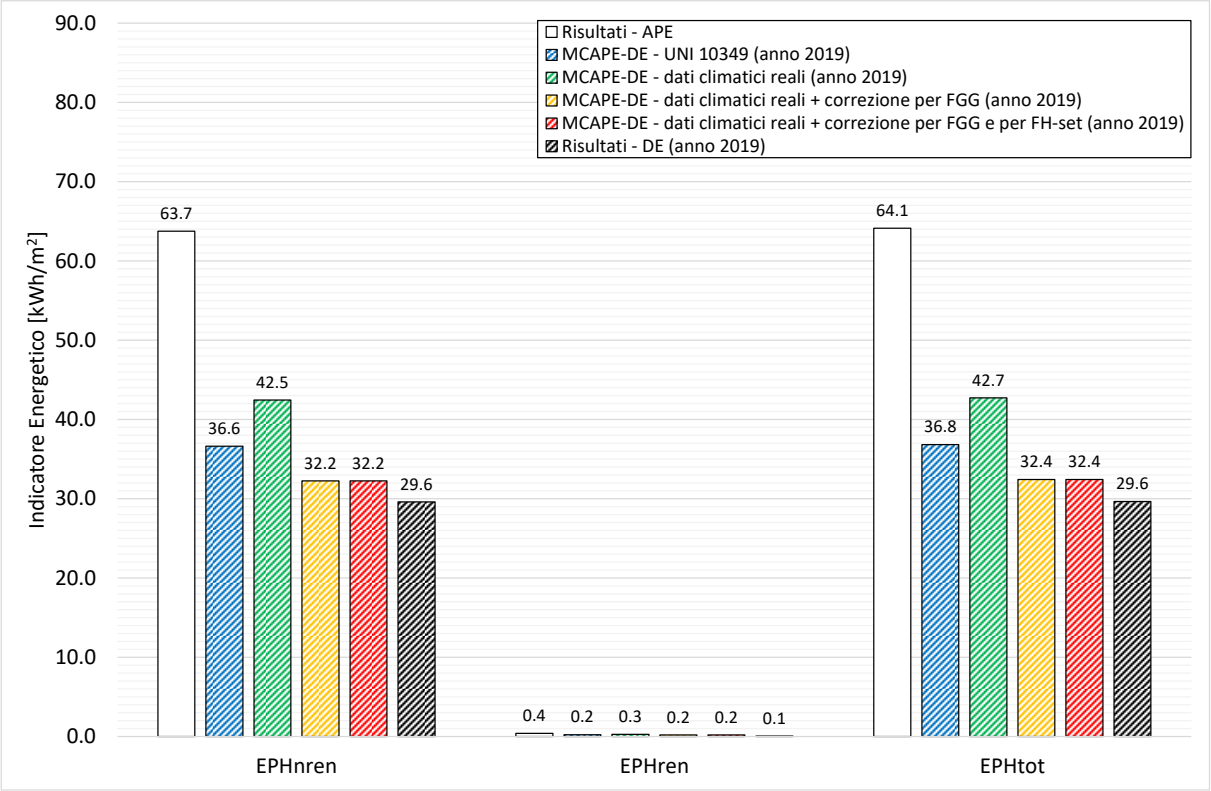


Figura 64. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

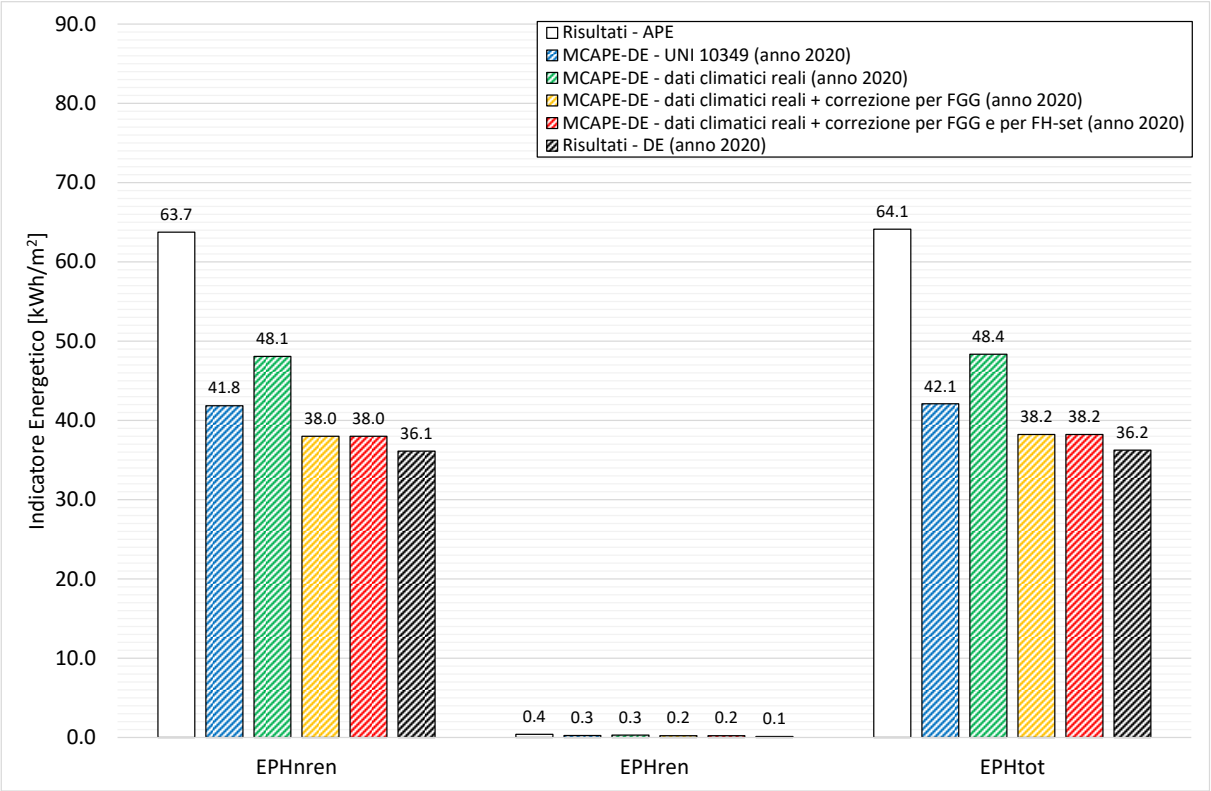


Figura 65. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 159. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	-7.01	-5.71	-23.70	-15.81
	EP_{Hren}	-0.17	-0.14	-302.00	-116.20
	EP_{Htot}	-7.18	-5.85	-24.22	-16.13
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-12.86	-11.94	-43.45	-33.04
	EP_{Hren}	-0.20	-0.17	-366.19	-148.37
	EP_{Htot}	-13.06	-12.11	-44.05	-33.41
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	-2.64	-1.86	-8.93	-5.15
	EP_{Hren}	-0.14	-0.11	-253.99	-96.31
	EP_{Htot}	-2.78	-1.97	-9.38	-5.45
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	-2.64	-1.86	-8.93	-5.15
	EP_{Hren}	-0.14	-0.11	-253.99	-96.31
	EP_{Htot}	-2.78	-1.97	-9.38	-5.45

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.
I risultati, riportati in Tabella 160, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE. In particolare, si osservi come anche in caso informazioni poco accurate sull'orario di accensione dell'impianto, la metodologia avrebbe permesso di identificare un orario medio giornaliero (valori evidenziati in rosso) come quelli più probabili.
Si osservi, infine, come nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno, i valori determinati con l'approccio APE siano inferiori ai valori della metodologia; questo risultato potrebbe essere dovuto a:

1. fabbisogno energetico dell'edificio ampiamente soddisfatto già assumendo 9 ore di accensione dell'impianto di riscaldamento, quindi un orario nettamente inferiore a quello definito dalla normativa;
2. utilizzo di coefficienti correttivi delle equazioni di correlazione non sufficientemente accurati per il comune esaminato (comune non selezionato in fase di sviluppo della metodologia).

Questo trend potrebbe evidenziare una criticità di applicazione della metodologia in comuni differenti da quelli indagati nel corso del secondo anno; tuttavia, da un'analisi più dettagliata si è evinto come effettivamente il fabbisogno energetico dell'edificio sia ampiamente soddisfatto da un orario di accensione teorico dell'impianto inferiore alle 14 ore/giorno previste da normativa; pertanto, il risultato potrebbe dipendere dalla particolare casistica indagata.
Si tiene comunque a precisare che qualsiasi valutazione conclusiva sarà fatta solo a valle del test su ogni caso studio rendendo in esame le peculiarità di ciascun caso.

Tabella 160. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	*EP_{Hnren} [kWh/m²]*	*EP_{Hren} [kWh/m²]*	*EP_{Htot} [kWh/m²]*	*Consumo elettrico [kWh/anno]*	*Consumo metano [Nm³/anno]*
1	10.5	0.1	10.5	9.4	144.9
2	16.9	0.1	17.0	15.2	234.2
3	23.4	0.1	23.5	21.0	323.5
4	29.8	0.2	30.0	26.8	412.9
5	36.3	0.2	36.5	32.7	502.2
6	42.7	0.3	43.0	38.5	591.5
7	49.8	0.3	50.1	44.9	690.1
8	56.9	0.3	57.3	51.3	788.7
9	64.1	0.4	64.4	57.7	887.3
10	64.4	0.4	64.8	58.1	892.8
11	64.8	0.4	65.2	58.4	898.3
12	65.2	0.4	65.6	58.8	903.8
13	65.6	0.4	66.0	59.1	909.3
14	66.0	0.4	66.4	59.5	914.8
APE	63.7	0.4	119.1	119.1	868.7

2.4.7.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Il presente caso studio, come riportato in Tabella 147, non presenta il servizio energetico di raffrescamento; pertanto, non è stato possibile effettuare un confronto tra le tre metodologie di calcolo.

2.4.7.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia MC_{APE-DE} sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi.

Il confronto dei consumi di metano e di quelli di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 66 e in Figura 67. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia MC_{APE-DE} con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.
Entrando più nel dettaglio, l'errore più elevato (rimarcato in Tabella 161) si riscontra per l'energia elettrica (pari a -170% nel 2019 corrispondete ad una differenza di 44 kWh principalmente dovuta al servizio di riscaldamento) mentre il metano si attesta al -6% nel 2019 (pari a circa 30 Nm^3) e al -3% nel 2020 (circa 20 Nm^3). I risultati evidenziano, invece, una importante sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale compresa tra il 50-65%).
Gli esiti del confronto confermano quindi una buona affidabilità della metodologia MC_{APE-DE}.

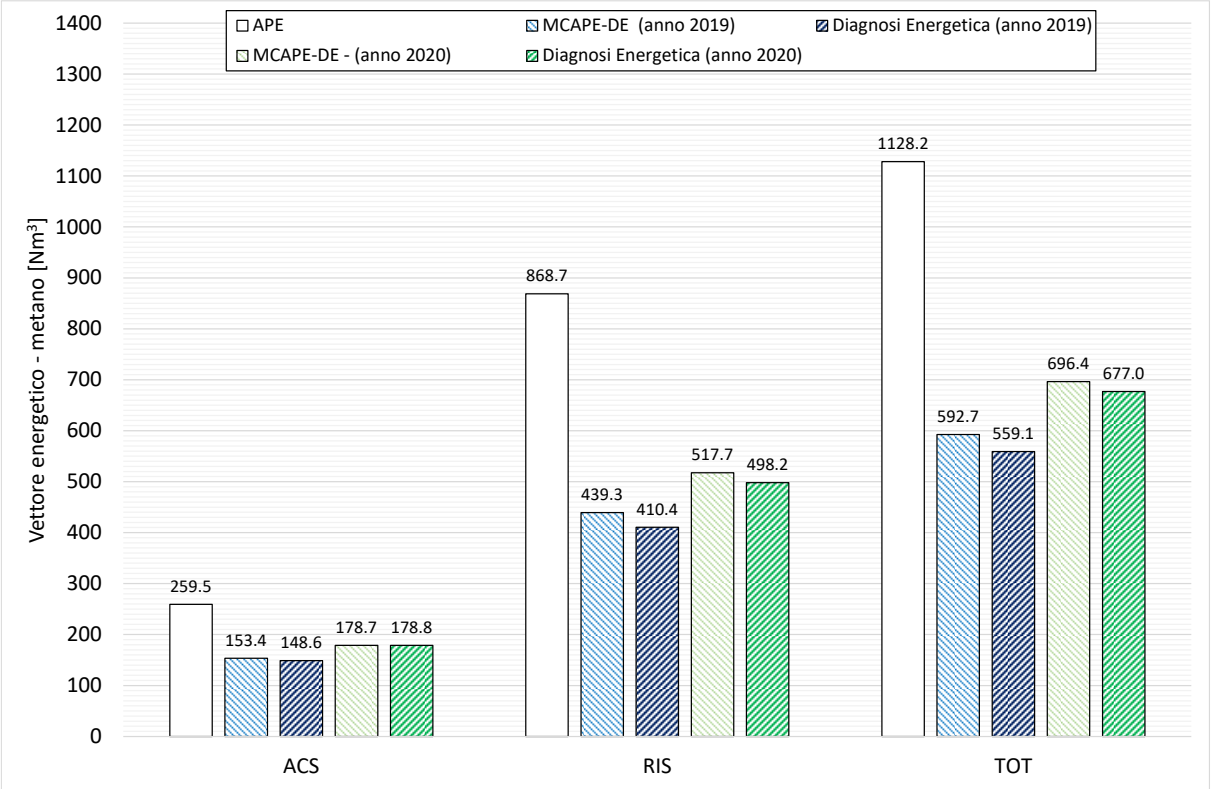


Figura 66. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

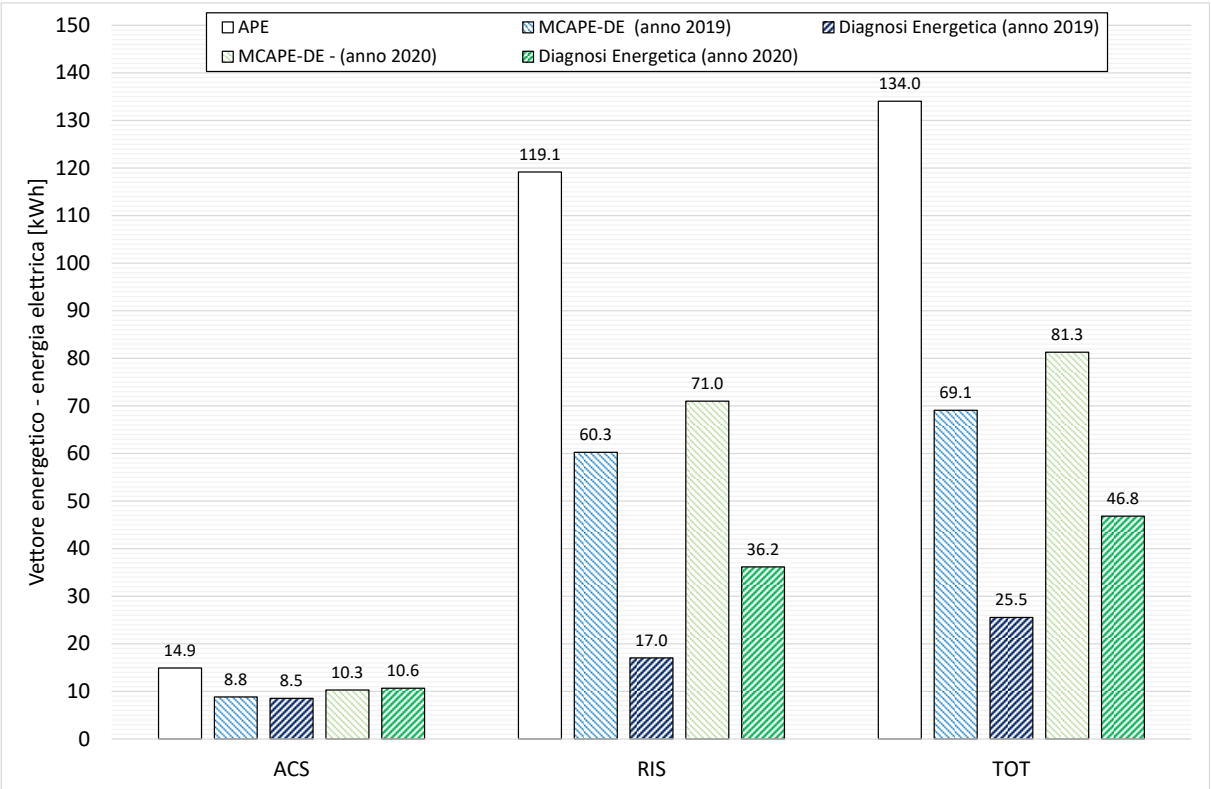


Figura 67. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 161. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2019	-0.3	-43.2	0.0	-43.6	-3.8	-254.0	0.0	-170.6
	2020	0.3	-34.8	0.0	-34.5	3.2	-96.3	0.0	-73.7
Metano	2019	-4.8	-28.9	0.0	-33.6	-3.2	-7.0	0.0	-6.0
	2020	0.1	-19.5	0.0	-19.4	0.0	-3.9	0.0	-2.9

2.4.9 Caso studio n. 6 – E.1-6

Il sesto caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano quarto e ultimo di una piccola palazzina costruita nel 1942 nel comune di Roma (RM), Regione Lazio, città contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 162.

Per il presente caso studio, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi agli ultimi due anni e, in particolare, del 2019 e del 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questi due anni di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Ai fini delle DE è stato possibile reperire i soli dati della temperatura esterna con una frequenza medio-mensile, forniti dal sistema SCIA di ISPRA [18], e per i restanti parametri si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]. È chiaro che questa assunzione potrebbe determinare un più o meno marcato scostamento dai consumi energetici finali, ma in mancanza di dati certi è stato necessario farla.

In Tabella 163si riportano i valori medi considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come i valori di temperatura medi annuali registrati nel 2019 (16.7 °C) e nel 2020 (16.4 °C) siano allineati con quello fornito dalla UNI 10349 (16.7 °C).

Tabella 162. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Lazio
	Provincia	Roma
	Comune	Roma
	Altitudine [10]	20 m s.l.m.
	Latitudine	41° 53'
	Longitudine	12° 28'
	Gradi Giorno [10]	1415
	Zona climatica [10]	D
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	166 giorni dal 01/11 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	1.70
	Temperatura bulbo secco [°C]	34.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	25.2
	Escursione termica giornaliera [°C]	11.0
	Umidità relativa [%]	50.0

Tabella 163. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*			*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²]*[1, A e B]
	Normativa [1,A]	*2019* [2,B]	*2020* [2,B]	
Gennaio	8.1	6.1	8.6	2.3
Febbraio	9.1	9.7	10.8	6.6
Marzo	11.5	12.5	11.2	6.8
Aprile	15.9	13.8	14.2	11.5
Maggio	19.2	14.9	19.5	13.2
Giugno	22.6	25.1	21.7	12.5
Luglio	26.4	26.2	25.7	16.0
Agosto	26.6	26.5	26.3	16.4
Settembre	21.7	22.1	21.9	10.4
Ottobre	17.8	18.7	15.4	7.3
Novembre	12.7	13.8	13	3.0
Dicembre	8.7	10.5	8.8	2.8
Media annua	16.7	16.7	16.4	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "stazione Monte Mario" - coordinate geografiche 41.91 e 12.45, quota 143 m [18]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.9.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito che di quelle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 164) e di realizzare una pianta geometrica del caso esaminato (Figura 68). Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, l'immobile è caratterizzato da cinque tipologie di componenti opache verticali; le prime tre (parete indicata da M1 a M3) confinanti verso l'esterno, una quarta tipologia (M4) che divide l'ambiente riscaldato dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.89, e una quinta (M5) di separazione tra due zone riscaldate. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata da un'altra unità immobiliare (zona sempre riscaldata) (S_i2), mentre il solaio superiore separa l'ambiente dall'esterno ed è composto da due differenti strutture (S_s1 e S_s2).

Tabella 164. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	1942	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	5	[-]
Piano del caso studio	Quarto	[-]
Altezza media vani	3.00	[m^2]
Superficie utile climatizzata	77.81	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	94.1	[m^2]
Volume netto climatizzato	235.99	[m^3]
Volume lordo climatizzato	318.1	[m^3]
Superficie disperdente	214.85	[m^2]
Rapporto S/V	0.68	[m^{-1}]
Esposizione prevalente	NE	[-]

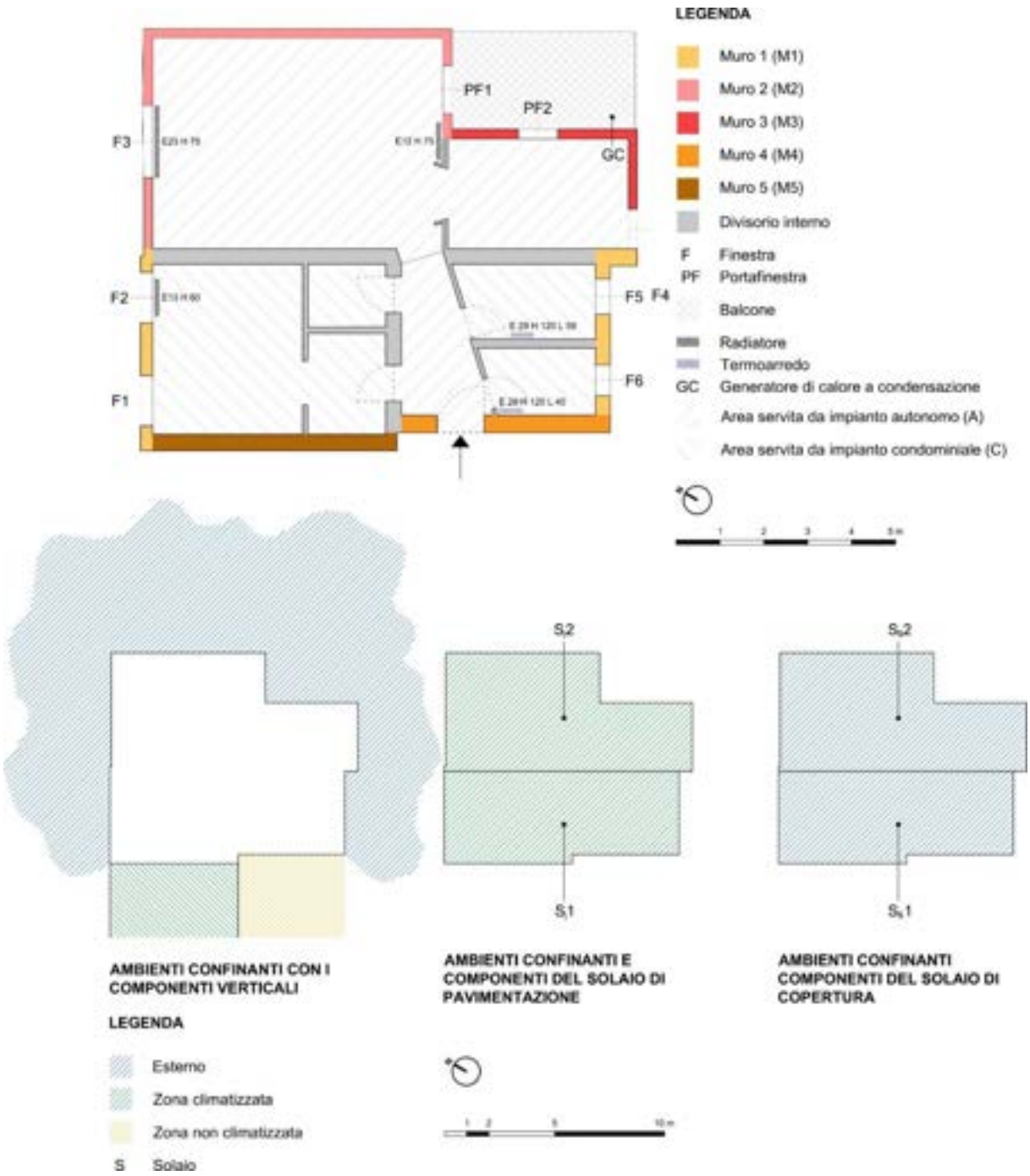


Figura 68. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura di setti portanti in muratura, realizzati con uno strato di blocchi di laterizio rifiniti esternamente con intonaco; tuttavia, a causa di una ristrutturazione successiva alla costruzione dell'edificio, l'appartamento in esame ha parte dei confini esterni verticali composti da blocchi in laterite separati da un'intercapedine d'aria e da uno strato di materiale isolante. I solai sono principalmente in laterocemento (pacchetto 18 + 5 cm) e parte del solaio di copertura è composto da strati di materiale isolante intervallati da intercapedine d'aira e sorretti da una struttura in travi e travetti metallici. Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 165 a Tabella 173 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza. Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.

Tabella 165. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Blocco forato	300	0.349	0.860
3	Intonaco di calce	20	0.900	0.022
Esterno		-	-	0.040
Totale		330	-	0.876
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.938	

Tabella 166. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	5	0.700	0.007
2	Blocco in laterite	75	0.288	0.260
3	Polistirene espanso sinterizzato	40	0.037	1.081
4	Intercapedine non ventilata	82	0.456	0.180
5	Aquapanel	13	0.380	0.034
6	Polistirene espanso sinterizzato	40	0.037	1.081
7	Intonaco di calce e gesso	5	0.700	0.007
Esterno		-	-	0.040
Totale		260	-	2.820
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.354	

Tabella 167. Stratigrafia della parete M3: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	5	0.700	0.007
2	Blocco in laterite	75	0.288	0.260
3	Polistirene espanso sinterizzato	60	0.037	1.622
4	Intercapedine non ventilata	82	0.456	0.180
5	Blocco in laterite	75	0.288	0.260
6	Intonaco di calce e gesso	5	0.700	0.007
Esterno		-	-	0.040
Totale		270	-	2.506
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.399	

Tabella 168. Stratigrafia della parete M4: parete opaca confinante verso il vano scala.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Blocco forato	300	0.349	0.860
3	Intonaco di calce	20	0.900	0.022
Vano scala non riscaldato		-	-	0.130
Totale		330	-	1.156
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.865	

Tabella 169. Stratigrafia della parete M5: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Blocco forato	300	0.349	0.860
3	Intonaco di calce	20	0.900	0.022
Zona riscaldata		-	-	0.130
Totale		330	-	1.156
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.865	

Tabella 170. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante un'altra unità abitativa.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Pavimentazione in ceramica	10	1.300	0.008
2	Massetto in cls con rete	40	1.490	0.027
3	Soletta in laterizio	180	0.720	0.250
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona Riscaldata		-	-	0.170
Totale		240	-	0.639
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.565	

Tabella 171. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i2 confinante un'altra unità abitativa.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Pavimentazione in ceramica	10	1.300	0.008
2	Massetto autolivellante	20	1.400	0.014
3	Materassino fonoassorbente	20	0.037	0.541
4	Massetto in cls con rete	40	1.490	0.027
5	Soletta in laterizio	180	0.720	0.250
6	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona Riscaldata		-	-	0.170
Totale		280	-	1.194
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.838	

Tabella 172. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s1 confinante verso l'esterno.

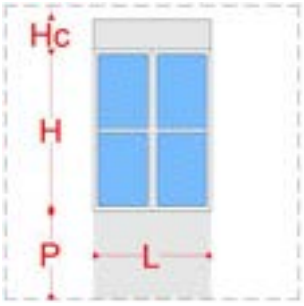
Descrizione del singolo strato (dall'alto verso il basso)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Esterno		-	-	0.100
1	Pavimentazione in ceramica	10	1.300	0.008
2	Massetto in cls con rete	50	1.490	0.027
3	Soletta in laterizio	180	0.720	0.250
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.040
Totale		250	-	0.994
Trasmittanza termica [W/m²K]			2.244	

Tabella 173. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'alto verso il basso)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.100
1	Pannello in lana di vetro	50	0.031	1.613
2	Intercapedine non ventilata	100	0.625	0.160
3	Polistirene espanso sinterizzato	40	0.037	1.081
Esterno		-	-	0.040
Totale		190	-	2.994
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.334	

Inoltre, sono stati definiti anche diversi elementi vetrati (Tabella 174) e anche alcuni ponti termici (i più influenti) il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 175) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.
L'unità immobiliare indagata è dotata di un generatore di calore di tipo standard (condominiale - C), che permette di soddisfare il servizio energetico di riscaldamento in circa il 40% dell'abitazione; la restante parte è dotata di generatore di calore a condensazione (autonomo - A) che produce anche l'acqua calda sanitaria per l'intero immobile. Quest'ultimo impianto è installato come evidenziato in Figura 68. Le caratteristiche tecniche dei due generatori di calore sono dettagliate in Tabella 176, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici di ciascun servizio energetico considerato sono riassunte in Tabella 177.

Tabella 174. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
	F01	0.90	1.83	1.00	0.17	1.65	0.94	1.376
	F02	0.94	1.83	1.00	0.17	1.72	1.01	1.367
	F03	1.77	1.49	1.10	0.31	2.64	1.57	0.739
	PF01	1.31	2.36	0.15	0.29	3.09	1.77	0.976
	PF02	0.95	2.36	0.15	0.29	2.24	1.34	0.996
	F04	0.87	1.21	1.10	0.59	1.05	0.52	0.730
	F05	0.82	1.83	1.00	0.17	1.50	0.82	1.397
	F06	0.62	1.83	1.00	0.17	1.13	0.50	1.474

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 175. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete M1 – telaio	0.084
W – parete M2 – telaio	0.042
W – parete M3 – telaio	0.042
B – parete – balcone	0.262
IF – parete – solaio di interpiano S_i1	0.249
IF – parete – solaio di interpiano S_i2	0.244
C – angolo tra pareti M1	-0.128
C – angolo tra pareti M2-M3	-0.101
R – parete M1 – copertura S_s3	-0.571
R – parete M1 – copertura S_s4	0.164

Tabella 176. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Rinnai Mirai 24 Condensing*	*Unical MD 105*
Combustibile	Metano	Metano
Ambiente di installazione	Esterno	Interno
Potenza nominale – P_n [kW]	20	115
Potenza minima – P_{min} [kW]	86.5	91.3
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	7.6	105
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	97	439
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	45	330
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	32	30
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	87.7	86
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	6.00	8.10
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	1.00	0.20
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	1.15	0.50
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\ -\ min}$ [%]	5.00	8.10

Tabella 177. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	×
Generatore di calore		Condensazione	Condensazione (A) e Standard (C)	n.d.
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	n.d.
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo (A) e Centralizzato (C)	n.d.
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	n.d.
	Tubazioni	In ambiente climatizzato	Incassate nel pavimento	n.d.
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	conforme a D.P.R. 412/93 [10] (A) Non conforme a D.P.R. 412/93 [10] (C)	n.d.
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in alluminio + termoarredi	n.d.
	T esercizio	55 °C [4]	70 °C (A) 80 °C (C)	n.d.
	ΔT	-	30 °C (A) 20 °C (C)	n.d.
	Valvole	-	Assenti (A) Presenti (C)	n.d.
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona (A) Valvole termostatiche (C)	n.d.
	Caratteristiche	-	On-off (A) Banda proporzionale 0.5 °C (C)	n.d.

2.4.9.2 Consumi energetici reali da bolletta

Le valutazioni energetiche relative agli anni 2019 e il 2020, sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dagli utenti) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. A causa di un malfunzionamento del sistema di contabilizzazione dell'acqua, non è stato possibile acquisirne i relativi consumi per i due anni analizzati.

Dall'analisi delle risposte fornite, per le quali si rimanda all'Appendice A, è emerso come l'immobile sia stato abitato mediamente da due persone che lo ha occupato per un totale di 358 giorni nel 2019 e di 321 giorni nel 2020. Il profilo occupazionale individuato rappresenta un leggero scostamento rispetto quello standard previsto nella valutazione asset (APE); pertanto, è lecito attendersi uno scostamento tra l'APE e le due DE.

I consumi di metano ed energia elettrica acquisiti per i due anni analizzati, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza degli utenti, sono riassunti in Tabella 178. Risulta interessante osservare che, nonostante la minore permanenza nell'abitazione tra il 2019 e il 2020 (-37 giorni), i consumi elettrici siano aumentati del 64.1%, mentre quelli di metano sono stabili.

Tabella 178. Consumi reali dell'immobile: consumi di acqua, energia elettrica e metano dichiarati messi in relazione con i giorni di presenza dell'occupante nei due anni di analisi (2019 e 2020).

Mese	*Anno 2019*				*Anno 2020*			
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*
Gennaio	31	n.d.	79	160.9	31	n.d.	99	
Febbraio	28	n.d.	58	100.8	29	n.d.	80	88.9
Marzo	31	n.d.	71	75.9	31	n.d.	162	
Aprile	30	n.d.	68	37.6	30	n.d.	175	38.7
Maggio	31	n.d.	74	16.0	31	n.d.	175	
Giugno	30	n.d.	72	6.0	30	n.d.	163	7.0
Luglio	31	n.d.	70	4.0	24	n.d.	101	
Agosto	31	n.d.	70	2.0	0	n.d.	41	0.0
Settembre	30	n.d.	72	6.0	23	n.d.	99	
Ottobre	24	n.d.	79	11.0	31	n.d.	124	10.0
Novembre	30	n.d.	97	60.2	30	n.d.	139	
Dicembre	31	n.d.	102	97.2	31	n.d.	139	146.0

2.4.9.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 69 e Tabella 179) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici (energia elettrica e di metano). Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica A2 con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 100.5 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 701 Nm^3/anno e di 252 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Questi output risultano essere divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 178), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato. Inoltre, in virtù dell'approccio standard a cui è necessario fare riferimento, non è possibile effettuare una variazione dei consumi per i due anni analizzati per i quali, ovviamente, l'approccio APE restituisce lo stesso consumo energetico.

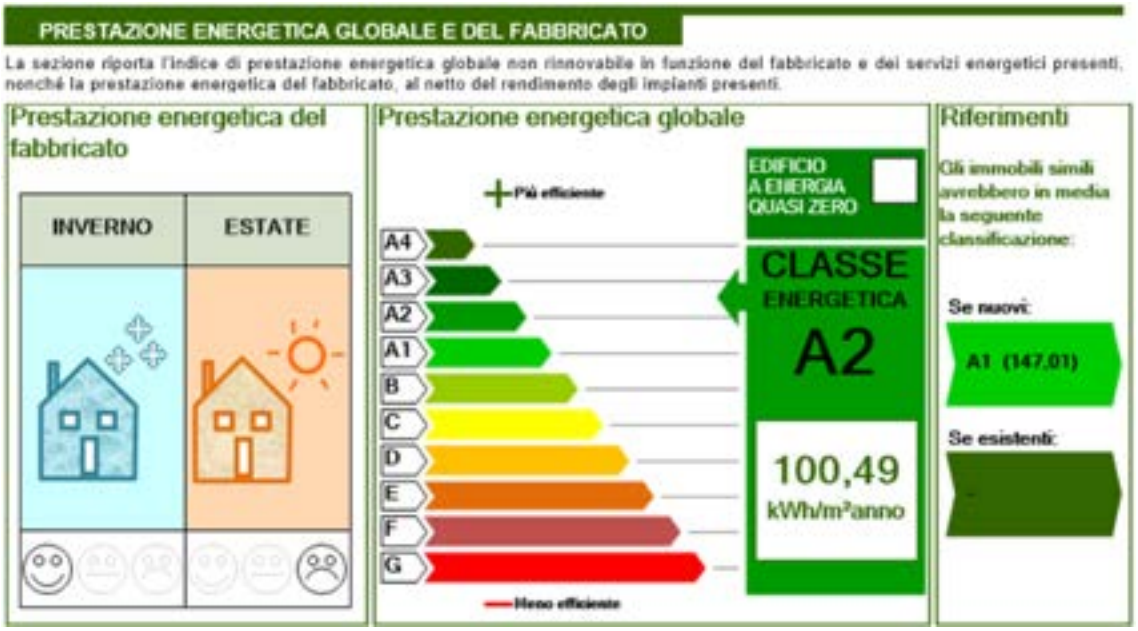


Figura 69. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 179. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m^2]*			*Metano [Nm^3/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	5777	112	5889	74.2	1.4	75.7	508	239
Acqua Calda Sanitaria	2043	4	2046	26.3	0.1	26.3	193	13
Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0
Globale	7819	116	7935	100.5	1.5	102.0	701	252

2.4.9.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre due DE, la prima relativa all'anno 2019 mentre la seconda al 2020. Come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito del progetto SCIA di ISPRA[18] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 163, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.9.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di metano destinati all'uso cucina;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.9.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina

L'analisi del questionario ha permesso di stimare il tempo medio speso per cucinare e la percentuale dei pasti consumati a casa all'interno di un "*mese tipo*" composto da quattro "*settimane tipo*". Combinando queste informazioni, si sono stimate le ore medie giornaliere spese per cucinare, pari a 0.11 h/giorno nel 2019 e a 0.43 h/giorno nel 2020. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice A dove, in aggiunta alle informazioni fornite dal fruitore, è riportato anche il calcolo della media settimanale della percentuale dei pasti consumati in una "*settimana tipo*" e il tempo medio speso per cucinare associato per ciascuna tipologia di pasto.
Assumendo quindi un consumo di metano medio dei fornelli di 0.10 m^3/h (valore assunto come plausibile perché in presenza di un unico fruitore) e in considerazione degli effettivi giorni di presenza dichiarati dall'occupante, si è stimato un consumo destinato alla sola cottura dei cibi pari a 3.84 Sm^3/anno (ossia 3.63 Nm^3/anno) nel 2019 (Tabella 180) e a 13.95 Sm^3/anno (ossia 13.21 Nm^3/anno) nel 2020 (Tabella 181), corrispondenti rispettivamente allo 1.48% e il 4.76% del consumo totale di metano registrato.

Tabella 180. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm^3]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm^3]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	3.32	0.33	61	0.54
Febbraio	28	3.00	0.30	34	0.88
Marzo	31	3.32	0.33	22	1.51
Aprile	30	3.21	0.32	16	2.01
Maggio	31	3.32	0.33	16	2.08
Giugno	30	3.21	0.32	6	5.36
Luglio	31	3.32	0.33	4	8.30
Agosto	31	3.32	0.33	2	16.61
Settembre	30	3.21	0.32	6	5.36
Ottobre	24	2.57	0.26	11	2.34
Novembre	30	3.21	0.32	31	1.04
Dicembre	31	3.32	0.33	51	0.65
Totale	358	38.36	3.84	260	1.48

Tabella 181. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm³]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm³]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	13.47	1.35	51	2.64
Febbraio	29	12.60	1.26	47	2.68
Marzo	31	13.47	1.35	24	5.61
Aprile	30	13.04	1.30	25	5.21
Maggio	31	13.47	1.35	10	13.47
Giugno	30	13.04	1.30	7	18.62
Luglio	24	10.43	1.04	3	34.76
Agosto	0	0.00	0.00	0	-
Settembre	23	9.99	1.00	9	11.10
Ottobre	31	13.47	1.35	10	13.47
Novembre	30	13.04	1.30	42	3.10
Dicembre	31	13.47	1.35	65	2.07
Totale	321	139.48	13.95	293	4.76

2.4.9.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dall'utente mediante questionario (si veda l'Appendice A), da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari (ACS) di 80.6 l/giorno per persona nel 2019 e 92 l/giorno nel 2020 (Tabella 182).

A partire dal fabbisogno stimato si è determinato quello effettivo effettuando una verifica sul consumo di metano calcolato a partire dal volume di ACS stimato, in quanto non deve superare quello dichiarato in bolletta depurato del consumo di metano stimato ad uso cucina. Non è stato possibile verificare che il volume di ACS stimato mensilmente non fosse maggiore di quello effettivamente consumato, in quanto i consumi di acqua non sono stati reperibili.

È stata fatta, quindi, la seguente assunzione: il combustibile riportato in bolletta da maggio a settembre è destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria e cottura dei cibi. Questa ipotesi trova riscontro sia con le abitudini dell'occupante sia con il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento previsto da normativa per la zona climatica D. A partire dal valore di fabbisogno di ACS stimato, in accordo con la metodologia prevista dalla UNI TS 11300-2 [5], è stato calcolato il relativo consumo di metano che è stato messo a confronto con il valore dichiarato in bolletta depurato di quello stimato ad uso cucina (Figura 70). Il risultato evidenzia come il fabbisogno di ACS non possa essere in realtà costante in ogni mese dell'anno, in quanto si è riscontrato un importante scostamento specialmente nel 2019 (linea tratteggiata in nero). Questa discrepanza è dovuta al fatto che durante i mesi più caldi, a parità di volume d'acqua consumato, la richiesta di acqua calda è in realtà più contenuta.

Tabella 182. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*		*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato [l/giorno·persona]*	
		Utente n. 1	*Utente n. 2*		*Utente n. 1*	*Utente n. 2*
Doccia	1	90	90	60	54	54
Lavabo	2	5	10	12	1.2	2.4
Bidet	2	5	10	10	1	2
Vasca da bagno	0	0	0	200	0	0
Lavello da cucina	1	10	15	20	2	3
Totale	6	-	-	-	58.2	61.4

In virtù del risultato ottenuto, per i soli mesi in cui si è determinato un consumo di metano superiore a quello di bolletta (quelli per cui il secondo controllo non è soddisfatto), si è deciso di stimare il volume di acqua calda sanitaria a partire dall'effettivo consumo dichiarato (sempre depurato del consumo di metano stimato ad uso cucina). Il risultato è riportato in Figura 71 in cui si mostra un duplice confronto tra:

1. Il volume d'acqua calda effettivamente consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di sinistra). Tale volume non può essere confrontato con quello di bolletta in quanto non registrato;
2. Il metano riportato in bolletta depurato del consumo stimato ad uso cucina e il metano legato al volume d'acqua calda effettivamente consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di destra).

Si precisa che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza/utilizzo dell'immobile dichiarati dall'utente. Tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}, il volume di ACS deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. In particolare, nei codici di calcolo è richiesto il valore giornaliero medio mensile, mentre nella procedura di calcolo sviluppata (MC_{APE-DE}) è necessario inserire il valore giornaliero medio annuale; entrambi sono mostrati in Tabella 183 a confronto con il valore giornaliero medio mensile stimato applicando il calcolo standard (APE). La tabella mostra una importante divergenza tra i valori stimati; in particolare, si osservi come il valore medio annuale stimato con l'APE sia circa 1.5 volte il valore individuato per entrambi gli anni. In accordo con il risultato atteso, quindi, è lecito attendersi una netta divergenza dei consumi determinati con APE e DE per il servizio di acqua calda sanitaria.

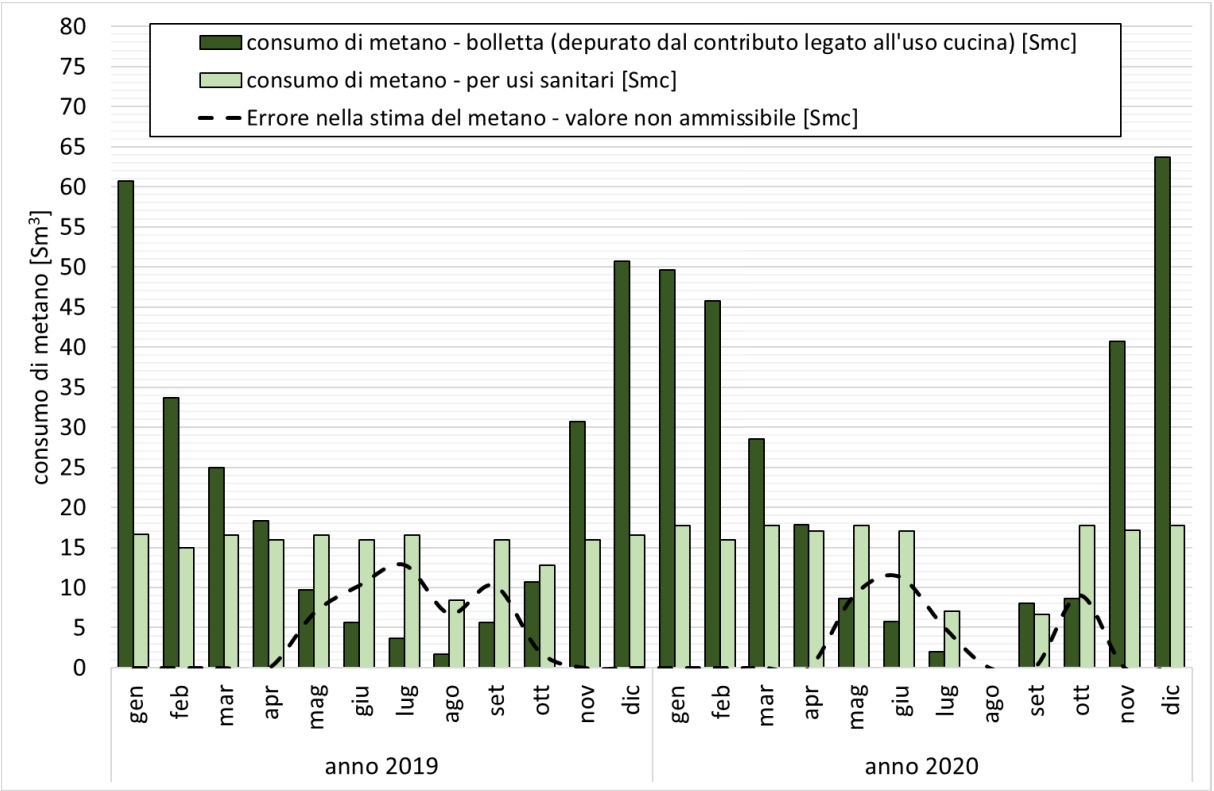


Figura 70. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, depurato di quello destinato all'uso cucina, e il consumo calcolato a partire dal valore del fabbisogno di acqua calda sanitaria stimato.

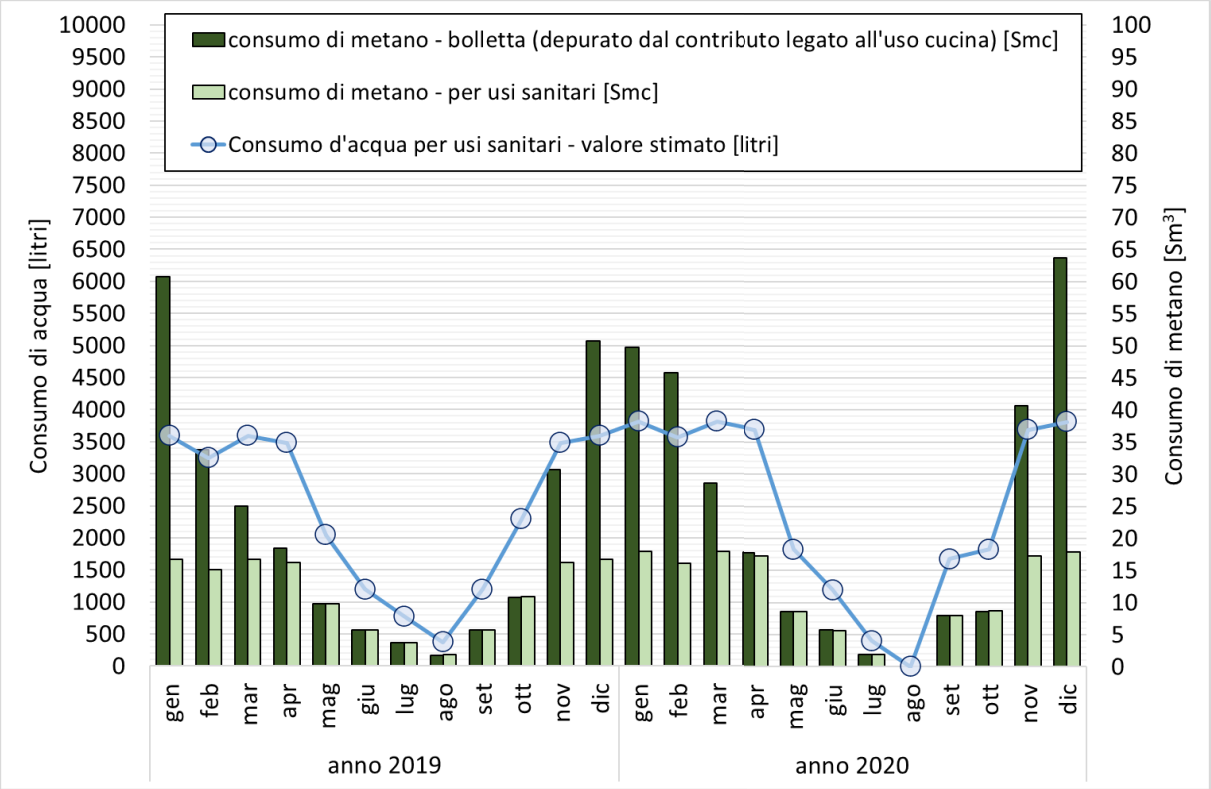


Figura 71. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria.

Tabella 183. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2019*		*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	4991.0	161.0	3,813.0	123.0	120.0
Febbraio	4508.0	161.0	3,567.0	123.0	120.0
Marzo	4991.0	161.0	3,813.0	123.0	120.0
Aprile	4830.0	161.0	3,690.0	123.0	120.0
Maggio	2046.0	66.0	1,829.0	59.0	120.0
Giugno	1200.0	40.0	1,200.0	40.0	120.0
Luglio	775.0	25.0	403.0	13.0	120.0
Agosto	372.0	12.0	-	-	120.0
Settembre	1200.0	40.0	1,680.0	56.0	120.0
Ottobre	2294.0	74.0	1,829.0	59.0	120.0
Novembre	4830.0	161.0	3,690.0	123.0	120.0
Dicembre	4991.0	161.0	3,813.0	123.0	120.0
Media	2406.92	79.4	29327.5	80.42	120.0

2.4.9.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i vettori energetici per ogni servizio energetico presente. Per questa analisi, si è partiti dalle indicazioni fornite dall'utente mediante questionario (si veda l'Appendice A); in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta. L'analisi ha

permesso di definire quindi le configurazioni ottimali di funzionamento degli impianti, ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici; le configurazioni desunte dall'analisi iterativa, condotta a partire dai dati del questionario, ha permesso di definire i seguenti valori ottimali di accensione dell'impianto:

- numero di giorni settimanali di accensione dell'impianto di riscaldamento: 7 giorni a settimana;
- numero di ore giornaliere di accensione dell'impianto di riscaldamento: 7 ore/giorno.

A partire da queste configurazioni ottimali, è stato definito l'inventario energetico del presente caso studio, ossia la ripartizione dei consumi dei vettori energetici per servizio energetico presente e per anno di analisi. La Tabella 184 evidenzia come il servizio più energivoro sia il riscaldamento avvicinandosi quasi al 75% del metano consumato in entrambi gli anni, e con un'incidenza sul consumo di energia elettrica intorno al 24% nel 2019 e di circa il 15% nel 2020. Relativamente al vettore energia elettrica si è stimato che il servizio più energivoro sia costituito dall'illuminazione e dall'uso di apparecchiature domestiche, per le quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni.
Il risultato conseguito mediante anche il software di simulazione può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di metano calcolato con quello reale (considerando i soli servizi di riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria sottraendo quindi il contributo legato all'uso cucina), si ottiene una discrepanza pari al 4.1% per l'anno 2019 e 2.6% per il 2020 (Tabella 184). Questa difformità può essere considerata come un errore accettabile essendo inferiore al ±5% [15].
Infine, analogamente a quanto fatto per l'APE, si riportano in Tabella 185 i principali risultati di calcolo (fabbisogno di energia primaria e indici di energia primaria) derivanti dalle DE, a cui si farà riferimento per l'analisi comparativa con la procedura MC_{APE-DE}.

Tabella 184. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Metano [Nm³]	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Nm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
*Cottura dei cibi**	3.6	0.0	13.2	0.0
Riscaldamento	393.0	217.0	389.0	217.0
Produzione di acqua calda sanitaria	128.0	9.0	130.0	9.0
Raffrescamento	0.0	0.0	0.0	0.0
*Illuminazione ed Elettrodomestici***	0.0	686.0	0.0	1271.0
Totale	524.6	912.0	532.2	1497.0
Bollette	546.9	912.0	546.3	1497.0
scostamento	4.1%	-	2.6%	-

** valore stimato e non restituito dal software di calcolo*
*** valore attribuito come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 185. Fabbisogni di energia primaria (Q) e indici di energia primaria (EP) ripartiti per servizio energetico derivanti dalle DE per gli anni 2019 e 2020.

Anno di riferimento	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*		
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*
2019	*Riscaldamento*	4528	102	4630	58.19	1.31	59.50
	Acqua Calda Sanitaria	1349	4	1353	17.34	0.05	17.39
	Raffrescamento	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	Globale	5877	106	5983	75.53	1.36	76.89
2020	*Riscaldamento*	4475	102	4577	57.51	1.31	58.82
	Acqua Calda Sanitaria	1373	4	1377	17.65	0.05	17.70
	Raffrescamento	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	Globale	5848	106	5954	75.16	1.36	76.52

2.4.9.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nei paragrafi che seguono, si riporta l'analisi dettagliata dell'applicazione della metodologia sviluppata nel presente lavoro ricerca (MC_{APE-DE}). Oltre ad una spiegazione accurata di come è deve essere applica la metodologia, saranno analizzati anche i risultati che si sono ottenuti al variare delle combinazioni di input adottate nonché in funzione della loro accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione dei reali dati disponibili.

2.4.9.5.1 Confronto degli indicatori energetici per il servizio di produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 186, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati derivanti dall'approccio MC_{APE-DE} sono stati quindi messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE e sono riportati rispettivamente in Figura 72 (anno 2019) e in Figura 73 (anno 2020). Come si evince, tutti i risultati comportano una sovrastima rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE) e la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: il risultato che maggiormente si avvicina a quello della DE è restituito impiegando un volume d'acqua ricavato adottando un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI"), mentre quello stimato dall'APE (combo "Vw-APE + T-UNI") comporta una significativa sovrastima dei risultati della DE.;
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: i risultati migliori sono restituiti dal volume d'acqua stimato a partire dall'inventario energetico (combo "Vw-IEM + T-REALE"), seguiti da quelli ricavati dal valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-REALE"), mentre quelli stimati a partire dal volume ricavato dall'APE (combo "Vw-APE + T-REALE") comportano una significativa sovrastima.

Tabella 186. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	2020	
Tipologia di generatore		condensazione		[-]
Vettore energetico		metano		[-]
Superficie utile dell'immobile		77.81		[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		16.69		[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		15.66	15.23	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	234.8	210.0	[litri/giorno]
	Convenzionale	114.2	107.7	[litri/giorno]
	Bolletta	n.d	n.d.	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	79.1	80.1	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	1.002	1.016	[-]
	F_{Vw}	1.514	1.487	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	26.3		[kWh/m²]
	EP_{Wren}	0.1		[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	26.3		[kWh/m²]
	Energia elettrica	13.0		[kWh]
	Metano	193.0		[Nm³]

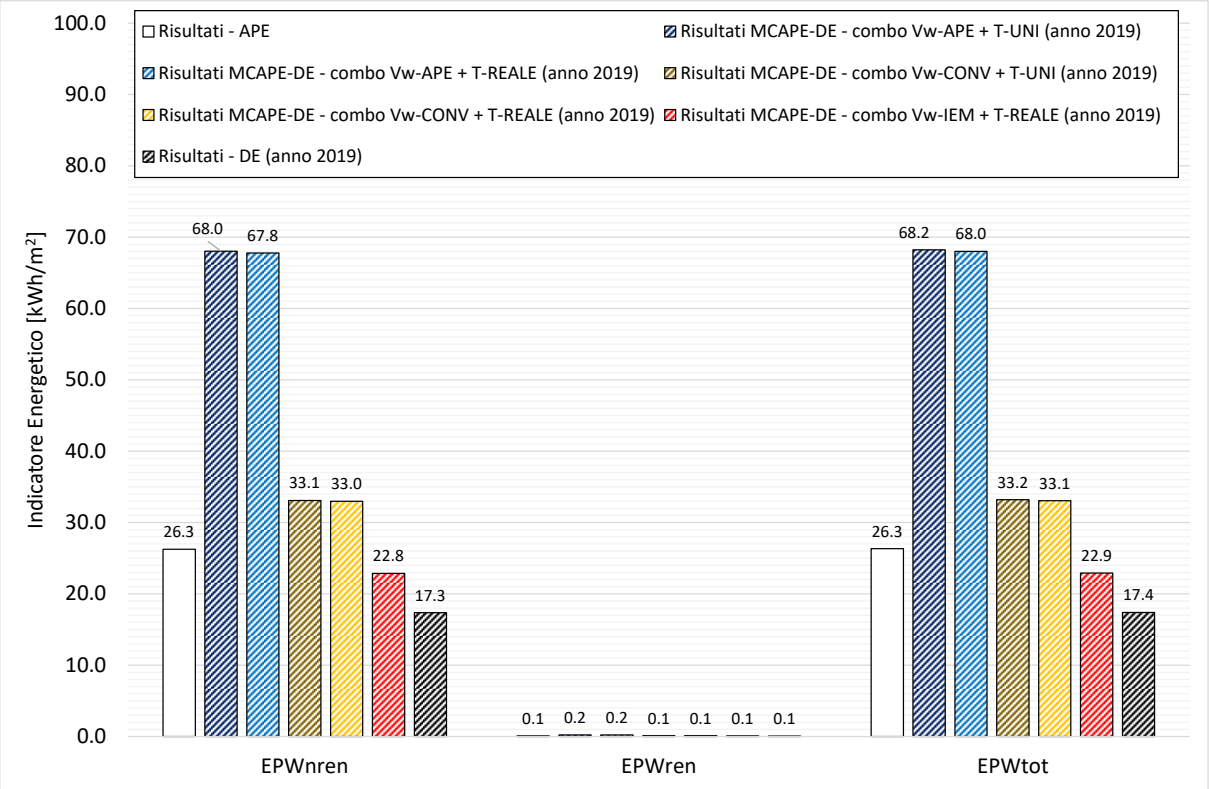


Figura 72. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

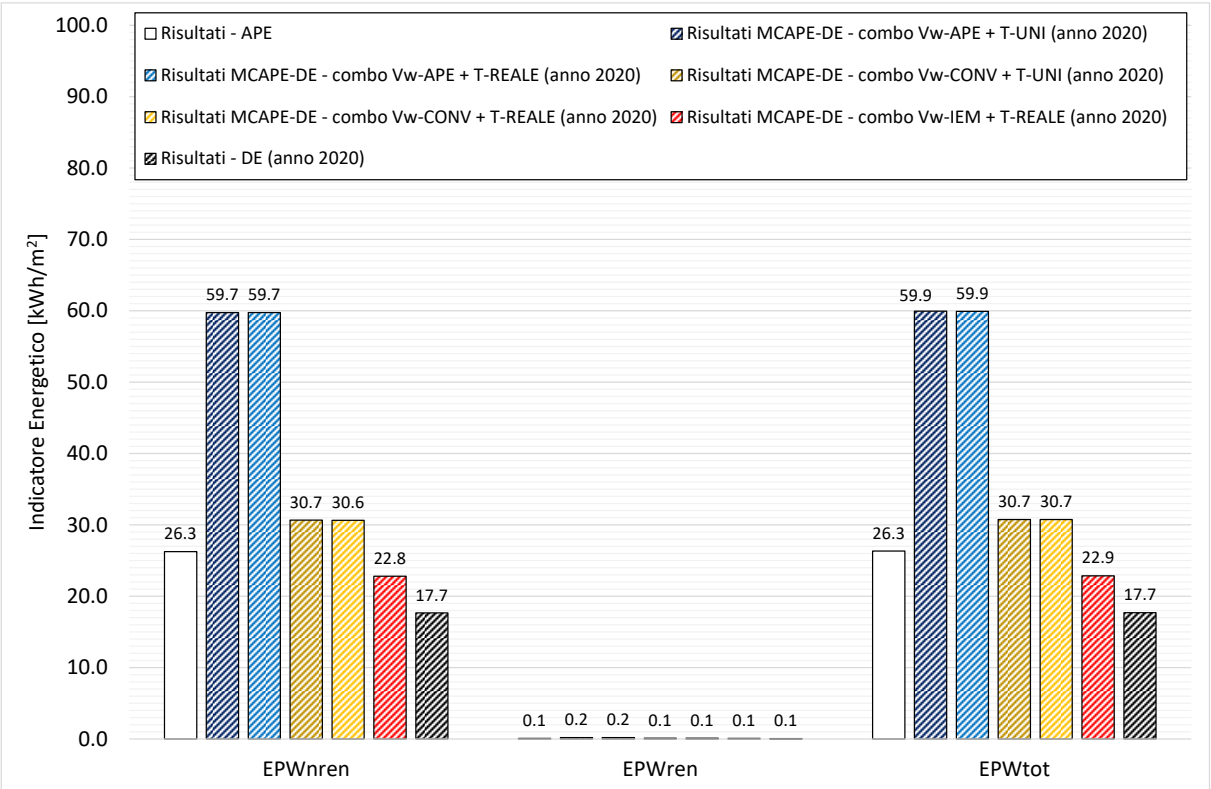


Figura 73. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020

L'impiego di dati climatici reali, in generale, non determina grandi variazioni dell'indicatore energetico EP_{wtot} in quanto la temperatura media annuale di entrambi gli anni è quasi coincidente con quella di normativa. Per tutte le combinazioni si registra una divergenza del principale indicatore energetico compresa tra il 29% e il 292%.
In relazione alla Figura 72 e Figura 73, si è quindi determinata la differenza percentuale tra le varie metodologie analizzate rispetto ai risultati della DE (Figura 74). Come si evince, il livello di approssimazione dei principali indicatori energetici della DE con la metodologia MC_{APE-DE} è fortemente influenzato dall'accuratezza dei dati di input. Infatti, nel caso dell'impiego del volume ricavato dall'APE, i risultati mostrano una sovrastima che varia tra circa il 239% e il 292%. Anche il calcolo APE tende a sovrastimare i risultati della DE, ma con una divergenza più ridotta che ruota intorno al 50%.
In accordo con i risultati (Figura 74), è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia accettabile e/o trascurabile (in virtù dell'errore assoluto rimarcato in Tabella 187) nel solo caso relativo all'inventario energetico e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE".
Si tiene a precisare, comunque, che qualsiasi valutazione conclusiva sulla combinazione di calcolo più idonea da adottare dovrà tener presente anche della peculiarità del caso studio indagato; infatti, come più volte riportato, esso è caratterizzato da profili di utilizzo molto specifici che hanno determinato un consumo molto elevato di entrambi i vettori energetici.

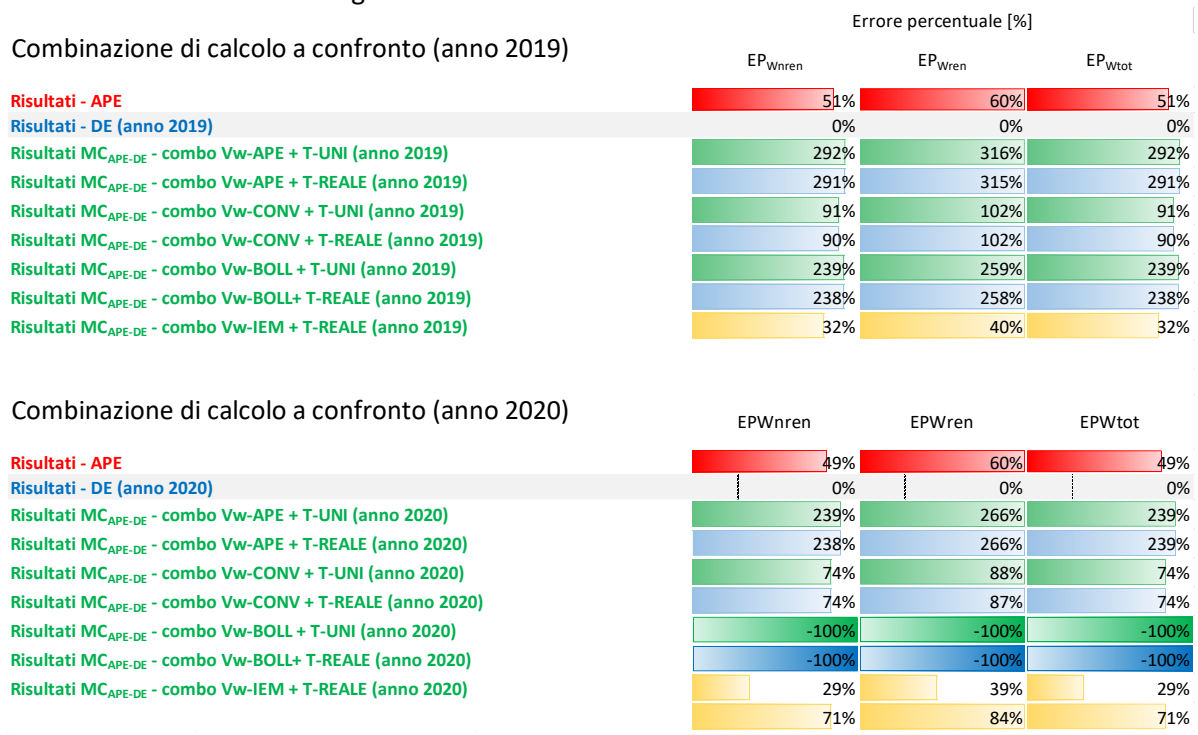


Figura 74. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Tabella 187. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	3.41	3.45	12.98	13.15
	EP_{Wren}	0.01	0.01	12.64	12.82
	EP_{Wtot}	3.42	3.46	12.98	13.15
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-5.50	-5.15	-31.74	-29.16
	EP_{Wren}	-0.02	-0.02	-39.77	-39.50
	EP_{Wtot}	-5.52	-5.17	-31.76	-29.19

2.4.9.5.2 Confronto degli indicatori energetici per servizio energetico di riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 188, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
I risultati derivanti dalla MC_{APE-DE} sono messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, rispettivamente in Figura 75 (anno 2019) e in Figura 76 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente in tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sottostimato con discrepanze che oscillano tra -11% e 29% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}); in particolare, i grafici confermano anche in questo caso un risultato simile tra l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) e quelli reali comportando un errore intorno quasi del -20% in entrambi gli anni.
Questi risultati confermano la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 189, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando a una più vicina convergenza dei risultati (intorno al -12%); l'ulteriore correzione per F_{H-set} non comporta altre variazioni rispetto alla precedente, in quanto la temperatura di set point è la stessa di normativa.
In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, la metodologia di calcolo standard (APE) mostra la peggiore approssimazione (quasi il 30%) rispetto a tutti i casi di applicazione della metodologia MC_{APE-DE} che dimostra una migliore affidabilità anche in un caso studio caratterizzato da peculiarità come quello studiato, dove l'abitazione è servita parzialmente da un impianto autonomo e nella restante parte da quello condominiale.

Tabella 188. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	*2020*	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-2		[-]
Generatore 1	*Tipologia del generatore di calore*	Generatore a condensazione		[-]
	Temperatura di esercizio del generatore di calore	Alta		[-]
	Vettore energetico principale	Metano		[-]
	Potenza nominale del generatore	20		[kW]
	Efficienza nominale del generatore	90.0		[%]
Generatore 2	*Tipologia del generatore di calore*	Generatore standard		[-]
	Temperatura di esercizio del generatore di calore	Alta		[-]
	Vettore energetico principale	Metano		[-]
	Potenza nominale del generatore	115.0		[kW]
	Efficienza nominale del generatore	91.3		[%]
Superficie utile		77.81		[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		1415		[GG]
Gradi Giorno – reali		1525	1537	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		7	7	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	1.078	1.086	[-]
	F_{H-set}	1.000	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	74.2		[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	1.4		[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	75.7		[kWh/m^2]
	Energia elettrica	239.0		[kWh]
	Metano	508.0		[Nm^3]

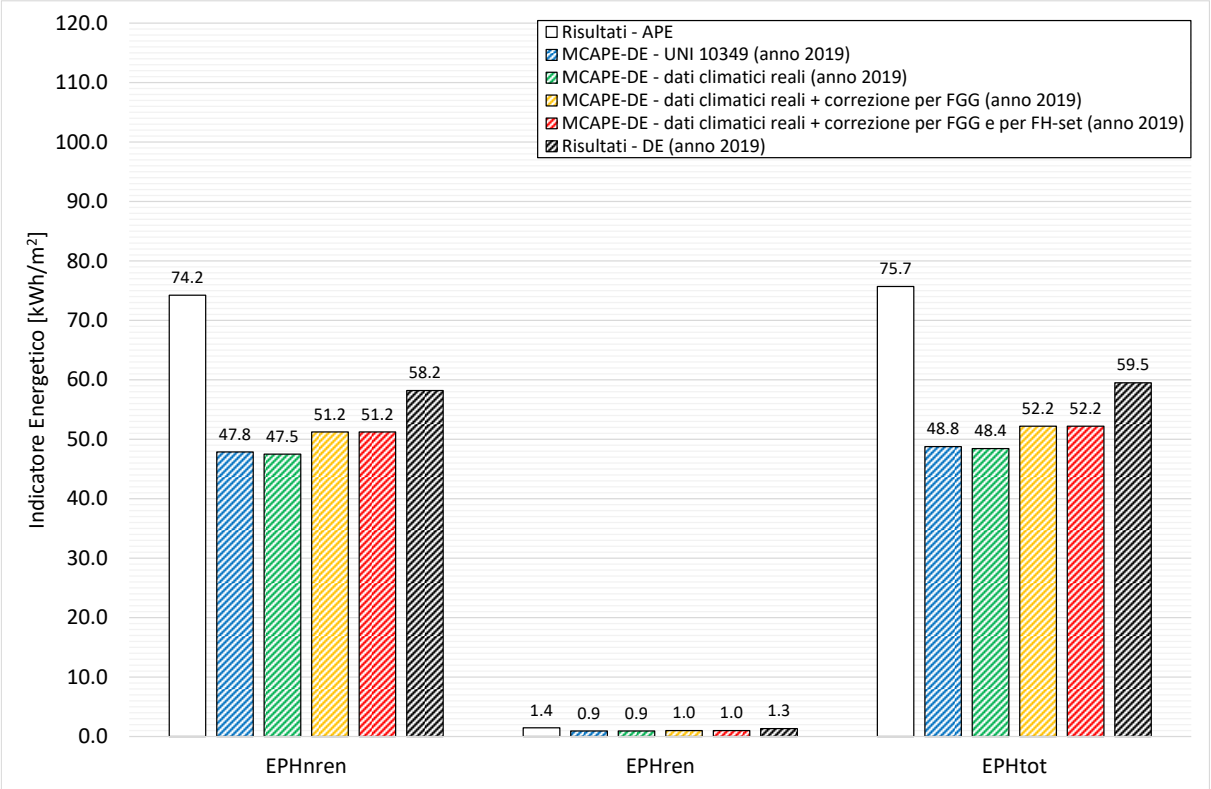


Figura 75. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

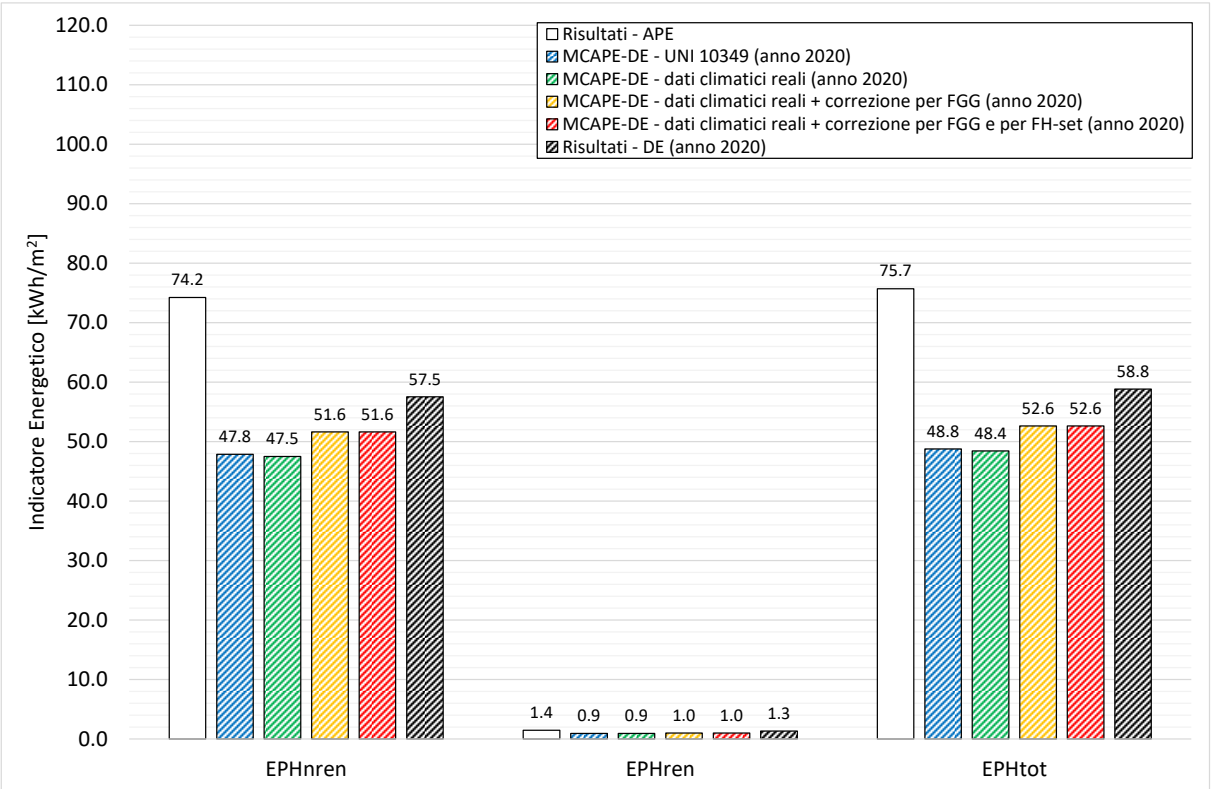


Figura 76. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 189. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	10.34	9.66	17.78	16.80
	EP_{Hren}	0.38	0.38	29.16	29.16
	EP_{Htot}	10.73	10.05	18.03	17.08
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	10.68	10.00	18.36	17.39
	EP_{Hren}	0.39	0.39	29.66	29.66
	EP_{Htot}	11.07	10.39	18.61	17.67
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	6.98	5.90	11.99	10.26
	EP_{Hren}	0.32	0.31	24.17	23.58
	EP_{Htot}	7.30	6.21	12.26	10.55
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	6.98	5.90	11.99	10.26
	EP_{Hren}	0.32	0.31	24.17	23.58
	EP_{Htot}	7.30	6.21	12.26	10.55

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui si è variato l'orario di accensione dell'impianto di riscaldamento; in particolare, si è deciso di farlo variare in un range compreso da 1 h/giorno al numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza. Per questo calcolo si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE. I risultati, riportati in Tabella 190, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE.

Tabella 190. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} [kWh/m²]	EP_{Hren} [kWh/m²]	EP_{Htot} [kWh/m²]	*Consumo elettrico [kWh/anno]*	*Consumo metano [Nm³/anno]*
1	14.0	0.3	14.2	6.8	104.6
2	18.4	0.4	18.8	9.0	138.0
3	22.9	0.4	23.3	11.1	171.3
4	27.3	0.5	27.9	13.3	204.7
5	34.2	0.7	34.8	16.6	255.9
6	41.0	0.8	41.8	20.0	307.0
7	47.8	0.9	48.8	23.3	358.2
8	54.7	1.1	55.7	26.6	409.4
9	56.4	1.1	57.5	27.5	422.5
10	58.2	1.1	59.3	28.3	435.6
11	59.9	1.2	61.1	29.2	448.7
12	61.7	1.2	62.9	30.0	461.8
APE	74.2	1.4	75.7	239.0	508.0

2.4.9.5.3 Confronto degli indicatori energetici per servizio energetico di raffrescamento

Il presente caso studio, come riportato in Tabella 177, non presenta il servizio energetico di raffrescamento; pertanto, non è stato possibile effettuare un confronto tra le tre metodologie di calcolo.

2.4.9.5.4 Confronto dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di ACS: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per il fattore correttivo F_{GG}, ricordando che l'ulteriore correzione per $F_{H\text{-}set}$ non ha comportato altre variazioni.

Il confronto dei consumi di metano e di quelli di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 77 e in Figura 78. Come si evince, i risultati della $MC_{APE\text{-}DE}$ sono sempre più vicini a quelli della DE rispetto a quelli dell'APE. Il risultato ottenuto conferma, quindi, una migliore affidabilità della procedura sviluppata, rispetto al calcolo standard.

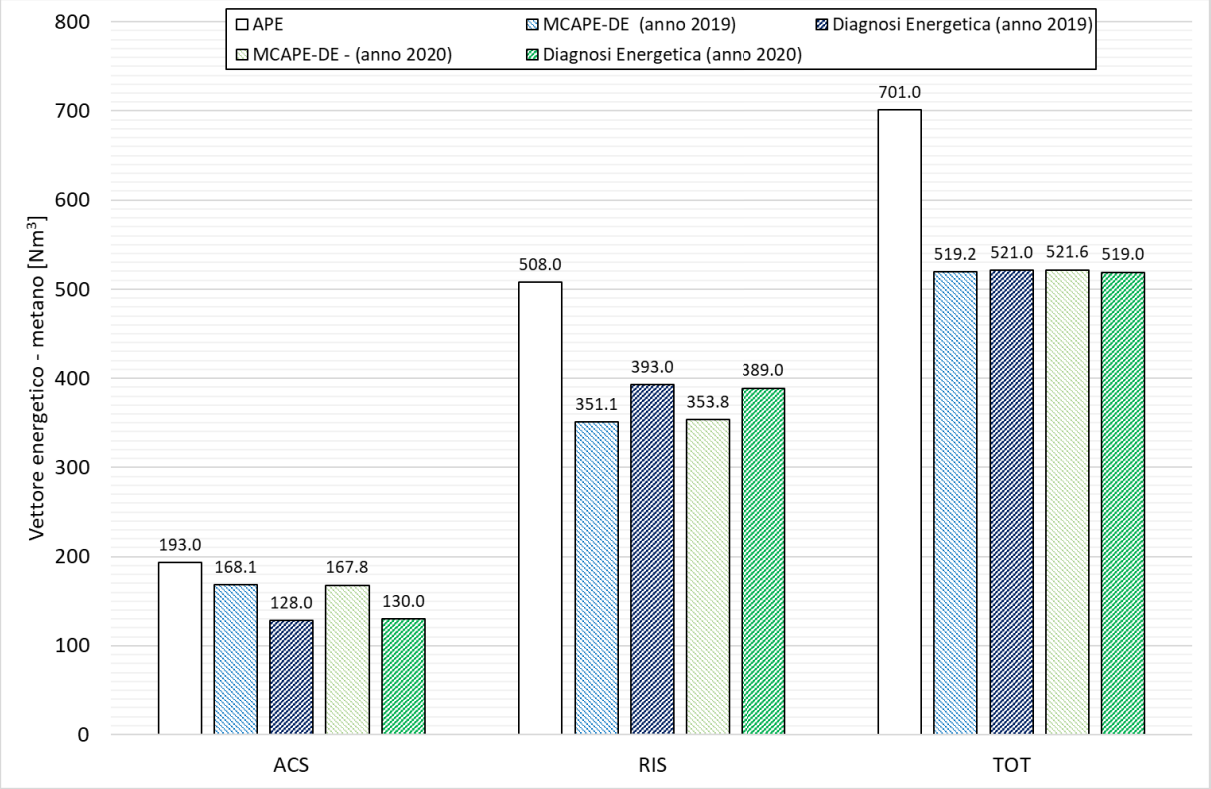


Figura 77. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$).

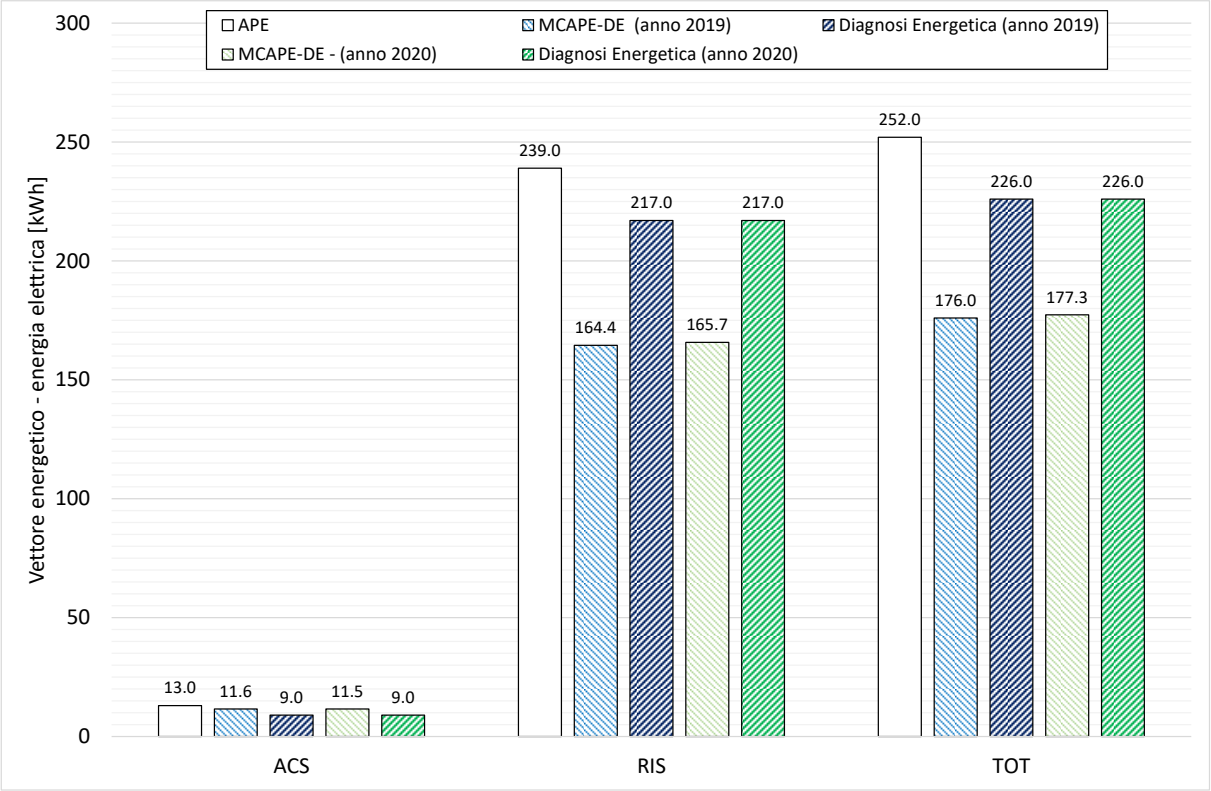


Figura 78. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Entrando più nel dettaglio, si osserva come l'errore relativo più elevato (rimarcato in Tabella 191) si riscontri per il servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria con un errore intorno al 30% per entrambi i vettori energetici. I consumi per il riscaldamento, invece, mostrano una discrepanza poco al di sotto del 25% per l'energia elettrica, mentre l'errore relativo al metano varia tra il 9 e l'11%. In accordo con i risultati ottenuti per il presente caso studio, si è quindi osservata una sovrastima dei consumi dell'APE rispetto la DE, con una variazione percentuale compresa tra il -44 e il -49% per i consumi derivanti dalla produzione di acqua calda sanitaria e compresa tra il -10% e il -30% per il riscaldamento. Per entrambi i servizi energetici, l'errore relativo riscontrato è più elevato che nel caso di applicazione della metodologia, confermando una importante criticità della metodologia asset rispetto il calcolo tailored.
Gli esiti del confronto con l'approccio MC_{APE-DE}, invece, sembrano promettenti e confermano la migliore affidabilità della metodologia stessa rispetto ai risultati dell'APE. In considerazione del trend ottenuto e della differenza riscontrata dal calcolo standard, i risultati ottenuti sono stati considerati accettabili.

Tabella 191. Errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia di calcolo MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2019	-2.6	52.6	0.0	50.0	-28.6	24.2	0.0	22.1
	2020	-2.5	51.3	0.0	48.7	-28.3	23.6	0.0	21.6
Metano	2019	-40.1	41.9	0.0	1.8	-31.4	10.7	0.0	0.3
	2020	-37.8	35.2	0.0	-2.6	-29.1	9.0	0.0	-0.5

2.4.10 Caso studio n. 7 – E.1-7

L'ottavo caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano terzo e ultimo di una piccola palazzina costruita nel 1954 nel comune di Roma (RM), Regione Lazio, città contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 192.
Per il presente caso studio, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi agli ultimi due anni e, in particolare, del 2019 e del 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questi due anni di riferimento.
Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Ai fini delle DE è stato possibile reperire i soli dati della temperatura esterna con una frequenza medio-mensile, forniti dal sistema SCIA di ISPRA [18], e per i restanti parametri si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]. È chiaro che questa assunzione potrebbe determinare un più o meno marcato scostamento dai consumi energetici finali, ma in mancanza di dati certi è stato necessario farla.
In Tabella 193 si riportano i valori medi considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come i valori di temperatura medi annuali registrati nel 2019 (16.7 °C) e nel 2020 (16.4 °C) siano allineati con quello fornito dalla UNI 10349 (16.7 °C).

Tabella 192. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Lazio
	Provincia	Roma
	Comune	Roma
	Altitudine [10]	20 m s.l.m.
	Latitudine	41° 53'
	Longitudine	12° 28'
Climatico invernale ed estivo	Gradi Giorno [10]	1415
	Zona climatica [10]	D
	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	166 giorni dal 01/11 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	1.70
	Temperatura bulbo secco [°C]	34.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	25.2
	Escursione termica giornaliera [°C]	11.0
	Umidità relativa [%]	50.0

Tabella 193. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*			*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²]*[1, A e B]
	Normativa [1,A]	*2019* [2,B]	*2020* [2,B]	
Gennaio	8.1	6.1	8.6	2.3
Febbraio	9.1	9.7	10.8	6.6
Marzo	11.5	12.5	11.2	6.8
Aprile	15.9	13.8	14.2	11.5
Maggio	19.2	14.9	19.5	13.2
Giugno	22.6	25.1	21.7	12.5
Luglio	26.4	26.2	25.7	16.0
Agosto	26.6	26.5	26.3	16.4
Settembre	21.7	22.1	21.9	10.4
Ottobre	17.8	18.7	15.4	7.3
Novembre	12.7	13.8	13	3.0
Dicembre	8.7	10.5	8.8	2.8
Media annua	16.7	16.7	16.4	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "stazione Monte Mario" - coordinate geografiche 41.91 e 12.45, quota 143 m [18]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.10.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito che di quelle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 194) e di realizzare una pianta geometrica del caso esaminato (Figura 79). Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, l'immobile è caratterizzato da tre tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno, una seconda tipologia (M2) che divide l'ambiente riscaldato dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.89, e una terza (M3) di separazione tra due zone riscaldate. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata da un'altra unità immobiliare (zona sempre riscaldata), mentre il solaio superiore separa l'ambiente dall'esterno (S_s2).

Tabella 194. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	1954	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	4	[-]
Piano del caso studio	Terzo	[-]
Altezza media vani	3.00	[m²]
Superficie utile climatizzata	104.67	[m²]
Superficie lorda climatizzata	125.04	[m²]
Volume netto climatizzato	308.00	[m³]
Volume lordo climatizzato	428.51	[m³]
Superficie disperdente	260.70	[m²]
Rapporto S/V	0.61	[m^{-1}]
Esposizione prevalente	NE-SE	[-]

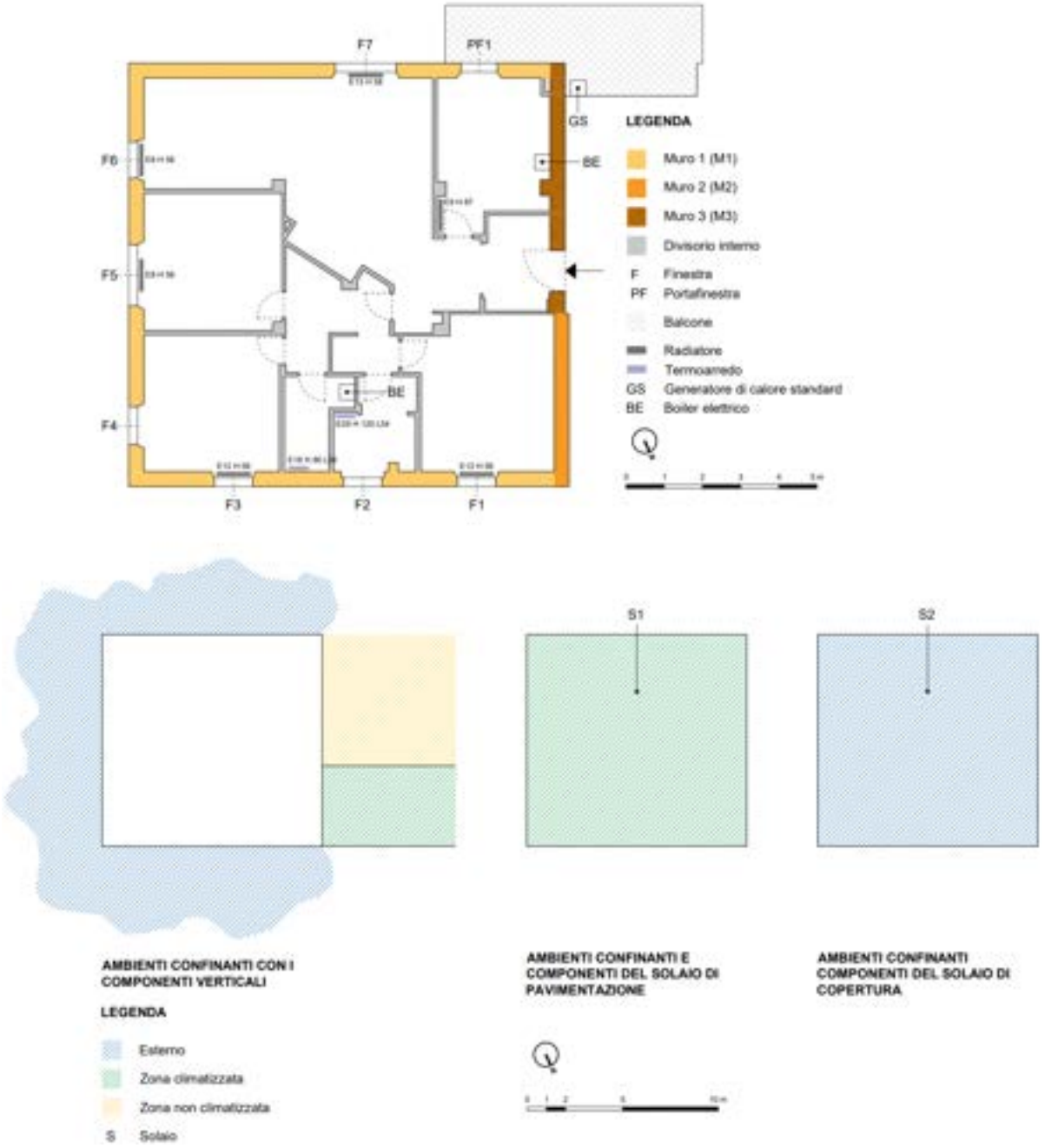


Figura 79. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (struttura con travi e pilastri) con tamponature esterne, realizzate con uno strato di blocchi di laterizio e uno di mattoni pieni, separati da intercapedine non aerata, e rifinite esternamente con intonaco; i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 18 + 5 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 195 a Tabella 201 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza. Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.
In aggiunta sono stati definiti anche diversi elementi vetrati (Tabella 202) e alcuni ponti termici (i più influenti) il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 203) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 195. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	120	0.387	0.310
3	Intercapedine d'aria	100	0.556	0.180
4	Mattone pieno	140	0.778	0.180
5	Intonaco di calce	20	0.900	0.022
Esterno		-	-	0.040
Totale		390	-	0.876
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.141	

Tabella 196. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Cartongesso	13	0.211	0.047
2	Intercapedine d'aria	60	0.333	0.180
3	Mattone pieno	140	0.778	0.180
4	Intonaco di calce	20	0.900	0.022
Esterno		-	-	0.040
Totale		230	-	0.599
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.765	

Tabella 197. Stratigrafia del cassonetto per avvolgibili sopra le componenti vetrate (PF e F).

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Cartongesso	13	0.211	0.047
2	Intercapedine d'aria	220	1.222	0.180
3	Mattone pieno	140	0.778	0.180
4	Intonaco di calce	20	0.900	0.022
Esterno		-	-	0.040
Totale		390	-	0.599
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.668	

Tabella 198. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	120	0.387	0.310
3	Intercapedine d'aria	100	0.556	0.180
4	Mattone pieno	140	0.778	0.180
5	Intonaco di calce	20	0.900	0.022
Vano scala non riscaldato		-	-	0.130
Totale		390	-	0.966
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.035	

Tabella 199. Stratigrafia della parete M3: parete opaca di divisione con un'altra unità immobiliare.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Mattone forato	120	0.387	0.310
3	Intercapedine d'aria	100	0.556	0.180
4	Mattone pieno	140	0.778	0.180
5	Intonaco di calce e gesso	10	0.900	0.022
Zona Riscaldata		-	-	0.130
Totale		380	-	0.638
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.043	

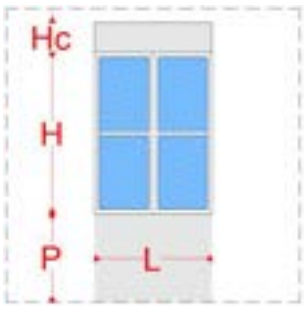
Tabella 200. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante un'altra unità abitativa.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Pavimentazione in ceramica	10	1.300	0.008
2	Massetto in cls con rete	50	1.490	0.034
3	Soletta in laterizio	180	0.720	0.250
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona Riscaldata		-	-	0.170
Totale		250	-	0.646
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.549	

Tabella 201. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Esterno		-	-	0.040
1	Impermeabilizzante	4	0.17	0.024
2	Pavimentazione in ceramica	10	1.300	0.008
3	Massetto in cls con rete	50	1.490	0.034
4	Polietilene espanso	100	0.0600	1.667
5	Soletta in laterizio	180	0.720	0.250
6	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.100
Totale		354	-	2.137
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.468	

Tabella 202. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
	F1	1.05	1.55	1.00	0.28	1.63	0.90	2.775
	F2	1.05	1.55	1.00	0.28	1.63	0.90	2.775
	F3	1.05	1.55	1.00	0.28	1.63	0.90	2.775
	F4	1.05	1.55	1.00	0.28	1.63	0.90	2.775
	F5	1.70	1.55	1.00	0.28	2.63	1.62	2.679
	F6	1.05	1.55	1.00	0.28	1.63	0.99	2.764
	F7	1.70	1.55	1.00	0.28	2.63	1.65	2.777
	PF1	1.05	2.57	0.15	0.28	2.70	1.60	2.794
	F01	1.05	1.55	1.00	0.28	1.63	0.90	2.775

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 203. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete – telaio	0.163
B – parete – balcone	0.201
IF – parete – solaio di interpiano	0.218
C – angolo tra pareti	-0.119
R – parete – copertura S_s2	-0.055

L'unità immobiliare indagata è dotata di un generatore di calore di tipo standard, che permette di soddisfare il servizio energetico di riscaldamento, e due boiler elettrici per la produzione di acqua calda sanitaria. Tali impianti sono installati come evidenziato in Figura 79. Le caratteristiche tecniche del generatore di calore sono dettagliate in Tabella 204, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici di ciascun servizio energetico considerato sono riassunte in Tabella 205.

Tabella 204. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Vaiillant VCX 240 XE*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Esterno
Potenza nominale – P_n [kW]	26.7
Potenza minima – P_{min} [kW]	8.01
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	0.110
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	0.090
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	0.024
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	90.3
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	87.7
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	8.30
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	0.60
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	1.40
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\ -\ min}$ [%]	8.30

Tabella 205. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	✖
Generatore di calore		Boiler elettrico	Standard	n.d.
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	n.d.
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	n.d.
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	n.d.
	Tubazioni	In ambiente climatizzato	Incassate nel pavimento	n.d.
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	Non conforme a D.P.R. 412/93 [10]	n.d.
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in ghisa + termoarredi	n.d.
	T esercizio	40 °C [4]	80 °C	n.d.
	ΔT	-	20 °C	n.d.
	Valvole	-	Assenti	n.d.
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona	n.d.
	Caratteristiche	-	On-off	n.d.

2.4.10.2 Consumi energetici reali da bolletta

Le valutazioni energetiche relative agli anni 2019 e il 2020, sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dagli utenti) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato abitato mediamente da due persone che lo ha occupato per un totale di 322 giorni nel 2019 e di 335 giorni nel 2020. Il profilo occupazionale individuato rappresenta un leggero scostamento rispetto quello standard previsto nella valutazione asset (APE); pertanto, è lecito attendersi uno scostamento tra l'APE e le due DE.

I consumi di acqua, metano ed energia elettrica acquisiti per i due anni analizzati, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza degli utenti, sono riassunti in Tabella 206. Risulta interessante osservare che, nonostante la maggiore permanenza nell'abitazione tra il 2019 e il 2020 (+24 giorni), i consumi elettrici siano diminuiti del 37.5%, quelli di metano del 62%, mentre quelli di acqua risultano ridotti di quasi il 20% (passando da 115 m^3 a 94 m^3).

Tabella 206. Consumi reali dell'immobile: consumi di acqua, energia elettrica e metano dichiarati messi in relazione con i giorni di presenza dell'occupante nei due anni di analisi (2019 e 2020).

Mese	*Anno 2019*				*Anno 2020*			
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m^3]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm^3]*	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m^3]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm^3]*
Gennaio	31	11.071	448	337	31	8.791	460	278
Febbraio	28	10.000	448	235	29	8.224	439	204
Marzo	31	11.071	446	125	31	8.791	368	146
Aprile	30	10.714	376	113	30	8.507	350	127
Maggio	31	11.071	401	60	31	8.791	338	1
Giugno	24	8.571	312	2	30	8.507	305	1
Luglio	31	11.071	312	0	31	8.791	277	0
Agosto	0	0.000	178	1	0	0.000	85	1
Settembre	24	8.571	314	1	30	8.507	309	7
Ottobre	31	11.071	409	19	31	8.791	358	76
Novembre	30	10.714	403	165	30	8.507	389	157
Dicembre	31	11.071	427	251	31	8.791	410	324
Totale	322	115	4473	1309	335	95	4088	1322

2.4.10.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 80 e Tabella 207) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici (energia elettrica e di metano). Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica E con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 116 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 749 Nm^3/anno e di quasi 2218 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 206), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato. Inoltre, in virtù dell'approccio standard a cui è necessario fare riferimento, non è possibile effettuare una variazione dei consumi per i due anni analizzati per i quali, ovviamente, l'approccio APE restituisce lo stesso consumo energetico.

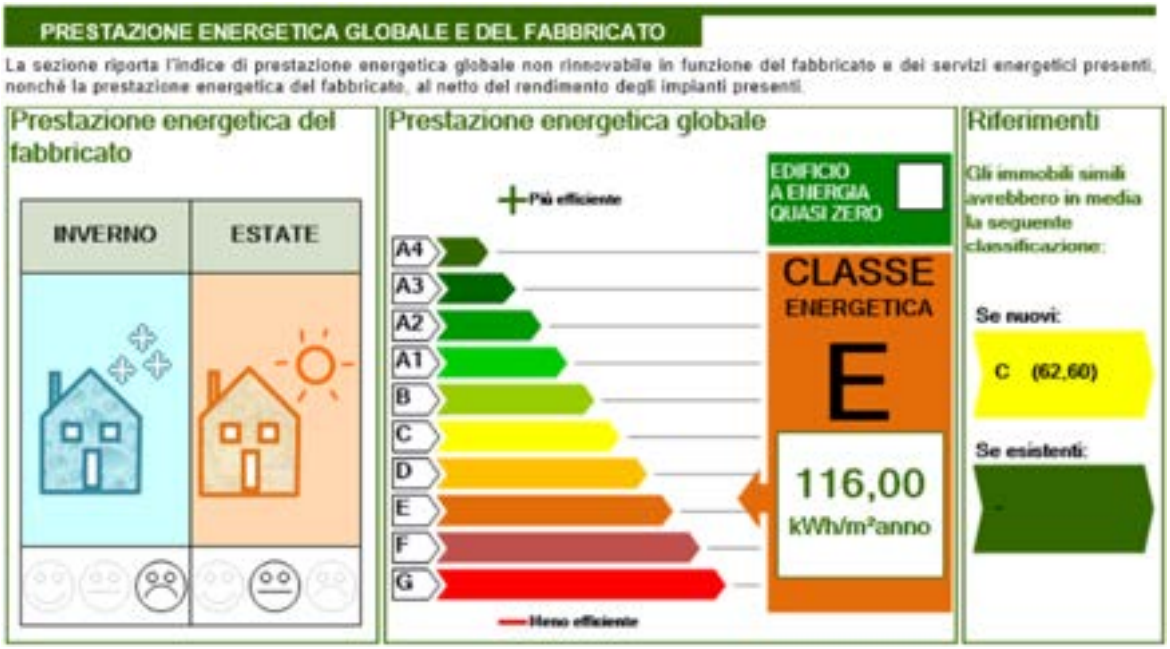


Figura 80. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 207. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	8024	50	8074	76.7	0.5	77.1	749	106
Acqua Calda Sanitaria	4118	439	4556	39.3	4.2	43.5	0	2112
Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0
Globale	12142	489	12631	116.0	4.7	120.7	749	2218

2.4.10.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre due DE, la prima relativa all'anno 2019 mentre la seconda al 2020. Come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito del progetto SCIA di ISPRA[16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 193, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.10.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di metano destinati all'uso cucina;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.10.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina

L'analisi del questionario ha permesso di stimare il tempo medio speso per cucinare e la percentuale dei pasti consumati a casa all'interno di un "*mese tipo*" composto da quattro "*settimane tipo*". Combinando queste informazioni, si sono stimate le ore medie giornaliere spese per cucinare, pari a 0.18 h/giorno nel 2019 e a 0.10 h/giorno nel 2020. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice A dove, in aggiunta alle informazioni fornite dal fruitore, è riportato anche il calcolo della media settimanale della percentuale dei pasti consumati in una "*settimana tipo*" e il tempo medio speso per cucinare associato per ciascuna tipologia di pasto.
Assumendo quindi un consumo di metano medio dei fornelli di 0.10 m^3/h (valore assunto come plausibile perché in presenza di un unico fruitore) e in considerazione degli effettivi giorni di presenza dichiarati dall'occupante, si è stimato un consumo destinato alla sola cottura dei cibi pari a 5.75 Sm^3/anno (ossia 5.45 Nm^3/anno) nel 2019 (Tabella 208) e a 3.19 Sm^3/anno (ossia 3.02 Nm^3/anno) nel 2020 (Tabella 209), corrispondenti rispettivamente allo 0.44% e il 0.24% del consumo totale di metano registrato.

Tabella 208. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2019.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm^3]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm^3]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	5.54	0.55	337	0.16
Febbraio	28	5.00	0.50	235	0.21
Marzo	31	5.54	0.55	125	0.44
Aprile	30	5.36	0.54	113	0.47
Maggio	31	5.54	0.55	60	0.92
Giugno	24	4.29	0.43	2	21.43
Luglio	31	5.54	0.55	0	-
Agosto	0	0.00	0.00	1	-
Settembre	24	4.29	0.43	1	42.86
Ottobre	31	5.54	0.55	19	2.91
Novembre	30	5.36	0.54	165	0.32
Dicembre	31	5.54	0.55	251	0.22
Totale	322	57.50	5.75	1309	0.44

Tabella 209. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm³]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm³]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	2.95	0.30	278	0.11
Febbraio	29	2.76	0.28	204	0.14
Marzo	31	2.95	0.30	146	0.20
Aprile	30	2.86	0.29	127	0.22
Maggio	31	2.95	0.30	1	29.52
Giugno	30	2.86	0.29	1	28.57
Luglio	31	2.95	0.30	0	-
Agosto	0	0.00	0.00	1	-
Settembre	30	2.86	0.29	7	4.08
Ottobre	31	2.95	0.30	76	0.39
Novembre	30	2.86	0.29	157	0.18
Dicembre	31	2.95	0.30	324	0.09
Totale	335	31.90	3.19	1322	0.24

2.4.10.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dall'utente mediante questionario (si veda l'Appendice A), da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari (ACS) di 39 l/giorno per persona nel 2019 e 34 l/giorno nel 2020 (Tabella 210).

A partire dal fabbisogno stimato si è determinato quello effettivo effettuando un unico controllo, ossia il volume di ACS stimato mensilmente non deve essere maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette (Figura 81). Grazie ai risultati ottenuti, si è evinto che circa il 21% del consumo di acqua di bolletta registrato nel 2019 è stato per soli usi sanitari, mentre la stessa si è attestata al 24% nel 2020. Si precisa che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza/utilizzo dell'immobile dichiarati dagli utenti. Tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}, il volume di ACS deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. In particolare, nei codici di calcolo è richiesto il valore giornaliero medio mensile, mentre nella procedura di calcolo sviluppata (MC_{APE-DE}) è necessario inserire il valore giornaliero medio annuale; entrambi sono mostrati in Tabella 211 a confronto con il valore giornaliero medio mensile stimato applicando il calcolo standard (APE). La tabella mostra una importante divergenza tra i valori stimati; in particolare, si osservi come il valore stimato con l'APE sia più del doppio del valore individuato per il 2019 e il 2020.

Tabella 210. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*		*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato [l/giorno·persona]*	
		Utente n. 1	*Utente n. 2*		*Utente n. 1*	*Utente n. 2*
Doccia	1	15	15	60	9	9
Lavabo	2	50	50	12	12	12
Bidet	2	50	50	10	10	10
Vasca da bagno	1	0	0	200	0	0
Lavello da cucina	1	40	20	20	8	3
Totale	7	-	-	-	39	34

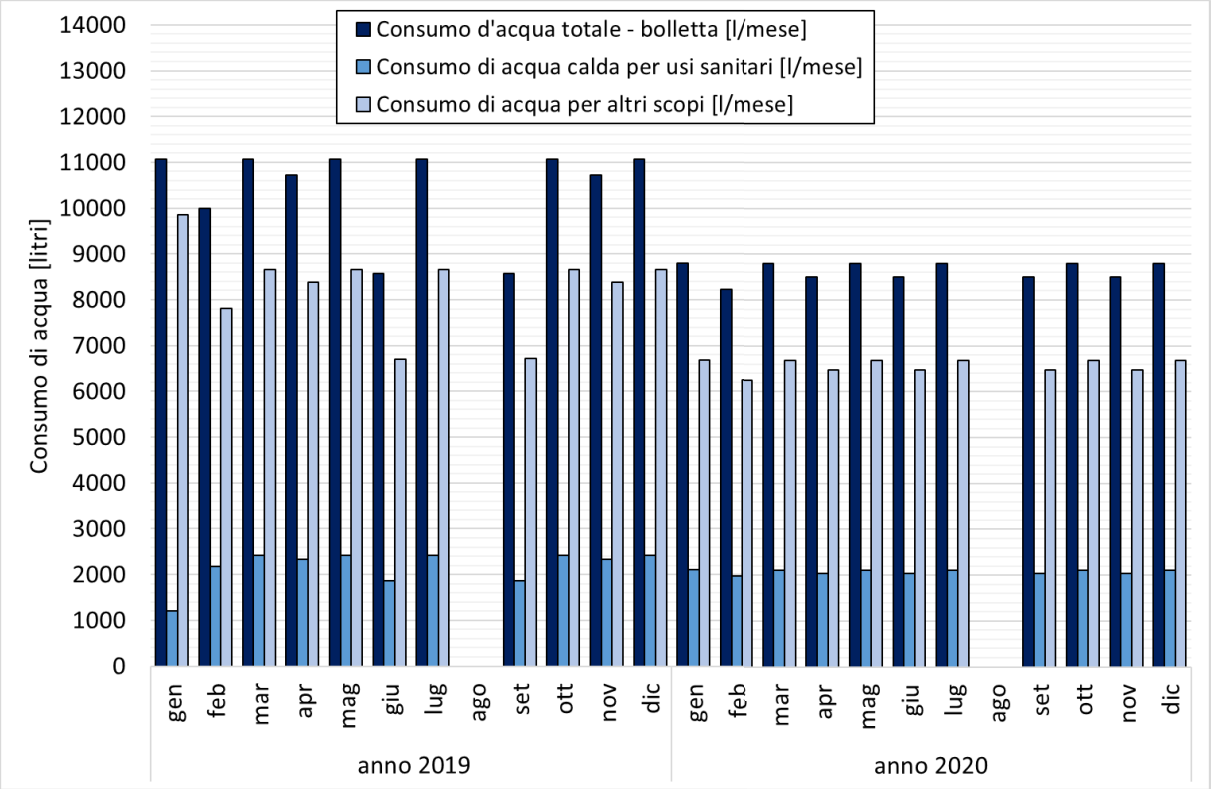


Figura 81. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua calda per usi sanitari e quello per altri scopi.

Tabella 211. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2019*		*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	1209.0	39.0	1224	39.5	148.4
Febbraio	2184.0	78.0	918	31.7	148.4
Marzo	2418.0	78.0	204	6.6	148.4
Aprile	2340.0	78.0	0	0.0	148.4
Maggio	2418.0	78.0	1705	55.0	148.4
Giugno	1872.0	62.4	922	30.7	148.4
Luglio	2418.0	78.0	693	22.3	148.4
Agosto	0.0	0.0	777	25.1	148.4
Settembre	1860.0	62.0	683	22.8	148.4
Ottobre	2418.0	78.0	816	26.3	148.4
Novembre	2340.0	78.0	1836	61.2	148.4
Dicembre	2418.0	78.0	2550	82.3	148.4
Media	*1991.3*	*65.6*	*1898.3*	*62.3*	*148.4*

2.4.10.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i vettori energetici per ogni servizio energetico presente. Per questa analisi, si è partiti dalle indicazioni fornite dall'utente mediante questionario (si veda l'Appendice A); in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta. L'analisi ha permesso di definire quindi le configurazioni ottimali di funzionamento degli impianti, ossia quelle che

determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici; le configurazioni desunte dall'analisi iterativa, condotta a partire dai dati del questionario, ha permesso di definire i seguenti valori ottimali di accensione dell'impianto:

- numero di giorni settimanali di accensione dell'impianto di riscaldamento: 7 giorni a settimana;
- numero di ore giornaliere di accensione dell'impianto di riscaldamento: 12 ore/giorno.

A partire da queste configurazioni ottimali, è stato definito l'inventario energetico del presente caso studio, ossia la ripartizione dei consumi dei vettori energetici per servizio energetico presente e per anno di analisi. La Tabella 212 evidenzia come il servizio più energivoro sia il riscaldamento con circa il 100% del metano consumato in entrambi gli anni, mentre l'incidenza sul consumo di energia elettrica è circa del 4%. Il servizio di produzione di acqua calda sanitaria, invece, è causa di circa il 21% dei consumi di energia elettrica. Relativamente a questi ultimi, si è stimato che il servizio più energivoro sia costituito dall'illuminazione e dall'uso di apparecchiature domestiche, per le quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni.
Il risultato conseguito mediante anche il software di simulazione può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di metano calcolato con quello reale (considerando i soli servizi di riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria sottraendo quindi il contributo legato all'uso cucina), si ottiene una discrepanza pari a 1.9 per l'anno 2019 e 2.7% per il 2020 (Tabella 212). Questa difformità può essere considerata come un errore accettabile essendo inferiore al ±5% [15].
Infine, analogamente a quanto fatto per l'APE, si riportano in Tabella 213 i principali risultati di calcolo (fabbisogno di energia primaria e indici di energia primaria) derivanti dalle DE, a cui si farà riferimento per l'analisi comparativa con la procedura MC_{APE-DE}.

Tabella 212. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Metano [Nm³]	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Nm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
*Cottura dei cibi**	5.4	0.0	3.0	0.0
Riscaldamento	1210.0	171.0	1215.0	172.0
Produzione di acqua calda sanitaria	0.0	933.0	0.0	896.0
Raffrescamento	0.0	0.0	0.0	0.0
*Illuminazione ed Elettrodomestici***	0.0	3369.0	0.0	3020.0
Totale	1215.4	4473.0	1218.0	4088.0
Bollette	1239.6	4473.0	1251.9	4088.0
scostamento	1.9%	-	2.7%	-

** valore stimato e non restituito dal software di calcolo*
*** valore attributo come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 213. Fabbisogni di energia primaria (Q) e indici di energia primaria (EP) ripartiti per servizio energetico derivanti dalle DE per gli anni 2019 e 2020.

Anno di riferimento	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*		
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*
2019	*Riscaldamento*	12961	81	13042	123.83	0.77	124.60
	Acqua Calda Sanitaria	1819	439	2258	17.38	4.19	21.57
	Raffrescamento	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	Globale	14780	519	15300	141.21	4.96	146.17
2020	*Riscaldamento*	13018	81	13098	124.37	0.77	125.14
	Acqua Calda Sanitaria	1747	421	2168	16.69	4.02	20.71
	Raffrescamento	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	Globale	14765	501	15266	141.06	4.79	145.85

2.4.10.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nei paragrafi che seguono, si riporta l'analisi dettagliata dell'applicazione della metodologia sviluppata nel presente lavoro ricerca (MC_{APE-DE}). Oltre ad una spiegazione accurata di come è deve essere applica la metodologia, saranno analizzati anche i risultati che si sono ottenuti al variare delle combinazioni di input adottate nonché in funzione della loro accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione dei reali dati disponibili.

2.4.10.5.1 Confronto degli indicatori energetici per il servizio di produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati Tabella 214, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati derivanti dall'approccio MC_{APE-DE} sono stati quindi messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e le DE e sono riportati rispettivamente in Figura 82 (anno 2019) e in Figura 9Figura 83 (anno 2020). Come si evince, tutti i risultati comportano una sovrastima rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE) e la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: il risultato che maggiormente si avvicina a quello della DE è restituito impiegando un volume d'acqua ricavato adottando un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI"), mentre quelli stimati dall'APE (combo "Vw-APE + T-UNI") o dalla bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI") comportano una significativa sovrastima dei risultati della DE. I risultati di quest'ultima combinazione erano prevedibili, visti il peso stimato dell'acqua calda sanitaria sull'intero volume di acqua consumato (inferiore al 25%).
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: i risultati migliori sono restituiti dal volume d'acqua stimato a partire dall'inventario energetico (combo "Vw-IEM + T-REALE") e dal valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-REALE"). Tali risultati sono quasi coincidenti, come da aspettativa, in quanto non è stato possibile effettuare un affinamento del volume da inventario per le motivazioni espresse precedentemente.

Tabella 214. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	2020	
Tipologia di generatore		boiler elettrico		[-]
Vettore energetico		energia elettrica		[-]
Superficie utile dell'immobile		104.67		[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		16.69		[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		16.66	16.42	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	261.8	271.6	[litri/giorno]
	Convenzionale	68.8	62.2	[litri/giorno]
	Bolletta	315.1	259.6	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	65.5	62.2	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) – media pesata	72.0	68.0	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	1.002	1.016	[-]
	F_{Vw}	1.737	1.771	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	39.3		[kWh/m²]
	EP_{Wren}	9.5		[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	48.8		[kWh/m²]
	Energia elettrica	2112.0		[kWh]
	Metano	0.0		[Nm³]

L'impiego di dati climatici reali, in generale, non determina grandi variazioni dell'indicatore energetico EP_{wtot} in quanto la temperatura media annuale di entrambi gli anni è quasi coincidente con quella di normativa. Per tutte le combinazioni si registra una divergenza del principale indicatore energetico compresa tra il 54% al 643%.

In relazione alla Figura 82 e Figura 83, si è quindi determinata la differenza percentuale tra le varie metodologie analizzate rispetto ai risultati della DE (Figura 84). Come si evince, il livello di approssimazione dei principali indicatori energetici della DE con la metodologia MC_{APE-DE} è fortemente influenzato dall'accuratezza dei dati di input. Infatti, nel caso dell'impiego del volume ricavato dall'APE e di quello da bolletta, in questi casi estremamente più elevati rispetto al reale consumo di acqua calda sanitaria, i risultati mostrano una sovrastima che varia tra circa il 520% e il 640%. Anche il calcolo APE tende a sovrastimare nettamente i risultati della DE con divergenze che variano da un minimo di 126% (indicatori del 2019) a un massimo del 136% (indicatori del 2020).

In accordo con i risultati (Figura 84), è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia accettabile e/o trascurabile (in virtù dell'errore assoluto rimarcato in Tabella 217) nel solo impiego di volumi di ACS convenzionali o da inventario energetico e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE" nel 2019 e sia affiancata dalle combinazioni "Vw-CONV + T-UNI e "Vw-CONV + T-REALE nel 2020.

Tra le varie combinazioni analizzate, quella che si basa sul consumo di bolletta, come era lecito attendersi, risulta essere quella meno accurata (differenze di +643% e +550% di EP_{Wtot} nei due anni di analisi) in quanto ingloba anche il contributo d'acqua non legato agli usi igienici sanitari.

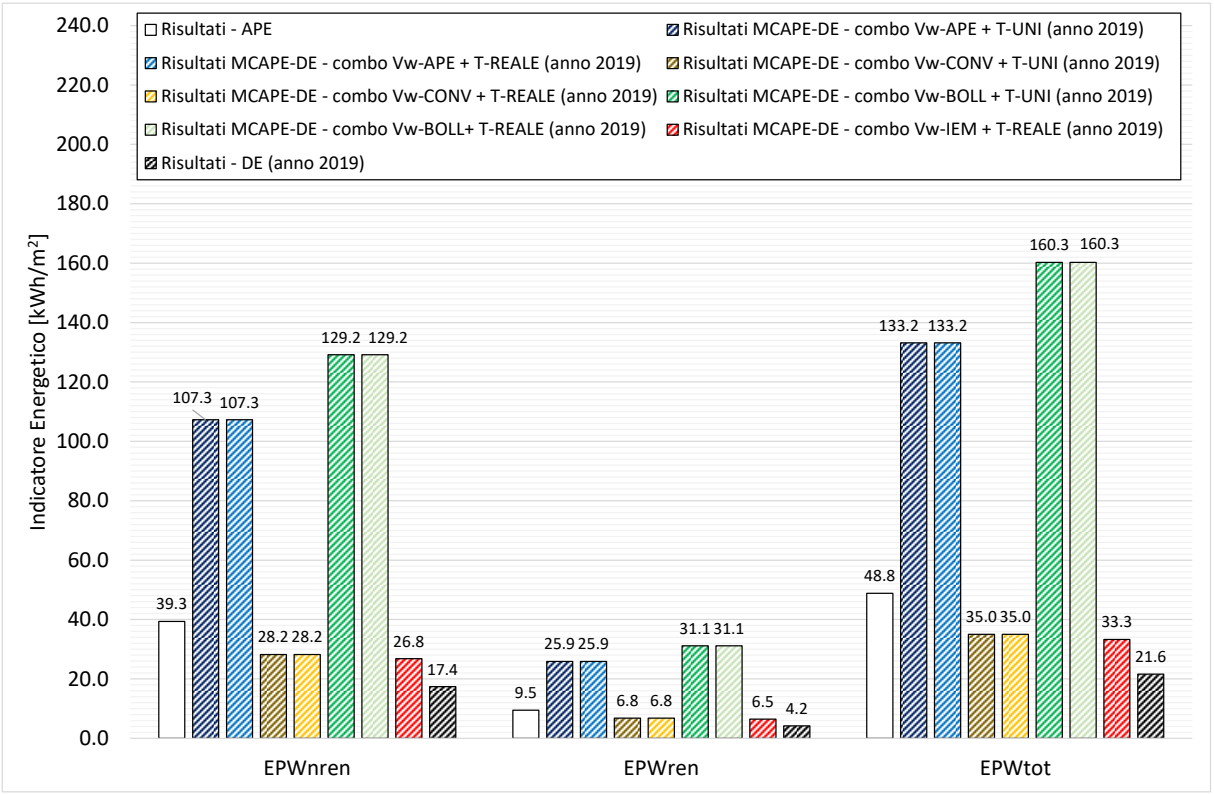


Figura 82. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

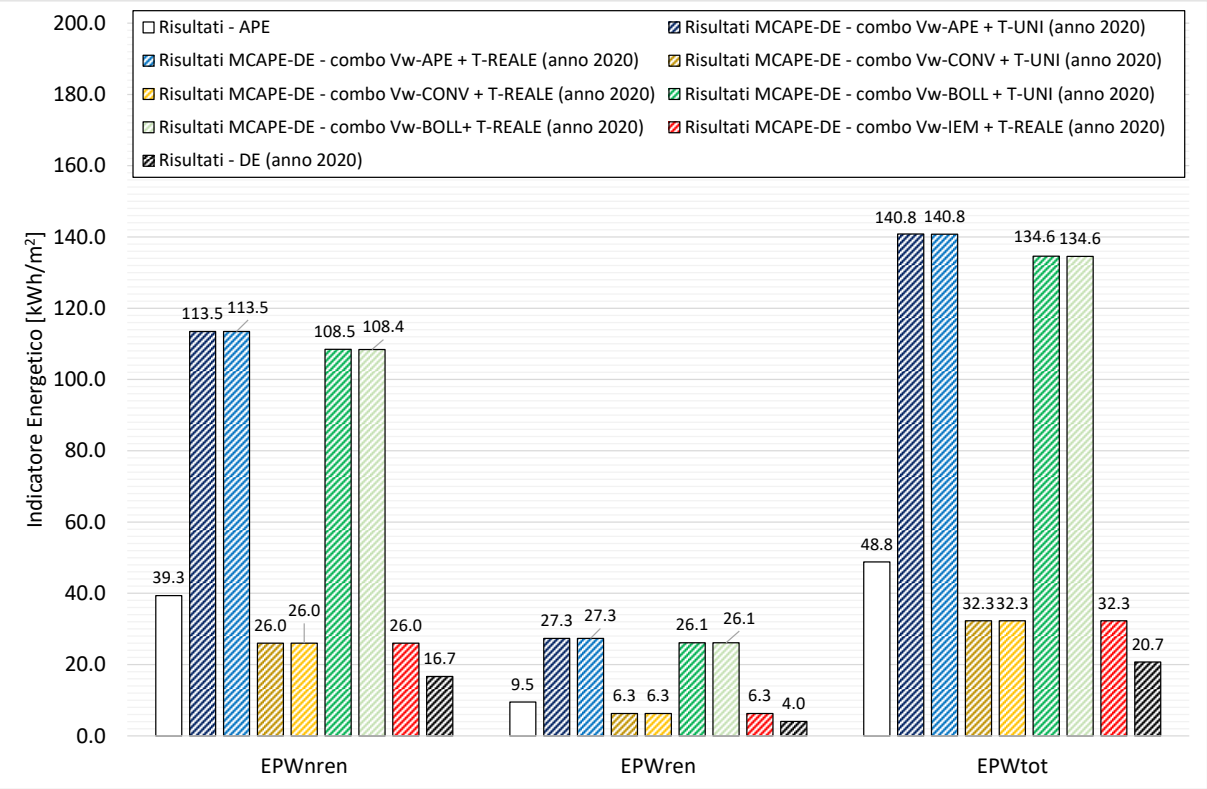


Figura 83. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Combinazione di calcolo a confronto (anno 2019)

	Errore percentuale [%]		
Risultati - APE	EP_{Wnren}	EP_{Wren}	EP_{Wtot}
Risultati - DE (anno 2019)	126%	126%	126%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-APE + T-UNI (anno 2019)	0%	0%	0%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-APE + T-REALE (anno 2019)	517%	517%	517%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-CONV + T-UNI (anno 2019)	517%	517%	517%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-CONV + T-REALE (anno 2019)	62%	62%	62%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-BOLL + T-UNI (anno 2019)	62%	62%	62%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-BOLL+ T-REALE (anno 2019)	643%	643%	643%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-IEM + T-REALE (anno 2019)	643%	643%	643%
	54%	54%	54%

Combinazione di calcolo a confronto (anno 2020)

	EP_{Wnren}	EP_{Wren}	EP_{Wtot}
Risultati - APE	136%	136%	136%
Risultati - DE (anno 2020)	0%	0%	0%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-APE + T-UNI (anno 2020)	580%	580%	580%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-APE + T-REALE (anno 2020)	580%	580%	580%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-CONV + T-UNI (anno 2020)	56%	56%	56%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-CONV + T-REALE (anno 2020)	56%	56%	56%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-BOLL + T-UNI (anno 2020)	550%	550%	550%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-BOLL+ T-REALE (anno 2020)	550%	550%	550%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-IEM + T-REALE (anno 2020)	56%	56%	56%

Figura 84. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Tabella 215. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	EP_{Wnren}	12.50	13.34	31.78	33.90
	EP_{Wren}	3.01	3.21	31.78	33.90
	EP_{Wtot}	15.52	16.55	31.78	33.90
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	EP_{Wnren}	-9.46	-9.31	-54.41	-55.80
	EP_{Wren}	-2.28	-2.25	-54.34	-55.87
	EP_{Wtot}	-11.73	-11.56	-54.40	-55.81

In caso di assenza di una diagnosi energetica dell'edificio, e cioè dell'inventario energetico, sembrerebbe raccomandabile stimare il volume d'acqua calda sanitaria adottando un consumo di tipo convenzionale, ripartendo però lo stesso per gli effettivi giorni di utilizzo dell'immobile, in quanto questo approccio permette di approssimare con un errore più contenuto i reali consumi del caso studio esaminato.
Si tiene a precisare, comunque, che qualsiasi valutazione conclusiva sulla combinazione di calcolo più idonea da adottare dovrà tener presente anche della peculiarità del caso studio indagato; infatti, come più volte riportato, esso è caratterizzato da profili di utilizzo molto specifici che hanno determinato un consumo molto elevato di entrambi i vettori energetici.

2.4.10.5.2 Confronto degli indicatori energetici per servizio energetico di riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 216, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
I risultati derivanti dalla MC_{APE-DE} sono messi a confronto con quelli restituiti dall'APE (Tabella 30) e dalle DE (Tabella 36), rispettivamente in Figura 85 (anno 2019) e in Figura 86 (anno 2020); contrariamente a quanto visto nei precedenti casi studio, l'impiego dell'impianto autonomo non seguendo le indicazioni da normativa comporta che i risultati dell'APE sottostimino quelli della DE in tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato più in linea dimostrando una buona adattabilità della stessa anche in casistiche particolari; le discrepanze oscillano tra -27% e -4% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}); in particolare, i grafici confermano anche in questo caso un risultato simile tra l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) e quelli reali comportando un errore intorno al -22% nel 2019 e intorno al -25% nel 2020.
Questi risultati confermano la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 217, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza tra -16% e -18%), mentre l'impiego della seconda correzione per il coefficiente F_{H-set} determina la migliore affidabilità (tra il -4% e -5%).
In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, la metodologia di calcolo standard (APE) mostra la peggiore approssimazione (circa -38%) rispetto a tutti i casi di applicazione della metodologia MC_{APE-DE}, nonostante la peculiarità di questo caso studio, dove il profilo di utilizzo determina dei consumi estremamente elevati rispetto a un utilizzo standard dell'abitazione.
Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui si è variato l'orario di accensione dell'impianto di riscaldamento; in particolare, si è deciso di farlo variare in un range compreso da 1 h/giorno al numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza. Per questo calcolo si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE. I risultati, riportati in Tabella 218, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE.

Tabella 216. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC$_{APE-DE}$.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	*2020*	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-0		[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore standard		[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta		[-]
Vettore energetico principale		Metano		[-]
Potenza nominale del generatore		26.7		[kW]
Efficienza nominale del generatore		90.0		[%]
Superficie utile		104.67		[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		1415		[GG]
Gradi Giorno – reali		1525	1537	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		16	15	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	1.078	1.086	[-]
	$F_{H\text{-}set}$	1.150	1.150	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	76.7		[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	0.5		[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	77.1		[kWh/m^2]
	Energia elettrica	106.0		[kWh]
	Metano	749.0		[Nm^3]

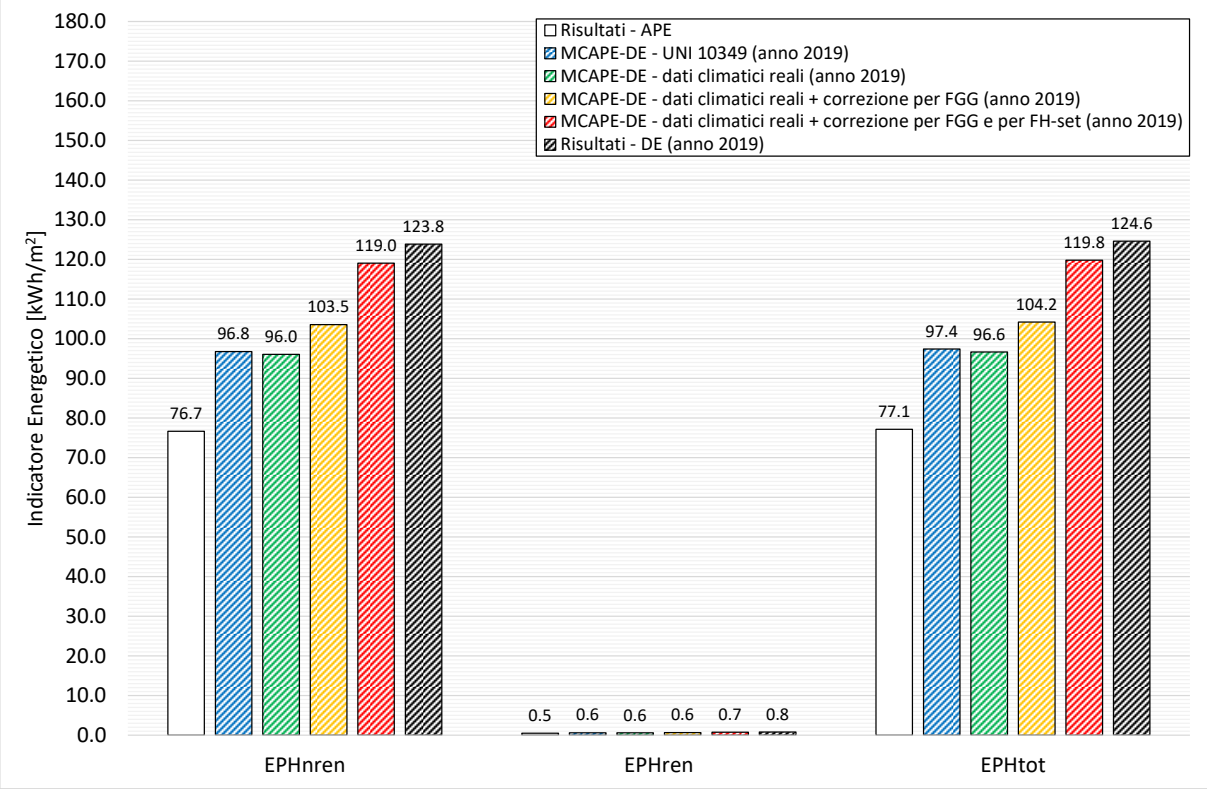


Figura 85. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC$_{APE-DE}$) per l'anno 2019.

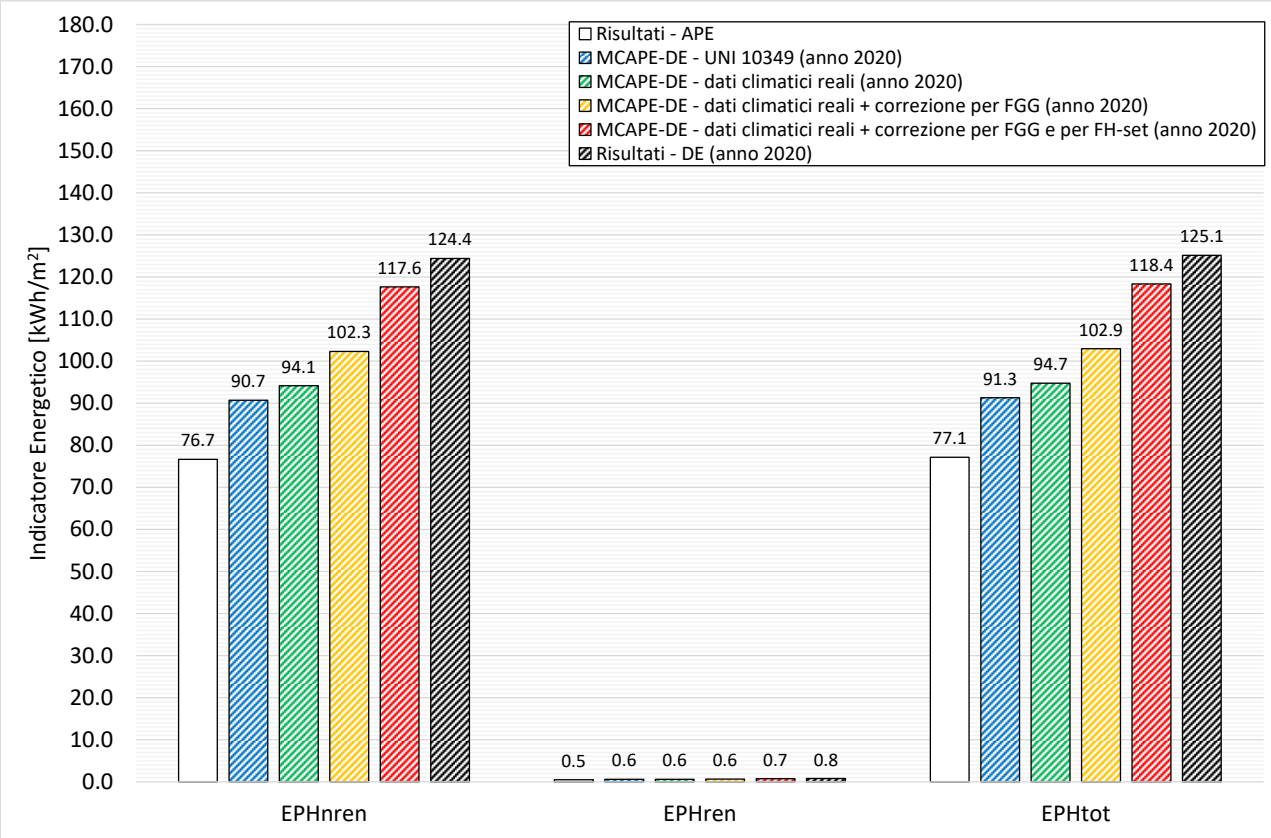


Figura 86. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 217. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	27.07	33.66	21.86	27.06
	EP_{Hren}	0.16	0.20	21.32	26.24
	EP_{Htot}	27.24	33.86	21.86	27.06
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	27.80	30.22	22.45	24.30
	EP_{Hren}	0.17	0.18	21.91	23.44
	EP_{Htot}	27.96	30.40	22.44	24.29
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	20.31	22.09	16.40	17.76
	EP_{Hren}	0.12	0.13	15.82	16.83
	EP_{Htot}	20.43	22.22	16.40	17.76
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	4.78	6.75	3.86	5.43
	EP_{Hren}	0.02	0.03	3.19	4.35
	EP_{Htot}	4.81	6.78	3.86	5.42

Tabella 218. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	*EP_{Hnren} [kWh/m²]*	*EP_{Hren} [kWh/m²]*	*EP_{Htot} [kWh/m²]*	*Consumo elettrico [kWh/anno]*	*Consumo metano [Nm³/anno]*
1	14.9	0.1	15.0	10.6	148.2
2	20.5	0.1	20.7	14.6	203.9
3	26.2	0.2	26.3	18.6	259.6
4	31.8	0.2	32.0	22.6	315.3
5	39.7	0.2	40.0	28.3	394.1
6	47.6	0.3	47.9	33.9	472.9
7	55.6	0.3	55.9	39.6	551.8
8	63.5	0.4	63.9	45.3	630.6
9	65.8	0.4	66.2	46.9	653.0
10	68.0	0.4	68.5	48.5	675.5
11	70.3	0.4	70.7	50.1	697.9
12	72.6	0.5	73.0	51.7	720.3
APE	76.7	0.5	77.1	106.0	749.0

2.4.10.5.3 Confronto degli indicatori energetici per servizio energetico di raffrescamento

Il presente caso studio, come riportato in Tabella 205, non presenta il servizio energetico di raffrescamento; pertanto, non è stato possibile effettuare un confronto tra le tre metodologie di calcolo.

2.4.10.5.4 Confronto dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia MC_{APE-DE} sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di ACS: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi F_{GG} e $F_{H\text{-set}}$.

Il confronto dei consumi di metano e di quelli di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 87 e in Figura 88. Come si evince, nonostante nel caso dell'energia elettrica la discrepanza con la metodologia sviluppata sia elevata, i risultati della MC_{APE-DE} risultano sempre più vicini a quelli della DE rispetto a quelli dell'APE. Il risultato ottenuto conferma, quindi, una migliore affidabilità della procedura sviluppata, rispetto al calcolo standard.

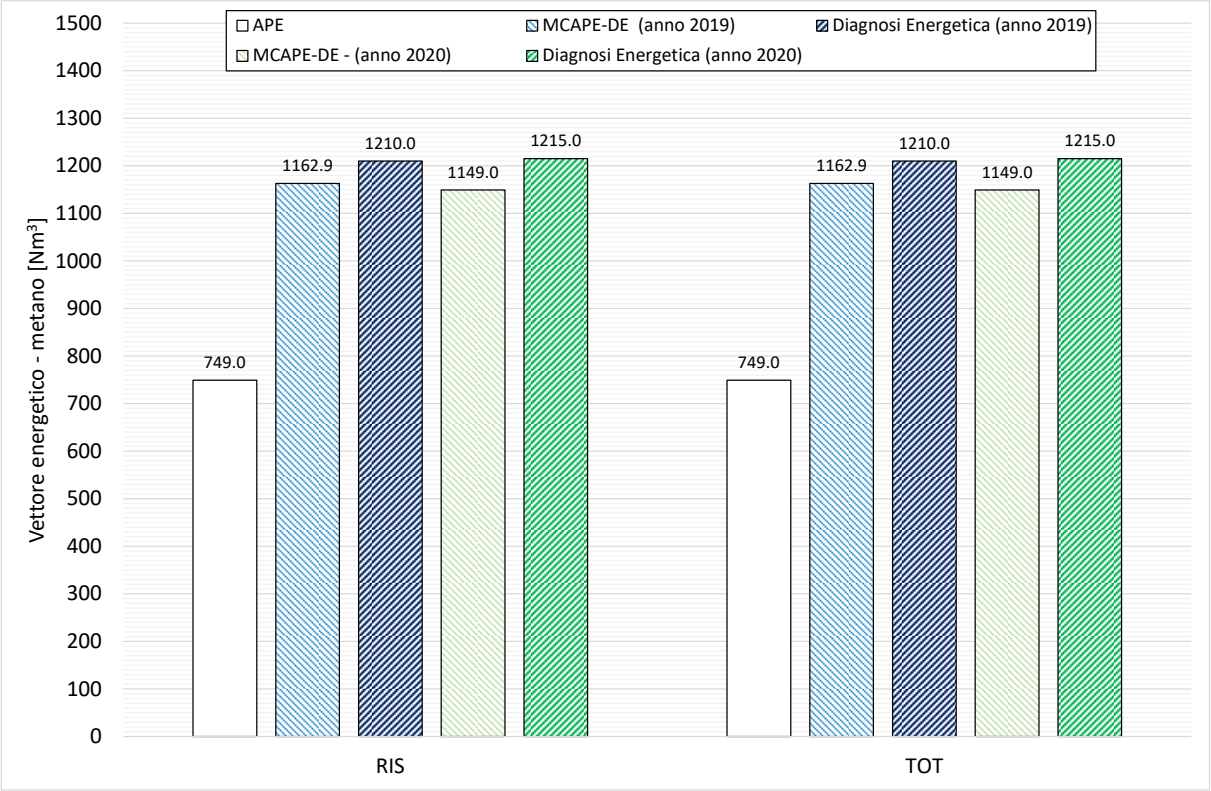


Figura 87. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

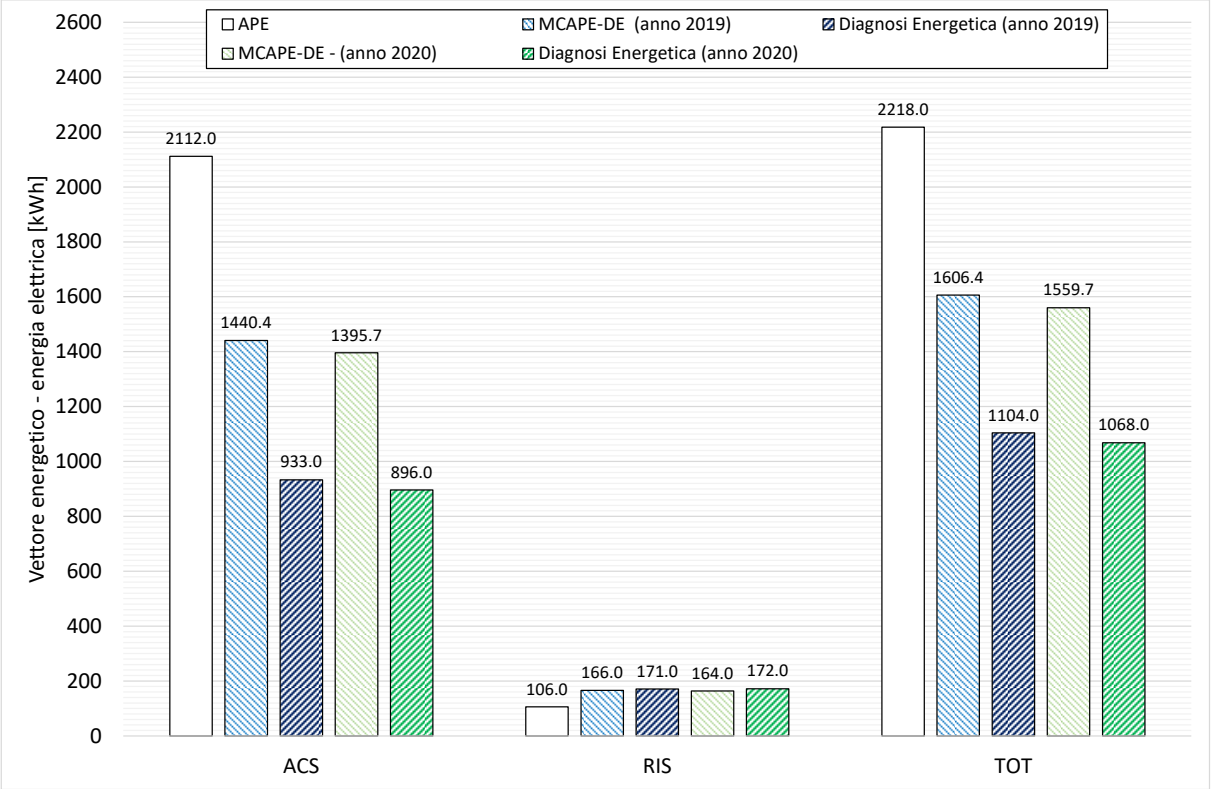


Figura 88. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Entrando più nel dettaglio, si osserva come l'errore relativo più elevato (rimarcato in Tabella 219) si riscontri per l'energia elettrica (circa il -45%), mentre per il metano varia tra il 4% e il 5%. In accordo con i risultati ottenuti per il presente caso studio, si è quindi osservata una sovrastima dei consumi elettrici legati all'acqua calda sanitaria dell'APE rispetto la DE (variazione percentuale tra APE e DE che ruota intorno al -1200%) e una sottostima di quelli legati al servizio di riscaldamento (variazione percentuale tra APE e DE intorno al 65% per l'energia elettrica e 465% per il metano), confermando una importante criticità della metodologia asset rispetto il calcolo tailored.
Gli esiti del confronto con l'approccio MC_{APE-DE}, invece, sembrano promettenti e confermano la migliore affidabilità della metodologia stessa rispetto ai risultati dell'APE; tuttavia, è da sottolineare come in questo specifico caso studio l'utilizzo del boiler elettrico per la produzione di acqua calda sanitaria abbia impedito una più accurata suddivisione dei consumi di acqua, influendo anche sulla precisione dell'applicazione della metodologia in questo servizio energetico. Per quanto riguarda invece la climatizzazione invernale si è riscontrata una variazione dei consumi di metano tra DE e MC_{APE-DE} tra i 48 Nm^3 (2019) e i 66 Nm^3 (2020). In considerazione del trend ottenuto e dell'enorme differenza riscontrata dal calcolo standard, i risultati ottenuti sono stati considerati accettabili.

Tabella 219. Errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia di calcolo MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm^3]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2019	-507.4	5.0	0.0	-502.4	-54.4	2.9	0.0	-45.5
	2020	-499.7	8.0	0.0	-491.7	-55.8	4.6	0.0	-46.0
Metano	2019	0.0	47.1	0.0	47.1	0.0	3.9	0.0	3.9
	2020	0.0	66.0	0.0	66.0	0.0	5.4	0.0	5.4

2.4.11 Caso Studio n. 8 – E.1-8

L'ottavo caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano terra di un piccolo edificio isolato costituito da due unità immobiliari, costruito negli anni '70 ma che è stato oggetto di ristrutturazione importante nel 2018. L'immobile è ubicato nel comune di Todi (PG), città della regione Umbria contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 220. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi all'anno 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questo anno di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 221 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come il valore di temperatura medio annuale registrati nel 2020 (15.2 °C) sia superiore a quello fornito dalla UNI 10349 (13.3 °C) di circa 2°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra le condizioni climatiche di input impiegati per le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 220. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Todi
	Altitudine [10]	400 m s.l.m.
	Latitudine	42° 46'
	Longitudine	12° 24'
	Gradi Giorno [10]	2193
	Zona climatica [10]	E
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	2.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	32.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	20.8
	Escursione termica giornaliera [°C]	9.0
	Umidità relativa [%]	37.2

Tabella 221. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	Temperatura dell'aria esterna [°C]		Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²][1, A e B]
	Normativa [1,A]	2020 [2,B]	
Gennaio	4.4	6.6	4.8
Febbraio	5.6	9.6	10.1
Marzo	8.4	10.1	11.6
Aprile	12	13.8	18.1
Maggio	17.4	18.6	21.5
Giugno	20.2	20.8	21.8
Luglio	24.2	25.1	25
Agosto	24.3	26.0	23.5
Settembre	17.8	20.8	16.3
Ottobre	13.3	13.8	11.4
Novembre	8.8	10.8	5.9
Dicembre	3.6	6.6	5.1
Media annua	13.3	15.2	-

[1] *fonte UNI 10349 [3]*
[2] *fonte stazione meteo di "Todi" - coordinate geografiche 43.1058333 e 12.3761111, quota 345 m [16]*
[A] *dato impiegato per la redazione dell'APE*
[B] *dato impiegato per la redazione della DE*

2.4.11.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 222) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 89).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, il caso studio è caratterizzato da due tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno e una seconda tipologia (M2) che divide l'ambiente riscaldato dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.80. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata dal terreno, mentre il solaio superiore (con S_s1) separa l'ambiente dall'altra unità abitativa.

Tabella 222. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	Dato	Unità di misura
Anno di costruzione	Fine 1970	[-]
Anno di ristrutturazione	2018	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	2	[-]
Piano del caso studio	Terra	[-]
Altezza media vani	2.80	[m²]
Superficie utile climatizzata	91.91	[m²]
Superficie lorda climatizzata	116.53	[m²]
Volume netto climatizzato	257.35	[m³]
Volume lordo climatizzato	398.25	[m³]
Superficie disperdente	277.5	[m²]
Rapporto S/V	0.70	[m^{-1}]

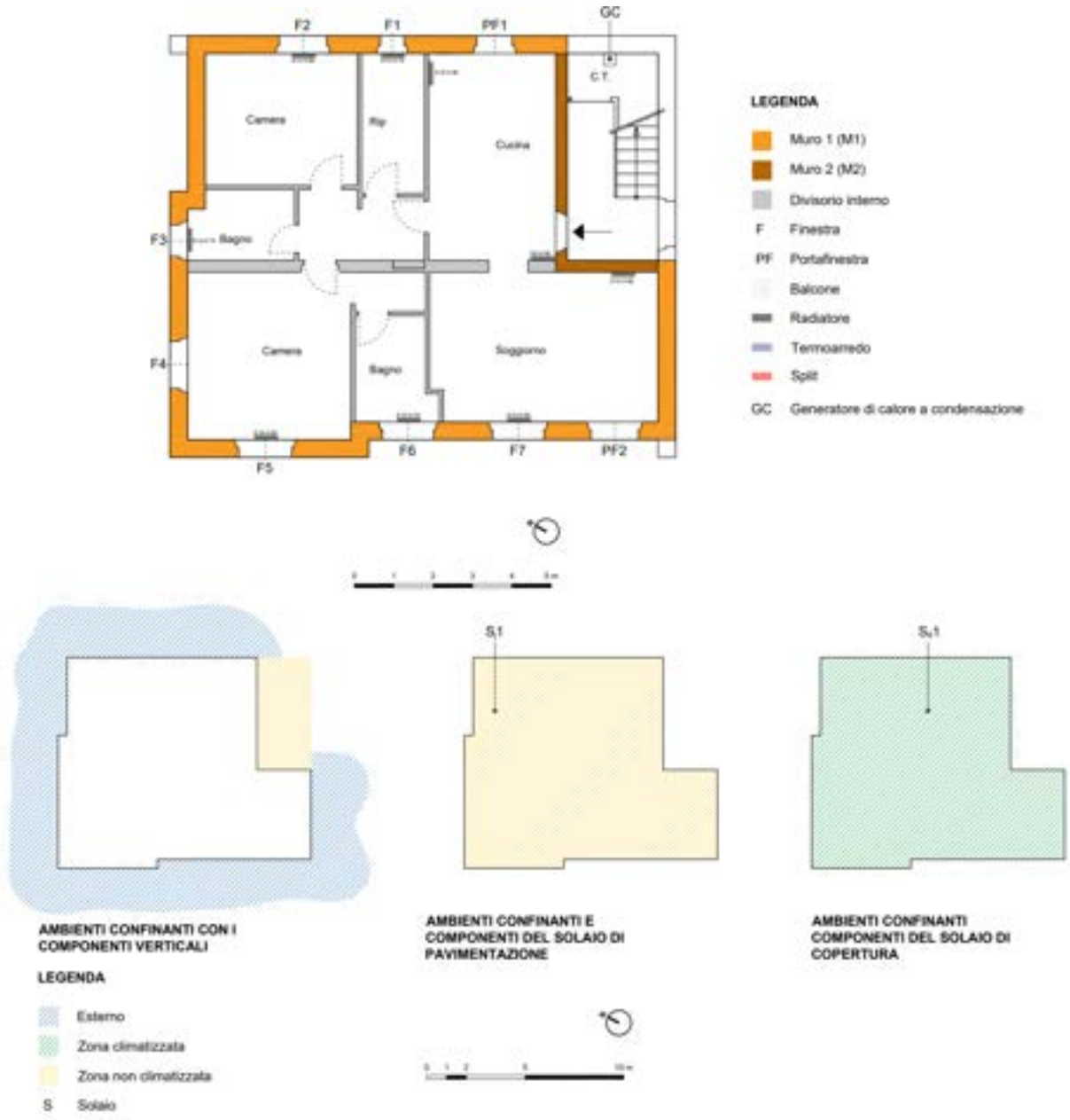


Figura 89. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in muratura in tufo, oggetto di ristrutturazione energetica nel 2018, mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 18 + 5 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 223 a Tabella 227 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza.
Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.
In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 228) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 229) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 223. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Muratura in tufo	300	0.630	0.476
3	Polistirene grafitato	120	0.032	3.750
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	4.439
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.225	

Tabella 224. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Muratura in tufo	200	0.630	0.317
3	Polistirene grafitato	120	0.032	3.750
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		350	-	4.280
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.234	

Tabella 225. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Muratura in tufo	270	0.630	0.429
3	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona non riscaldata		-	-	0.130
Totale		300	-	0.732
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.366	

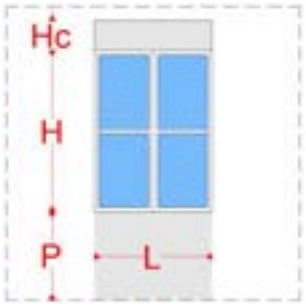
Tabella 226. Stratigrafia del solaio inferiore S_i1 confinante verso il terreno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Pavimentazione in ceramica	15	1.300	0.012
2	Massetto alleggerito	50	0.580	0.086
3	Isolante	60	0.028	2.140
4	Calcestruzzo armato	50	2.500	0.020
5	Soletta in laterizio	180	0.500	0.360
6	Sottofondo di cemento	100	0.900	0.111
Terreno		-	-	0.040
Totale		455	-	2.939
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.340	

Tabella 227. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'altra unità abitativa.

Descrizione del singolo strato (dall'esterno verso l'interno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.100
1	*Pavimentazione in ceramica*	15	1.300	0.012
2	*Massetto alleggerito*	50	0.580	0.086
3	*Isolante*	20	0.028	0.833
4	*Calcestruzzo armato*	50	2.500	0.020
5	*Soletta in laterizio*	180	0.500	0.360
6	*Intonaco di calce e gesso*	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		325	-	1.525
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.656	

Tabella 228. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
	PF01	0.90	2.40	0.00	0.00	2.16	1.46	1.200
	F01	0.60	1.40	1.00	0.00	0.84	0.43	1.200
	F02	1.20	1.40	1.00	0.00	1.68	0.86	1.200
	F03	0.80	1.40	0.00	0.00	1.12	0.65	1.200
	F04	1.20	1.40	1.00	0.00	1.68	0.86	1.200
	F05	1.20	1.40	1.00	0.00	1.68	0.86	1.200
	F06	1.35	1.40	1.00	0.00	1.89	1.03	1.200
	F07	1.20	1.40	1.00	0.00	1.68	0.86	1.200
	PF02	1.35	2.40	0.00	0.30	3.24	1.976	1.200

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 229. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete– telaio	0.075
IF – parete– solaio di interpiano (con zona riscaldata)	0.003
GF - Parete - Solaio controterra	0.038
C – angolo tra pareti (sporgente)	-0.042
C – angolo tra pareti (rientrante)	0.013
IW - Parete - Parete interna	-0.004

Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di un generatore di calore a condensazione, installato come evidenziato in Figura 89 che permette di soddisfare i servizi energetici di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Per il riscaldamento dell'ambiente, il calore viene immesso ad alta temperatura (80°C) attraverso dei radiatori in acciaio dotate di valvole termostatiche e regolato mediante cronotermostato di zona.

Le caratteristiche tecniche del generatore di calore sono riassunte in Tabella 230, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 231.

Tabella 230. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Condexa 26 KIS*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Locale tecnico
Potenza nominale – P_n [kW]	26.8
Potenza minima – P_{min} [kW]	8.1
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	25
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	20
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	6.5
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	97
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	107.2
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	0.94
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	0
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	1.0
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\ -\ min}$ [%]	5.0

Tabella 231. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	✖
Generatore di calore		Standard	Standard	n.d.
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	n.d.
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	n.d.
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	n.d.
	Tubazioni	Incassate nel pavimento	Incassate nel pavimento	n.d.
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	n.d.
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in acciaio	n.d.
	T esercizio	40 °C [4]	80 °C	n.d.
	ΔT	-	20 °C	n.d.
	Valvole	-	si	n.d.
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona + valvole termostatiche	n.d.
	Caratteristiche	-	Azione proporzionale + climatica	n.d.

2.4.11.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative al 2020 sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dall'utente) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato abitato da un'unica persona per un totale di 366 giorni, quindi, perfettamente congruente con quello standard previsto nella valutazione asset (APE).
I consumi di acqua, metano ed energia elettrica acquisiti per il 2020, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza dell'utente, sono riassunti in Tabella 232.

Tabella 232. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nell'anno di analisi (2020).

Mese	*Anno 2020*			
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*
Gennaio	31	4805	145	95
Febbraio	29	4495	123	83
Marzo	31	5245	117	71
Aprile	30	5076	103	43
Maggio	31	5245	116	12
Giugno	30	5076	112	8
Luglio	31	5245	124	6
Agosto	31	5245	135	5
Settembre	30	4425	118	5
Ottobre	31	4573	101	45
Novembre	30	4419	107	63
Dicembre	31	4566	117	89
Totale	366	58415	1418	525

2.4.11.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 90 e Tabella 233) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica A1 con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 77.69 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 680 Nm^3/anno e di 17 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 232), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

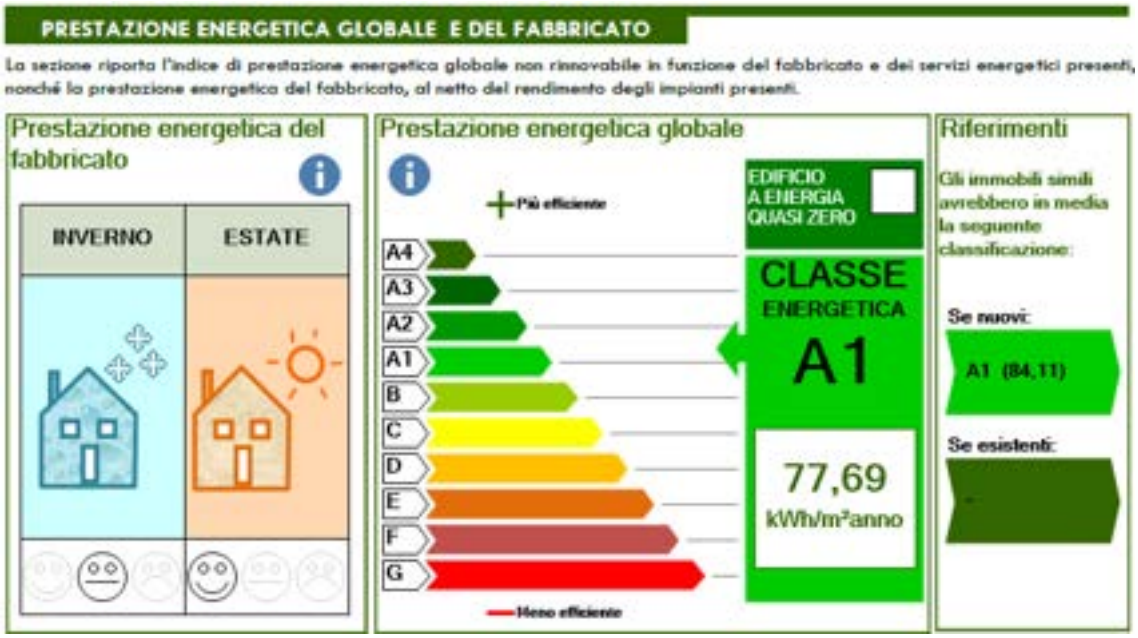


Figura 90. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 233. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	5388	7	5395	58.6	0.1	58.7	513.5	14.9
Acqua Calda Sanitaria	1753	1	1754	19.1	0.0	19.1	167.6	2.1
Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Globale	7141	8	7149	77.7	0.1	77.8	681.0	17.0

2.4.11.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre un'unica DE, relativa all'anno 2020; come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 221, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.11.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di metano destinati all'uso cucina;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.11.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina

L'analisi del questionario ha permesso di stimare il tempo medio speso per cucinare e la percentuale dei pasti consumati a casa all'interno di un "*mese tipo*" composto da quattro "*settimane tipo*". Combinando queste informazioni, si sono stimate le ore medie giornaliere spese per cucinare, pari a 1.41 h/giorno. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice A dove, in aggiunta alle informazioni fornite dal fruitore, è riportato anche il calcolo della percentuale media settimanale dei pasti consumati in una "*settimana tipo*" e il tempo medio speso per cucinare associato per ciascuna tipologia di pasto.
Assumendo quindi un consumo di metano medio dei fornelli di 0.10 m^3/h (valore assunto come plausibile in funzione delle abitudini del fruitore) e in considerazione degli effettivi giorni di presenza dichiarati, si è stimato un consumo destinato alla sola cottura dei cibi pari a 51.63 Sm^3/anno (pari a 48.95 Nm^3/anno) (Tabella 234), corrispondente al 9.8% del consumo totale di metano registrato.

Tabella 234. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm^3]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm^3]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	43.73	4.37	95	4.60
Febbraio	29	40.91	4.09	83	4.93
Marzo	31	43.73	4.37	71	6.16
Aprile	30	42.32	4.23	43	9.84
Maggio	31	43.73	4.37	12	36.44
Giugno	30	42.32	4.23	8	52.90
Luglio	31	43.73	4.37	6	72.89
Agosto	31	43.73	4.37	5	87.46
Settembre	30	42.32	4.23	5	84.64
Ottobre	31	43.73	4.37	45	9.72
Novembre	30	42.32	4.23	63	6.72
Dicembre	31	43.73	4.37	89	4.91
Totale	366	516.32	51.63	525	9.83

2.4.11.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dall'utente mediante questionario (Tabella 235), da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari ($V_{W\text{-}acs}$) di 102 l/giorno per persona.
A partire dal fabbisogno stimato si è proceduto con un duplice controllo:

1. Il valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato mensilmente non deve essere maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette;
2. Il consumo di metano calcolato a partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato non deve superare quello dichiarato in bolletta depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina.

Il primo controllo è anche quello più facilmente verificabile e ha restituito esito positivo (Figura 91).
Ai fini del secondo controllo, invece, è stata fatta la seguente assunzione: il combustibile riportato in bolletta da maggio a settembre è destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria e cottura dei cibi. Questa ipotesi trova riscontro sia con le abitudini dell'occupante sia con il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento previsto da normativa per la zona climatica E. A partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato, in accordo con la metodologia prevista dalla UNI TS 11300-2 [5], è stato calcolato il relativo consumo di metano che è stato messo a confronto con il valore dichiarato in bolletta congiuntamente con il consumo stimato per l'uso cucina (Figura 92).
Il risultato evidenzia come il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato con l'approccio standard non possa essere mantenuto costante in ogni mese dell'anno, in quanto si evidenzia un importante scostamento (linea tratteggiata in nero) specialmente nei mesi intermedi. Questa discrepanza è dovuta al fatto che durante i mesi più caldi, a parità di volume d'acqua consumato, la richiesta di acqua calda è in realtà più contenuta.
In virtù del risultato ottenuto, per i soli mesi in cui si è determinato un consumo di metano superiore a quello di bolletta (quelli per cui il secondo controllo non è soddisfatto), si è deciso di stimare il volume di acqua calda sanitaria a partire dall'effettivo consumo dichiarato (depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina). Il risultato è riportato in Figura 93, in cui si mostra un duplice confronto tra:

1. Il metano riportato in bolletta depurato del consumo stimato per l'uso cucina e il metano consumato per il servizio di acqua calda sanitaria associato in funzione dell'effettivo volume d'acqua calda consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di sinistra);
2. Il volume d'acqua totale riportato in bolletta e il volume d'acqua calda effettivamente consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di destra).

In accordo con i risultati ottenuti, si evince che circa il 44% del consumo di acqua di bolletta è stato destinato ai soli usi sanitari.

Tabella 235. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*	*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato [l/giorno·persona]*
Doccia	1	50	60	30
Lavabo	2	50	12	12
Bidet	2	50	10	10
Vasca da bagno	1	15	200	30
Lavello da cucina	1	100	20	20
Totale	7	-	-	102

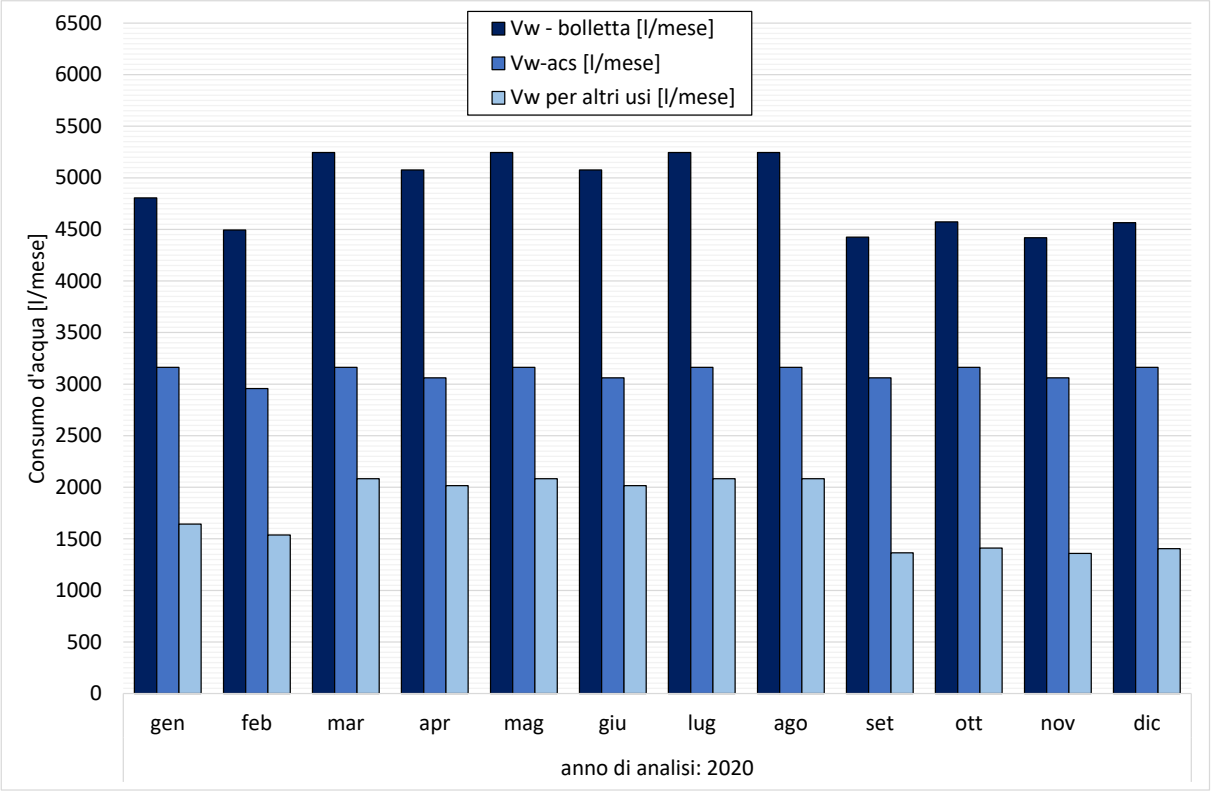


Figura 91. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

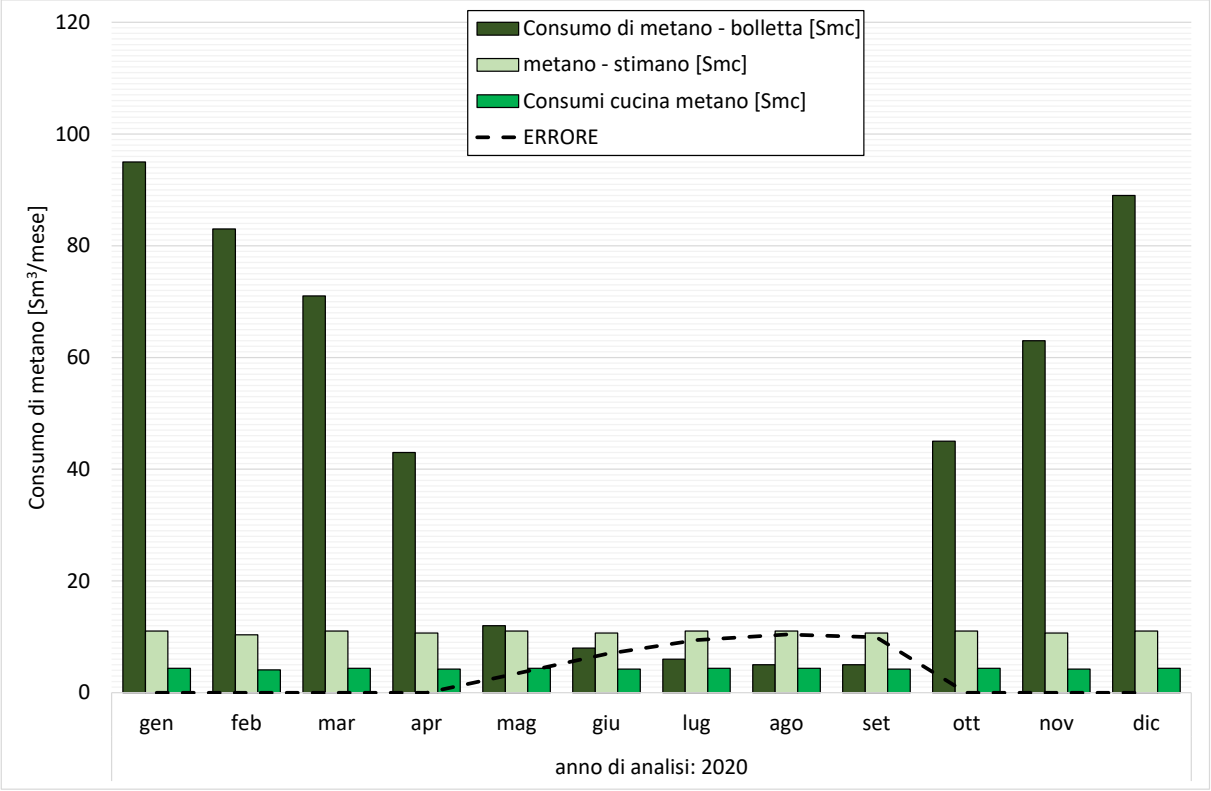


Figura 92. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$.

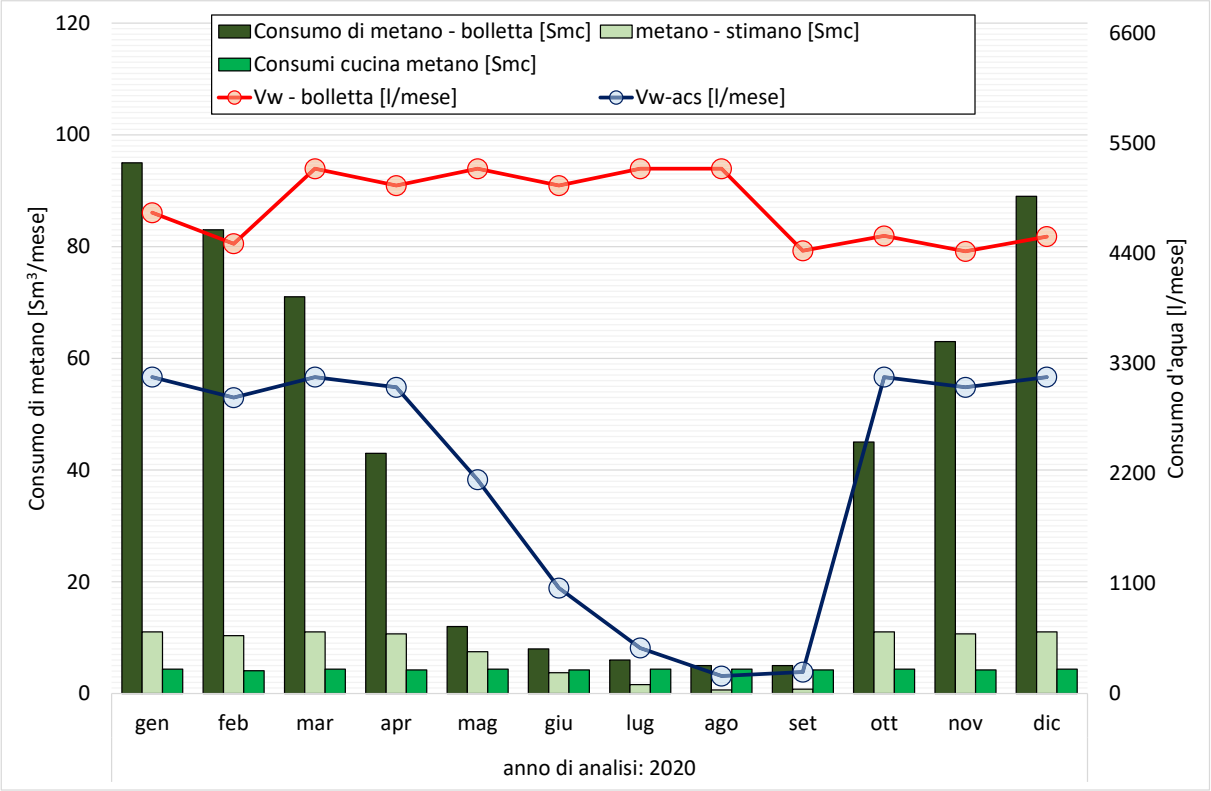


Figura 93. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria.

Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dall'utente; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}, il volume di V_{W-acs} stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata (MC_{APE-DE}) è richiesto il valore giornaliero medio annuale. I valori sono dettagliati in Tabella 236 messi a confronto con quelli stimati applicando il calcolo standard (APE). Risulta importante evidenziare come il valore stimato con l'approccio APE sia quasi il doppio di quello individuato nella DE.

Tabella 236. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	3162	102.0	134.7
Febbraio	2958	102.0	134.7
Marzo	3162	102.0	134.7
Aprile	3060	102.0	134.7
Maggio	2137	68.9	134.7
Giugno	1054	35.1	134.7
Luglio	456	14.7	134.7
Agosto	176	5.7	134.7
Settembre	215	7.2	134.7
Ottobre	3162	102.0	134.7
Novembre	3060	102.0	134.7
Dicembre	3162	102.0	134.7
Media	*2147*	*70.5*	*134.7*

2.4.11.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dall'utente mediante il questionario; in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta.

L'analisi ha permesso di definire quindi le configurazioni di funzionamento dell'impianto di riscaldamento medio giornaliero ottimale, ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi: 7 giorni a settimana per 14 ore/giorno.

È stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 237); il servizio più energivoro è risultato il riscaldamento con poco più 72% del metano consumato, mentre l'incidenza sul consumo dello stesso vettore energetico dovuto al servizio di produzione di acqua calda sanitaria è del 17.6%. Relativamente al vettore energia elettrica si è stimato che il servizio più energivoro sia costituito dall'illuminazione e dall'uso di elettrodomestici, per i quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni.

Il risultato conseguito mediante anche il software di simulazione può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di metano calcolato con quello reale, si ottiene una discrepanza pari a -1.1% (Tabella 237). Questa difformità può essere considerata come un errore accettabile essendo inferiore al ±5% [15].

Infine, in Tabella 238 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo dei vettori energetici) derivanti dalle DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura MC_{APE-DE} che con l'approccio APE.

Tabella 237. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2020*	
	Metano [Nm³]	*Energia elettrica [kWh]*
*Cottura dei cibi**	48.9	0.0
Riscaldamento	365.8	10.6
Produzione di acqua calda sanitaria	88.5	0.0
Raffrescamento	-	0.0
*Illuminazione ed Elettrodomestici***	-	1407.4
Totale	503.3	1418.0
Bollette	497.7	1418.0
scostamento	-1.1%	0.0%

** valore stimato e non restituito dal software di calcolo*
*** valore attributo come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 238. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2020	Riscaldamento	3839	5	3844	41.8	0.1	41.8	365.8	10.6
	Acqua Calda Sanitaria	924	0.01	924	10.1	0.0	10.1	88.5	≅0.0
	Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	4763	5.01	4768	51.8	0.1	51.9	454.4	10.7

2.4.11.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.11.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 239, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 94 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: i risultati più accurati si ottengono impiegando per il volume d'acqua un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI") o adottando il valore pari al 50% del consumo di bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI. Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wtot}) compresa tra il +18% al +100% (Figura 95);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wtot} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari al 2% (Figura 95).

Tabella 239. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento* 2020	*u.m.*
Tipologia di generatore		Generatore a condensazione	[-]
Vettore energetico		Metano	[-]
Superficie utile dell'immobile		91.91	[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		13.33	[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		15.22	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	70.5	[litri/giorno]
	Convenzionale	134.7	[litri/giorno]
	Bolletta	102.0	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	79.8	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.859	[-]
	F_{Vw}	1.243	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	19.1	[kWh/m²]
	EP_{Wren}	0.0	[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	19.1	[kWh/m²]
	Energia elettrica	2.1	[kWh]
	Metano	167.6	[Nm³]

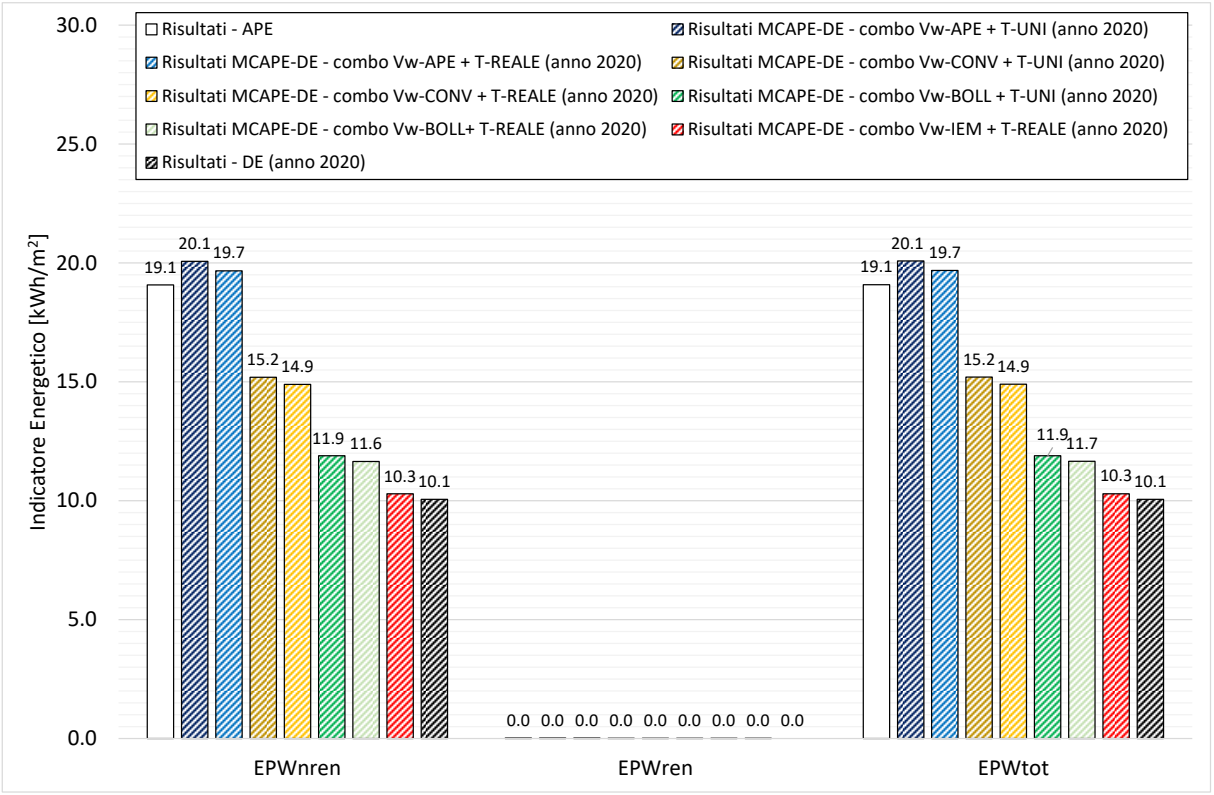


Figura 94. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Combinazione di calcolo a confronto (anno 2020)	Errore percentuale [%] EP_{Wnren}	EP_{Wren}	EP_{Wtot}
Risultati - APE	90%	9900%	90%
Risultati - DE (anno 2020)	0%	0%	0%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-APE + T-UNI (anno 2020)	100%	10422%	100%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-APE + T-REALE (anno 2020)	96%	10212%	96%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-CONV + T-UNI (anno 2020)	51%	7865%	51%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-CONV + T-REALE (anno 2020)	48%	7706%	48%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-BOLL + T-UNI (anno 2020)	18%	6132%	18%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-BOLL+ T-REALE (anno 2020)	16%	6007%	16%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-IEM + T-REALE (anno 2020)	2%	5293%	2%

Figura 95. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. Al contrario, il calcolo APE tende a sovrastimare nettamente i risultati della DE con divergenze che variano da un minimo del 90% (indicatore EP_{Wtot}) ad un massimo del 9900% (indicatore EP_{ren}).
La divergenza maggiore è stata riscontrata per l'indicatore rinnovabile (EP_{Wren}) con tutte le metodologie di calcolo; questa è principalmente dovuta ai piccolissimi valori assunti dall'indicatore stesso (valori della DE inferiori a 0.01 kWh/m^2). Tuttavia, come evidenziato in Tabella 240, l'errore assoluto tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±0.20 kWh/m^2 e, nello specifico, dell'ordine di ±0.01 kWh/m^2 per l'indicatore EP_{Wren}.
In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE.
In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, sia l'approccio convenzionale che quello semplificativo di assunzione di un volume pari al 50% del volume di bolletta, sembrano restituire un risultato

più aderente ai reali consumi energetici; si tiene a precisare, comunque, che qualsiasi valutazione conclusiva sulla combinazione di calcolo più idonea da adottare dovrà tener presente anche della peculiarità del caso studio indagato. Infatti, come più volte riportato, esso è caratterizzato da profili occupazionali molto specifici che hanno determinato un consumo molto basso di entrambi i vettori energetici.

Tabella 240. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*	
		Assoluto [kWh/m²]	*Relativo [%]*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	EP_{Wnren}	8.79	46.07
	EP_{Wren}	0.01	46.07
	EP_{Wtot}	8.79	46.07
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	EP_{Wnren}	-0.23	-2.32
	EP_{Wren}	-0.01	-5293.02
	EP_{Wtot}	-0.24	-2.37

2.4.11.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 241, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati in Figura 96 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra +3% e +17% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso del 15%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali, come era lecito attendersi in virtù di quanto descritto in 2.3.2, determina una sovrastima dei risultati delle DE (discrepanze dell'ordine del +17%). Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali.

Tabella 241. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento 2020*	*u.m.*
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-3	[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore a condensazione	[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta	[-]
Vettore energetico principale		Metano	[-]
Potenza nominale del generatore		26.8	[kW]
Efficienza nominale del generatore		97.0	[%]
Superficie utile		91.91	[m²]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2193	[GG]
Gradi Giorno – reali		1928	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		14.0	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.879	[-]
	F_{H-set}	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	58.6	[kWh/m²]
	EP_{Hren}	0.1	[kWh/m²]
	EP_{Htot}	58.7	[kWh/m²]
	Energia elettrica	14.9	[kWh]
	Metano	513.5	[Nm³]

Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 242, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del 3%). Per il presente caso studio, non essendo differente la temperatura di set-point fissata all'interno dell'abitazione con quella prevista da normativa, la correzione per il secondo fattore correttivo non porta alcuna miglioria.
In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, reali ma corretti per il fattore F_{GG}, o reali ma corretti per i fattori F_{GG} e F_{H-set}, la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

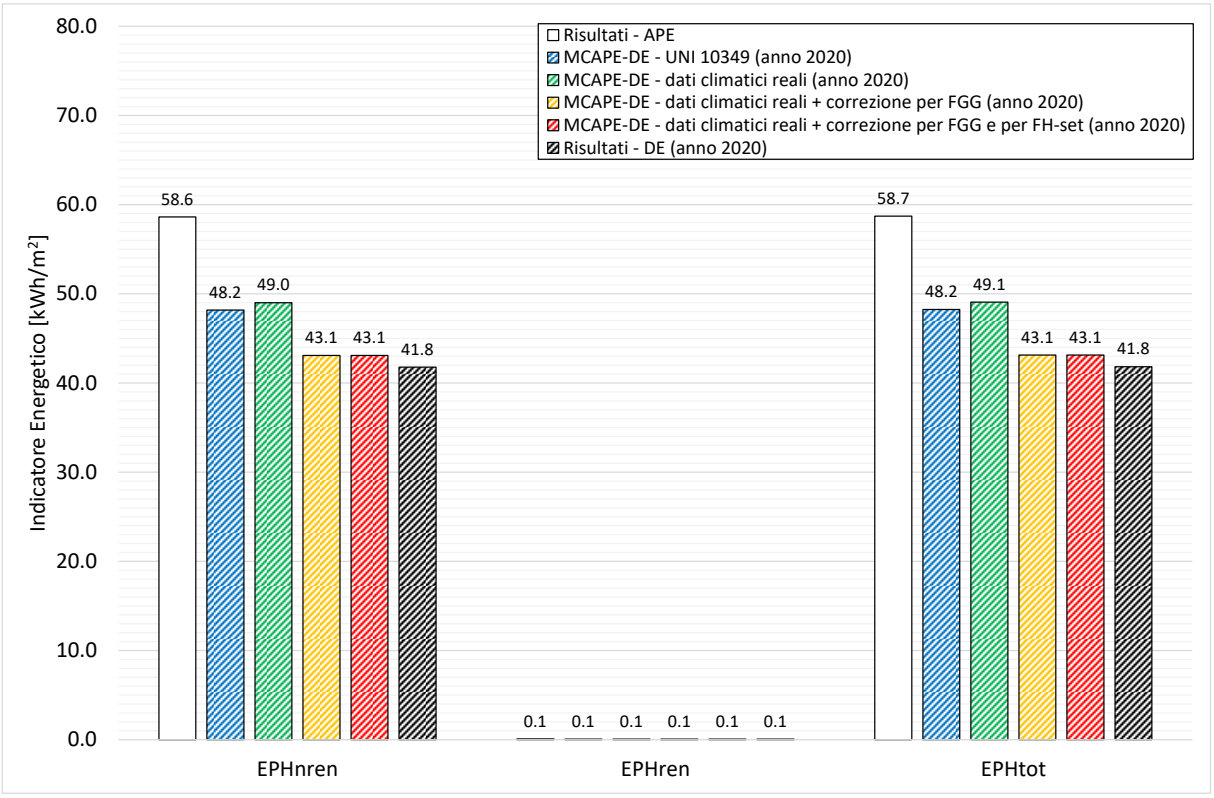


Figura 96. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 242. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*	
		Assoluto [kWh/m²]	*Relativo [%]*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	-6.41	-15.35
	EP_{Hren}	-0.01	-15.06
	EP_{Htot}	-6.42	-15.35
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-7.23	-17.32
	EP_{Hren}	-0.01	-17.03
	EP_{Htot}	-7.24	-17.32
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	-1.31	-3.13
	EP_{Hren}	0.00	-2.87
	EP_{Htot}	-1.31	-3.13
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	-1.31	-3.13
	EP_{Hren}	0.00	-2.87
	EP_{Htot}	-1.31	-3.13

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.
I risultati, riportati in Tabella 243, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE. In particolare, si osservi come anche in caso informazioni poco accurate sull'orario di accensione dell'impianto, la metodologia avrebbe permesso di identificare un orario medio giornaliero (valore evidenziato in rosso) come quello più probabile.
Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 243. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} [kWh/m²]	EP_{Hren} [kWh/m²]	EP_{Htot} [kWh/m²]	*Consumo elettrico [kWh/anno]*	*Consumo metano [Nm³/anno]*
1	7.5	0.0	7.5	1.1	66.0
2	12.3	0.0	12.3	1.8	108.2
3	17.1	0.0	17.2	2.6	150.5
4	21.9	0.0	22.0	3.3	192.7
5	26.8	0.0	26.8	4.0	235.0
6	31.6	0.0	31.6	4.7	277.2
7	36.8	0.0	36.9	5.5	323.4
8	42.1	0.1	42.1	6.3	369.6
9	47.3	0.1	47.4	7.1	415.8
10	47.5	0.1	47.6	7.1	417.3
11	47.7	0.1	47.7	7.1	418.8
12	47.8	0.1	47.9	7.2	420.2
13	48.0	0.1	48.1	7.2	421.7
14	48.2	0.1	48.2	7.2	423.2
APE	58.6	0.1	58.7	14.9	513.5

2.4.11.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Il presente caso studio, come riportato in Tabella 231, non presenta il servizio energetico di raffrescamento; pertanto, non è stato possibile effettuare un confronto tra le tre metodologie di calcolo.

2.4.11.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia MC_{APE-DE} sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi.

Il confronto dei consumi di metano e di quelli di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 97 e in Figura 98. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati

ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia MC_{APE-DE} con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.
Entrando più nel dettaglio, l'errore più elevato (rimarcato in Tabella 244) si riscontra per l'energia elettrica (pari al -13% corrispondete ad una differenza di appena 1.4 kWh) mentre il metano si attesta al -3% (pari a circa 13 Nm^3). I risultati evidenziano, invece, una significativa sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (pari a circa il 33%).
Gli esiti del confronto confermano quindi una buona affidabilità della metodologia MC_{APE-DE}.

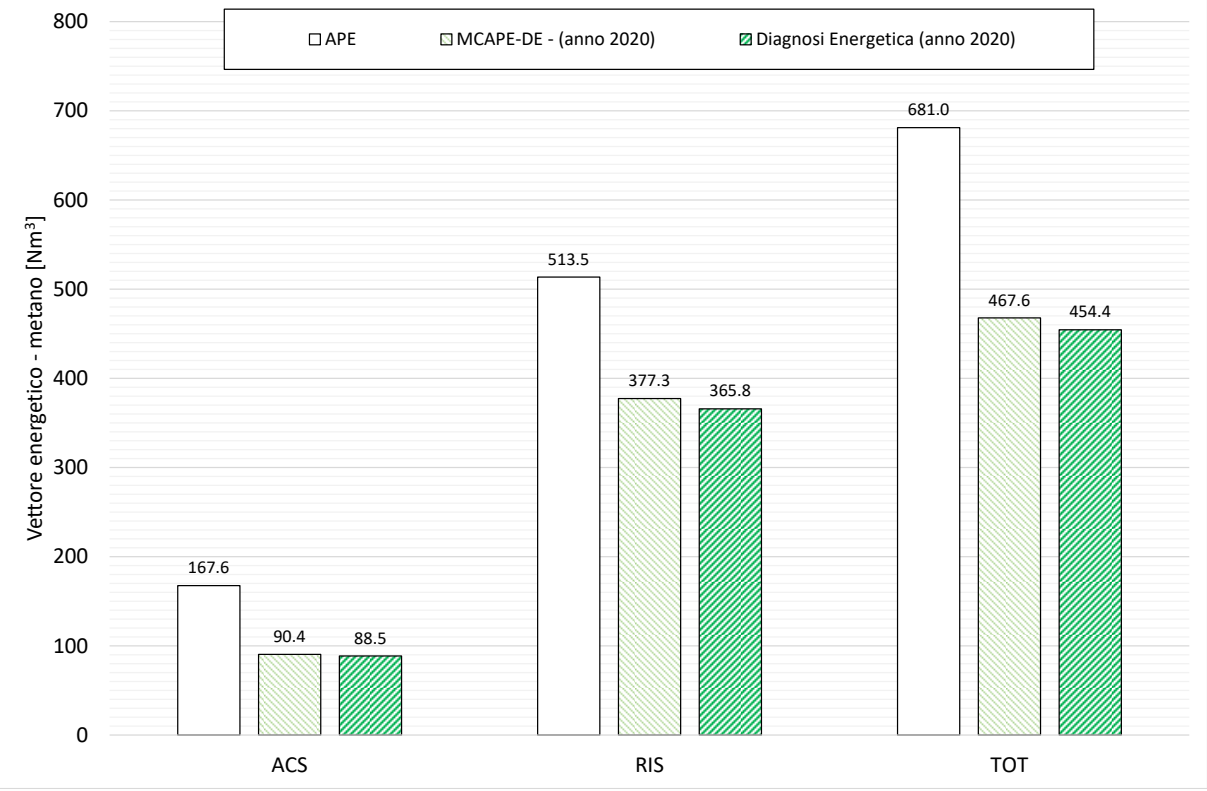


Figura 97. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

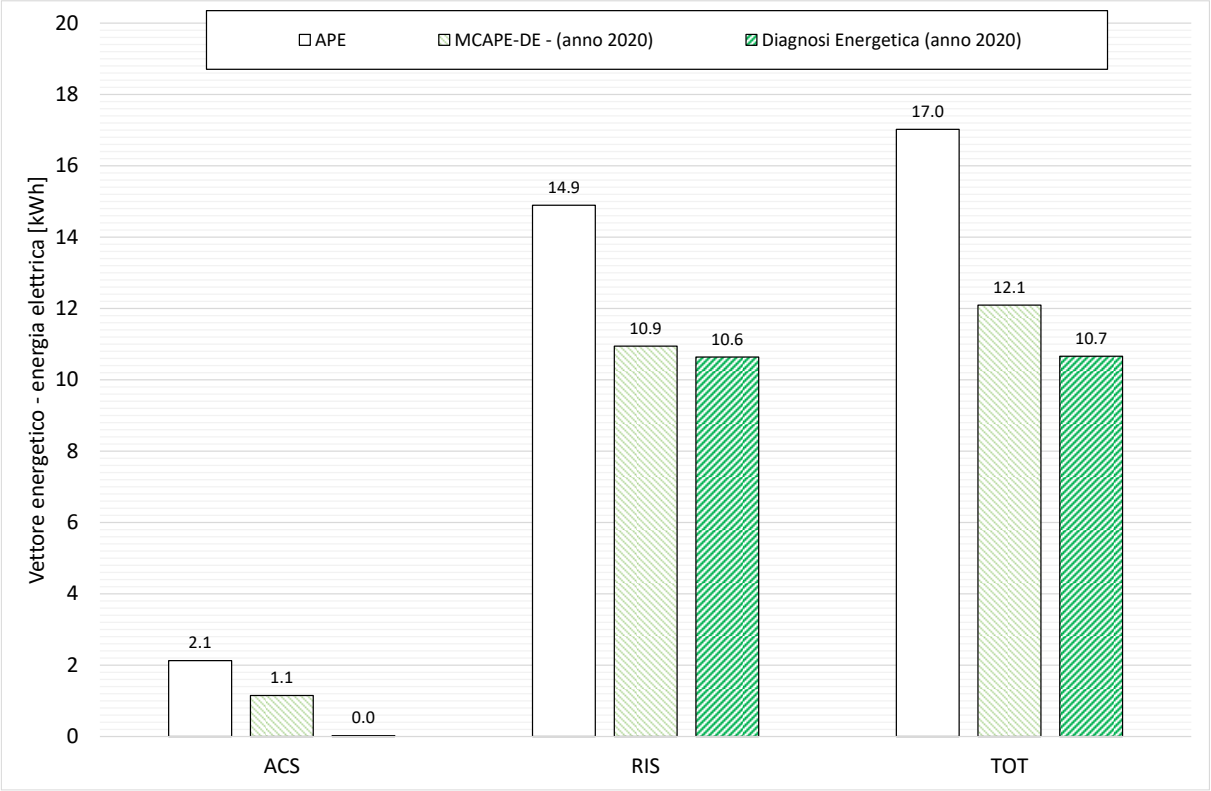


Figura 98. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 244. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2019	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2020	-1.1	-0.3	0.0	-1.4	-5293.0	-2.9	0.0	-13.4
Metano	2019	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2020	-1.8	-11.4	0.0	-13.3	-2.1	-3.1	0.0	-2.9

2.4.12 Caso Studio n. 9 – E.1-9

Il nono caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano primo di un piccolo edificio isolato costituito da due unità immobiliari, costruito negli anni '70 ma che è stato oggetto di ristrutturazione importante nel 2018. L'immobile è ubicato nel comune di Todi (PG), città della regione Umbria contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 245. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi all'anno 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questo anno di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 246 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come il valore di temperatura medio annuale registrati nel 2020 (15.2 °C) sia superiore a quello fornito dalla UNI 10349 (13.3 °C) di circa 2°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra le condizioni climatiche di input impiegati per le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 245. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Todi
	Altitudine [10]	400 m s.l.m.
	Latitudine	42° 46'
	Longitudine	12° 24'
	Gradi Giorno [10]	2193
	Zona climatica [10]	E
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	2.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	32.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	20.8
	Escursione termica giornaliera [°C]	9.0
	Umidità relativa [%]	37.2

Tabella 246. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*		*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²][1, A e B]*
	Normativa [1,A]	*2020 [2,B]*	
Gennaio	4.4	6.6	4.8
Febbraio	5.6	9.6	10.1
Marzo	8.4	10.1	11.6
Aprile	12	13.8	18.1
Maggio	17.4	18.6	21.5
Giugno	20.2	20.8	21.8
Luglio	24.2	25.1	25
Agosto	24.3	26.0	23.5
Settembre	17.8	20.8	16.3
Ottobre	13.3	13.8	11.4
Novembre	8.8	10.8	5.9
Dicembre	3.6	6.6	5.1
Media annua	13.3	15.2	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "Todi" - coordinate geografiche 43.1058333 e 12.3761111, quota 345 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.12.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 247) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 99).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, il caso studio è caratterizzato da due tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno e una seconda tipologia (M2) che divide l'ambiente riscaldato dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.80. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata dall'altra unità abitativa, mentre il solaio superiore (con S_s1) separa l'ambiente da un sottotetto non riscaldato a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.70.

Tabella 247. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	Fine 1970	[-]
Anno di ristrutturazione	2018	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	2	[-]
Piano del caso studio	Primo	[-]
Altezza media vani	2.80	[m^2]
Superficie utile climatizzata	91.50	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	116.35	[m^2]
Volume netto climatizzato	259.00	[m^3]
Volume lordo climatizzato	386.00	[m^3]
Superficie disperdente	271.64	[m^2]
Rapporto S/V	0.70	[m^{-1}]

Figura 99. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in muratura in tufo, oggetto di ristrutturazione energetica nel 2018, mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 18 + 5 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 248 a Tabella 252 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza.
Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.
In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 253) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 254) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 248. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Muratura in tufo	300	0.630	0.476
3	Polistirene grafitato	120	0.032	3.750
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	4.439
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.225	

Tabella 249. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Muratura in tufo	200	0.630	0.317
3	Polistirene grafitato	120	0.032	3.750
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		350	-	4.280
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.234	

Tabella 250. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Muratura in tufo	270	0.630	0.429
3	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona non riscaldata		-	-	0.130
Totale		300	-	0.732
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.366	

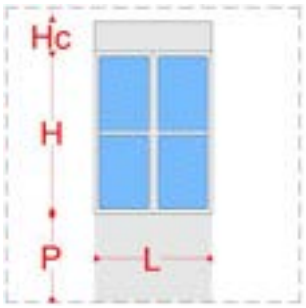
Tabella 251. Stratigrafia del solaio inferiore S_i1 confinante verso un'altra unità abitativa.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Pavimentazione in ceramica	15	1.300	0.012
2	Massetto alleggerito	50	0.580	0.086
3	Isolante	20	0.024	0.833
4	Calcestruzzo armato	50	2.500	0.020
5	Soletta in laterizio	180	0.500	0.360
6	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.170
Totale		325	-	1.665
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.600	

Tabella 252. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso sottotetto non riscaldato.

Descrizione del singolo strato (dall'esterno verso l'interno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Sottotetto non riscaldato		-	-	0.100
1	*Pavimentazione in ceramica*	15	1.300	0.012
2	*Massetto alleggerito*	50	2.500	0.020
3	*Soletta in laterizio*	180	0.500	0.360
4	*Isolante*	100	0.024	4.167
5	*Intonaco di calce e gesso*	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		355	-	4.773
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.210	

Tabella 253. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
	PF01	0.65	2.40	0.00	0.00	1.56	0.94	1.200
	PF02	1.14	2.40	0.00	0.00	2.74	1.54	1.200
	PF03	1.45	2.40	0.00	0.00	3.48	2.18	1.200
	F01	0.80	1.40	0.00	0.00	1.12	0.65	1.200
	F02	1.20	1.40	1.00	0.00	1.68	0.86	1.200
	F03	1.35	1.40	1.00	0.00	1.89	1.03	1.200
	F04	0.80	1.40	0.00	0.00	1.12	0.65	1.200
	PF04	1.30	2.40	0.00	0.00	3.12	1.87	1.200

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 254. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete– telaio	0.075
IF – parete– solaio di interpiano (con zona riscaldata)	0.003
R - Parete - Solaio superiore	0.050
C – angolo tra pareti (sporgente)	-0.042
C – angolo tra pareti (rientrante)	0.013
IW - Parete - Parete interna	-0.004
B – Parete – Balcone	0.343

Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di un generatore di calore a condensazione, installato come evidenziato in Figura 99 che permette di soddisfare i servizi energetici di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Per il riscaldamento dell'ambiente, il calore viene immesso ad alta temperatura (80°C) attraverso dei radiatori in acciaio dotate di valvole termostatiche e regolato mediante cronotermostato di zona.

Le caratteristiche tecniche del generatore di calore sono riassunte in Tabella 255, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 256.

Ad integrazione del sistema impiantistico appena descritto, l'unità immobiliare presenta anche un kit di solare termico per la sola copertura dell'acqua calda sanitaria (collegato ad un serbatoio di accumulo da 270 litri) e un impianto fotovoltaico di potenza complessiva di picco da 3.2 kW. Le caratteristiche tecniche di questi due sistemi di integrazione sono riportate in Tabella 257 e in Tabella 258.

Tabella 255. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Condexa 26 KIS*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Locale tecnico
Potenza nominale – P_n [kW]	26.8
Potenza minima – P_{min} [kW]	8.1
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	25
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	20
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	6.5
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	97
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	107.2
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	0.94
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	0
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	1.0
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\ -\ min}$ [%]	5.0

Tabella 256. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	✖
Generatore di calore		Standard	Standard	n.d.
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	n.d.
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	n.d.
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	n.d.
	Tubazioni	Incassate nel pavimento	Incassate nel pavimento	n.d.
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	n.d.
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in acciaio	n.d.
	T esercizio	40 °C [4]	80 °C	n.d.
	ΔT	-	20 °C	n.d.
	Valvole	-	si	n.d.
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona + valvole termostatiche	n.d.
	Caratteristiche	-	Azione proporzionale + climatica	n.d.

Tabella 257. Principali caratteristiche dei sistemi di integrazione: solare termico.

Modello	*CSV 25*
Numero di pannelli	1
Superficie netta singolo pannello [m^2]	2.40
Superficie lorda singolo pannello [m^2]	2.77
Coefficiente di perdita lineare – a_1 [W/m^2K]	1.150
Coefficiente di perdita quadratica – a_2 [W/m^2K^2]	0.011
Rendimento a perdite nulle – η_0 [-]	0.70
Coefficiente angolo di incidenza - IAM [-]	0.96
Orientamento rispetto al Sud [°]	-45.0
Inclinazione rispetto al piano orizzontale [°]	18.0

Tabella 258. Principali caratteristiche dei sistemi di integrazione: fotovoltaico.

Modello	*MAX3-400*
Numero di pannelli	8
Superficie netta singolo pannello [m^2]	1.64
Potenza di picco del singolo pannello [W]	400
Efficienza nominale del singolo pannello [%]	0.24
Potenza di picco [W]	3200
Fattore di efficienza [-]	0.75
Orientamento rispetto al Sud [°]	-45.0
Inclinazione rispetto al piano orizzontale [°]	18.0

2.4.12.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative al 2020 sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dall'utente) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato abitato da un nucleo familiare costituito da tre persone per un totale di 366 giorni, quindi, perfettamente congruente con quello standard previsto nella valutazione asset (APE).

I consumi di acqua, metano ed energia elettrica acquisiti per il 2020, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza dell'utente, sono riassunti in Tabella 259; in merito all'energia elettrica, per il presente caso studio sono stati resi disponibili non solo i valori prelevati ma anche i quantitativi di energia elettrica immessi nella rete. Questo è stato possibile in quanto per la realizzazione dell'impianto i proprietari hanno usufruito di un incentivo che ha permesso di conoscere quanta energia prodotta dall'impianto fotovoltaico non venga consumata sul posto.

Tabella 259. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nell'anno di analisi (2020).

Mese	*Anno 2020*				
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*		*Metano [Sm³]*
			prelevata da rete	*ceduta*	
Gennaio	31	10091	196	63	89
Febbraio	29	9440	175	150	78
Marzo	31	9802	184	197	68
Aprile	30	9486	168	306	20
Maggio	31	9802	159	377	6
Giugno	30	9486	172	341	3
Luglio	31	9802	169	438	2
Agosto	31	9802	171	425	2
Settembre	30	9743	185	283	4
Ottobre	31	10067	177	200	27
Novembre	30	9519	196	83	57
Dicembre	31	9836	215	53	87
Totale	366	116876	2167	2916	443

2.4.12.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 100 e Tabella 260) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica A4 con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 54.90 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 600 Nm^3/anno e di 0 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 259), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

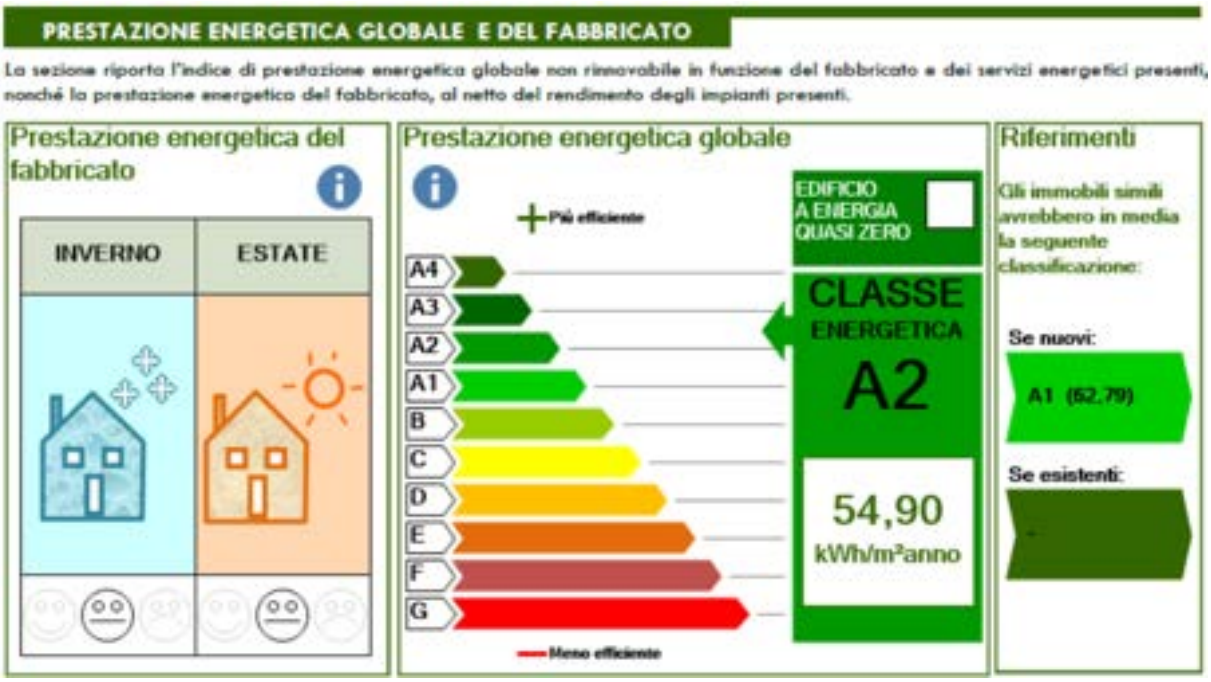


Figura 100. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 260. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	4399	12	4411	48.1	0.1	48.2	422.6	0.0
Acqua Calda Sanitaria	680	1137	1817	7.4	12.4	19.9	174.1	0.0
Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Globale	5079	1149	6228	55.5	12.6	68.1	596.7	0.0

2.4.12.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre un'unica DE, relativa all'anno 2020; come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 246, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.12.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di metano destinati all'uso cucina;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda coperto dall'impianto solare termico;
3. Stima del fabbisogno di acqua calda rimanente da coprire con altro generatore;
4. Stima dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico;
5. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.12.4.1 Stima dei consumi di metano per l'uso cucina

L'analisi del questionario ha permesso di stimare il tempo medio speso per cucinare e la percentuale dei pasti consumati a casa all'interno di un "*mese tipo*" composto da quattro "*settimane tipo*". Combinando queste informazioni, si sono stimate le ore medie giornaliere spese per cucinare, pari a 0.28 h/giorno. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice A dove, in aggiunta alle informazioni fornite dal fruitore, è riportato anche il calcolo della percentuale media settimanale dei pasti consumati in una "*settimana tipo*" e il tempo medio speso per cucinare associato per ciascuna tipologia di pasto.
Assumendo quindi un consumo di metano medio dei fornelli di 0.16 m^3/h (valore assunto come plausibile in funzione delle abitudini dei fruitori) e in considerazione degli effettivi giorni di presenza dichiarati, si è stimato un consumo destinato alla sola cottura dei cibi pari a 16.38 Sm^3/anno (pari a 15.53 Nm^3/anno) (Tabella 261), corrispondente al 3.7% del consumo totale di metano registrato.

Tabella 261. Consumi dei vettori energetici ripartiti per servizio energetico: anno di riferimento 2020.

Mese dell'anno	*Giorni di presenza [-]*	*Numero di ore medie spese per cucinare [h]*	*Consumo di metano stimato [Sm^3]*	*Consumo di metano dichiarato [Sm^3]*	*Percentuale di incidenza [%]*
Gennaio	31	8.67	1.39	89	1.56
Febbraio	29	8.11	1.30	78	1.66
Marzo	31	8.67	1.39	68	2.04
Aprile	30	8.39	1.34	20	6.71
Maggio	31	8.67	1.39	6	23.13
Giugno	30	8.39	1.34	3	44.76
Luglio	31	8.67	1.39	2	69.38
Agosto	31	8.67	1.39	2	69.38
Settembre	30	8.39	1.34	4	33.57
Ottobre	31	8.67	1.39	27	5.14
Novembre	30	8.39	1.34	57	2.36
Dicembre	31	8.67	1.39	87	1.59
Totale	366	102.39	16.38	443	3.70

2.4.12.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari – solare termico

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dall'utente mediante questionario (Tabella 262), da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari ($V_{W\text{-}acs}$) di 78 l/giorno per persona.
A partire dal volume potenzialmente richiesto, si è quindi proceduto alla stima del volume di acqua calda per usi igienici sanitari potenzialmente coperto dal solo impianto solare termico in ogni mese dell'anno; in particolare, in Figura 101 si riporta la producibilità e il volume di acqua calda coperto dal solo impianto solare termico installato, stimato mediante l'ausilio del codice di calcolo.
Nota la copertura massima teorica del solare termico, si è determinato il volume rimanente da coprire da altro sistema impiantistico; a partire dal fabbisogno rimanente si è quindi calcolato quello da coprire con il generatore a condensazione effettuando un duplice controllo:

1. Il volume di acqua calda stimato mensilmente (rimanente + solare termico) non deve essere maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette;
2. Il consumo di metano calcolato a partire dal volume di acqua calda rimanente (depurato cioè del contributo del solare termico) non deve superare quello dichiarato in bolletta depurato del consumo di metano stimato ad uso cucina.

Il primo controllo ha restituito esito positivo (Figura 102) e ha permesso di evidenziare come il solare termico riesca a soddisfare gran parte del fabbisogno energetico richiesto nei mesi estivi.
Ai fini del secondo controllo è stata fatta la seguente assunzione: il combustibile riportato in bolletta da maggio a settembre è destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria e cottura dei cibi. Questa ipotesi trova riscontro sia con le abitudini degli occupanti che con il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento previsto da normativa per la zona climatica E. A partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato, in accordo con la metodologia prevista dalla UNI TS 11300-2 [5], è stato quindi calcolato il relativo consumo di metano che è stato messo a confronto con il valore dichiarato in bolletta congiuntamente con il consumo stimato per l'uso cucina (Figura 103).
Il risultato evidenzia come il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato con l'approccio standard e da coprire con il generatore a condensazione non possa essere mantenuto costante in ogni mese dell'anno, in quanto si evidenzia un importante scostamento (linea tratteggiata in nero) specialmente nei mesi intermedi. Questa discrepanza è dovuta al fatto che durante i mesi più caldi, a parità di volume d'acqua consumato, la richiesta di acqua calda è in realtà più contenuta.
In virtù del risultato ottenuto, per i soli mesi in cui si è determinato un consumo di metano superiore a quello di bolletta (quelli per cui il secondo controllo non è soddisfatto), si è deciso di stimare il volume di acqua calda sanitaria a partire dall'effettivo consumo dichiarato (depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina).

Tabella 262. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo per utente [%]*			*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato per utente [l/giorno·persona]*		
		n. 1	*n. 2*	*n. 3*		*n. 1*	*n. 2*	*n. 3*
Doccia	1	100	100	50	60	60	60	30
Lavabo	2	50	50	50	12	12	12	12
Bidet	2	50	50	50	10	10	10	10
Vasca da bagno	1	0	0	0	200	0	0	0
Lavello da cucina	1	50	50	0	20	10	10	0
Totale	7	-	-	-	-	92	92	52

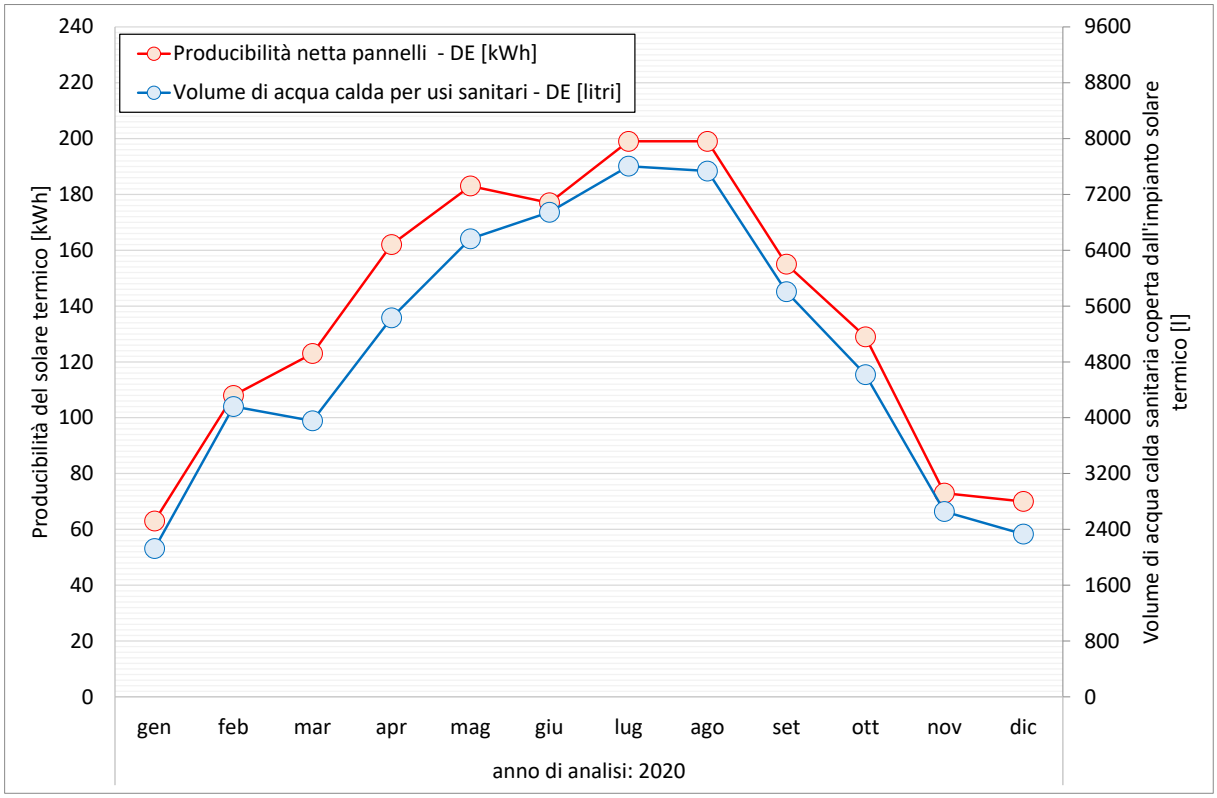


Figura 101. Producibilità e volume di acqua calda sanitaria potenzialmente coperto dall'impianto solare termico.

Il risultato è riportato in Figura 104, in cui si mostra un duplice confronto tra:

1. Il metano riportato in bolletta depurato del consumo stimato per l'uso cucina e il metano consumato per il servizio di acqua calda sanitaria associato in funzione dell'effettivo volume d'acqua calda consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di sinistra);
2. Il volume d'acqua totale riportato in bolletta e il volume d'acqua calda effettivamente consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di destra).

Grazie ai risultati ottenuti, si è evinto che circa il 74% del consumo di acqua è destinato per i soli usi sanitari; di questi circa il 68% è soddisfatto dall'impianto solare termico. Si precisa che la percentuale riscontrata potrebbe anche variare in quanto si è ipotizzato di consumare interamente l'intero volume prodotto dal solare termico. Questa assunzione, comunque, non comporta alcun errore nella stima dell'inventario energetico per le seguenti motivazioni:

1. Il volume prodotto dall'impianto solare termico nei mesi invernali è significativamente inferiore a quello prodotto nei mesi estivi, e, considerando anche la presenza di un serbatoio di accumulo di 270 litri, si può ipotizzare che l'energia termica prodotta sia effettivamente consumata o accumulata. Il rimanente volume da coprire con il generatore a condensazione, inoltre, soddisfa pienamente il secondo controllo effettuato;
2. Il volume prodotto dall'impianto solare termico nei mesi estivi risulta anch'esso inferiore al volume del serbatoio di accumulo presente (capacità da 270 litri), quindi anche in questo caso può essere si può ipotizzare che l'energia termica prodotta sia effettivamente consumata o accumulata. Il rimanente volume da coprire con il generatore a condensazione, inoltre, è stato corretto attraverso il secondo controllo effettuato.

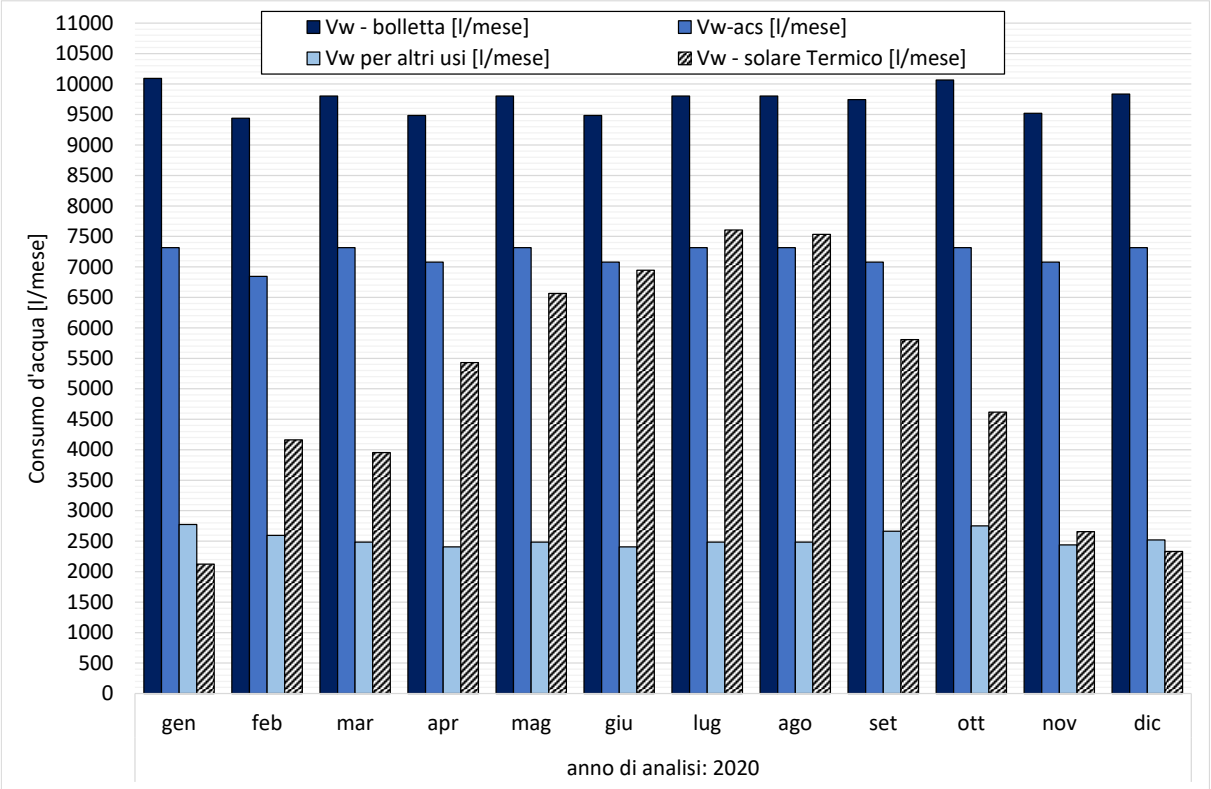


Figura 102. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

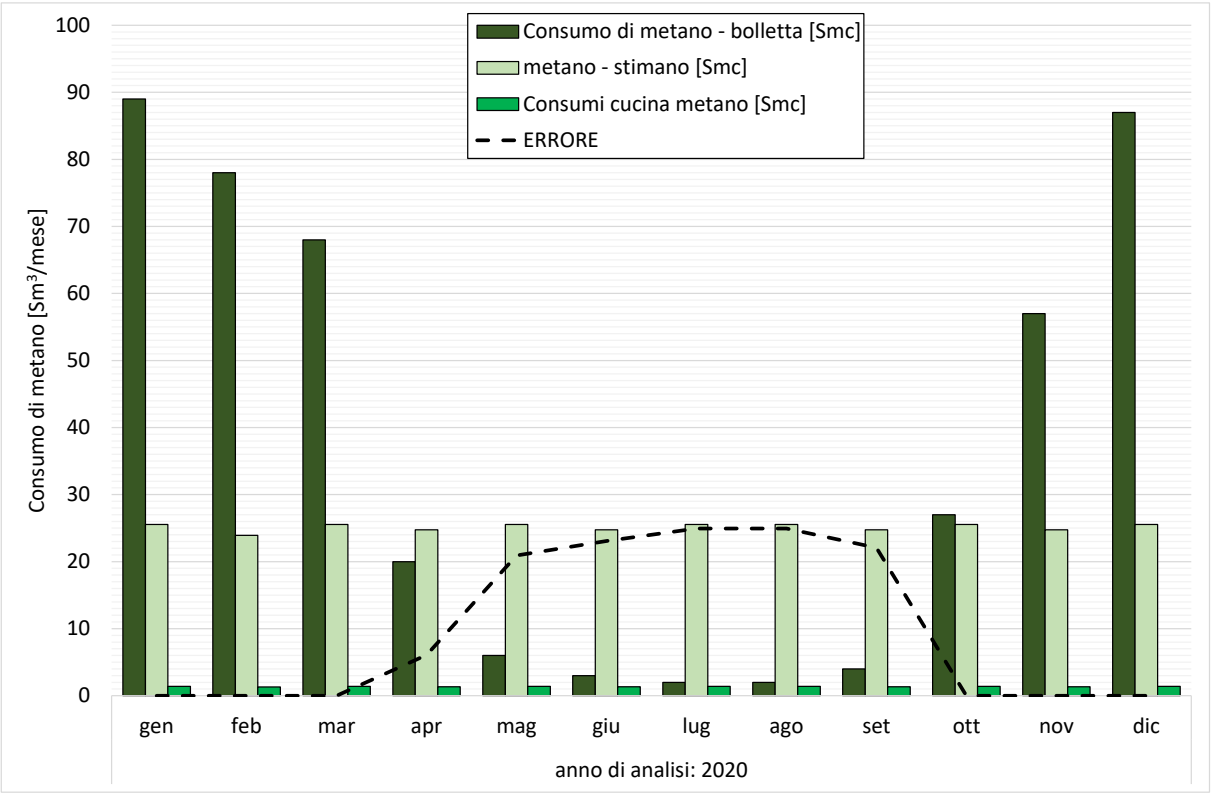


Figura 103. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$.

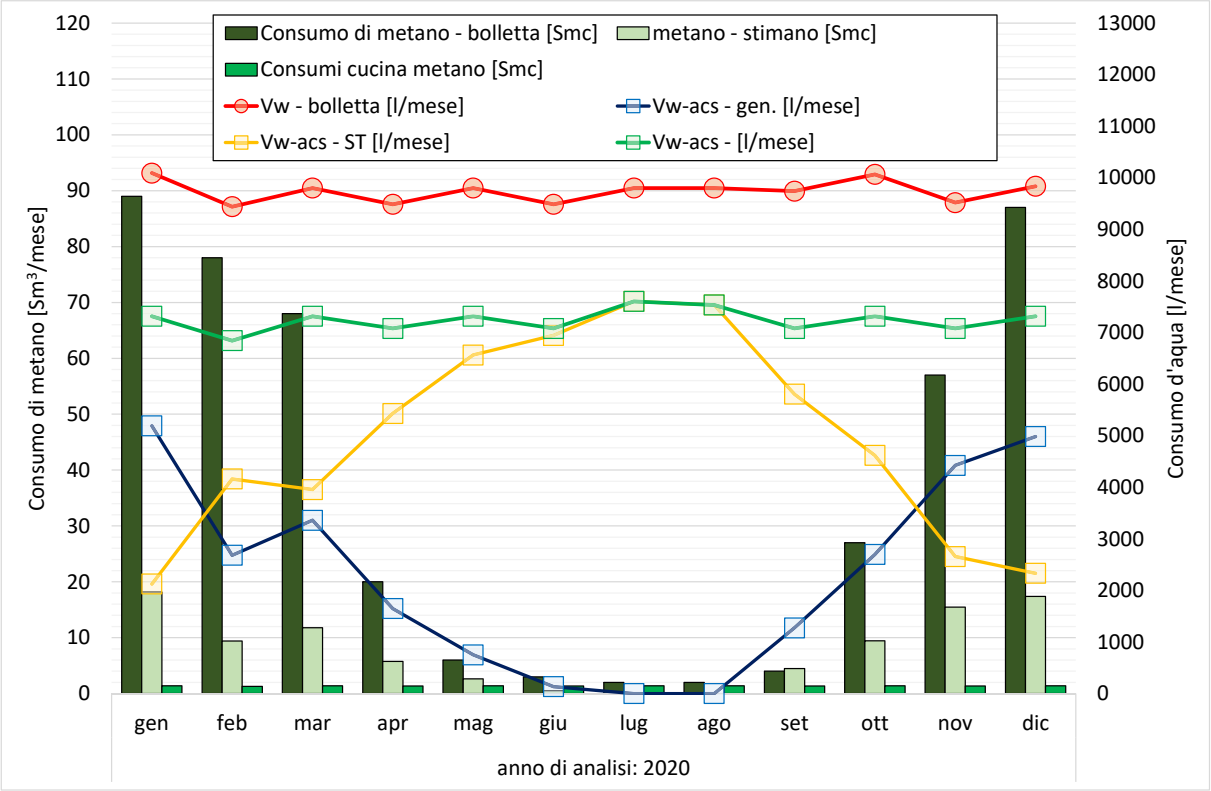


Figura 104. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria.

Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dagli utenti; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}, il volume di V_{W-acs} stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata (MC_{APE-DE}) è richiesto il valore giornaliero medio annuale. I valori sono dettagliati in Tabella 263 messi a confronto con quelli stimati applicando il calcolo standard (APE). Risulta importante evidenziare come il valore dell'APE sia quasi il doppio di quello individuato nella DE se non si considerasse l'impianto solare, la metà in caso contrario.

Tabella 263. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2020*			*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero con solare termico [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero senza solare termico [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	7316	228.6	167.4	134.3
Febbraio	6844	212.3	92.5	134.3
Marzo	7316	222.3	108.4	134.3
Aprile	7080	211.4	55.0	134.3
Maggio	7316	213.3	24.2	134.3
Giugno	7080	204.5	4.5	134.3
Luglio	7605	219.0	0.0	134.3
Agosto	7535	217.0	0.0	134.3
Settembre	7080	209.7	42.5	134.3
Ottobre	7316	220.0	87.0	134.3
Novembre	7080	224.0	147.5	134.3
Dicembre	7316	227.9	160.8	134.3
Media	*7240*	*217.5*	74.1	*134.3*

2.4.12.4.3 Stima dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico

Il caso studio esaminato, come descritto, presenta anche un impianto fotovoltaico con una potenza di picco di 3.2 kW. Per determinare la sua producibilità mensile teorica, in assenza di dati certi, si è fatto ausilio dello stesso codice di calcolo. Pe una corretta analisi e bilancio energetico, si è prima stimata l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico nelle condizioni reali. Il valore così calcolato è stato verificato congruentemente con i valori forniti; infatti, per il presente caso studio è stata resa disponibile anche l'energia immessa nella rete elettrica.
Attraverso il software di calcolo, si è quindi prima stimata l'energia elettrica prodotta in situ, questa è stata messa a confronto con quella effettivamente immessa in rete e in caso di esito positivo (ossia energia prodotta maggiore di quella immessa) si è stimata l'energia elettrica prodotta e consumata mensilmente. Una volta determinata l'energia consumata da fonte rinnovabile, essa è stata ripartita equamente in funzione dell'effettivo fabbisogno dei diversi servizi energetici, in caso contrario si è assunto un fabbisogno energetico dell'edificio pari a zero.
Il risultato è riportato in Tabella 264 da cui si evince come l'energia annuale prodotta dall'impianto sia di quasi 3800 kWh. La maggior parte dell'energia prodotta dall'impianto viene immessa nella rete (circa 2900 kWh) mentre solo poco meno del 24% viene effettivamente consumato in loco. Dall'analisi, si evince come l'energia richiesta dalla produzione di acqua calda e dal riscaldamento sia molto piccola, pertanto è presumibile che l'impianto copra prevalentemente il servizio di illuminazione e il consumo delle apparecchiature domestiche.
In virtù dei risultati ottenuti, si può affermare che l'impianto installato sia perfettamente in grado di coprire l'effettivo fabbisogno energetico richiesto per la produzione di acqua calda sanitaria e il riscaldamento. Non essendo possibile effettuare un'analisi più accurata, ad esempio medio oraria, per capire l'effettiva copertura energetica, si ritiene che assumere una copertura del 100% possa essere una assunzione coerente e/o con un errore accettabile in virtù anche dei bassi consumi energetici registrati.

Tabella 264. Energia ceduta e consumata prodotta dall'impianto fotovoltaico e energia richiesta per la copertura dei servizi energetici.

mese	*Fotovoltaico*			*Energia prelevata da rete [kWh]*	*Energia richiesta per servizio*	
	Producibilità [kWh]	*Energia ceduta [kWh]*	*Energia consumata [kWh]*		*Acqua calda sanitaria [kWh]*	*Riscaldamento [kWh]*
Gennaio	123	63	60	196	4	2
Febbraio	230	150	80	175	8	1
Marzo	265	197	68	184	9	1
Aprile	381	306	75	168	12	0
Maggio	447	377	70	159	15	0
Giugno	429	341	88	172	14	0
Luglio	514	438	76	169	17	0
Agosto	505	425	80	171	16	0
Settembre	358	283	75	185	12	0
Ottobre	280	200	80	177	9	0
Novembre	146	83	63	196	5	1
Dicembre	138	53	85	215	5	2
Totale	3816	2916	900	2167	126	7

2.4.12.4.4 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dagli utenti mediante il questionario; in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta.

L'analisi ha permesso di definire quindi le configurazioni di funzionamento dell'impianto di riscaldamento medio giornaliero ottimale, ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi: 7 giorni a settimana per 14 ore/giorno.
È stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 265); il servizio più energivoro è risultato il riscaldamento con il 72% del metano consumato, mentre l'incidenza sul consumo dello stesso vettore energetico dovuto al servizio di produzione di acqua calda sanitaria è del 24%. Relativamente al vettore energia elettrica si è stimato che il servizio più energivoro sia costituito dall'illuminazione e dall'uso di elettrodomestici, per i quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni.
Il risultato conseguito mediante anche il software di simulazione può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di metano calcolato con quello reale, si ottiene una discrepanza pari a +1.7% (Tabella 265). Questa difformità può essere considerata come un errore accettabile essendo inferiore al ±5% [15].
Infine, in Tabella 266 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo dei vettori energetici) derivanti dalle DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura MC_{APE-DE} che con l'approccio APE.

Tabella 265. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2020*	
	Metano [Nm³]	*Energia elettrica [kWh]*
*Cottura dei cibi**	15.5	0.0
Riscaldamento	297.4	0.0
Produzione di acqua calda sanitaria	100.0	0.0
Raffrescamento	-	0.0
*Illuminazione ed Elettrodomestici***	-	2167.0
Totale	412.9	2167.0
Bollette	419.9	2167.0
scostamento	1.7%	0.0%

** valore stimato e non restituito dal software di calcolo*
*** valore attribuito come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 266. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2020	Riscaldamento	3095	9	3104	33.8	0.1	33.9	297.4	0.0
	Acqua Calda Sanitaria	1040	1823	2863	11.4	19.9	31.3	100.0	0.0
	Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Globale	4135	1832	5967	45.2	20.0	65.2	397.4	0.0

2.4.12.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.12.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 267, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 105 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: i risultati più accurati si ottengono impiegando per il volume d'acqua un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI") o adottando il valore pari al 50% del consumo di bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI. Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wtot}) compresa tra il -10% al +34% (Figura 106);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wtot} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una sovrastima dell'indicatore con un errore relativo pari al 21% (Figura 106). Questo risultato è principalmente dovuto al fatto che probabilmente non tutto il calore prodotto dall'impianto viene effettivamente consumato. Infatti, se si ipotizzasse che il 50% dell'energia prodotta dall'impianto nei soli mesi estivi non venga consumata (quindi nel caso fosse prodotta in eccesso) il volume medio giornaliero di acqua si abbasserebbe sotto i 200 litri/giorno, determinando un errore del 10% tra il valore della DE e quello restituito dalla procedura MC_{APE-DE}.

Tabella 267. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento* 2020	*u.m.*
Tipologia di generatore		Generatore a condensazione + Solare Termico	[-]
Vettore energetico		Metano	[-]
Superficie utile dell'immobile		91.50	[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		13.33	[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		15.22	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	217.5	[litri/giorno]
	Convenzionale	402.9	[litri/giorno]
	Bolletta	236.0	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	159.7	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.859	[-]
	F_{Vw}	1.414	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	7.4	[kWh/m²]
	EP_{Wren}	12.4	[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	19.9	[kWh/m²]
	Energia elettrica	0.0	[kWh]

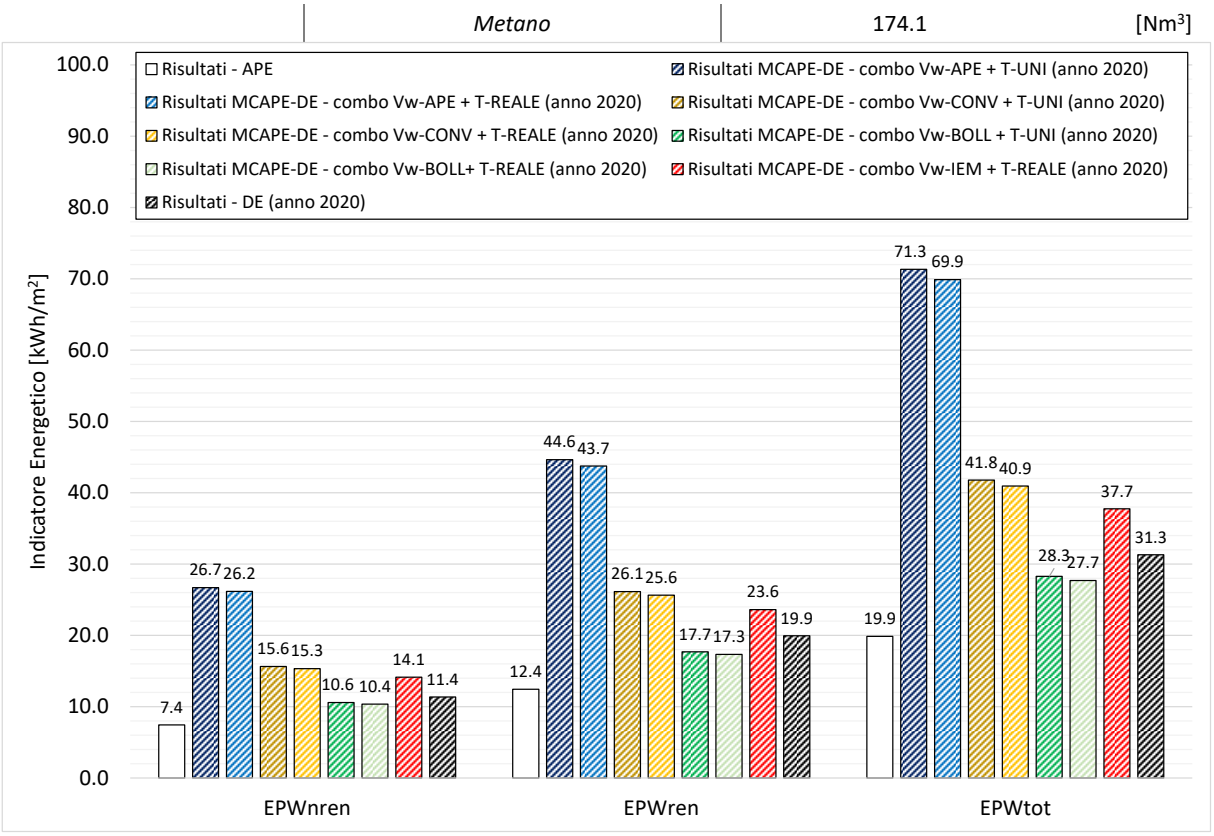


Figura 105. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC$_{APE-DE}$) per l'anno 2020.

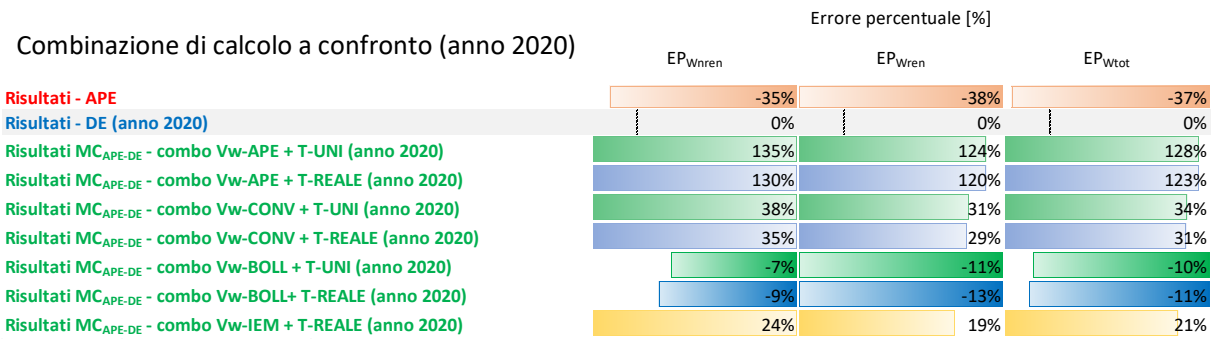


Figura 106. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC$_{APE-DE}$).

Come si evince, la metodologia MC$_{APE-DE}$ permette quindi di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. Al contrario, il calcolo APE tende a sovrastimare nettamente i risultati della DE con divergenze del -38%.

L'errore assoluto tra DE e MC$_{APE-DE}$ (Tabella 268), risulta essere sempre inferiore a ±6.5 kWh/m^2 per l'indicatore totale e dell'ordine di ±3.0 kWh/m^2 per l'indicatore non rinnovabile.

In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC$_{APE-DE}$ e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo "Vw-IEM + T-REALE" possa considerarsi come una delle più accurate.

Il risultato ottenuto dimostra quando sia fondamentale determinare con una buona approssimazione il volume d'acqua consumato per usi sanitari; in particolare, diventa rilevante stimare il contributo dell'impianto solare termico. In accordo con il lavoro svolto nel secondo anno, la procedura MC$_{APE-DE}$ può

essere applicata anche per la stima della producibilità del solar termico e conseguentemente il volume d'acqua compensato mensilmente. Questo ulteriore confronto è riportato rispettivamente in Figura 107 (producibilità dell'impianto solare termico) e in Figura 108 (volume di acqua calda sanitaria prodotta dall'impianto solare termico); in particolare si osservi come la procedura MC_{APE-DE} permetta di approssimare più correttamente la producibilità media mensile dell'impianto solare (errore relativo del 5.3%) permettendo di ottenere un volume di acqua calda più aderente a quello stimato nella DE (errore relativo del 9.6%). L'approccio APE, invece, determina una significativa sottostima del contributo del solare termico, e nello specifico del 38% per la producibilità e del quasi 50% in termini di volume di acqua calda.

Tabella 268. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*	
		Assoluto [kWh/m²]	*Relativo [%]*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	EP_{Wnren}	-6.69	-90.02
	EP_{Wren}	-11.19	-90.02
	EP_{Wtot}	-17.88	-90.02
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	EP_{Wnren}	-2.76	-24.24
	EP_{Wren}	-3.69	-18.51
	EP_{Wtot}	-6.44	-20.59

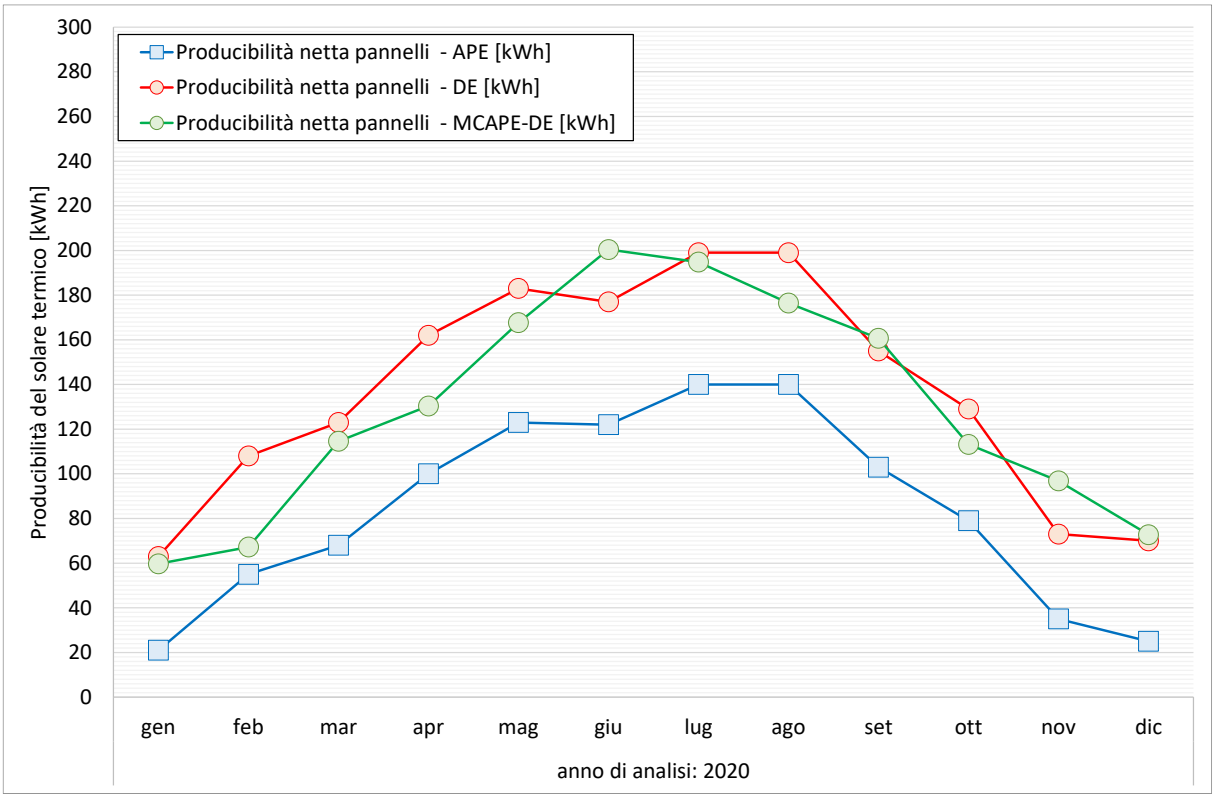


Figura 107. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto la producibilità del solare termico con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

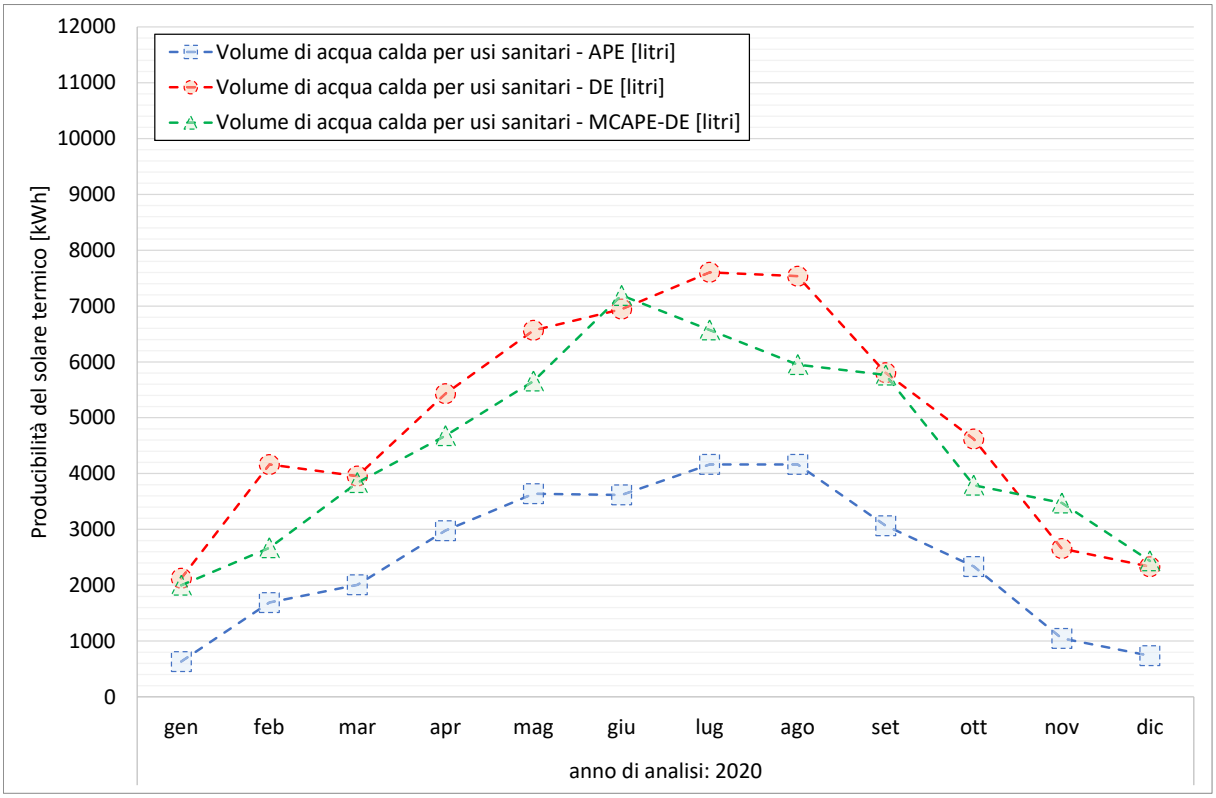


Figura 108. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto del volume di acqua calda sanitaria prodotto dal solare termico con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

2.4.12.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 269, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati in Figura 109 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra +4% e +19% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso del 17%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali, come era lecito attendersi in virtù di quanto descritto in 2.3.2, determina una sovrastima dei risultati delle DE (discrepanze dell'ordine del +19%). Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali.
Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 270, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del 4%). Per il presente caso studio, non essendo differente la temperatura di set-point fissata all'interno dell'abitazione con quella prevista da normativa, la correzione per il secondo fattore correttivo non porta alcuna miglioria.
In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, o reali ma corretti per il fattore F_{GG} la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

Tabella 269. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC$_{APE-DE}$.

Parametro di input		*Anno di riferimento 2020*	*u.m.*
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-3	[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore a condensazione	[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta	[-]
Vettore energetico principale		Metano	[-]
Potenza nominale del generatore		26.8	[kW]
Efficienza nominale del generatore		97.0	[%]
Superficie utile		91.50	[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2193	[GG]
Gradi Giorno – reali		1928	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		14.0	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.879	[-]
	F_{H-set}	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	48.1	[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	0.1	[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	48.2	[kWh/m^2]
	Energia elettrica	0.0	[kWh]
	Metano	422.6	[Nm^3]

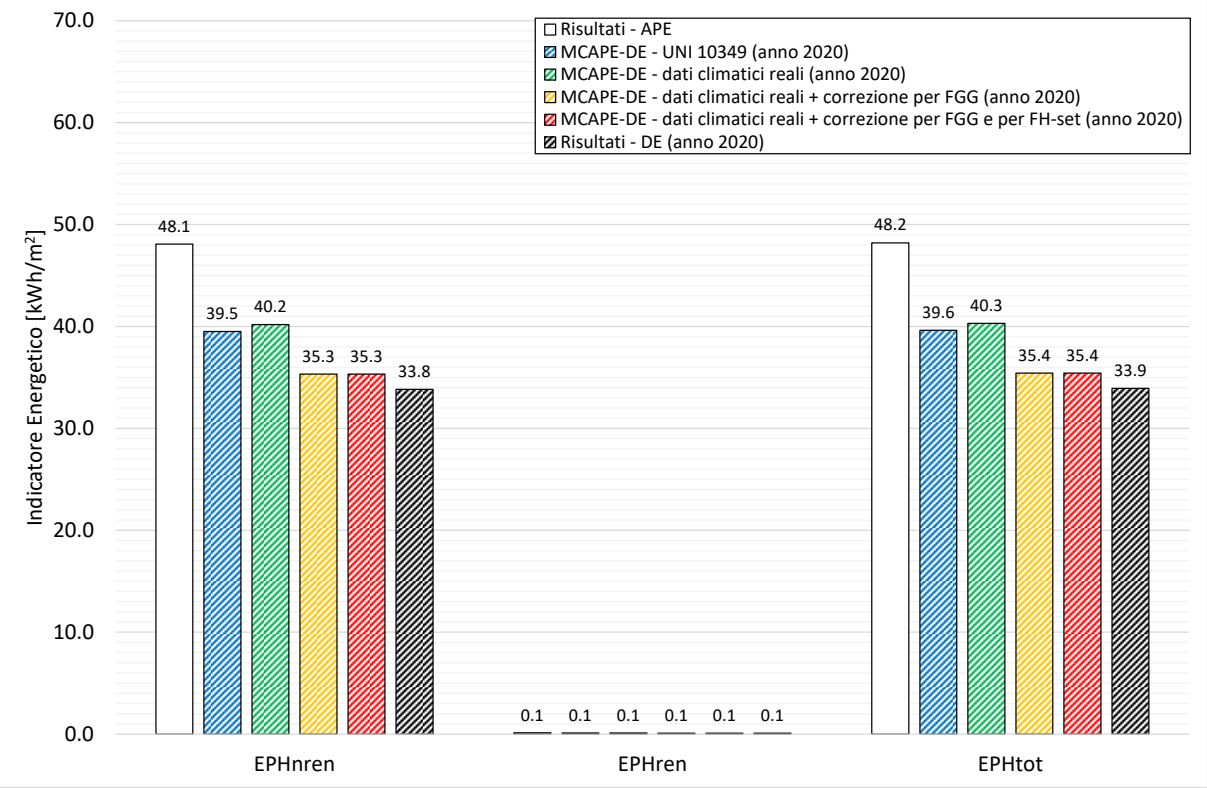


Figura 109. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC$_{APE-DE}$) per l'anno 2020.

Tabella 270. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*	
		Assoluto [kWh/m²]	*Relativo [%]*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	-5.69	-16.81
	EP_{Hren}	-0.01	-9.58
	EP_{Htot}	-5.70	-16.79
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-6.36	-18.81
	EP_{Hren}	-0.01	-11.45
	EP_{Htot}	-6.37	-18.79
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	-1.50	-4.44
	EP_{Hren}	0.00	2.03
	EP_{Htot}	-1.50	-4.42
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	-1.50	-4.44
	EP_{Hren}	0.00	2.03
	EP_{Htot}	-1.50	-4.42

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE, e di non considerare il contributo dell'impianto fotovoltaico.
I risultati, riportati in Tabella 271, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE. In particolare, si osservi come anche in caso informazioni poco accurate sull'orario di accensione dell'impianto, la metodologia avrebbe permesso di identificare un orario medio giornaliero (valore evidenziato in rosso) come quello più probabile.
Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 271. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} *[kWh/m²]*	EP_{Hren} *[kWh/m²]*	EP_{Htot} *[kWh/m²]*	*Consumo elettrico [kWh/anno]*	*Consumo metano [Nm³/anno]*
1	6.2	0.0	6.2	0.9	53.9
2	10.1	0.0	10.1	1.5	88.5
3	14.0	0.0	14.1	2.1	123.0
4	18.0	0.0	18.0	2.7	157.6
5	21.9	0.1	22.0	3.3	192.1
6	25.9	0.1	26.0	3.9	226.7
7	30.2	0.1	30.3	4.5	264.4
8	34.5	0.1	34.6	5.2	302.2
9	38.8	0.1	38.9	5.8	340.0
10	39.0	0.1	39.1	5.8	341.2
11	39.1	0.1	39.2	5.8	342.4
12	39.2	0.1	39.3	5.9	343.6
13	39.4	0.1	39.5	5.9	344.8
14	39.5	0.1	39.6	5.9	346.0
APE	58.6	0.1	58.7	14.9	513.5

2.4.12.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Il presente caso studio, come riportato in Tabella 256, non presenta il servizio energetico di raffrescamento; pertanto, non è stato possibile effettuare un confronto tra le tre metodologie di calcolo.

2.4.12.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi.

Il confronto dei consumi di metano restituiti dalle tre metodologie sono riportati in Figura 110; quelli di energia elettrica, invece, sono stati assunti pari a zero in virtù sia dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico che delle modeste quantità di energia consumate per i servizi analizzati. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.
Entrando più nel dettaglio, l'errore (rimarcato in Tabella 272) si attesta al -8% (pari a circa 31 Nm^3). I risultati evidenziano, invece, una significativa sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (pari a circa il 33%).
Gli esiti del confronto permettono quindi di confermare una buona affidabilità della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$.

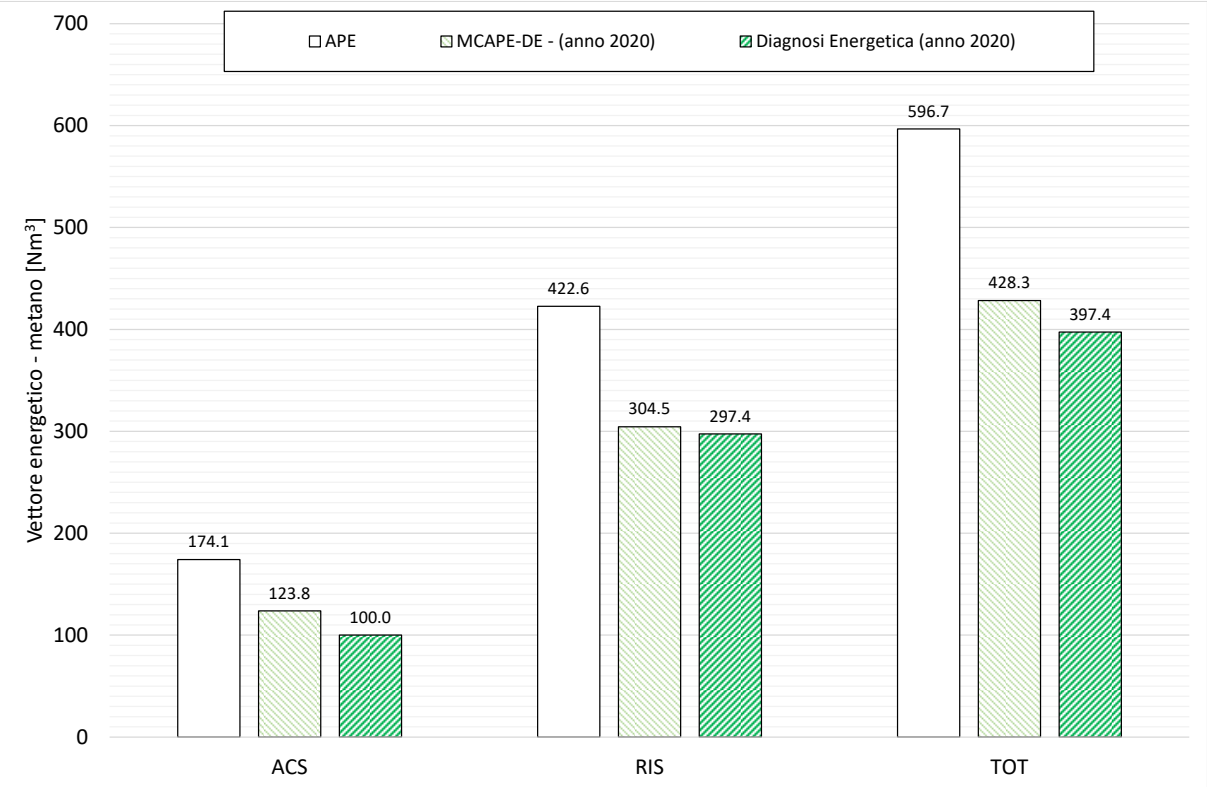


Figura 110. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$).

Tabella 272. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Metano	2020	-23.8	-7.1	0.0	-30.9	-23.8	-2.4	0.0	-7.8

2.4.13 Caso Studio n. 10 – E.1-10

Il decimo caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano primo di un piccolo edificio di recente costruzione. L'immobile è ubicato nel comune di Umbertide (PG), città della regione Umbria contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 273. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi all'anno 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questo anno di riferimento.
Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 274 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come il valore di temperatura medio annuale registrati nel 2020 (16.0 °C) sia superiore a quello fornito dalla UNI 10349 (14.3 °C) di circa 2°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra le condizioni climatiche di input impiegati per le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 273. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Umbertide
	Altitudine [10]	247 m s.l.m.
	Latitudine	43° 18'
	Longitudine	12° 19'
	Gradi Giorno [10]	2192
	Zona climatica [10]	E
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	2.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	29.6
	Temperatura di bulbo umido [°C]	19.1
	Escursione termica giornaliera [°C]	10.0
	Umidità relativa [%]	37.6

Tabella 274. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*		*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²][1, A e B]*
	Normativa [1,A]	*2020 [2,B]*	
Gennaio	5.4	8.4	4.8
Febbraio	6.6	9.8	10.1
Marzo	9.4	10.2	11.6
Aprile	13	13.1	18.1
Maggio	18.4	18.5	21.5
Giugno	21.2	23.9	21.8
Luglio	25.2	25.7	25.0
Agosto	25.3	28.0	23.5
Settembre	18.8	24.3	16.3
Ottobre	14.3	13.5	11.4
Novembre	9.8	10.4	5.9
Dicembre	4.6	6.4	5.1
Media annua	14.3	16.0	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "Umbertide" - coordinate geografiche 43.3116666 e 12.3472222, quota 304 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.13.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 275) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 111).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, il caso studio è caratterizzato da due tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno e una seconda tipologia (M2) che divide l'ambiente riscaldato dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.50. Il solaio inferiore (S_i1) separa la zona climatizzata da un'altra unità immobiliare (zona riscaldata) così come il solaio superiore (S_s1) che confina con una seconda unità immobiliare.

Tabella 275. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	Fine 2018	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	3	[-]
Piano del caso studio	Primo	[-]
Altezza media vani	2.70	[m^2]
Superficie utile climatizzata	105.3	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	129.65	[m^2]
Volume netto climatizzato	284.31	[m^3]
Volume lordo climatizzato	398.03	[m^3]
Superficie disperdente	146.66	[m^2]
Rapporto S/V	0.37	[m^{-1}]

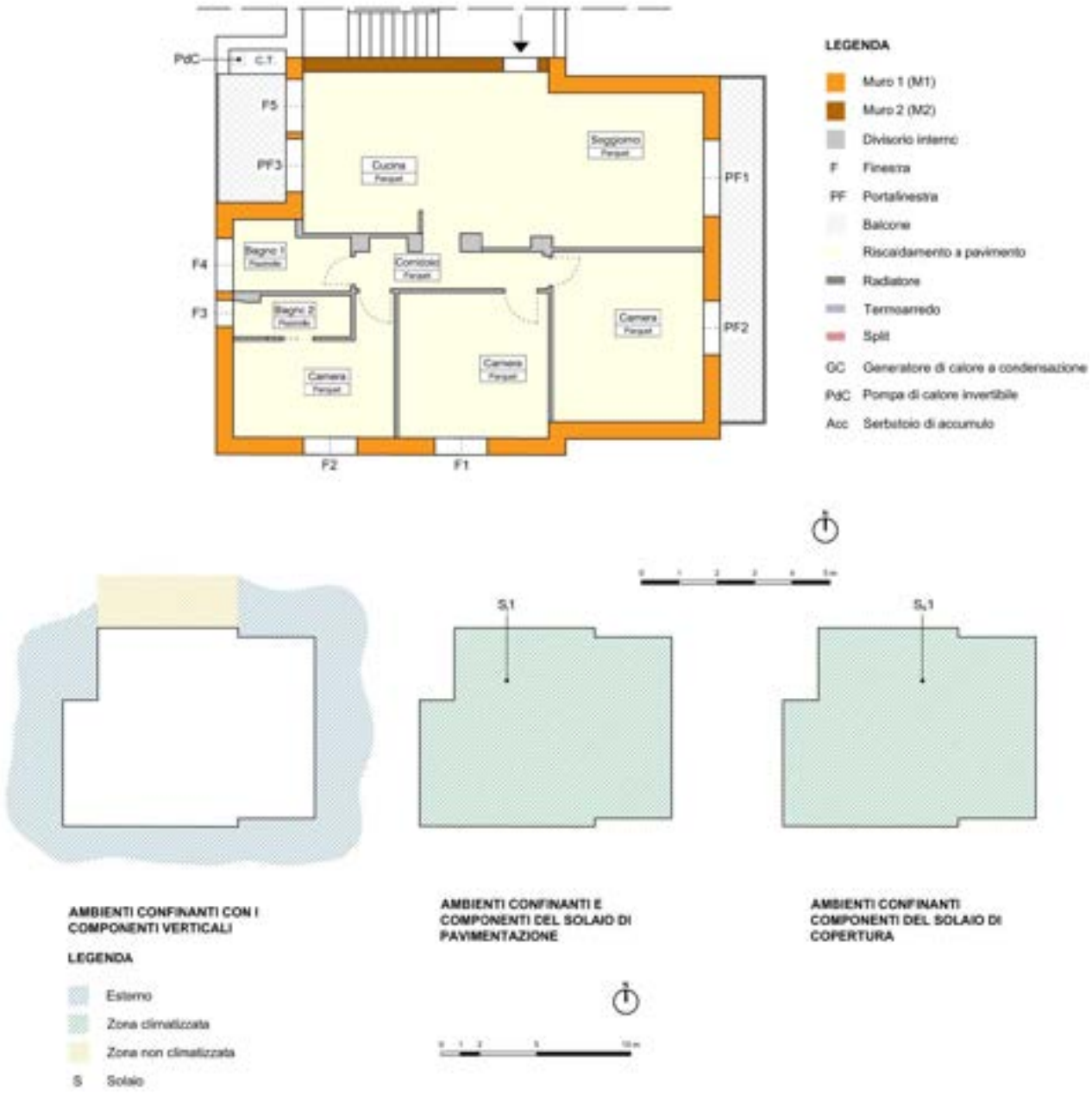


Figura 111. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (travi e pilastri), con tamponature in laterizio e cappotto esterno, mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 23 + 5 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 276 a Tabella 280 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza. Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.
In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 281) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 282) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 276. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Blocco Superpor	300	0.100	2.997
3	Polistirene grafitato	120	0.032	3.750
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	6.960
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.144	

Tabella 277. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Blocco Superpor	300	0.100	2.997
3	Polistirene grafitato	120	0.032	3.750
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	6.960
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.144	

Tabella 278. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Blocco Superpor	350	0.069	5.007
3	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Zona non riscaldata		-	-	0.130
Totale		390	-	5.325
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.188	

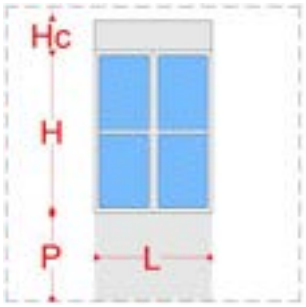
Tabella 279. Stratigrafia del solaio inferiore S_i1 confinante verso una zona riscaldata.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Pavimentazione in legno	10	0.120	0.083
2	Massetto per pannelli radianti	50	1.800	0.028
3	Isolante	20	0.033	0.606
4	Calcestruzzo armato	50	2.500	0.020
5	Soletta in laterizio	230	0.500	0.460
6	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.170
Totale		370	-	1.551
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.645	

Tabella 280. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'altra unità abitativa.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.100
1	*Pavimentazione in legno*	10	0.120	0.083
2	*Massetto per pannelli radianti*	50	1.800	0.028
3	*Isolante*	20	0.033	0.606
4	*Calcestruzzo armato*	50	2.500	0.020
5	*Soletta in laterizio*	230	0.500	0.460
6	*Intonaco di calce e gesso*	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		370	-	1.411
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.708	

Tabella 281. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.



Infisso	*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
	L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
PF01	2.00	2.40	0.00	0.00	4.80	2.91	1.200
PF02	1.40	2.40	0.00	0.00	3.36	2.08	1.200
F01	1.40	1.40	1.00	0.00	1.96	1.08	1.200
F02	1.40	1.40	1.00	0.00	1.96	1.08	1.200
F03	0.70	1.40	1.00	0.00	0.98	0.54	1.200
F04	1.40	1.40	1.00	0.00	1.96	1.08	1.200
PF03	1.40	2.40	0.00	0.00	3.36	2.08	1.200
F05	1.40	1.40	1.00	0.00	1.96	1.08	1.200

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 282. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete– telaio	0.052
IF – parete– solaio di interpiano (con zona riscaldata)	0.005
C – angolo tra pareti (sporgente)	-0.039
C – angolo tra pareti (rientrante)	0.012
B – Parete – Balcone	0.307

Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di un generatore a pompa di calore, installato come evidenziato in Figura 111, per la copertura dei servizi energetici di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Il sistema è inoltre integrato da un impianto fotovoltaico di potenza di picco da 1.8 kW. Il calore prodotto viene immesso a bassa temperatura (32°C) attraverso i pannelli radianti a pavimento e regolato mediante cronotermostato di zona.
Le caratteristiche tecniche della pompa di calore sono riassunte in Tabella 283, le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 284, mentre quelle dell'impianto fotovoltaico sono mostrate in Tabella 285.

Tabella 283. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Vitocal 100.A06*
Combustibile	Energia elettrica
Potenza nominale a 7°C esterni e 35°C interni [kW]	6.08
Coefficiente di prestazione (COP) a 7°C esterni e 35°C interni [-]	4.51

Tabella 284. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	×
Generatore di calore		Pompa di calore	Pompa di calore	n.d.
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	n.d.
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	n.d.
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	n.d.
	Tubazioni	Incassate nel pavimento	Incassate nel pavimento	n.d.
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	n.d.
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in acciaio	n.d.
	T esercizio	40 °C [4]	32 °C	n.d.
	ΔT	-	27 °C	n.d.
	Valvole	-	Testine al collettore	n.d.
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona	n.d.
	Caratteristiche	-	Azione proporzionale + climatica	n.d.

Tabella 285. Principali caratteristiche dei sistemi di integrazione: fotovoltaico.

Modello	*X22-360*
Numero di pannelli	5
Superficie netta singolo pannello [m^2]	1.54
Potenza di picco del singolo pannello [W]	360
Efficienza nominale del singolo pannello [%]	0.23
Potenza di picco [W]	1800
Fattore di efficienza [-]	0.75
Orientamento rispetto al Sud [°]	-45.0
Inclinazione rispetto al piano orizzontale [°]	17.0

2.4.13.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative al 2020 sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dagli utenti) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato abitato da un nucleo familiare costituito da quattro persone per un totale di 344 giorni, quindi, abbastanza congruente con quello standard previsto nella valutazione asset (APE).

I consumi di acqua ed energia elettrica acquisiti per il 2020, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza dell'utente, sono riassunti in Tabella 286.

Tabella 286. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nell'anno di analisi (2020).

Mese	*Anno 2020*		
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*
Gennaio	31	18352	235
Febbraio	29	17168	217
Marzo	31	19463	215
Aprile	30	18835	196
Maggio	31	19463	155
Giugno	30	18835	162
Luglio	20	12557	157
Agosto	20	12557	152
Settembre	30	17334	176
Ottobre	31	17912	186
Novembre	30	17688	211
Dicembre	31	18278	227
Totale	344	208442	2289

2.4.13.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 112 e Tabella 287) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica A4 con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 1.12 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di energia elettrica di 60 kWh/anno per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 286), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

Figura 112. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 287. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	55	866	921	0.5	8.2	8.7	0.0	28.2
Acqua Calda Sanitaria	62	1735	1797	0.6	16.5	17.1	0.0	31.8
Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Globale	117	2601	2718	1.1	24.7	25.8	0.0	60.0

2.4.13.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre un'unica DE, relativa all'anno 2020; come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 221, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.13.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
2. Stima dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

A differenza degli altri casi, quindi, non è stato determinato un fabbisogno energetico legato all'impianto a induzione ricomprendendo il suo consumo all'interno delle apparecchiature domestiche.

2.4.13.4.1 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dall'utente mediante questionario (Tabella 288), da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari ($V_{W\text{-}acs}$) di 87 l/giorno per persona.
Sulla base di quanto emerso nei casi studio precedenti, si è ritenuto plausibile anche in questo caso ipotizzare un consumo di acqua calda non costante ma calante con l'aumentare della temperatura esterna, ossia nei mesi estivi. Non essendo possibile effettuare una valutazione più accurata, e in mancanza di informazioni certe, si è deciso di applicare un coefficiente correttivo del volume desunto sulla base delle precedenti diagnosi energetiche condotte in contesti climatici analoghi; in particolare, prendendo in esame i casi studio della medesima regione, è possibile osservare (Figura 113) come il volume d'acqua per usi igienici sanitari sia variato nei mesi più caldi anche fino anche ad un 20% di quello stimato in inverno; il trend calante per la zona climatica esaminata (zona E) inizia ad aprile fino a luglio per poi ricrescere fino ad ottobre. In quest'ottica è stato definito un coefficiente correttivo medio pesato per ogni mese dell'anno (serie indicata con "media" di Figura 113) al fine di ridurre il volume di acqua calda sanitaria richiesto nei mesi estivi.
Il consumo di acqua calda sanitaria finale calcolato per il presente caso studio è mostrato in Figura 114 (già comprensivo del coefficiente riduttivo) da cui si evince che il valore stimato è coerente con il valore dichiarato nella bolletta.
In accordo con i risultati ottenuti, si evince che circa il 40% del consumo di acqua di bolletta è stato destinato ai soli usi sanitari, valore coerente con i casi fin qui esaminati.

Tabella 288. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo per utente [%]*				*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato per utente [l/giorno·persona]*			
		n. 1	*n. 2*	*n. 3*	*n. 4*		*n. 1*	*n. 2*	*n. 3*	*n. 4*
Doccia	1	100	100	100	100	60	60	60	60	60
Lavabo	2	50	50	50	50	12	12	12	12	12
Bidet	2	50	50	50	50	10	10	10	10	10
Vasca da bagno	1	0	0	0	0	200	0	0	0	0
Lavello da cucina	1	50	50	0	0	20	10	10	0	0
Totale	7	-	-	-	-	-	92	92	82	82

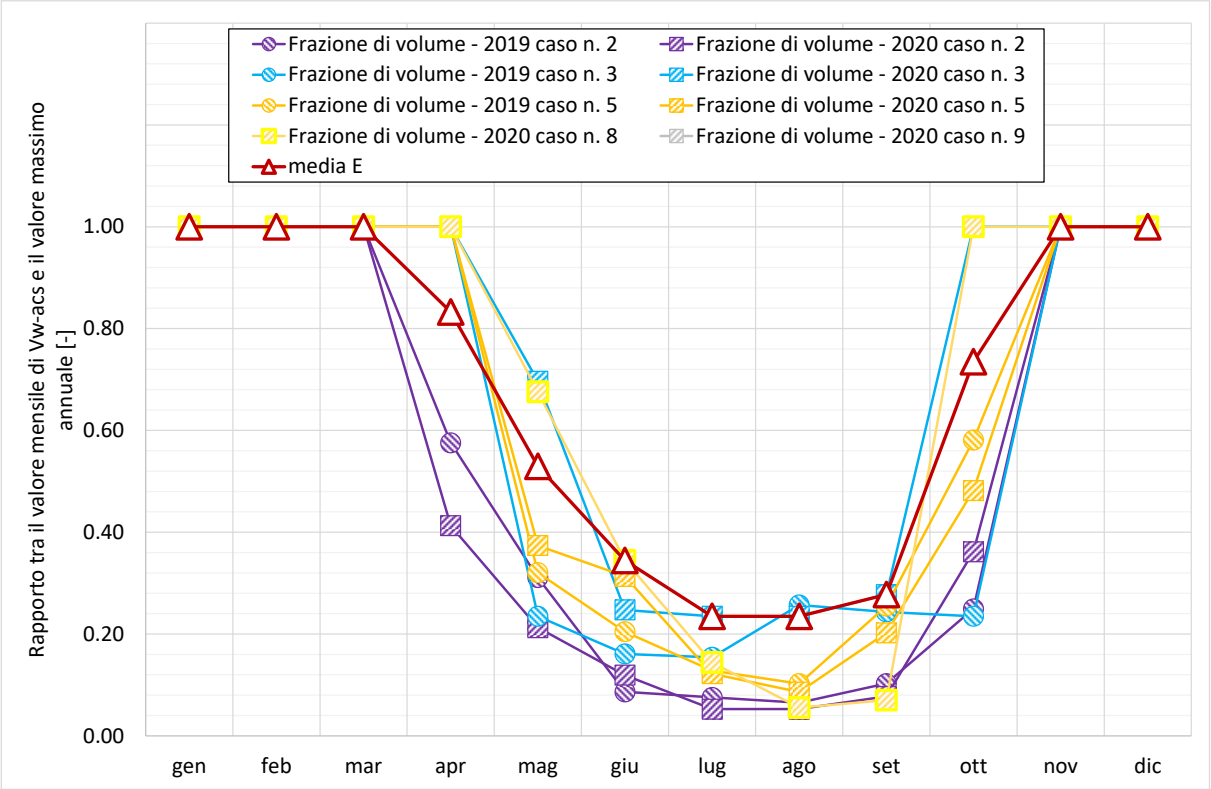


Figura 113. Definizione del coefficiente correttivo per la stima del volume di acqua calda per usi sanitari nei mesi più caldi.

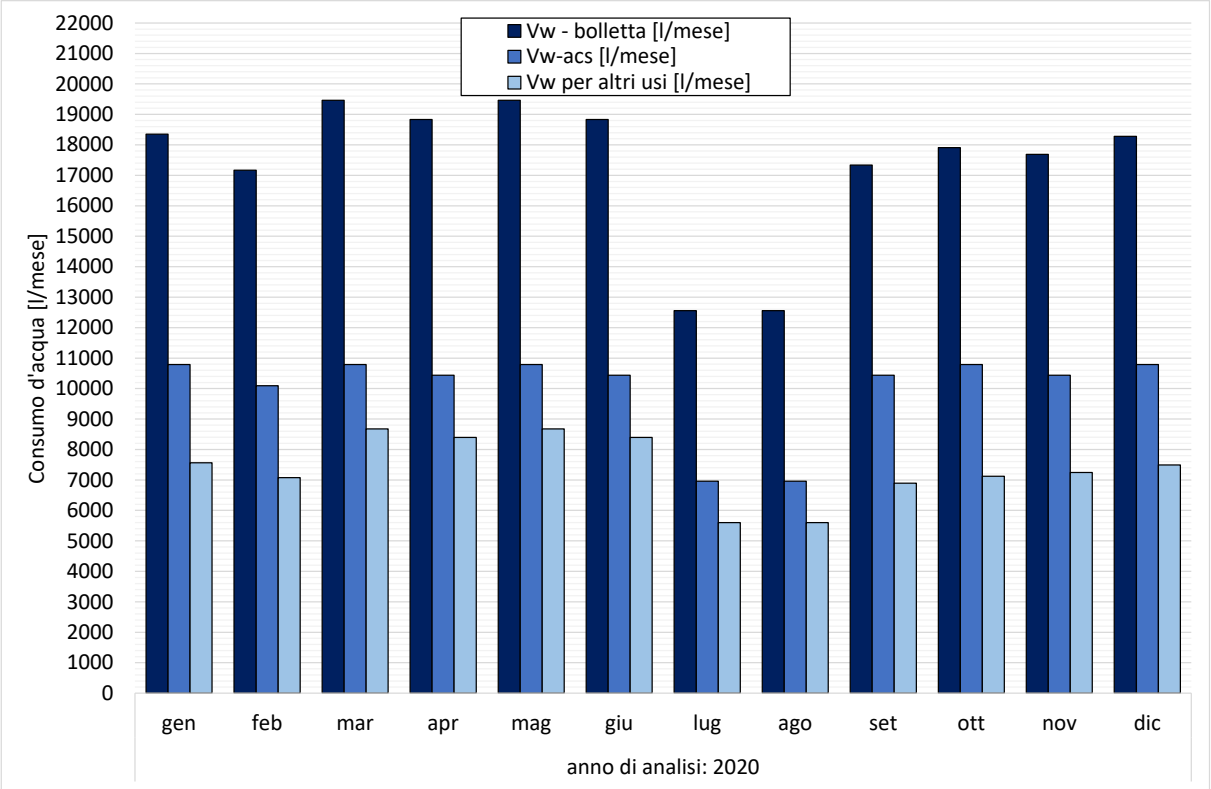


Figura 114. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dall'utente; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}, il volume di V_{W-acs} stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata (MC_{APE-DE}) è richiesto il valore giornaliero medio annuale. I valori sono dettagliati in Tabella 289 messi a confronto con quelli stimati applicando il calcolo standard (APE). Risulta importante evidenziare come il valore stimato con l'approccio APE sia quasi la metà di quello individuato nella DE.

Tabella 289. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	10788	348.0	149.0
Febbraio	10092	348.0	149.0
Marzo	10788	348.0	149.0
Aprile	8693	348.0	149.0
Maggio	5710	348.0	149.0
Giugno	3597	348.0	149.0
Luglio	1635	224.5	149.0
Agosto	1635	224.5	149.0
Settembre	2897	348.0	149.0
Ottobre	7928	348.0	149.0
Novembre	10440	348.0	149.0
Dicembre	10788	348.0	149.0
Media	*7083*	*327.4*	*149.0*

2.4.13.4.2 Stima dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico

determinare la sua producibilità mensile teorica dell'impianto fotovoltaico, in assenza di dati certi, si è fatto ausilio del codice di calcolo certificato che ha permesso di effettuare una stima media mensile dell'energia prodotta nelle condizioni climatiche reali. Per il presente caso studio è stato necessario fare l'assunzione che il valore calcolato sia effettivamente l'energia prodotta dall'impianto nel 2020.
Il risultato, riportato in Tabella 290, evidenzia come l'energia annuale prodotta dall'impianto sia di poco più 2100 kWh, mentre quella prelevata dalla rete è di quasi 2300 kWh.

Tabella 290. Energia prodotta dall'impianto fotovoltaico e energia prelevata da rete.

mese	*Producibilità del fotovoltaico [kWh]*	*Energia prelevata da rete [kWh]*	*Energia consumata massima teorica [kWh]*
Gennaio	69	235	304
Febbraio	129	217	346
Marzo	148	215	363
Aprile	213	196	409
Maggio	250	155	405
Giugno	241	162	403
Luglio	288	157	445
Agosto	283	152	435
Settembre	200	176	376
Ottobre	57	186	243
Novembre	82	211	293
Dicembre	78	227	305
Totale	2038	2289	4327

2.4.13.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dagli utenti mediante il questionario; in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta.
L'analisi ha permesso di definire quindi le configurazioni di funzionamento dell'impianto di riscaldamento medio giornaliero ottimale, ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi: 7 giorni a settimana per 14 ore/giorno.
È stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 291); il servizio più energivoro è costituito dall'illuminazione e dall'uso di elettrodomestici, per i quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni. Il riscaldamento presenta un consumo di energia elettrica inferiore all'1% mentre la produzione di acqua calda sanitaria risulta essere pari al 5.2%.
Si precisa che, ai fini della definizione del presente inventario energetico, la ripartizione dell'impianto fotovoltaico è stata effettuata in funzione dell'effettivo fabbisogno energetico, dando precedenza ai servizi di riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria essendo l'impianto dotato un serbatoio di accumulo a servizio di entrambi i servizi. In virtù della presente configurazione impiantistica, si è fatta l'assunzione che l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico venga prima destinata per i principali servizi energetici analizzati, mentre il restante è a copertura dell'illuminazione e delle apparecchiature domestiche. Questa assunzione potrebbe influire sulla reale ripartizione dei consumi energetici; tuttavia, è stata necessaria in assenza di informazioni certe. Si precisa, inoltre, che la stessa ripartizione è effettuata anche nel calcolo standard nel quale non si considerano altri servizi energetici; pertanto, l'assunzione fatta permette di annullare un ulteriore differenza tra APE e DE, rendendo applicabile la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ e confrontabili i risultati ottenuti. L'inventario energetico definito per il presente caso studio, non essendo possibile effettuare un'analisi più accurata, è stato quindi considerato come plausibile per la casistica analizzata.
Infine, in Tabella 292 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo dei vettori energetici) derivanti dalle DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ che con l'approccio APE.

Tabella 291. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2020*
	Energia elettrica [kWh]
Riscaldamento	11.8
Produzione di acqua calda sanitaria	119.0
Raffrescamento	0.0
*Illuminazione ed Elettrodomestici***	2158.2
Totale	2289.0
Bollette	2289.0
scostamento	0.0%

** valore attribuito come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 292. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2020	Riscaldamento	23	196	219	0.22	1.86	2.08	0.00	11.79
	Acqua Calda Sanitaria	232	2959	3191	2.20	28.10	30.30	0.00	118.97
	Raffrescamento	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Illuminazione	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Globale	255	3155	3410	2.42	29.96	32.38	0.00	130.77

2.4.13.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.13.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 293, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 115 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: i risultati più accurati si ottengono impiegando per il volume d'acqua un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI") o adottando il calcolo standard (combo "Vw-APE + T-UNI). Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wnren}) compresa tra il -36% al +27% (Figura 116);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wnren} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari a -27% (Figura 116).

Tabella 293. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento* 2020	*u.m.*
Tipologia di generatore		Pompa di calore	[-]
Vettore energetico		Energia elettrica	[-]
Superficie utile dell'immobile		105.30	[m^2]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		14.33	[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		16.02	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	327.4	[litri/giorno]
	Convenzionale	560.3	[litri/giorno]
	Bolletta	327.1	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	284.8	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.883	[-]
	F_{Vw}	1.416	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	0.6	[kWh/m^2]
	EP_{Wren}	16.5	[kWh/m^2]
	EP_{Wtot}	17.1	[kWh/m^2]
	Energia elettrica	31.8	[kWh]

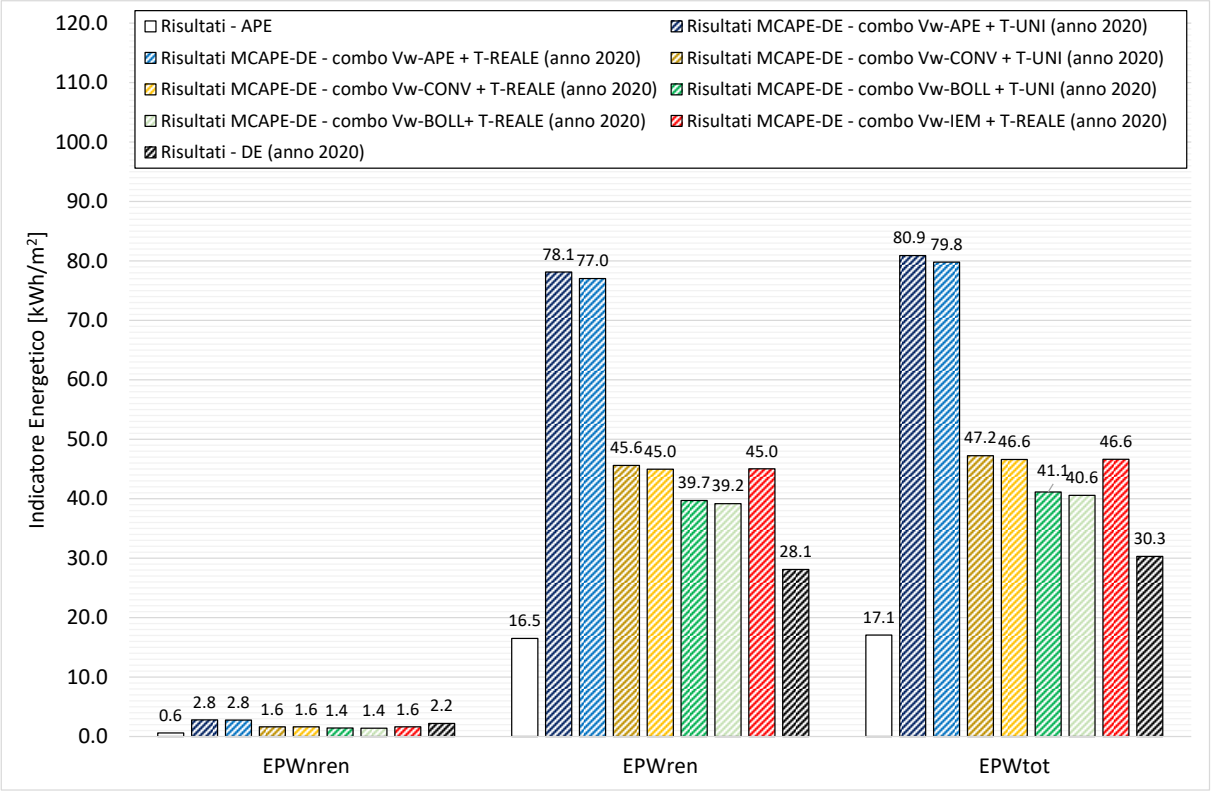


Figura 115. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

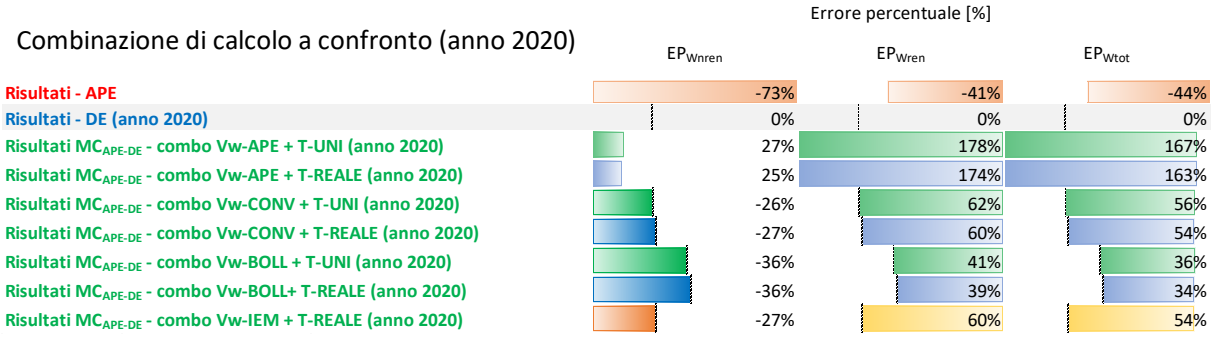


Figura 116. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. Al contrario, il calcolo APE tende a sovrastimare nettamente i risultati della DE con divergenze che variano da un minimo del -73% (indicatore EP_{Wnren}) ad un massimo di -41%% (indicatore EP_{Wren}).
La divergenza maggiore è stata riscontrata per l'indicatore rinnovabile (EP_{Wren}) e per quello totale con tutte le metodologie di calcolo; questa è principalmente legato al contributo rinnovabile che, in tutte le combinazioni analizzate, presenta discrepanze ben più marcate del contributo non rinnovabile. Questo è dovuto al fatto che il contributo rinnovabile della pompa di calore dipende da molteplici fattori non approssimabili in maniera completamente corretta dalla presente procedura. È tuttavia importante ricordare che l'errore che si commette su tale contributo risulta trascurabile per gli scopi preposti perché non inficia direttamente la stima finale dell'energia elettrica consumata.
Inoltre, come evidenziato in Tabella 294, l'errore assoluto riscontrato per l'indicatore non rinnovabile tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±1.0 kWh/m^2.

In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE.
In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, tutte e tre le metodologie sembrano restituire un indicatore non rinnovabile più aderente al valore di DE; si tiene a precisare, comunque, che qualsiasi valutazione conclusiva sulla combinazione di calcolo più idonea da adottare dovrà tener presente anche della peculiarità del caso studio indagato. Infatti, come più volte riportato, esso è caratterizzato da profili occupazionali molto specifici che hanno determinato un consumo molto basso di entrambi i vettori energetici.

Tabella 294. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*	
		Assoluto [kWh/m²]	*Relativo [%]*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	EP_{Wnren}	-1.02	-173.23
	EP_{Wren}	-28.54	-173.23
	EP_{Wtot}	-29.56	-173.23
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	EP_{Wnren}	0.59	26.98
	EP_{Wren}	-16.92	-60.21
	EP_{Wtot}	-16.32	-53.87

2.4.13.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 295, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati in Figura 117 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra -27% e -17% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso del -21%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali, come era lecito attendersi in virtù di quanto descritto in 2.3.2, determina un risultato più elevato (discrepanze dell'ordine del -17%). Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali; tuttavia, nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 296, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad aumentare fino ad -27%. Inoltre, per il presente caso studio, non essendo differente la temperatura di set-point fissata all'interno dell'abitazione con quella prevista da normativa, la correzione per il secondo fattore correttivo non porta alcuna miglioria.
Le differenze trovate sembrerebbero non trascurabili; tuttavia, se si analizza l'errore assoluto (Tabella 296) si può facilmente osservare come questo sia sempre inferiore a ±0.001 kWh/m^2, quindi perfettamente trascurabile.
In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, o reali ma corretti per il fattore F_{GG} la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

Tabella 295. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC$_{APE-DE}$.

Parametro di input		*Anno di riferimento 2020*	*u.m.*
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-3	[-]
Tipologia del generatore di calore		Pompa di calore	[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Bassa	[-]
Vettore energetico principale		Energia elettrica	[-]
Potenza nominale del generatore		6.10	[kW]
Efficienza nominale del generatore		4.50	[%]
Superficie utile		105.30	[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2192	[GG]
Gradi Giorno – reali		1912	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		14.0	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.872	[-]
	F_{H-set}	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	0.5	[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	8.2	[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	8.7	[kWh/m^2]
	Energia elettrica	28.2	[kWh]

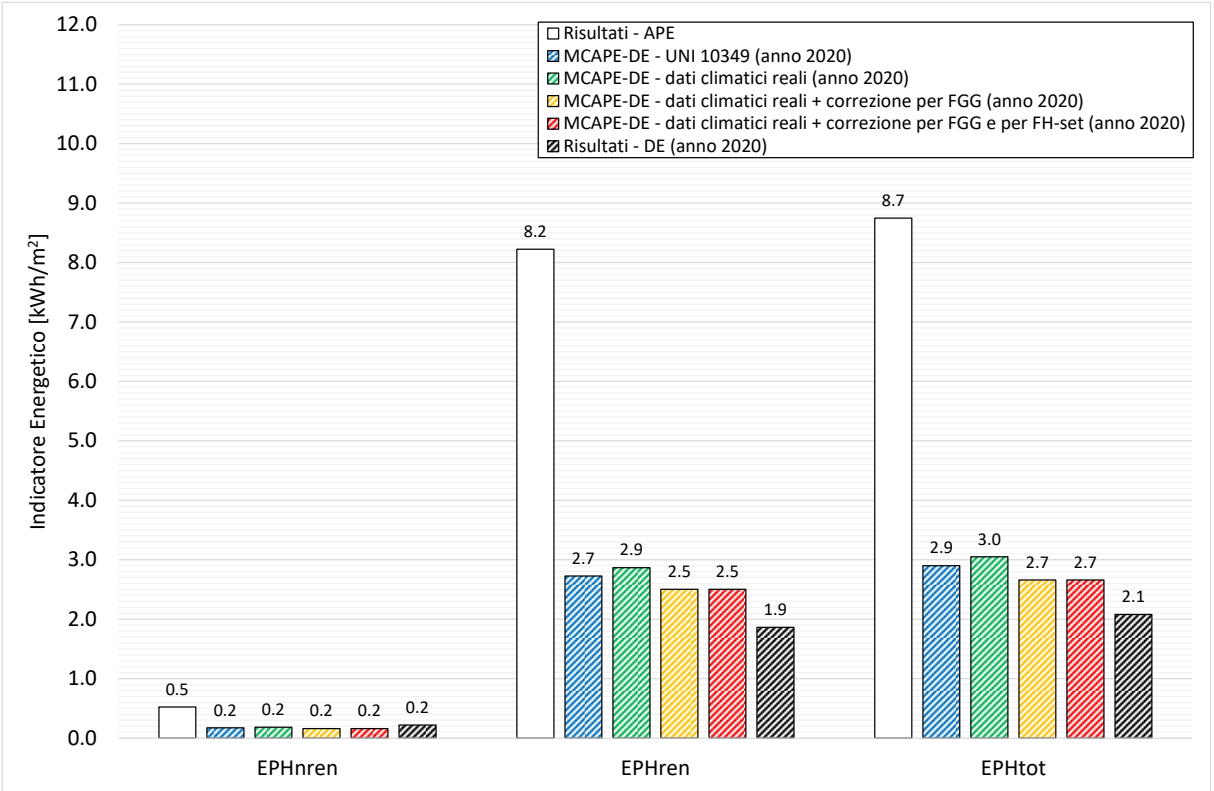


Figura 117. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC$_{APE-DE}$) per l'anno 2020.

Tabella 296. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*	
		Assoluto [kWh/m²]	*Relativo [%]*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	0.05	20.71
	EP_{Hren}	-0.87	-46.50
	EP_{Htot}	-0.82	-39.44
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	0.04	16.64
	EP_{Hren}	-1.01	-54.02
	EP_{Htot}	-0.97	-46.60
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	0.06	27.27
	EP_{Hren}	-0.64	-34.37
	EP_{Htot}	-0.58	-27.90
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	0.06	27.27
	EP_{Hren}	-0.64	-34.37
	EP_{Htot}	-0.58	-27.90

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.
I risultati, riportati in Tabella 243, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE.
Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 297. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} [kWh/m²]	EP_{Hren} [kWh/m²]	EP_{Htot} [kWh/m²]	*Consumo elettrico [kWh/anno]*
1	0.0	0.2	0.2	0.01
2	0.0	0.3	0.3	0.01
3	0.0	0.4	0.5	0.01
4	0.0	0.6	0.6	0.02
5	0.0	0.7	0.7	0.02
6	0.1	0.8	0.9	0.03
7	0.1	0.9	1.0	0.03
8	0.1	1.1	1.2	0.04
9	0.1	1.2	1.3	0.04
10	0.1	1.3	1.3	0.04
11	0.1	1.3	1.4	0.04
12	0.1	1.3	1.4	0.04
13	0.1	1.4	1.4	0.04
14	0.1	1.4	1.5	0.05
APE	0.5	8.2	8.7	28.2

2.4.13.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Il presente caso studio, come riportato in Tabella 284, non presenta il servizio energetico di raffrescamento; pertanto, non è stato possibile effettuare un confronto tra le tre metodologie di calcolo.

2.4.13.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-}Inventario\ Energetico\ media}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi.

Il confronto dei consumi di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati in Figura 118. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE. Entrando più nel dettaglio, l'errore (rimarcato in Tabella 298) risulta essere pari al 27% corrispondete ad una differenza di circa 35 kWh. I risultati evidenziano, invece, una significativa sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (pari a circa il 107%).
Gli esiti del confronto permettono quindi di confermare una buona affidabilità della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$.

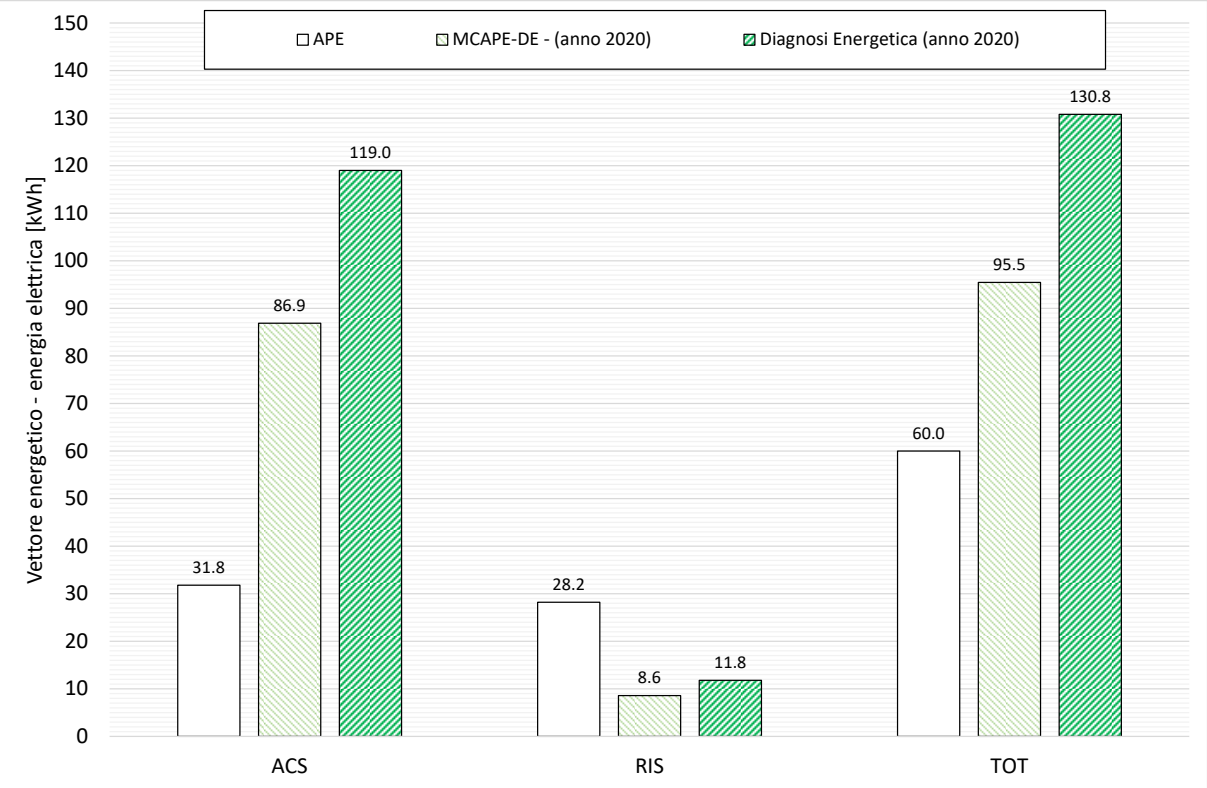


Figura 118. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e $MC_{APE\text{-}DE}$).

Tabella 298. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	Anno di analisi	Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]				Errore Relativo per servizio energetico [%]			
		ACS	RIS	RAFF	TOT	ACS	RIS	RAFF	TOT
Energia elettrica	2020	32.1	3.2	0.0	35.3	27.0	27.3	0.0	27.0
Metano	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2.4.14 Caso Studio n. 11 – E.1-11

L'undicesimo caso studio afferisce alla categoria E.1 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano secondo di un piccolo edificio di recente costruzione. L'immobile è ubicato nel comune di Umbertide (PG), città della regione Umbria contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 299. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi all'anno 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questo anno di riferimento.
Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 300 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come il valore di temperatura medio annuale registrati nel 2020 (16.0 °C) sia superiore a quello fornito dalla UNI 10349 (14.3 °C) di circa 2°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra le condizioni climatiche di input impiegati per le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 299. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Umbertide
	Altitudine [10]	247 m s.l.m.
	Latitudine	43° 18'
	Longitudine	12° 19'
	Gradi Giorno [10]	2192
	Zona climatica [10]	E
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	2.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	29.6
	Temperatura di bulbo umido [°C]	19.1
	Escursione termica giornaliera [°C]	10.0
	Umidità relativa [%]	37.6

Tabella 300. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*		*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²][1, A e B]*
	Normativa [1,A]	*2020 [2,B]*	
Gennaio	5.4	8.4	4.8
Febbraio	6.6	9.8	10.1
Marzo	9.4	10.2	11.6
Aprile	13	13.1	18.1
Maggio	18.4	18.5	21.5
Giugno	21.2	23.9	21.8
Luglio	25.2	25.7	25.0
Agosto	25.3	28.0	23.5
Settembre	18.8	24.3	16.3
Ottobre	14.3	13.5	11.4
Novembre	9.8	10.4	5.9
Dicembre	4.6	6.4	5.1
Media annua	14.3	16.0	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "Umbertide" - coordinate geografiche 43.3116666 e 12.3472222, quota 304 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.14.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 301) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 119).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, il caso studio è caratterizzato da due tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno e una seconda tipologia (M2) che divide l'ambiente riscaldato dal vano scale, a cui si è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.50. Il solaio inferiore (S_i1) separa la zona climatizzata da un'altra unità immobiliare (zona riscaldata) così come il solaio superiore (S_s1) che confina verso l'esterno.

Tabella 301. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	Fine 2018	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	3	[-]
Piano del caso studio	Secondo	[-]
Altezza media vani	2.70	[m^2]
Superficie utile climatizzata	105.3	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	129.65	[m^2]
Volume netto climatizzato	356.5	[m^3]
Volume lordo climatizzato	489.61	[m^3]
Superficie disperdente	289.58	[m^2]
Rapporto S/V	0.59	[m^{-1}]

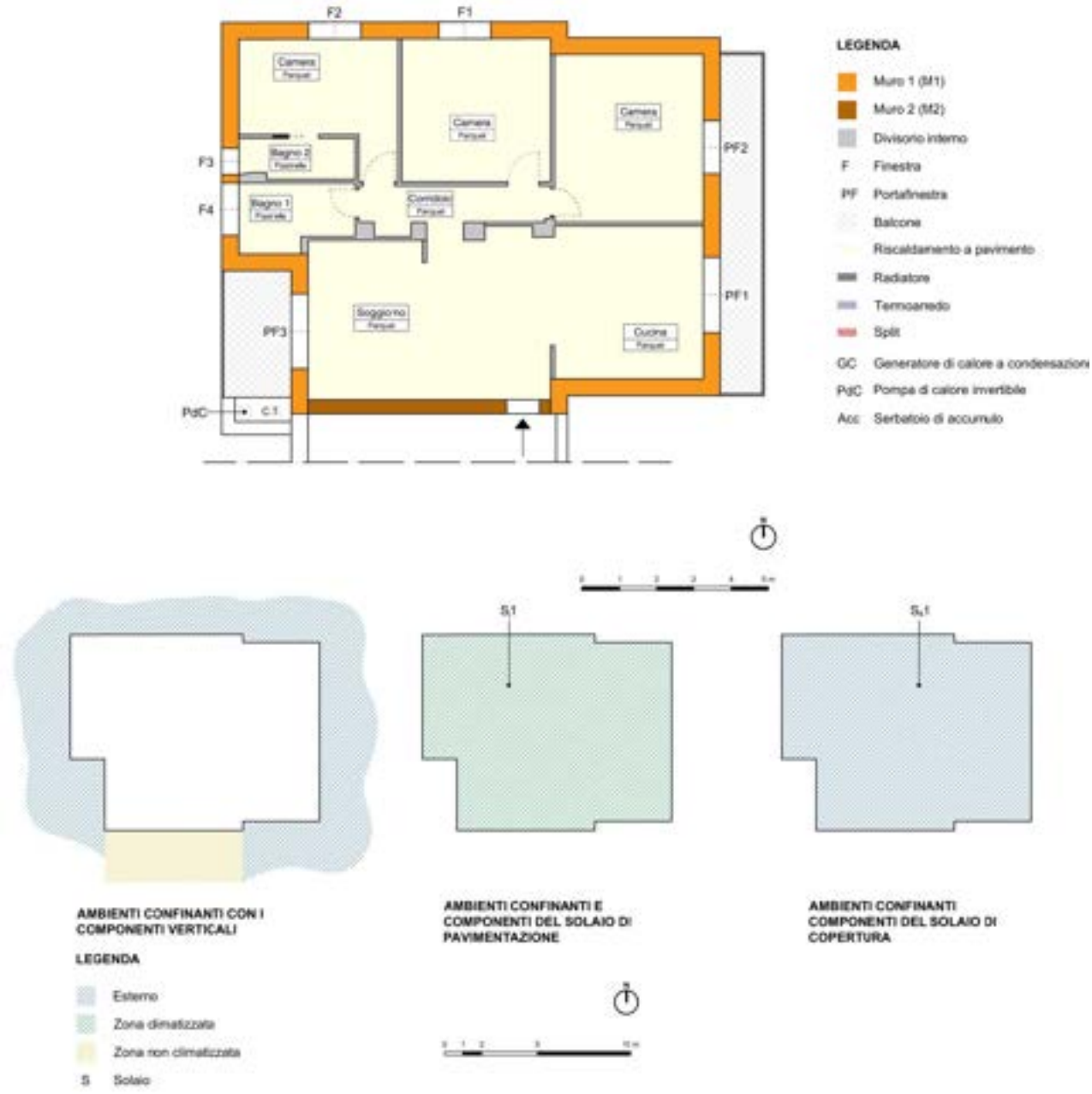


Figura 119. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (travi e pilastri), con tamponature in laterizio e cappotto esterno, il solaio inferiore è in laterocemento (pacchetto 23 + 5 cm) mentre quello di copertura è realizzato in legno. Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 302 a Tabella 306 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza.

Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.

In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 307) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 308) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 302. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Blocco Superpor	300	0.100	2.997
3	Polistirene grafitato	120	0.032	3.750
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	6.960
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.144	

Tabella 303. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Blocco Superpor	300	0.100	2.997
3	Polistirene grafitato	120	0.032	3.750
4	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Esterno		-	-	0.040
Totale		450	-	6.960
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.144	

Tabella 304. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Blocco Superpor	350	0.069	5.007
3	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Zona non riscaldata		-	-	0.130
Totale		390	-	5.325
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.188	

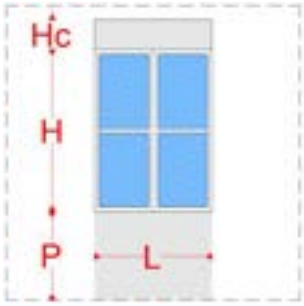
Tabella 305. Stratigrafia del solaio inferiore S_i1 confinante verso una zona riscaldata.

	Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)	Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Pavimentazione in legno	10	0.120	0.083
2	Massetto per pannelli radianti	50	1.800	0.028
3	Isolante	20	0.033	0.606
4	Calcestruzzo armato	50	2.500	0.020
5	Soletta in laterizio	230	0.500	0.460
6	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Zona riscaldata		-	-	0.170
Totale		370	-	1.551
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.645	

Tabella 306. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'esterno verso l'interno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Esterno		-	-	0.040
1	*Tegole*	20	0.990	0.020
2	*Intercapedine d'aria*	50	0.3125	0.160
3	*Impermeabilizzazione*	1	0.500	0.002
4	*OSB*	20	0.130	0.154
5	*Climabac 80 (lana di vetro)*	80	0.037	2.162
6	*Superbac (lana di vetro)*	80	0.037	2.162
7	*Barriera al vapore*	1	222.0	0.000
8	*OSB*	20	0.130	0.154
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		272	-	4.954
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.202	

Tabella 307. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
	PF01	2.00	2.40	0.00	0.00	4.80	2.91	1.200
	PF02	1.40	2.40	0.00	0.00	3.36	2.08	1.200
	F01	1.40	1.40	1.00	0.00	1.96	1.08	1.200
	F02	1.40	1.40	1.00	0.00	1.96	1.08	1.200
	F03	0.70	1.40	1.00	0.00	0.98	0.54	1.200
	F04	1.40	1.40	1.00	0.00	1.96	1.08	1.200
	PF03	2.00	2.40	0.00	0.00	4.80	2.91	1.200
	PF01	2.00	2.40	0.00	0.00	4.80	2.91	1.200

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 308. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete– telaio	0.052
IF – parete– solaio di interpiano (con zona riscaldata)	0.005
C – angolo tra pareti (sporgente)	-0.039
C – angolo tra pareti (rientrante)	0.012
B – Parete – Balcone	0.307
R – Parete - Copertura	0.182

Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di un generatore a pompa di calore, installato come evidenziato in Figura 119, per la copertura dei servizi energetici di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Il sistema è inoltre integrato da un impianto fotovoltaico di potenza di picco da 1.8 kW. Il calore prodotto viene immesso a bassa temperatura (32°C) attraverso i pannelli radianti a pavimento e regolato mediante cronotermostato di zona.
Le caratteristiche tecniche della pompa di calore sono riassunte in Tabella 309, le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 310, mentre quelle dell'impianto fotovoltaico sono mostrate in Tabella 311.

Tabella 309. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Vitocal 100.A08*
Combustibile	Energia elettrica
Potenza nominale a 7°C esterni e 35°C interni [kW]	7.81
Coefficiente di prestazione (COP) a 7°C esterni e 35°C interni [-]	4.38

Tabella 310. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	×
Generatore di calore		Pompa di calore	Pompa di calore	n.d.
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	n.d.
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	n.d.
	Distribuzione	Valvole d'arresto	Collettore	n.d.
	Tubazioni	Incassate nel pavimento	Incassate nel pavimento	n.d.
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	n.d.
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Radiatori in acciaio	n.d.
	T esercizio	40 °C [4]	32 °C	n.d.
	ΔT	-	27 °C	n.d.
	Valvole	-	Testine al collettore	n.d.
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona	n.d.
	Caratteristiche	-	Azione proporzionale + climatica	n.d.

Tabella 311. Principali caratteristiche dei sistemi di integrazione: fotovoltaico.

Modello	*X22-360*
Numero di pannelli	5
Superficie netta singolo pannello [m²]	1.54
Potenza di picco del singolo pannello [W]	360
Efficienza nominale del singolo pannello [%]	0.23
Potenza di picco [W]	1800
Fattore di efficienza [-]	0.75
Orientamento rispetto al Sud [°]	-45.0
Inclinazione rispetto al piano orizzontale [°]	17.0

2.4.14.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative al 2020 sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite dagli utenti) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato abitato da un nucleo familiare costituito da due persone per un totale di 340 giorni, quindi, abbastanza congruente con quello standard previsto nella valutazione asset (APE).

I consumi di acqua ed energia elettrica acquisiti per il 2020, messi in relazione con il numero di giorni di effettiva presenza dell'utente, sono riassunti in Tabella 312.

Tabella 312. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nell'anno di analisi (2020).

Mese	*Anno 2020*		
	Giorni di presenza [-]	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*
Gennaio	31	13392	300
Febbraio	29	12528	298
Marzo	31	15444	342
Aprile	30	14946	351
Maggio	31	15444	346
Giugno	30	14946	377
Luglio	31	15444	402
Agosto	5	2491	400
Settembre	30	13734	376
Ottobre	31	14192	356
Novembre	30	13248	333
Dicembre	31	13690	306
Totale	340	159499	4187

2.4.14.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 120 e Tabella 313) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica A4 con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 4.34 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di energia elettrica di 234 kWh/anno per la copertura dei soli servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 312), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

Figura 120. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 313. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	340	2701	3041	3.2	25.7	28.9	0.0	174.4
Acqua Calda Sanitaria	117	1720	1837	1.1	16.3	17.4	0.0	60.0
Raffrescamento	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Illuminazione	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Globale	457	4421	4878	4.3	42.0	46.3	0.0	234.4

2.4.14.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre un'unica DE, relativa all'anno 2020; come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 300, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.14.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
2. Stima dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

A differenza degli altri casi, quindi, non è stato determinato un fabbisogno energetico legato all'impianto a induzione ricomprendendo il suo consumo all'interno delle apparecchiature domestiche.

2.4.14.4.1 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12]. Anche per questa analisi si è fatto riferimento a quanto indicato dall'utente mediante questionario (Tabella 314), da cui si è stimato un fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per usi sanitari ($V_{W\text{-}acs}$) di circa 104 l/giorno per persona.
Sulla base di quanto emerso nei casi studio precedenti, si è ritenuto plausibile anche in questo caso ipotizzare un consumo di acqua calda non costante ma calante con l'aumentare della temperatura esterna, ossia nei mesi estivi. Non essendo possibile effettuare una valutazione più accurata, e in mancanza di informazioni certe, si è deciso di applicare un coefficiente correttivo del volume desunto sulla base delle precedenti diagnosi energetiche condotte in contesti climatici analoghi; in particolare, prendendo in esame i casi studio della medesima regione, è possibile osservare (Figura 121) come il volume d'acqua per usi igienici sanitari sia variato nei mesi più caldi anche fino anche ad un 20% di quello stimato in inverno; il trend calante per la zona climatica esaminata (zona E) inizia ad aprile fino a luglio per poi ricrescere fino ad ottobre. In quest'ottica è stato definito un coefficiente correttivo medio pesato per ogni mese dell'anno (serie indicata con "media" di Figura 113) al fine di ridurre il volume di acqua calda sanitaria richiesto nei mesi estivi.
Il consumo di acqua calda sanitaria finale calcolato per il presente caso studio è mostrato in Figura 122 (già comprensivo del coefficiente riduttivo) da cui si evince che il valore stimato è coerente con il valore dichiarato nella bolletta.
In accordo con i risultati ottenuti, si evince che circa il 38% del consumo di acqua di bolletta è stato destinato ai soli usi sanitari, valore coerente con i casi fin qui esaminati.

Tabella 314. Tipologia e numero di apparecchi presenti nel caso studio e consumo medio standard di acqua assunto ai fini delle analisi.

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*		*Consumo medio standard di acqua [l/giorno·persona]*	*Fabbisogno medio stimato [l/giorno·persona]*	
		Utente n. 1	Utente n. 2		Utente n. 1	Utente n. 2
Doccia	1	75	100	60	45	60
Lavabo	2	50	50	12	12	12
Bidet	1	50	50	10	10	10
Vasca da bagno	1	25	0	200	50	0
Lavello da cucina	1	50	0	20	10	0
Totale	6	-	-	-	127	82

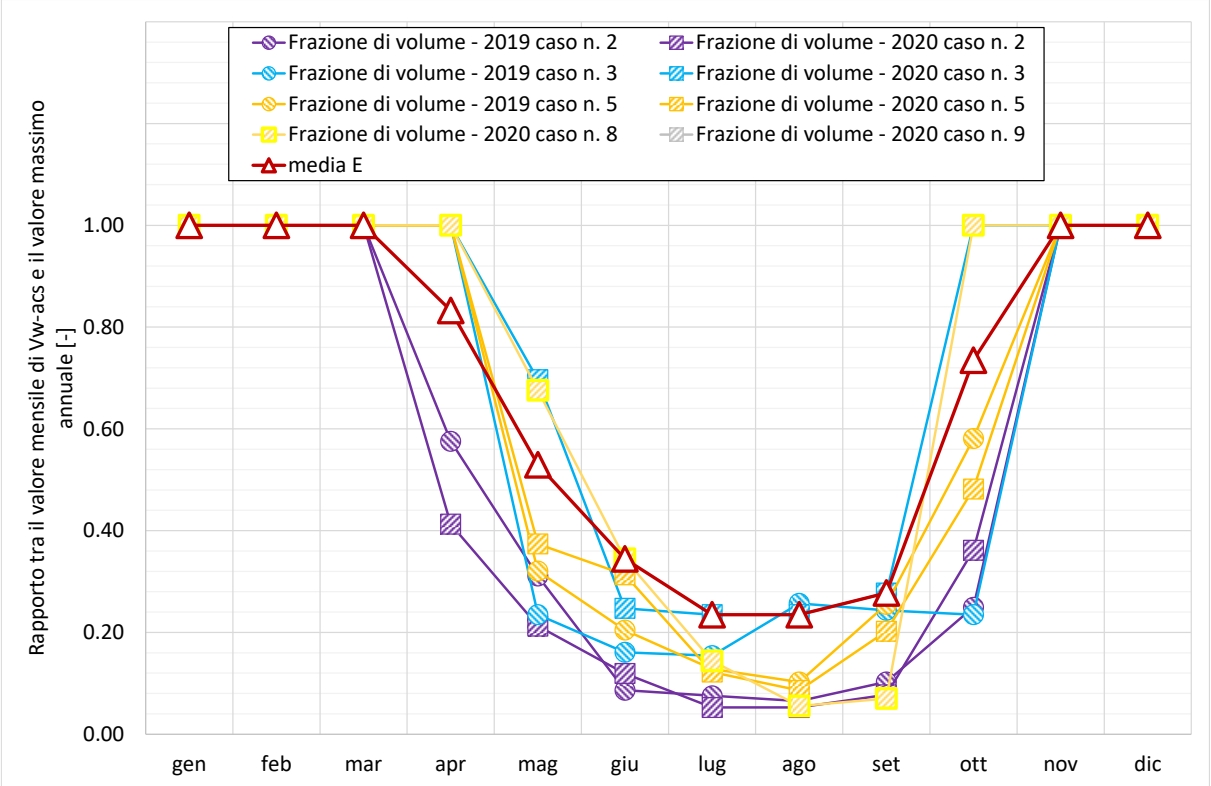


Figura 121. Definizione del coefficiente correttivo per la stima del volume di acqua calda per usi sanitari nei mesi più caldi.

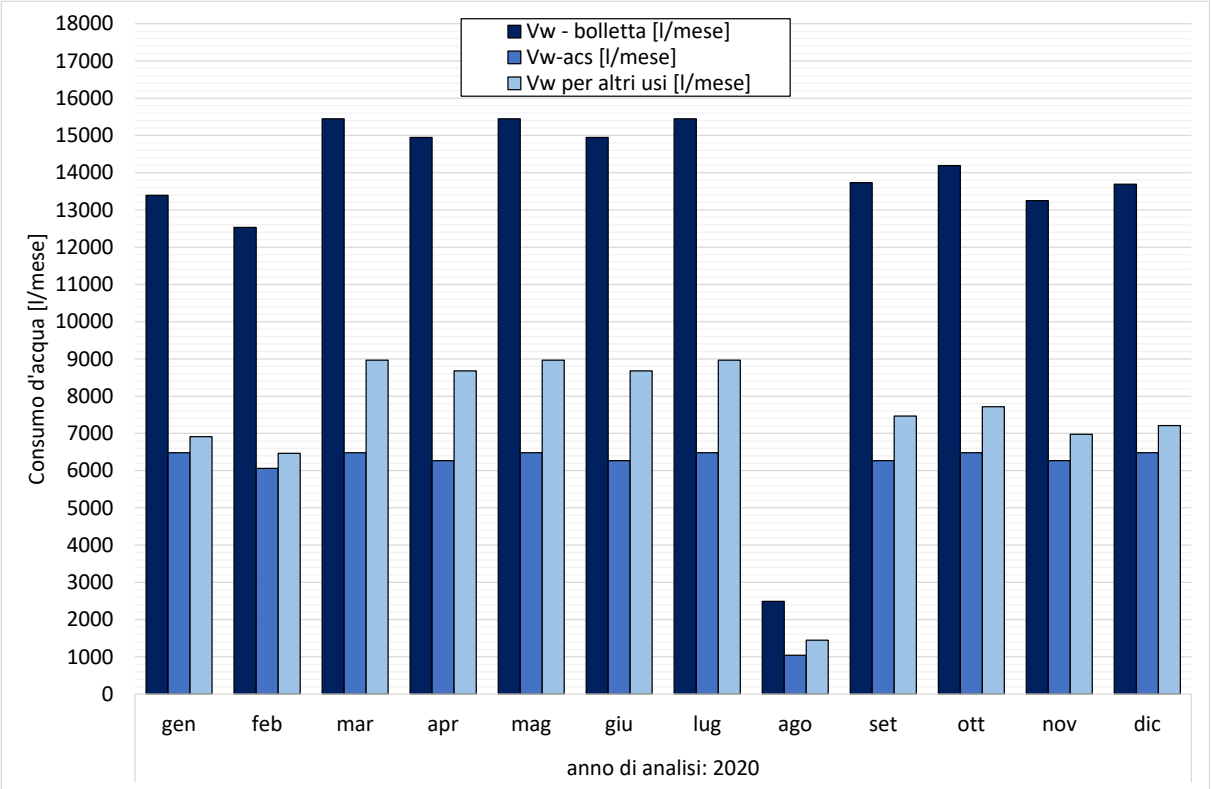


Figura 122. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dall'utente; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}, il volume di V_{W-acs} stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata (MC_{APE-DE}) è richiesto il valore giornaliero medio annuale. I valori sono dettagliati in Tabella 315 messi a confronto con quelli stimati applicando il calcolo standard (APE). Risulta importante evidenziare come il valore restituito dall'approccio APE sia leggermente inferiore a quello della DE il cui valore medio, però, risente del piccolo volume calcolato per il mese di agosto.

Tabella 315. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	6479	209.0	149.0
Febbraio	6061	209.0	149.0
Marzo	6479	209.0	149.0
Aprile	6270	209.0	149.0
Maggio	4608	209.0	149.0
Giugno	3940	209.0	149.0
Luglio	3737	209.0	149.0
Agosto	601	33.7	149.0
Settembre	3889	209.0	149.0
Ottobre	5294	209.0	149.0
Novembre	6270	209.0	149.0
Dicembre	6479	209.0	149.0
Media	*5009*	*194.4*	*149.0*

2.4.14.4.2 Stima dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico

determinare la sua producibilità mensile teorica dell'impianto fotovoltaico, in assenza di dati certi, si è fatto ausilio del codice di calcolo certificato che ha permesso di effettuare una stima media mensile dell'energia prodotta nelle condizioni climatiche reali. Per il presente caso studio è stato necessario fare l'assunzione che il valore calcolato sia effettivamente l'energia prodotta dall'impianto nel 2020.
Il risultato, riportato in Tabella 316, evidenzia come l'energia annuale prodotta dall'impianto sia di poco più 2100 kWh, mentre quella prelevata dalla rete è di quasi 4200 kWh.

Tabella 316. Energia prodotta dall'impianto fotovoltaico e energia prelevata da rete.

mese	*Producibilità del fotovoltaico [kWh]*	*Energia prelevata da rete [kWh]*	*Energia consumata massima teorica [kWh]*
Gennaio	69	300	369
Febbraio	129	298	427
Marzo	148	342	490
Aprile	213	351	564
Maggio	250	346	596
Giugno	241	377	618
Luglio	288	402	690
Agosto	283	400	683
Settembre	200	376	576
Ottobre	57	356	413
Novembre	82	333	415
Dicembre	78	306	384
Totale	2038	4187	6225

2.4.14.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimato il volume di acqua calda, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dagli utenti mediante il questionario; in particolare, è stato possibile definire molteplici profili di utilizzo dell'impianto di riscaldamento che, attraverso un'analisi energetica iterativa, sono stati verificati confrontando il conseguente consumo di metano con quello dichiarato in bolletta.
L'analisi ha permesso di definire quindi le configurazioni di funzionamento dell'impianto di riscaldamento medio giornaliero ottimale, ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi: 7 giorni a settimana per 14 ore/giorno.
È stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 317); il servizio più energivoro è costituito dall'illuminazione e dall'uso di elettrodomestici, per i quali, però, non è stato possibile effettuare una distinzione a causa della mancanza di informazioni. Il riscaldamento presenta un consumo di energia elettrica inferiore al 3% mentre la produzione di acqua calda sanitaria risulta essere pari al 1.6%.
Si precisa che, ai fini della definizione del presente inventario energetico, la ripartizione dell'impianto fotovoltaico è stata effettuata in funzione dell'effettivo fabbisogno energetico, dando precedenza ai servizi di riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria essendo l'impianto dotato un serbatoio di accumulo a servizio di entrambi i servizi. In virtù della presente configurazione impiantistica, si è fatta l'assunzione che l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico venga prima destinata per i principali servizi energetici analizzati, mentre il restante è a copertura dell'illuminazione e delle apparecchiature domestiche. Questa assunzione potrebbe influire sulla reale ripartizione dei consumi energetici; tuttavia, è stata necessaria in assenza di informazioni certe. Si precisa, inoltre, che la stessa ripartizione è effettuata anche nel calcolo standard nel quale non si considerano altri servizi energetici; pertanto, l'assunzione fatta permette di annullare un ulteriore differenza tra APE e DE, rendendo applicabile la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ e confrontabili i risultati ottenuti. L'inventario energetico definito per il presente caso studio, non essendo possibile effettuare un'analisi più accurata, è stato quindi considerato come plausibile per la casistica analizzata.
Infine, in Tabella 318 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo dei vettori energetici) derivanti dalle DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ che con l'approccio APE.

Tabella 317. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2020*
	Energia elettrica [kWh]
Riscaldamento	114.9
Produzione di acqua calda sanitaria	66.2
Raffrescamento	0.0
*Illuminazione ed Elettrodomestici***	4006.0
Totale	4187.0
Bollette	4187.0
scostamento	0.0%

** valore attribuito come differenza tra il consumo di bolletta e i consumi ottenuti per i servizi energetici analizzati*

Tabella 318. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2020	Riscaldamento	224	1957	2181	2.13	18.58	20.71	0.00	114.87
	Acqua Calda Sanitaria	129	1681	1810	1.23	15.96	17.19	0.00	66.15
	Raffrescamento	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Illuminazione	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Globale	353	3638	3991	3.35	34.55	37.90	0.00	181.03

2.4.14.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.14.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 319, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 123 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: i risultati più accurati si ottengono impiegando per il volume d'acqua un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI") o adottando il calcolo standard (combo "Vw-APE + T-UNI). Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wnren}) compresa tra il +37% al +95% (Figura 124);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wnren} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari a +35% (Figura 124).

Tabella 319. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento* 2020	*u.m.*
Tipologia di generatore		Pompa di calore	[-]
Vettore energetico		Energia elettrica	[-]
Superficie utile dell'immobile		105.30	[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		14.33	[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		16.02	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	194.4	[litri/giorno]
	Convenzionale	276.9	[litri/giorno]
	Bolletta	194.2	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	217.9	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.883	[-]
	F_{Vw}	1.299	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	1.1	[kWh/m²]
	EP_{Wren}	16.3	[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	17.4	[kWh/m²]
	Energia elettrica	60.0	[kWh]

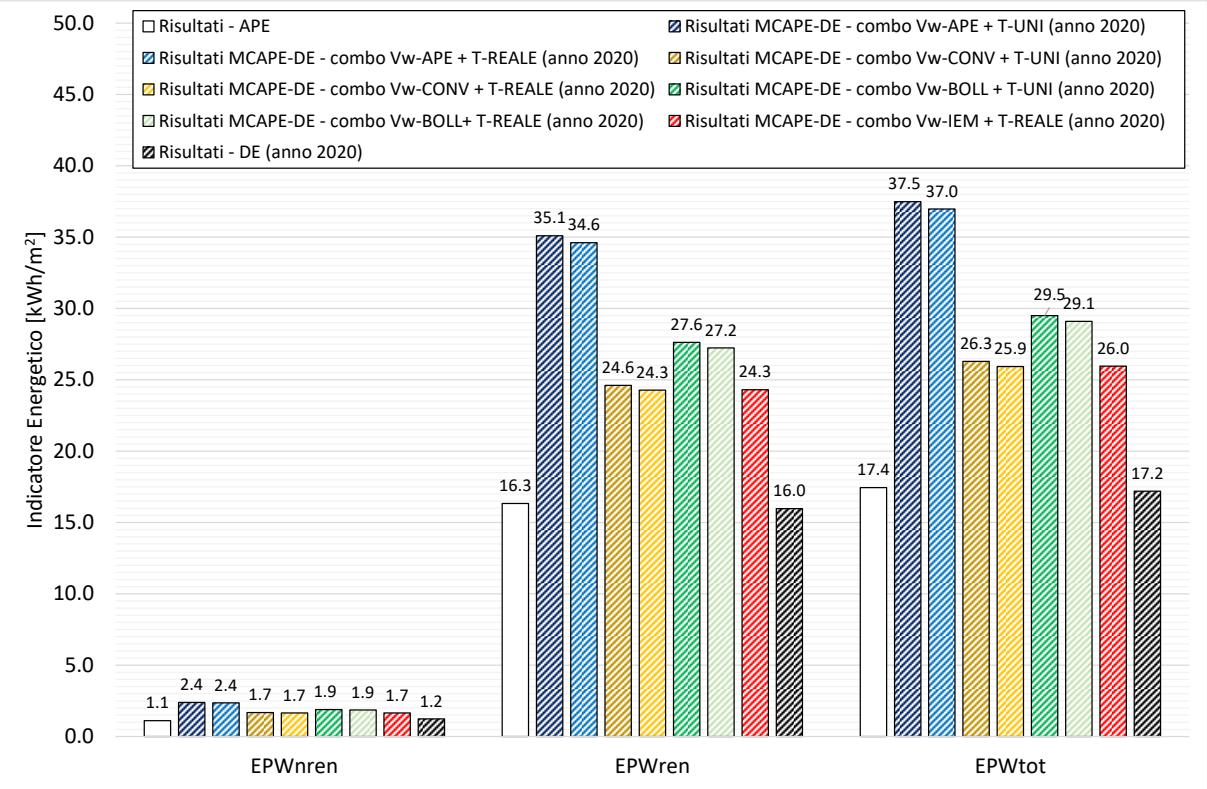


Figura 123. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

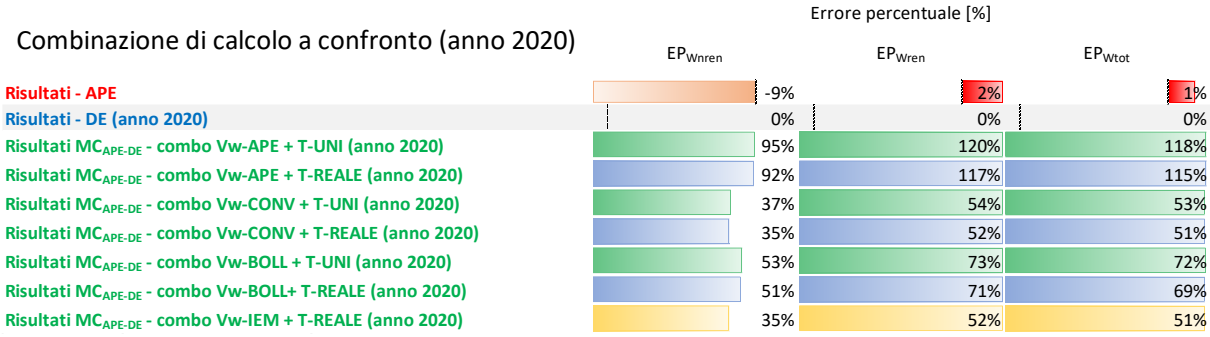


Figura 124. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. Solo per il presente caso studio, il calcolo APE tende a restituire dei risultati in linea con la DE con divergenze che variano da un minimo del -9% (indicatore EP_{Wnren}) ad un massimo di +1%% (indicatore EP_{Wren}). La divergenza maggiore è stata riscontrata per l'indicatore rinnovabile (EP_{Wren}) e per quello totale con tutte le metodologie di calcolo; questa è principalmente legato al contributo rinnovabile che, in tutte le combinazioni analizzate, presenta discrepanze ben più marcate del contributo non rinnovabile. Questo è dovuto al fatto che il contributo rinnovabile della pompa di calore dipende da molteplici fattori non approssimabili in maniera completamente corretta dalla presente procedura. È tuttavia importante ricordare che l'errore che si commette su tale contributo risulta trascurabile per gli scopi preposti perché non inficia direttamente la stima finale dell'energia elettrica consumata.
Inoltre, come evidenziato in Tabella 320, l'errore assoluto riscontrato per l'indicatore non rinnovabile tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±1.0 kWh/m².

In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE.
In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, tutte e tre le metodologie sembrano restituire un indicatore non rinnovabile più aderente al valore di DE; si tiene a precisare, comunque, che qualsiasi valutazione conclusiva sulla combinazione di calcolo più idonea da adottare dovrà tener presente anche della peculiarità del caso studio indagato. Infatti, come più volte riportato, esso è caratterizzato da profili occupazionali molto specifici che hanno determinato un consumo molto basso di entrambi i vettori energetici.

Tabella 320. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*	
		Assoluto [kWh/m²]	*Relativo [%]*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	EP_{Wnren}	-0.54	-48.77
	EP_{Wren}	-7.97	-48.77
	EP_{Wtot}	-8.51	-48.77
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	EP_{Wnren}	-0.43	-34.93
	EP_{Wren}	-8.34	-52.22
	EP_{Wtot}	-8.76	-50.99

2.4.14.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 321, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati in Figura 125 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra -1% e +13% dell'indicatore energetico (EP_{Hnren}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso dell'8%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali, come era lecito attendersi in virtù di quanto descritto in 2.3.2, determina un risultato più elevato (discrepanze dell'ordine del +13%). Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali; nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 296, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende a diminuire ottenendo un errore pari all'-1%. Inoltre, per il presente caso studio, non essendo differente la temperatura di set-point fissata all'interno dell'abitazione con quella prevista da normativa, la correzione per il secondo fattore correttivo non porta alcuna miglioria.
Le differenze trovate sembrerebbero piccole e accettabile; inoltre, se si analizza l'errore assoluto (Tabella 322) si può facilmente osservare come questo sia sempre inferiore a ±0.1 kWh/m^{2}per l'indicatore non rinnovabile, quindi perfettamente trascurabile.
In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, o reali ma corretti per il fattore F_{GG} la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

Tabella 321. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC$_{APE-DE}$.

Parametro di input		*Anno di riferimento 2020*	*u.m.*
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-3	[-]
Tipologia del generatore di calore		Pompa di calore	[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Bassa	[-]
Vettore energetico principale		Energia elettrica	[-]
Potenza nominale del generatore		7.8	[kW]
Efficienza nominale del generatore		4.4	[%]
Superficie utile		105.30	[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2192	[GG]
Gradi Giorno – reali		1912	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		14.0	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.872	[-]
	F_{H-set}	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	3.2	[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	25.7	[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	28.9	[kWh/m^2]
	Energia elettrica	174.4	[kWh]

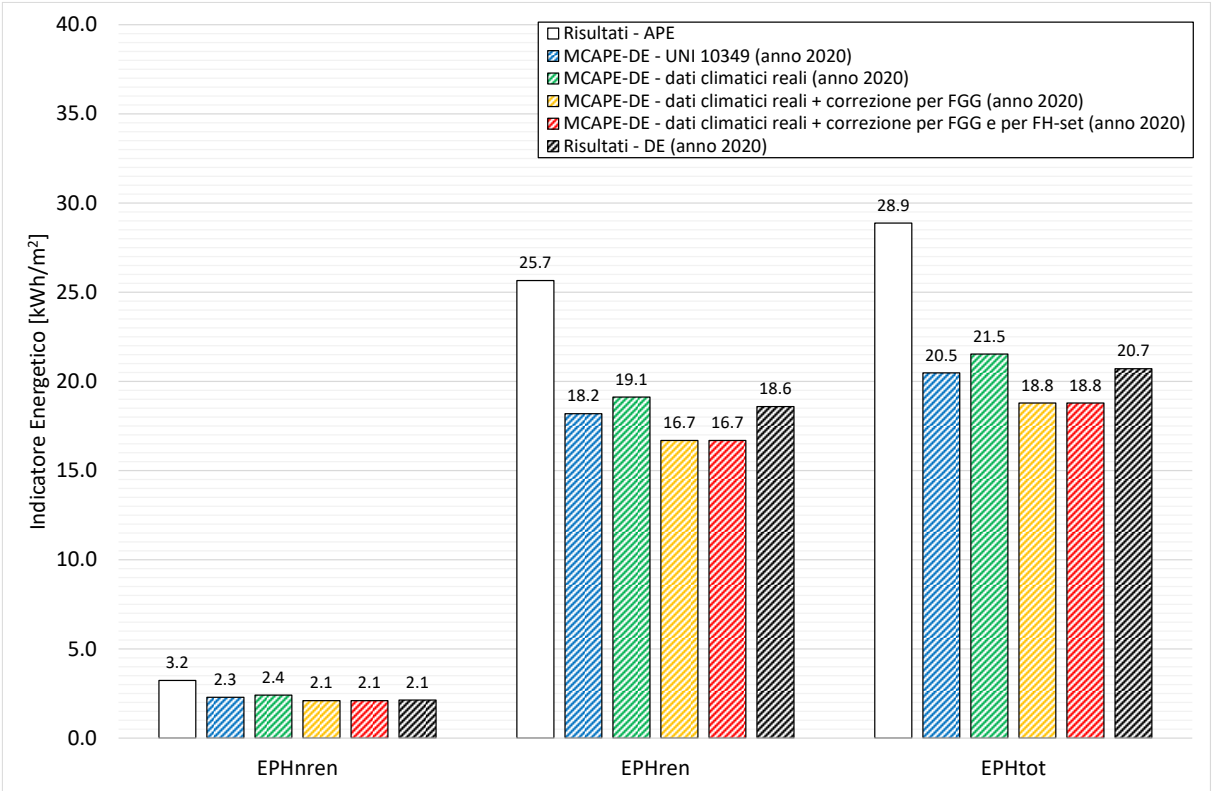


Figura 125. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC$_{APE-DE}$) per l'anno 2020.

Tabella 322. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*	
		Assoluto [kWh/m²]	*Relativo [%]*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	0.40	2.14
	EP_{Hren}	0.23	1.13
	EP_{Htot}	-0.28	-13.16
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-0.54	-2.89
	EP_{Hren}	-0.82	-3.95
	EP_{Htot}	0.03	1.28
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	1.90	10.23
	EP_{Hren}	1.93	9.31
	EP_{Htot}	0.03	1.28
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	1.90	10.23
	EP_{Hren}	1.93	9.31
	EP_{Htot}	0.40	2.14

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.
I risultati, riportati in Tabella 323, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE.
Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 323. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} *[kWh/m²]*	EP_{Hren} *[kWh/m²]*	EP_{Htot} *[kWh/m²]*	*Consumo elettrico [kWh/anno]*
1	0.1	0.7	0.8	0.0
2	0.2	1.2	1.4	0.1
3	0.2	1.7	1.9	0.1
4	0.3	2.2	2.5	0.1
5	0.3	2.7	3.0	0.2
6	0.4	3.2	3.6	0.2
7	0.5	3.7	4.1	0.2
8	0.5	4.2	4.7	0.3
9	0.6	4.7	5.3	0.3
10	0.6	4.9	5.5	0.3
11	0.6	5.0	5.6	0.3
12	0.6	5.1	5.8	0.3
13	0.7	5.3	5.9	0.3
14	0.7	5.4	6.1	0.3
APE	3.2	25.7	28.9	174.4

2.4.14.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Il presente caso studio, come riportato in Tabella 310, non presenta il servizio energetico di raffrescamento; pertanto, non è stato possibile effettuare un confronto tra le tre metodologie di calcolo.

2.4.14.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia MC_{APE-DE} sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi.

Il confronto dei consumi di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati in Figura 126. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia MC_{APE-DE} con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE. Entrando più nel dettaglio, l'errore (rimarcato in Tabella 324) risulta essere pari al -12% corrispondete ad una differenza di circa 22 kWh. I risultati evidenziano, invece, una leggera sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (pari a circa il 23%).
Gli esiti del confronto permettono quindi di confermare una buona affidabilità della metodologia MC_{APE-DE}.

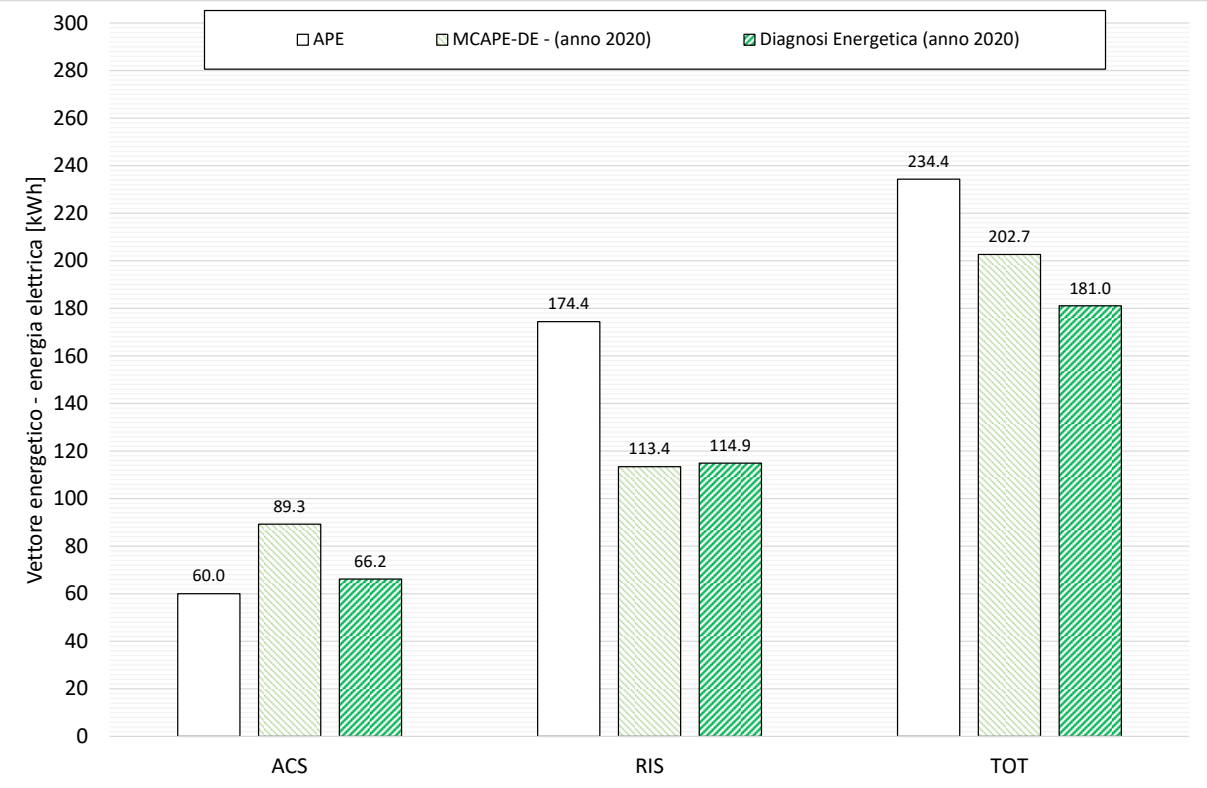


Figura 126. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 324. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2020	-23.1	1.5	0.0	-21.6	-34.9	1.3	0.0	-12.0
Metano	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2.4.15 Caso Studio n. 13 – E.2-1

Il primo caso studio che afferisce alla categoria E.2 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano primo di un edificio non residenziale costruito intorno al 2010 nel comune di Perugia (PG), capoluogo della regione Umbria contraddistinto dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 325. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi agli ultimi due anni e, in particolare, del 2019 e del 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questi due anni di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 326 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come i valori di temperatura medi annuali registrati nel 2019 (16.2 °C) e nel 2020 (15.8 °C) siano superiori a quello fornito dalla UNI 10349 (12.6 °C) di circa 3-4°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 325. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Perugia
	Altitudine [10]	493 m s.l.m.
	Latitudine	43° 6'
	Longitudine	12° 23'
	Gradi Giorno [10]	2289
	Zona climatica [10]	E
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	2.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	28.6
	Temperatura di bulbo umido [°C]	18.8
	Escursione termica giornaliera [°C]	10.0
	Umidità relativa [%]	40.0

Tabella 326. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*			*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²]*[1, A e B]
	Normativa [1,A]	*2019* [2,B]	*2020* [2,B]	
Gennaio	3.7	5.0	7.8	4.8
Febbraio	4.9	9.1	10.1	10.1
Marzo	7.7	11.7	10.2	11.6
Aprile	11.3	14.0	14.3	18.1
Maggio	16.7	14.7	18.7	21.5
Giugno	19.5	25.3	21.2	21.8
Luglio	23.5	26.4	25.4	25.0
Agosto	23.6	26.9	26.4	23.5
Settembre	17.1	21.6	21.5	16.3
Ottobre	12.6	17.8	14.5	11.4
Novembre	8.1	12.6	11.7	5.9
Dicembre	2.9	8.9	7.5	5.1
Media annua	12.6	16.2	15.8	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "stazione Perugia Fontivegge" - coordinate geografiche 43.1058333 e 12.3761111, quota 345 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.15.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 327) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 127).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, l'immobile è caratterizzato da due tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno mentre la seconda tipologia (M2) divide l'ambiente riscaldato dal vano scale e da altri ambienti non riscaldati in quanto non dotati di impianto termico, a cui è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) cautelativo pari a 0.91. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata da un'altra unità immobiliare anch'essa non dotata di impianto termico, così come il solaio superiore (solaio indicato con S_s1); in entrambi i casi, è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) cautelativo pari a 0.91.

Tabella 327. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	2010	[-]
Tipologia edilizia	Edificio in linea	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	3	[-]
Piano del caso studio	Primo	[-]
Altezza media vani	2.70	[m²]
Superficie utile climatizzata	169.8	[m²]
Superficie lorda climatizzata	202.2	[m²]
Volume netto climatizzato	458.46	[m³]
Volume lordo climatizzato	667.28	[m³]
Superficie disperdente	633.96	[m²]
Rapporto S/V	0.95	[m^{-1}]

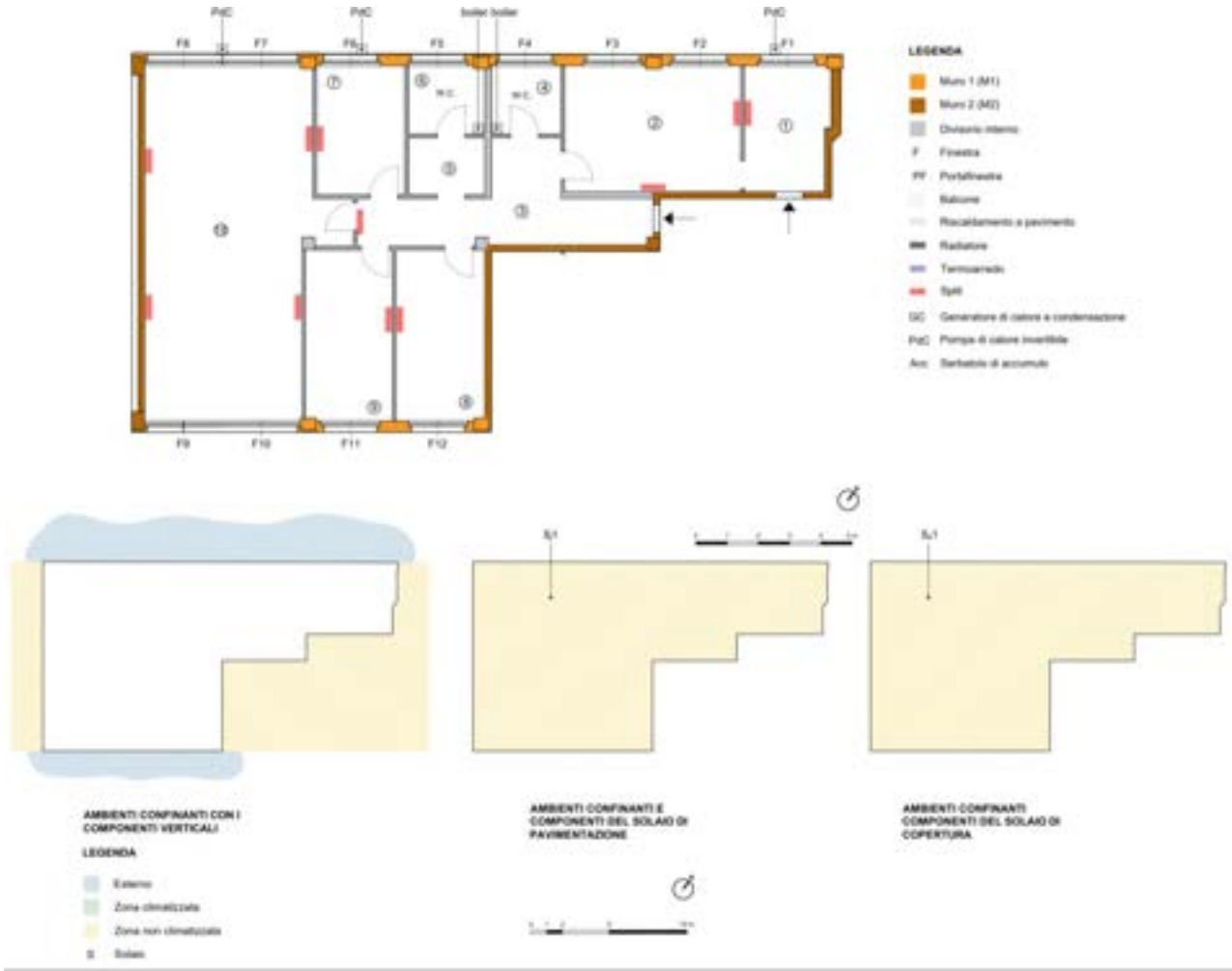


Figura 127. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (struttura con travi e pilastri) con tamponature esterne realizzate con blocchi di laterizio rifinite esternamente con intonaco, mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 20 + 4 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 328 a Tabella 332 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza.
Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.

Tabella 328. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	15	0.700	0.029
2	Mattone forato	150	0.333	0.450
3	Polistirene espanso	100	0.041	2.439
4	Mattone forato	120	0.387	0.310
5	Intonaco di calce	15	0.700	0.021
Esterno		-	-	0.040
Totale		300	-	3.419
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.292	

Tabella 329. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	15	0.700	0.029
2	Mattone forato	150	0.333	0.450
3	Polistirene espanso	100	0.041	2.439
4	Mattone forato	120	0.387	0.310
5	Intonaco di calce	15	0.700	0.021
Esterno		-	-	0.040
Totale		300	-	3.419
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.292	

Tabella 330. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso il vano scala e verso ambienti non dotati di impianto termico.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Blocco forato	300	0.322	0.940
3	Intonaco di calce	20	0.700	0.029
Zona non riscaldata/ vano scale		-	-	0.130
Totale		340	-	1.258
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.795	

Tabella 331. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso un altro ambiente non dotato di impianto termico.

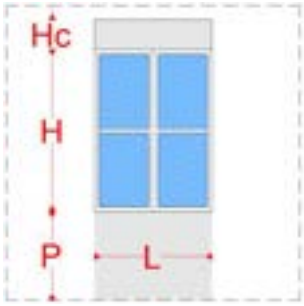
Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Piastrelle in ceramica	20	1.300	0.015
2	Polistirene	20	0.038	0.526
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito	40	0.580	0.069
4	Soletta in laterizio	200	0.660	0.303
5	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Zona non riscaldata		-	-	0.170
Totale		300	-	1.282
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.780	

Tabella 332. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso un altro ambiente non dotato di impianto termico.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona non riscaldata		-	-	0.100
1	Piastrelle in ceramica	20	1.300	0.015
2	Polistirene	20	0.038	0.526
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito	40	0.580	0.069
4	Soletta in laterizio	200	0.660	0.303
5	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Zona riscaldata		-	-	0.170
Totale		300	-	1.142
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.875	

In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 333) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 334) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.
Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di tre pompe di calore invertibili, installate come evidenziato in Figura 127, che permettono di soddisfare i servizi energetici di riscaldamento e raffrescamento mediante sistemi ad espansione diretta (split). Il servizio di produzione acqua calda sanitaria è invece soddisfatto da due boiler elettrici.
Le caratteristiche tecniche dei generatori di calore presenti sono riassunte in Tabella 335, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 336.

Tabella 333. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*				*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Totale*	*Vetro*	
	F01	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F02	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F03	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F04	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F05	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F06	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F07	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F08	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F09	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F10	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F11	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473
	F12	1.81	1.41	1.00	0.00	2.55	1.62	2.473

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto

Tabella 334. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete – telaio	0.017
IF – parete – solaio di interpiano	0.349
C – angolo tra pareti	0.161

Tabella 335. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Samsung - multisplit*
Combustibile	Energia elettrica
Potenza nominale in riscaldamento – macchina 1 e 2 [kW]	8.60
COP – macchina 1 e 2 [-]	4.30
Potenza nominale in raffrescamento – macchina 1 e 2 [kW]	7.00
EER – macchina 1 e 2 [-]	3.68
Potenza nominale in riscaldamento – macchina 3 [kW]	6.30
COP – macchina 3 [-]	4.50
Potenza nominale in raffrescamento – macchina 3 [kW]	5.20
EER – macchina 3 [-]	3.85
Potenza Boiler elettrico 1 e 2 [kW]	1.2
Rendimento Boiler elettrico 1 e 2 [%]	0.75

Tabella 336. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	✓
Generatore di calore		Boiler	Pompa di calore	Pompa di calore
Fluido termovettore		Acqua	aria	aria
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	Autonomo
	Distribuzione	-	-	-
	Tubazioni	-	-	-
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	D.P.R. 412/93 [10]
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	split	split
	T esercizio	50 °C [4]	variabile	variabile
	ΔT	-	variabile	variabile
	Valvole	-	-	-
Regolazione	*Tipologia*	-	Singolo Ambiente	Singolo Ambiente
	Caratteristiche	-	Azione proporzionale	Azione proporzionale

Oltre ai servizi energetici descritti, per le destinazioni d'uso di categorie E.2, è stato necessario acquisire anche tutte le informazioni inerenti ai sistemi illuminati e le apparecchiature presenti con lo scopo di stimare in maniera più corretta possibile la reale ripartizione dei consumi energetici. Per ogni stanza identificata in Figura 127 si sono rilevate la tipologia, la potenza e il numero delle lampade installate (Tabella 337) nonché gli accessori/apparecchiature presenti (Tabella 338), sebbene queste non saranno prese in considerazione nell'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$. In particolare, l'immobile presenta delle lampade LED negli ambienti principalmente vissuti (stanze n. 1, 2 e 10) e lampade fluorescenti negli altri ambienti (ad eccezione dei soli bagni dove sono ancora presenti delle lampadine a incandescenza). Oltre alle postazioni pc, di cui solo quelle nell'open space sono equipaggiate con il doppio monitor, sono state rilevate delle apparecchiature aggiuntive, quali una stampante (ad uso quasi esclusivo degli utenti della stanza n. 1 e 2), una macchinetta del caffè e un frigorifero nella stanza n. 10.
Sia per i sistemi illuminanti che per le altre apparecchiature, è stato necessario definire un orario di funzionamento/accensione medio giornaliero che fosse congruente con le reali abitudini dei fruitori sulla base di quanto emerso in fase di sopralluogo. In particolare, si sono assunti i seguenti funzionamenti:

1. sistemi di illuminazione: 4 ore/giorno in media per le stanze n. 1, 2, 7 e 10 in considerazione sia delle reali abitudini dei fruitori (tendono ad accendere le luci solo nel pomeriggio) che del fatto che sono ambenti con ampie superfici finestrate, 2 ore/giorno per la sala riunioni essendo un ambiente condiviso ma utilizzato solo saltuariamente dagli utenti mentre per le altre stanze si è ipotizzato un orario di accensione pari 1 ora/giorno (ambienti meno vissuti).
2. macchinetta del caffè: si è ipotizzato un funzionamento corrispondente all'utilizzo in media di n. 2 volte al giorno per ogni utente per un tempo massimo a singolo utilizzo di 2 min;
3. stampante: essendo utilizzata prevalentemente dagli utenti della stanza n. 1 e 2, si è assunto un suo utilizzo pari a 3 volte al giorno (in media) per un tempo massimo ad utilizzo di 30 min;
4. frigorifero: siccome il suo consumo può variare in funzione di quanto deve effettivamente raffreddare, si è assunto un assorbimento elettrico medio per l'intero arco della giornata.

Si tiene a precisare che l'orario di funzionamento assunto per ogni apparecchiatura è stato definito in collaborazione con i fruitori stessi che, per la tipologia di lavoro svolta (studio tecnico), tendono a svolgere molto spesso il proprio lavoro anche fuori ufficio (sopralluoghi, cantieri, ecc). Inoltre, per alcune apparecchiature, quali ad esempio i pc, è stato necessario variarne l'assorbimento elettrico in quanto il personale dipendente è variato nell'arco degli anni, comportando una variazione significativa dei consumi mese per mese. Ad esempio, da marzo del 2019 lo studio ha visto crescere il proprio numero di dipendenti comportando un incremento delle postazioni pc (posizionate nell'open space). A seguito della pandemia e fino a luglio del 2020, però, il numero di fruitori nonché delle postazioni pc effettivamente utilizzate è

nettamente diminuito, per poi aumentare di nuovo in maniera discontinua. Pertanto, ai fini delle analisi energetiche, si è cercato di tener conto di questa variazione di personale nell'arco dei mesi.

Tabella 337. Sistemi illuminanti presenti: tipologia, numero, potenza e ore di accensione stimate.

Stanza n.	*Tipologia di lampade*	*n. di lampade*	*Potenza singola lampada [W]*	*Ore medie giornaliere di accensione [h/giorno]*
1 – ufficio singolo	LED	1	40	4
2 – ufficio doppio	LED	2	40	4
3 – corridoio	fluorescenti	2	72	1
4 – bagno n. 1	incandescenza	1	60	1
5 – copisteria	incandescenza	1	64	1
6 – bagno n. 2	incandescenza	1	60	1
7 – ufficio singolo	fluorescenti	2	32	4
8 – sala riunioni	fluorescenti	2	32	2
9 – ufficio singolo	fluorescenti	2	32	1
10 - ufficio open space	LED	4	80 (3) e 40 (1)	4

Tabella 338. Apparecchiature presenti: tipologia, numero e potenza.

Stanza n.	*Numero Postazioni PC [-]*	*Potenza [W]*	*Ore medie giornaliere [h/giorno]*	*Altre apparecchiature [-]*	*Potenza [W]*	*Ore medie giornaliere [h/giorno]*
1 – ufficio singolo	1	60	4	-	-	-
2 – ufficio doppio	1	240	4	-	-	-
3 – corridoio	-	-	-	macchinetta caffè (1)	800	0.01
4 – bagno n. 1	-	-	-	-		-
5 – copisteria	-	-	-	Stampante (1)	750	0.06
6 – bagno n. 2	-	-	-	-		
7 – ufficio singolo	1	160	8	-		
8 – sala riunioni	-	-	-	-		
9 – ufficio singolo	1	60	da 0 a 8	-		
10 - ufficio open space	4	da 480 a 800	8	Frigorifero (1)	100	24

2.4.15.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative agli anni 2019 e il 2020, sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato utilizzato in media complessivamente da un gruppo minimo di 5 (corrispondente al periodo del lockdown) fino ad un massimo di 10 per un totale di 243 giorni nel 2019 e 205 nel 2020.

Il caso studio selezionato, quindi, risulta di notevole interesse anche per il profilo occupazionale individuato in quanto completamente divergente rispetto quello standard previsto nella valutazione asset (APE); pertanto, è lecito attendersi una impostante scostamento tra l'APE e le due DE.

I consumi di acqua e di energia elettrica acquisiti per i due anni analizzati, messi in relazione con il numero di utenti e di giorni di effettiva presenza, sono riassunti in Tabella 339.

Risulta rilevante osservare come tra il 2019 e il 2020 i consumi elettrici siano calati del 6.7%, mentre quelli di acqua risultano del 34%.

Tabella 339. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020).

Mese	*Anno 2019*				*Anno 2020*			
	n. di utenti medi [-]	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*n. di utenti medi [-]*	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*
Gennaio	8	20	4674	1263	10	18	4460	1148
Febbraio	8	20	4089	924	10	20	4088	852
Marzo	9	21	4674	537	5/6	14	3460	580
Aprile	9	22	4479	485	5	12	2230	273
Maggio	10	21	3895	423	5/6	10	1858	195
Giugno	9	20	4931	491	5/6	12	1719	274
Luglio	9	23	5146	699	6/7	20	2438	511
Agosto	9	15	3146	514	6/7	18	2398	442
Settembre	10	21	4503	497	7/8	20	2865	315
Ottobre	10	22	4503	440	7/8	22	3438	451
Novembre	10	20	4931	690	8/9	21	3294	886
Dicembre	10	18	4460	809	8/9	18	3081	1326
Totale	-	243	53431	7772	-	205	35329	7253

2.4.15.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 128 e Tabella 340) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica A2 con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 112.77 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 9800 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei soli servizi di riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria e raffrescamento.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 339), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

Figura 128. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 340. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*	
Riscaldamento	12390	38449	50839	73.0	226.4	299.4	6353.8
Acqua Calda Sanitaria	1107	267	1374	6.5	1.6	8.1	567.7
Raffrescamento	425	103	528	2.5	0.6	3.1	217.9
Illuminazione	5203	1254	6457	30.6	7.4	38.0	2668.2
Globale	19125	40073	59198	112.6	236.0	348.6	9807.7

2.4.15.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre due DE, la prima relativa all'anno 2019 mentre la seconda al 2020. Come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 326, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.15.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di illuminazione e delle apparecchiature d'ufficio;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.15.4.1 Stima dei consumi di illuminazione e delle apparecchiature d'ufficio;

A partire dalle potenze installate e dall'orario di funzionamento precedentemente definito, si è stimato un consumo medio mensile per questi due servizi energetici (Tabella 341). Dall'analisi dei risultati, si evince come nel 2020 vi sia stata una riduzione significativa dei consumi di illuminazione (-35%) e delle apparecchiature d'ufficio (-23%), riduzione prevalentemente legata alla riduzione dei fruitori a seguito della pandemia.
Complessivamente l'illuminazione e le apparecchiature d'ufficio, non considerati nella metodologia MC_{APE-DE}, concorrono alla spesa energetica per circa il 40% nel 2019 e quasi il 34% nel 2020.

Tabella 341. Consumo energetico stimato per l'illuminazione e le apparecchiature presenti.

Mese	*Anno 2019*			*Anno 2020*		
	Giorni di presenza [-]	Illuminazione [kW]	Apparecchiature [kW]	Giorni di presenza [-]	Illuminazione [kW]	Apparecchiature [kW]
Gennaio	20	48	185	18	43	208
Febbraio	20	48	185	20	48	231
Marzo	21	50	221	14	33	111
Aprile	22	52	232	12	15	83
Maggio	21	50	248	10	13	85
Giugno	20	48	227	12	15	102
Luglio	23	55	261	20	25	196
Agosto	15	36	151	18	33	154
Settembre	21	50	248	20	36	201
Ottobre	22	52	260	22	40	221
Novembre	20	48	236	21	38	238
Dicembre	18	43	213	18	33	204
Totale	243	577	2666	205	371	2035

2.4.15.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12].
A differenza dei casi studio residenziali, l'unica utenza installata che prevede l'utilizzo di acqua calda sono i lavabi dei bagni (consumo medio standard di 12 l/giorno·persona) che è stato quindi adottato come il fabbisogno medio giornaliero per ogni singolo utente.
A partire dal fabbisogno medio giornaliero per persona, si è quindi controllato che il valore risultante ogni mese non fosse maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette (unica verifica possibile per il presente caso studio); il confronto è mostrato in Figura 129 da cui si evince l'affidabilità e attendibilità del valore assunto.

Grazie ai risultati ottenuti, si è evinto che circa il 55% del consumo di acqua registrato nel 2019 è stato potenzialmente destinato per gli usi sanitari, mentre la stessa percentuale è calata al 42% nel 2020.
Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dagli utenti; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$, il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. Infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata ($MC_{APE\text{-}DE}$) è richiesto il valore giornaliero medio annuale.
Entrambi i valori sono dettagliati in Tabella 342 messi a confronto con il valore giornaliero medio mensile stimato applicando il calcolo standard (APE). La tabella mostra una significativa divergenza tra i valori stimati e l'APE; in particolare, si osservi come il volume medio giornaliero dell'APE sia quasi la metà del valore individuato per il 2019, mentre i due valori tendono a convergere nel 2020 che, però, è stato fortemente condizionato dalla pandemia. In accordo con il risultato atteso, quindi, è lecito attendersi una netta divergenza dei consumi determinati con APE e DE per il servizio di acqua calda sanitaria.

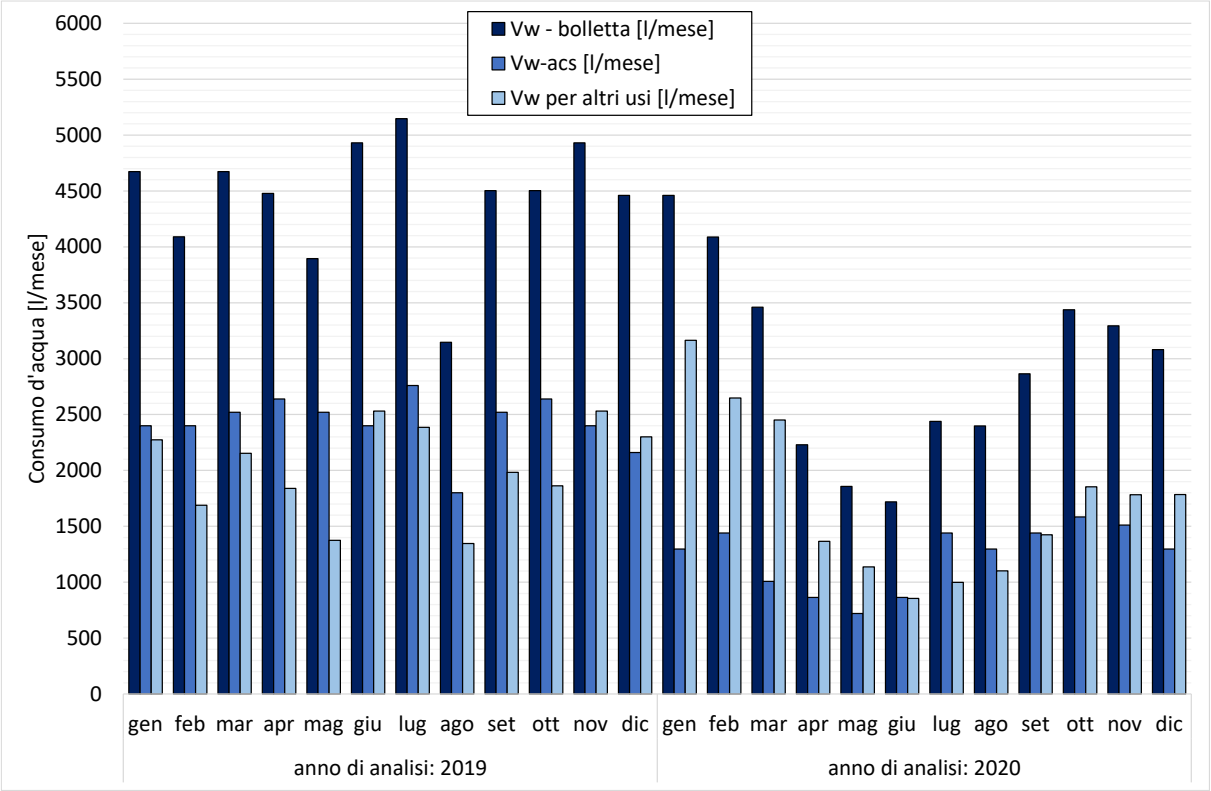


Figura 129. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

Tabella 342. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2019*		*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	2400	77.4	1296	41.8	34.0
Febbraio	2400	85.7	1440	49.7	34.0
Marzo	2520	81.3	1008	32.5	34.0
Aprile	2640	88.0	864	28.8	34.0
Maggio	2520	81.3	720	23.2	34.0
Giugno	2400	80.0	864	28.8	34.0
Luglio	2760	89.0	1440	46.5	34.0
Agosto	1800	58.1	1296	41.8	34.0
Settembre	2520	84.0	1440	48.0	34.0
Ottobre	2640	85.2	1584	51.1	34.0
Novembre	2400	80.0	1512	50.4	34.0
Dicembre	2160	69.7	1296	41.8	34.0
Media	*2430*	*80.0*	*1230*	*40.4*	*34.0*

2.4.15.4.3 LDefinizione dell'inventario energetico

Stimati i primi consumi energetici e il volume di acqua calda potenzialmente richiesto, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dagli utenti mediante il questionario e dai consumi stimati per i servizi di illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione di acqua calda sanitaria (stimato a partire dal volume di acqua calda consumato); in particolare, per l'analisi si è partiti dai consumi stimati e mostrati in Figura 130 in cui è riportato il confronto tra il consumo di bolletta e quelli stimati rispettivamente per l'illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione d'acqua calda sanitaria.

La figura conferma come le assunzioni fatte per i tre servizi energetici potrebbero essere effettivamente coerenti con i consumi registrati mese per mese permettendo di evidenziare anche dei potenziali periodi in cui presumibilmente gli utenti hanno prevalentemente riscaldato o raffrescato; in particolare, dall'analisi del grafico si può evincere come nei mesi di maggio e settembre (per il 2019) o ottobre (per il 2020) il consumo stimato per questi tre servizi (linea in blu) copra quasi interamente il consumo elettrico di bolletta, mentre nei mesi invernali e in quelli estivi si osservano dei significativi incrementi di consumo probabilmente legati ai servizi di riscaldamento e raffrescamento.

In accordo con il periodo di riscaldamento della zona climatica esaminata (zona E), si è quindi ipotizzato che i picchi di consumo registrati tra novembre e aprile siano legati al solo servizio di riscaldamento, mentre quelli osservati tra giugno e settembre al solo servizio di raffrescamento.

A partire dai consumi teorici, si è quindi proceduto con la definizione delle configurazioni ottimali di funzionamento degli impianti (sia di riscaldamento che di raffrescamento), ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi, ottenendo:

- anno di analisi 2019: 5 giorni a settimana per 8.5 ore/giorno;
- anno di analisi 2020: 5 giorni a settimana per 10 ore/giorno.

Lo stesso orario di funzionamento è stato mantenuto anche per il raffrescamento. A partire dalle configurazioni ottimali, è stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 343) per entrambi gli anni di analisi; in particolare, si osservi come nel 2019 il servizio più energivoro è risultato quello legato alle apparecchiature d'ufficio (34%), seguito dal riscaldamento (circa il 30%) e dalla produzione di acqua calda sanitaria (poco meno del 22%). Nel 2020, invece, il riscaldamento si è attestato il servizio più energivoro (con circa il 46%) seguito dalle apparecchiature d'ufficio (28.7%); a causa del lockdown e la conseguente diminuzione del personale, si è osservato un consumo di acqua calda praticamente dimezzato sebbene questo servizio si confermi più energivoro del raffrescamento e dell'illuminazione.

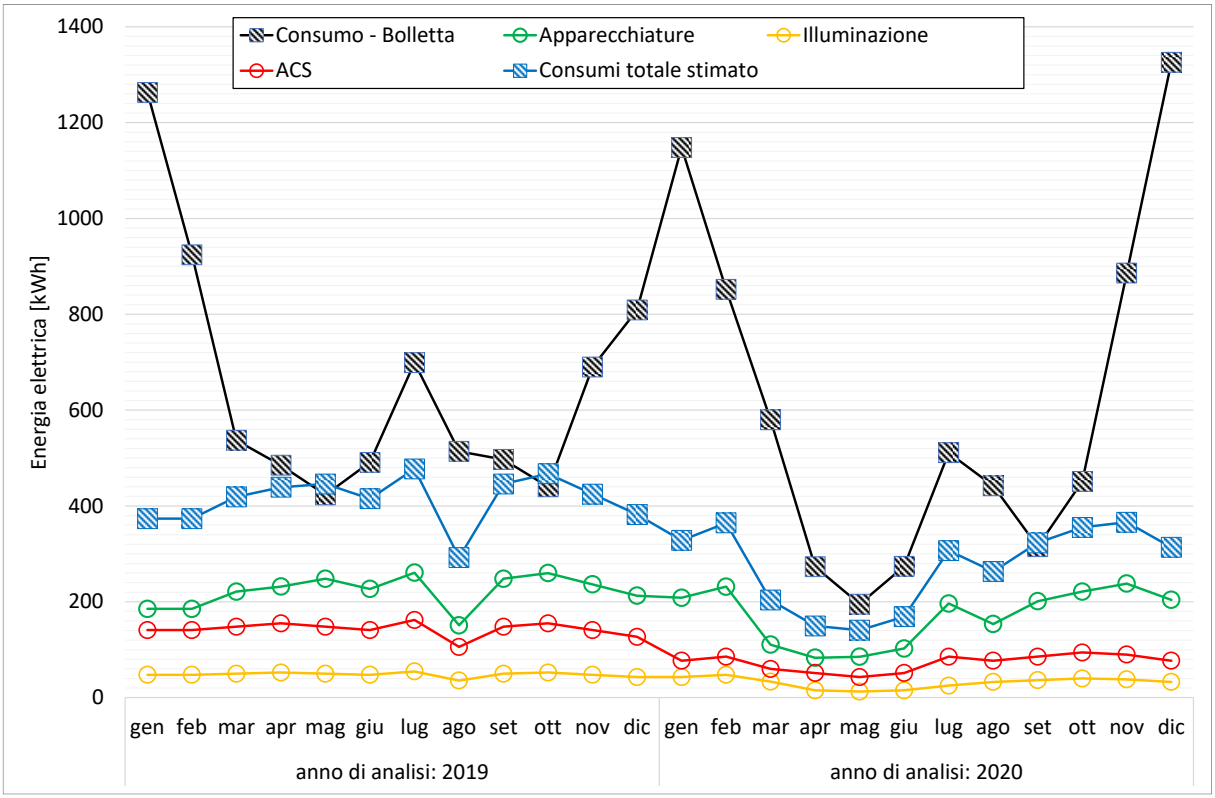


Figura 130. Confronto tra il consumo di energia elettrica di bolletta e quello stimato per i servizi di illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione di acqua calda per usi sanitari.

L'inventario energetico redatto anche mediante l'ausilio del software di simulazione, può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo calcolato (indicato in tabella con totale) con quello reale (indicato in tabella con bollette), si ottiene una discrepanza pari a -1.0% per l'anno 2019 e +2.2% per il 2020 (Tabella 343). Questa difformità può essere considerata come un errore accettabile essendo inferiore al ±5% [15]; pertanto, tutte le assunzioni fatte per ciascun servizio energetico sono state considerate come affidabili.
Infine, in Tabella 344 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo di energia elettrica) derivanti dalle due DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura MC_{APE-DE} che con l'approccio APE.

Tabella 343. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Energia elettrica [kWh]*	
	Anno di analisi: 2019	*Anno di analisi: 2020*
Riscaldamento	2344.6	3276.9
Produzione di acqua calda sanitaria	1712.0	876.6
Raffrescamento	547.6	534.5
Illuminazione	577.4	371.2
Apparecchiature	2666.1	2035.3
Totale	7847.7	7094.4
Bollette	7772.0	7253.0
scostamento	-1.0%	2.2%

Tabella 344. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2019	Riscaldamento	4572	14616	19188	26.9	86.1	113.0	0.0	2344.6
	Acqua Calda Sanitaria	3338	805	4143	19.7	4.7	24.4	0.0	1712.0
	Raffrescamento	1068	257	1325	6.3	1.5	7.8	0.0	547.6
	Illuminazione	1126	271	1397	6.6	1.6	8.2	0.0	577.4
	Globale	7910	15421	23331	46.6	90.8	137.4	0.0	4056.6
2020	Riscaldamento	6390	19661	26051	37.6	115.8	153.4	0.0	3276.9
	Acqua Calda Sanitaria	1709	412	2121	10.1	2.4	12.5	0.0	876.6
	Raffrescamento	1042	251	1294	6.1	1.5	7.6	0.0	534.5
	Illuminazione	724	174	898	4.3	1.0	5.3	0.0	371.2
	Globale	8099	20073	28172	47.7	118.2	165.9	0.0	4153.5

2.4.15.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.15.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 345, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 131 (anno 2019) e in Figura 132 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: i risultati più accurati si ottengono impiegando per il volume d'acqua un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI") o adottando il valore pari al 50% del consumo di bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI. Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wtot}) compresa tra il +5% al +224% (Figura 133);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wtot} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari al +6% nel 2020 e del 10% nel 2019 (Figura 133).

Tabella 345. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	2020	
Tipologia di generatore		Boiler elettrico		[-]
Vettore energetico		Energia elettrica		[-]
Superficie utile dell'immobile		168.8		[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		12.63		[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		16.17	15.78	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	80.0	40.4	[litri/giorno]
	Convenzionale	226.1	114.1	[litri/giorno]
	Bolletta	79.9	40.3	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	73.2	48.3	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.720	0.751	[-]
	F_{Vw}	1.647	1.647	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	6.5		[kWh/m²]
	EP_{Wren}	1.6		[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	8.1		[kWh/m²]
	Energia elettrica	567.7		[kWh]

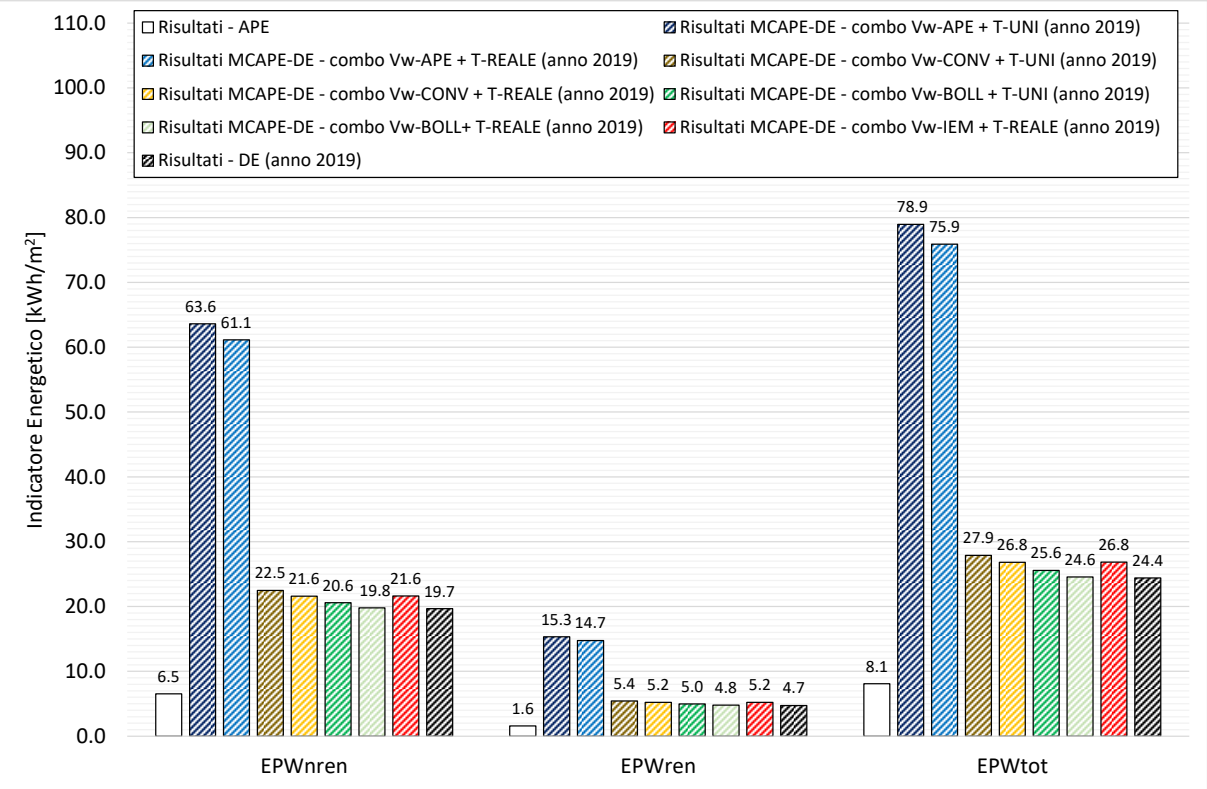


Figura 131. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

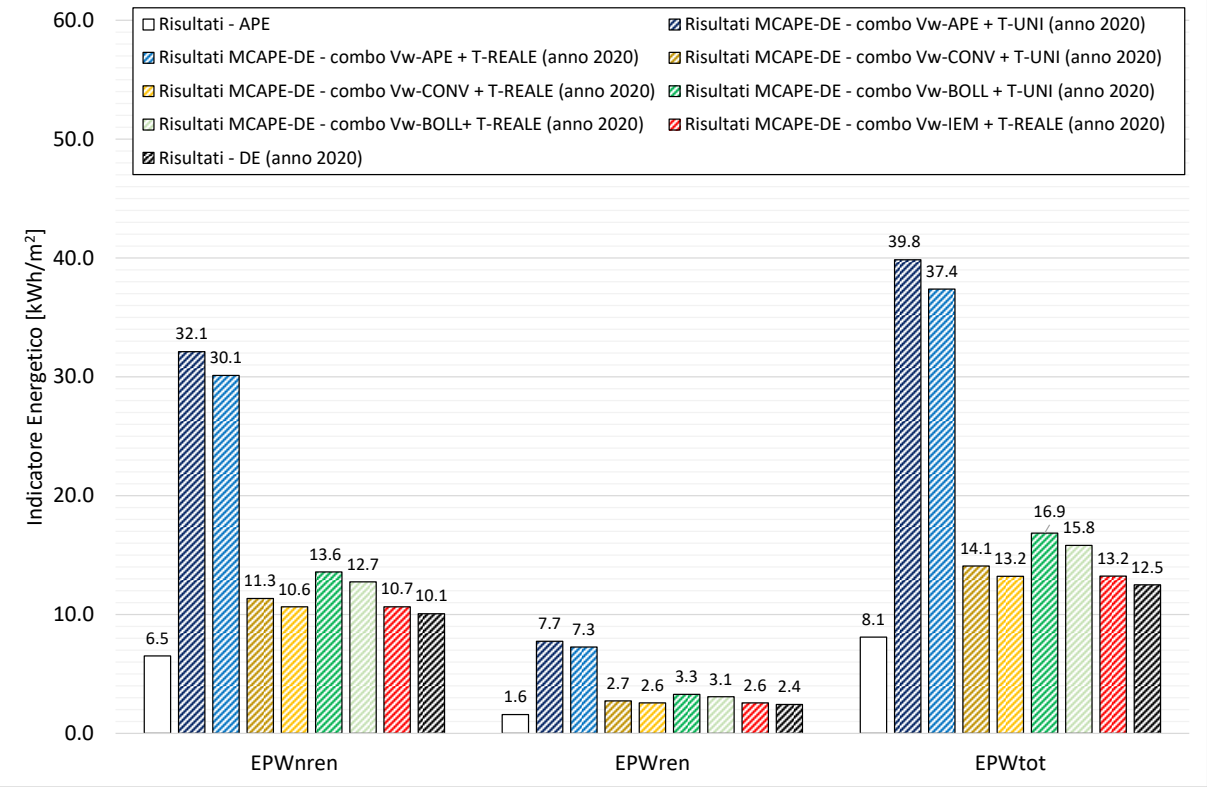


Figura 132. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Combinazione di calcolo a confronto (anno 2019)

Errore percentuale [%]

	EP_{Wnren}	EP_{Wren}	EP_{Wtot}
Risultati - APE	-67%	-67%	-67%
Risultati - DE (anno 2019)	0%	0%	0%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-APE + T-UNI (anno 2019)	223%	224%	224%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-APE + T-REALE (anno 2019)	211%	211%	211%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-CONV + T-UNI (anno 2019)	14%	14%	14%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-CONV + T-REALE (anno 2019)	10%	10%	10%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-BOLL + T-UNI (anno 2019)	5%	5%	5%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-BOLL+ T-REALE (anno 2019)	1%	1%	1%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-IEM + T-REALE (anno 2019)	10%	10%	10%

Combinazione di calcolo a confronto (anno 2020)

	EP_{Wnren}	EP_{Wren}	EP_{Wtot}
Risultati - APE	-35%	-35%	-35%
Risultati - DE (anno 2020)	0%	0%	0%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-APE + T-UNI (anno 2020)	219%	219%	219%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-APE + T-REALE (anno 2020)	199%	199%	199%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-CONV + T-UNI (anno 2020)	13%	13%	13%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-CONV + T-REALE (anno 2020)	6%	6%	6%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-BOLL + T-UNI (anno 2020)	35%	35%	35%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-BOLL+ T-REALE (anno 2020)	27%	27%	27%
Risultati MC_{APE-DE} - combo Vw-IEM + T-REALE (anno 2020)	6%	6%	6%

Figura 133. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. Si precisa, inoltre, che la minor accuratezza della metodologia MC_{APE-DE} riscontrata nel 2019 adottando il volume derivante dall'inventario energetico rispetto gli altri approcci indagati, potrebbe essere legata alla significativa variazione di personale che si è riscontrata che, probabilmente, ha portato ad una leggera sovrastima dell'effettivo volume medio giornaliero annuale da inserire nella procedura stessa.
Il calcolo APE, invece, tende a sovrastimare nettamente i risultati della DE con divergenze che variano da un minimo di -35% (indicatore EP_{Wtot} del 2020) ad un massimo del -67% (indicatore EP_{Wtot} del 2019).
Analizzando l'errore assoluto, evidenziato in Tabella 346, la differenza tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±3.0 kWh/m^2, errore che può essere considerato come accettabile.
In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE", sebbene la stessa restituisca un valore leggermente sovrastimato nel 2019. In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, le metodologie alternative che si basano sul volume convenzionale o su quello semplificato (pari al 50% del consumo di bolletta) sembrano restituire un risultato più aderente ai reali consumi energetici.

Tabella 346. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m^2]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-15.11	-4.13	-231.77	-63.40
	EP_{Wren}	-3.64	-1.00	-231.77	-63.40
	EP_{Wtot}	-18.75	-5.13	-231.77	-63.40
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-1.97	-0.59	-10.01	-5.82
	EP_{Wren}	-0.48	-0.14	-10.09	-5.89
	EP_{Wtot}	-2.45	-0.73	-10.03	-5.83

2.4.15.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 347, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 134 (anno 2019) e in Figura 135 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra -22% e +39% dell'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{Hnren}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso tra -22% e +1%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali, come era lecito attendersi in virtù di quanto descritto in 2.3.2, determina un incremento dei risultati (discrepanze dell'ordine del +39% e del 15%).
Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 348, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del +6% e del -10%). Una correlazione ancora migliore si ottiene effettuando anche la seconda correzione per il coefficiente F_{H-set} ma solo nel 2020 (anno in cui è stata dichiarata una temperatura diversa da quella di normativa) in questo caso le differenze percentuali si attestano al 4%.
In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, reali ma corretti per il fattore F_{GG}, o reali ma corretti per i fattori F_{GG} e F_{H-set}, la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

Tabella 347. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	*2020*	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-2		[-]
Tipologia del generatore di calore		Pompa di calore		[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		bassa		[-]
Vettore energetico principale		Energia elettrica		[-]
Potenza nominale del generatore		19.8		[kW]
Efficienza nominale del generatore		3.7		[%]
Superficie utile		169.8		[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2289		[GG]
Gradi Giorno – reali		1742	1796	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		8.5	10	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.761	0.785	[-]
	F_{H-set}	1.000	1.150	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	73.0		[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	226.4		[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	299.4		[kWh/m^2]
	Energia elettrica	6353.8		[kWh]

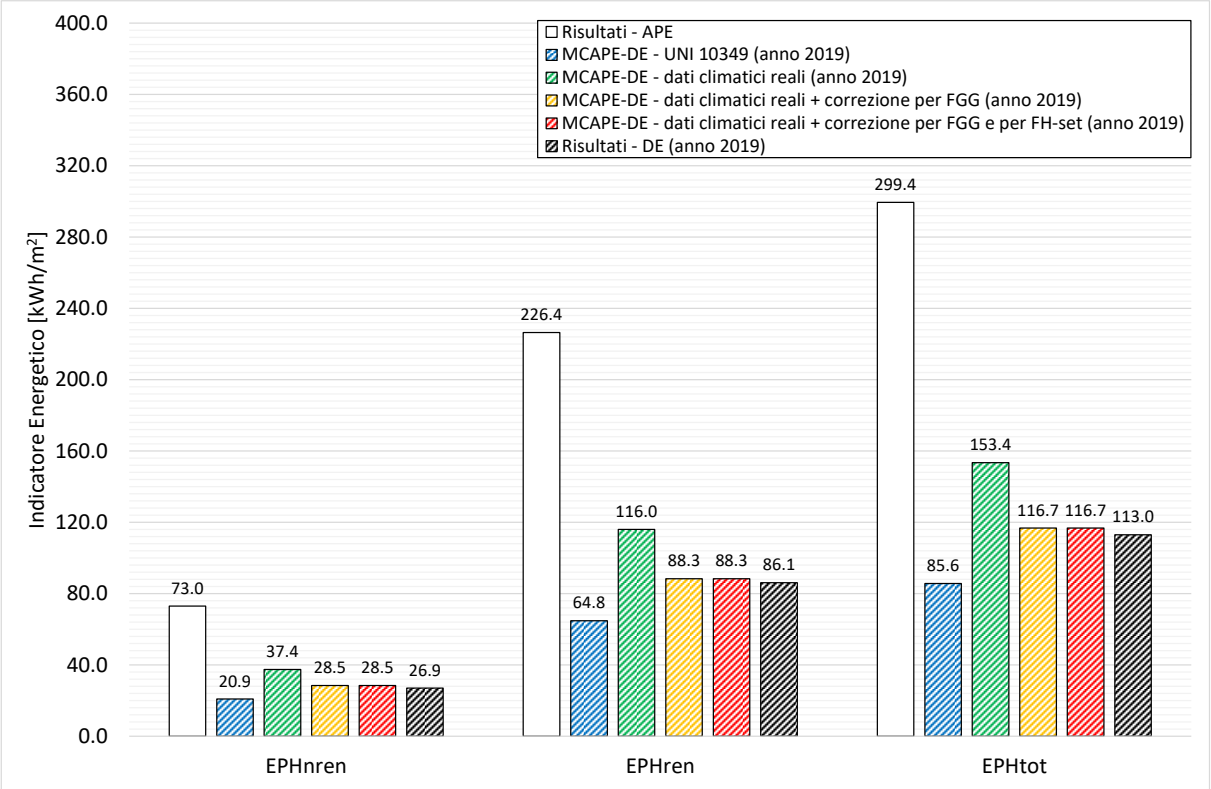


Figura 134. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

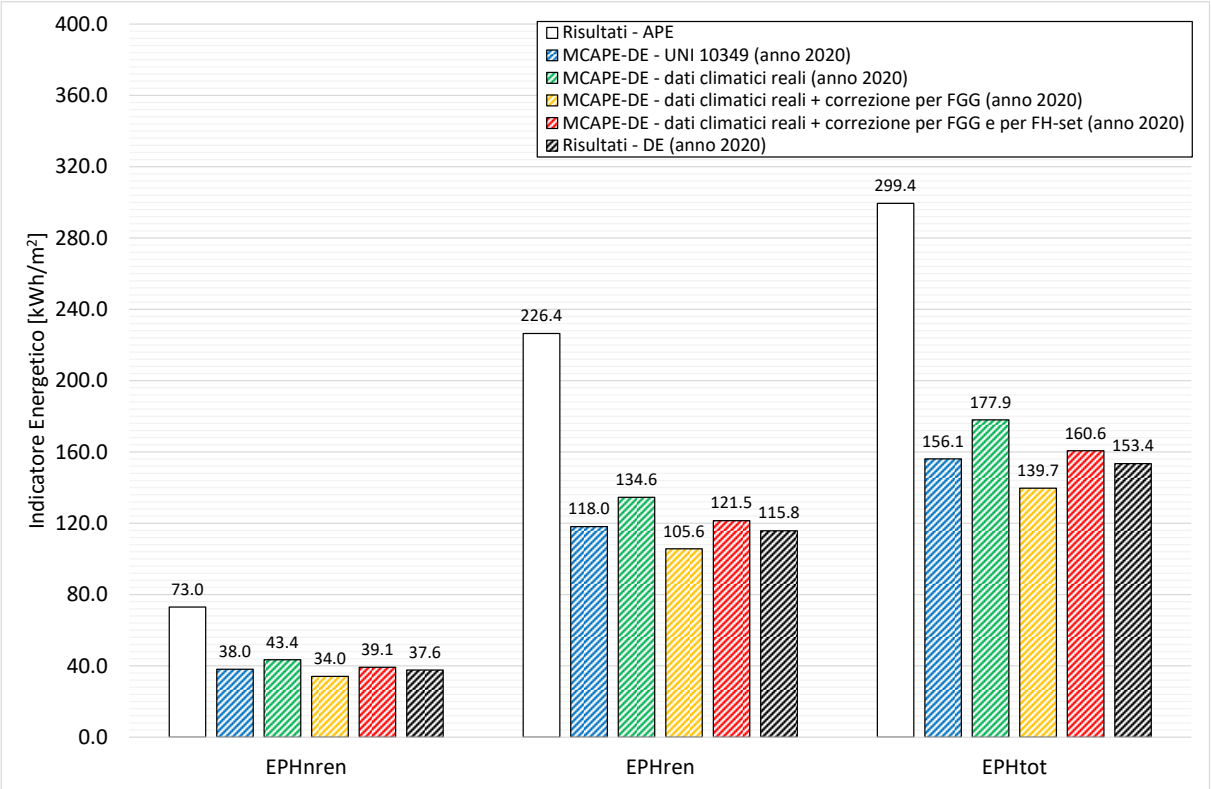


Figura 135. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 348. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	6.06	-0.40	22.50	-1.07
	EP_{Hren}	21.32	-2.25	24.77	-1.94
	EP_{Htot}	27.38	-2.65	24.23	-1.73
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-10.46	-5.73	-38.83	-15.24
	EP_{Hren}	-29.92	-18.79	-34.76	-16.23
	EP_{Htot}	-40.38	-24.52	-35.73	-15.98
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	-1.53	3.60	-5.67	9.56
	EP_{Hren}	-2.22	10.17	-2.58	8.79
	EP_{Htot}	-3.75	13.77	-3.31	8.98
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	-1.53	-1.51	-5.67	-4.00
	EP_{Hren}	-2.22	-5.67	-2.58	-4.90
	EP_{Htot}	-3.75	-7.18	-3.31	-4.68

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.
I risultati, riportati in Tabella 349, messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE. In particolare, si osservi come anche in caso informazioni poco accurate sull'orario di accensione dell'impianto, la metodologia avrebbe permesso di identificare un orario medio giornaliero (valore evidenziato in rosso) come quello più probabile.
Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 349. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} *[kWh/m²]*	EP_{Hren} *[kWh/m²]*	EP_{Htot} *[kWh/m²]*	*Consumo elettrico [kWh/anno]*
1	3.0	9.2	12.2	1.5
2	5.9	18.4	24.3	3.0
3	8.9	27.6	36.5	4.6
4	11.9	36.8	48.6	6.1
5	14.8	46.0	60.8	7.6
6	17.8	55.2	73.0	9.1
7	19.2	59.6	78.9	9.9
8	20.7	64.1	84.8	10.6
9	22.1	68.6	90.7	11.3
10	28.3	87.9	116.2	14.5
11	34.6	107.2	141.8	17.7
12	40.8	126.6	167.4	20.9
13	47.0	145.9	192.9	24.1
14	53.3	165.3	218.5	27.3
APE	73.0	226.4	299.4	6535.8

2.4.15.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 350, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche della macchina frigorifera, i Gradi Giorno estivi ricalcolati a partire dai dati climatici di normativa [3], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto. Contrariamente alle equazioni trovate per il servizio di riscaldamento (caratterizzate da coefficienti R^2 maggiori di 0.95/0.98), per il raffrescamento l'accuratezza è inferiore presentando valori di R^2 variabile tra un minimo di 0.65 e un massimo di 0.77. Per questo motivo nelle analisi che seguono si è tenuto conto di questa minore affidabilità andando a definire un range di valori plausibili degli indicatori stessi.

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 136 (anno 2019) e in Figura 137 (anno 2020). Per il raffrescamento, si riscontra una evidente sottostima dei risultati dell'APE mentre l'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce un risultato più in linea con i risultati della DE ma solo quando applicata con dati climatici reali. Le discrepanze oscillano tra -75% e -31% dell'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{Cnren}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore del -69% e del -63%; tale discrepanza tende a crescere quando si utilizzano i dati climatici reali che determinano una maggiore sottostima dei risultati rispetto le DE (discrepanze dell'ordine del -71% e del -75%).

Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GGe}, come si evince anche dalla Tabella 351, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi leggermente portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del -44% e del -50%). Effettuando anche la correzione legata alla differente temperatura di set point, invece, si riesce ridurre ulteriormente questo divario dalla DE, con un errore relativo compreso tra il -31% e il -38%.

Come anticipato, queste discrepanze fin qui argomentate possono in realtà subire delle variazioni più o meno marcate in funzione dell'accuratezza delle equazioni impiegate. Per questo, nelle figure sono stati riportati anche i range (linee in nero) rappresentanti i valori minimi e massimi che possono essere assunti dai vari indicatori energetici. Si osservi come la maggior variazione dei valori si riscontri per quelle combinazioni per le quali si è effettuata la correzione per i fattori F_{GGe} e F_{C-set}, mentre risultano nettamente più contenute per le prime due combinazioni. Se si considerasse questo range, le discrepanze rispetto la DE potrebbero variare significativamente; ad esempio, nel caso della combinazione MC_{APE-DE} basata sui dati reali e corretti per i fattori correttivi, il range superiore (valore massimo) permetterebbe di ottenere una migliore convergenza con le DE presentando un errore relativo del +2% o del -8%.

Tabella 350. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*	
		2019	*2020*
Livello di isolamento dell'edificio [-]		Liv-Iso-2	
Tipologia del generatore di calore [-]		Macchina frigorifera	
Potenza nominale del generatore [kW]		19.2	
EER [-]		3.70	
Superficie utile [m²]		169.8	
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		3723	
Gradi Giorno – reali		8216	6402
Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]		8.50	10.0
Fattori correttivi	F_{GGe}	2.207	1.720
	F_{C-set}	1.238	1.238
Risultati APE	EP_{nren} [kWh/m²]	2.50	
	EP_{ren} [kWh/m²]	0.61	
	EP_{tot} [kWh/m²]	3.11	
	Energia elettrica [kWh]	217.95	

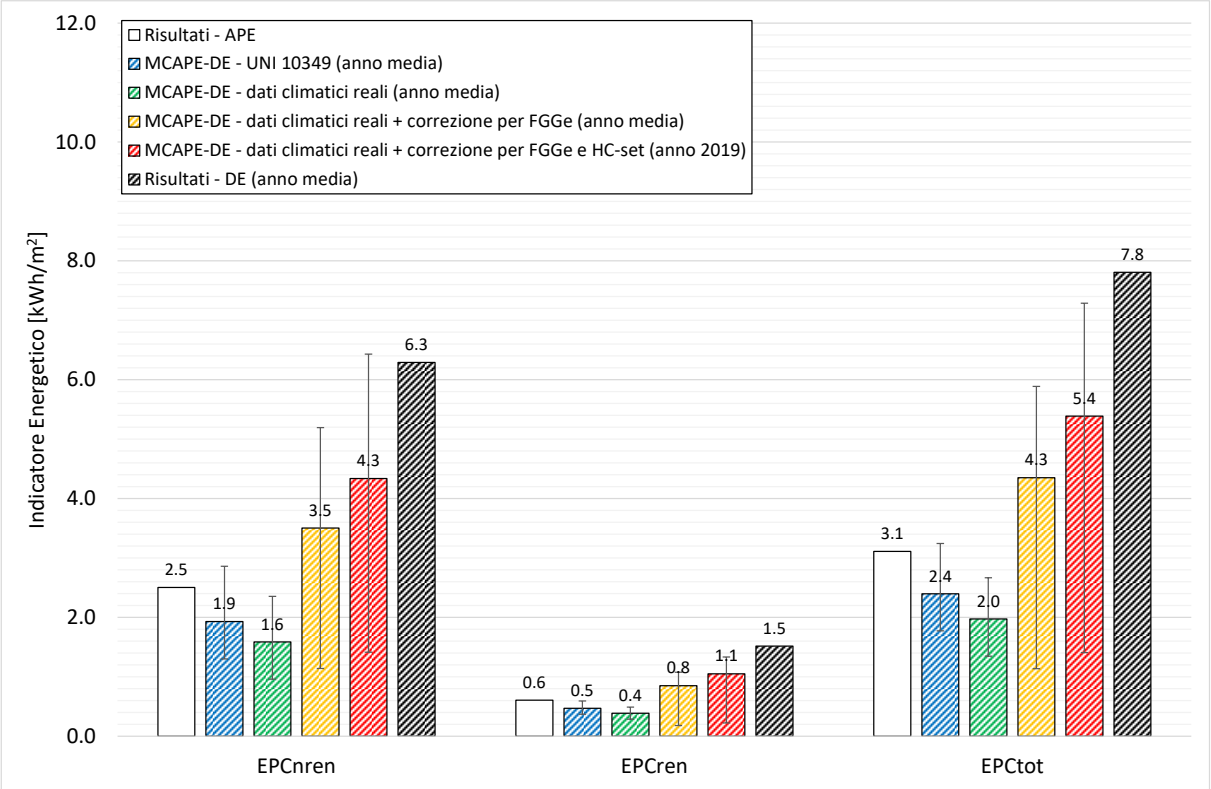


Figura 136. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

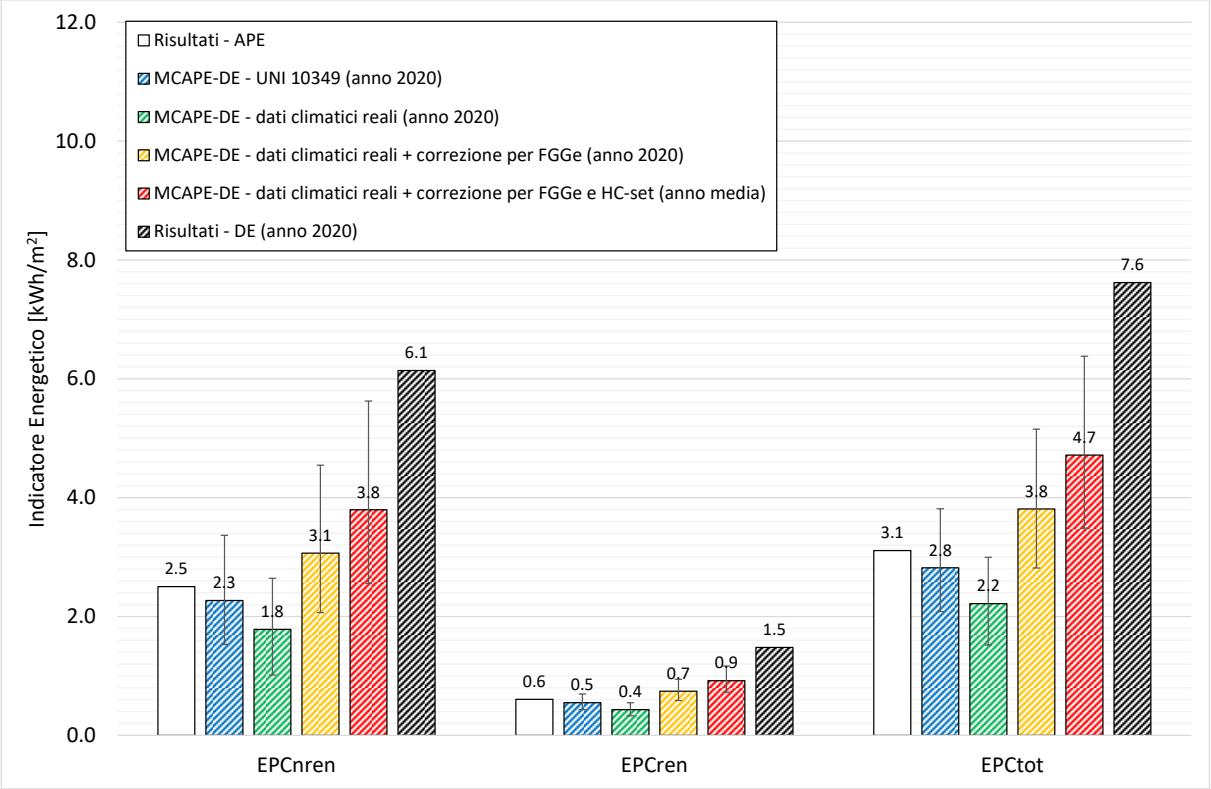


Figura 137. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 351. Servizio di raffrescamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore (con pompa di calore)*			
		Assoluto [kWh/m²]		Relativo [%]	
		2019	2020	2019	2020
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno Estivi	EP_{Cnren}	4.36	3.87	69.33	63.04
	EP_{Cren}	1.05	0.93	69.16	62.83
	EP_{Ctot}	5.41	4.80	69.30	63.00
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno Estivi ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Cnren}	4.70	4.36	74.77	70.96
	EP_{Cren}	1.13	1.05	74.63	70.80
	EP_{Ctot}	5.83	5.40	74.75	70.93
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno Estivi ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GGe}	EP_{Cnren}	2.79	3.07	44.33	50.07
	EP_{Cren}	0.67	0.74	44.02	49.80
	EP_{Ctot}	3.45	3.81	44.27	50.02
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GGe} e F_{C-set}	EP_{Cnren}	1.95	2.34	31.07	38.18
	EP_{Cren}	0.47	0.56	30.69	37.84
	EP_{Ctot}	2.42	2.90	31.00	38.12

2.4.15.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia MC_{APE-DE} sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi;
- Raffrescamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi (F_{GGe} e $F_{C\text{-set}}$);

Il confronto dei consumi di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati in Figura 138. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia MC_{APE-DE} con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.

Entrando più nel dettaglio, l'errore (rimarcato in Tabella 352) si attesta complessivamente al -11% nel 2019 (corrispondete ad una differenza di 460 kWh) e al -7% nel 2020 (pari a circa 300 kWh). L'errore relativo più marcato, come ampiamente discusso in precedenza, è stato riscontrato per il servizio di raffrescamento (±75%), mentre per il riscaldamento risulta del ±6%.

I risultati evidenziano una importante sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale compresa tra il 40-42%), confermando una migliore affidabilità della metodologia MC_{APE-DE}.

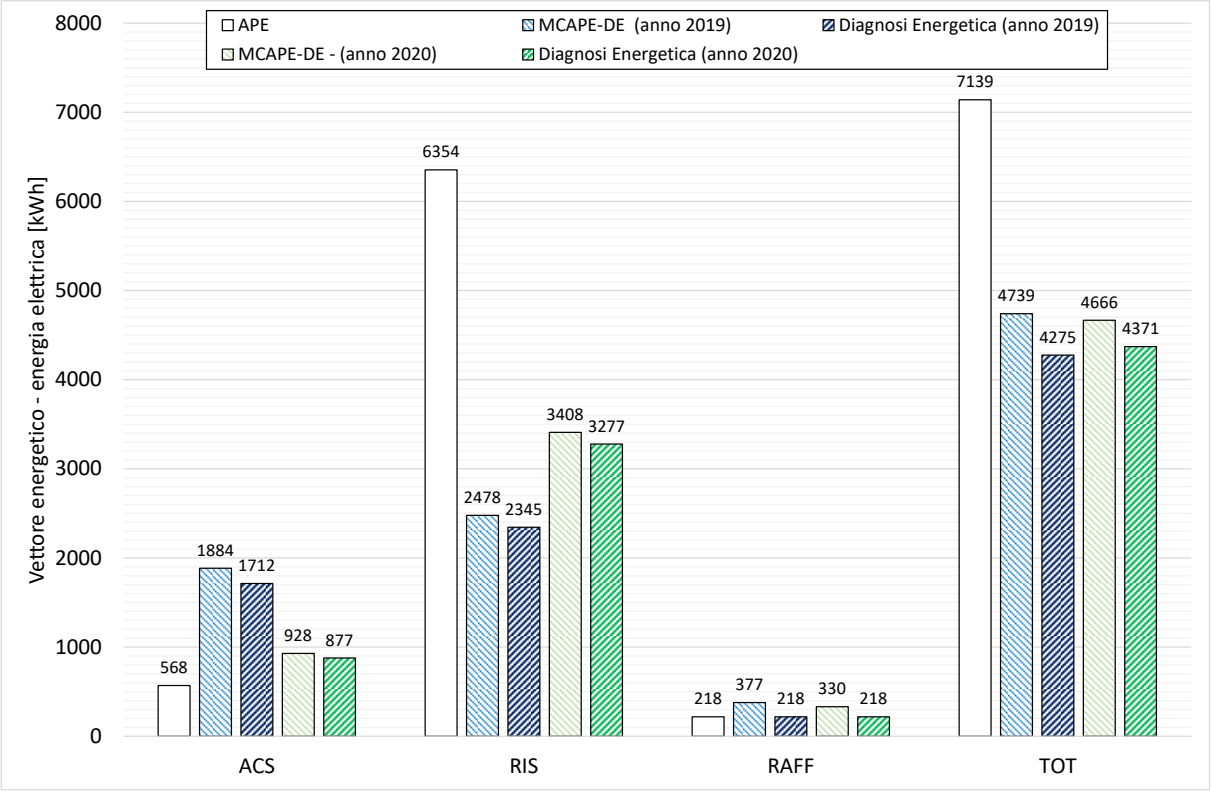


Figura 138. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 352. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2019	-171.7	-133.0	-159.5	-464.2	-10.0	-5.7	-73.2	-10.9
	2020	-51.1	-131.2	-112.5	-294.8	-5.8	-4.0	-51.6	-6.7

2.4.16 Caso Studio n. 14 – E.2-2

Il secondo caso studio che afferisce alla categoria E.2 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano terra di un edificio prevalentemente residenziale costruito intorno al 1990 nel comune di Spoleto (PG), città della regione Umbria contraddistinto dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 354. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi agli ultimi due anni e, in particolare, del 2019 e del 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questi due anni di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 354 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come i valori di temperatura medi annuali registrati nel 2019 (15.7 °C) e nel 2020 (15.2 °C) siano superiori a quello fornito dalla UNI 10349 (12.3 °C) di circa 3°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 353. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Spoleto
	Altitudine [10]	396 m s.l.m.
	Latitudine	42° 43'
	Longitudine	12° 44'
	Gradi Giorno [10]	2427
	Zona climatica [10]	E
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	1.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	32.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	20.8
	Escursione termica giornaliera [°C]	9.0
	Umidità relativa [%]	37.2

Tabella 354. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*			*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²][1, A e B]*
	Normativa [1,A]	*2019 [2,B]*	*2020 [2,B]*	
Gennaio	4.4	4.1	6.7	5.0
Febbraio	4.2	8.0	9.4	9.1
Marzo	7.8	11.5	9.9	11.6
Aprile	11.3	13.3	13.6	16.3
Maggio	15.7	14.4	18.4	20.4
Giugno	18.7	24.7	20.7	22.9
Luglio	21.8	25.9	25.2	26.6
Agosto	22	26.5	26.0	23.7
Settembre	16.4	21.2	20.8	16.5
Ottobre	12.4	17.3	14.0	11.0
Novembre	8.1	12.5	10.9	6.3
Dicembre	4.3	8.5	7.1	4.4
Media annua	12.3	15.7	15.2	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "Spoleto" - coordinate geografiche 42.7558333 e 12.7386111, quota 357 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.16.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 355) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 139).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, l'immobile è caratterizzato da due tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) confinante verso l'esterno mentre la seconda tipologia (M2) divide l'ambiente riscaldato da ambienti riscaldati. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata dal terreno (ambiente non riscaldato) mentre il solaio superiore (solaio indicato con S_s1) confina verso una zona riscaldata.

Tabella 355. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	Prima del 1990	[-]
Tipologia edilizia	Palazzina	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	3	[-]
Piano del caso studio	Terra	[-]
Altezza media vani	3.00	[m²]
Superficie utile climatizzata	169.8	[m²]
Superficie lorda climatizzata	202.2	[m²]
Volume netto climatizzato	458.46	[m³]
Volume lordo climatizzato	667.28	[m³]
Superficie disperdente	633.96	[m²]
Rapporto S/V	0.95	[m^{-1}]

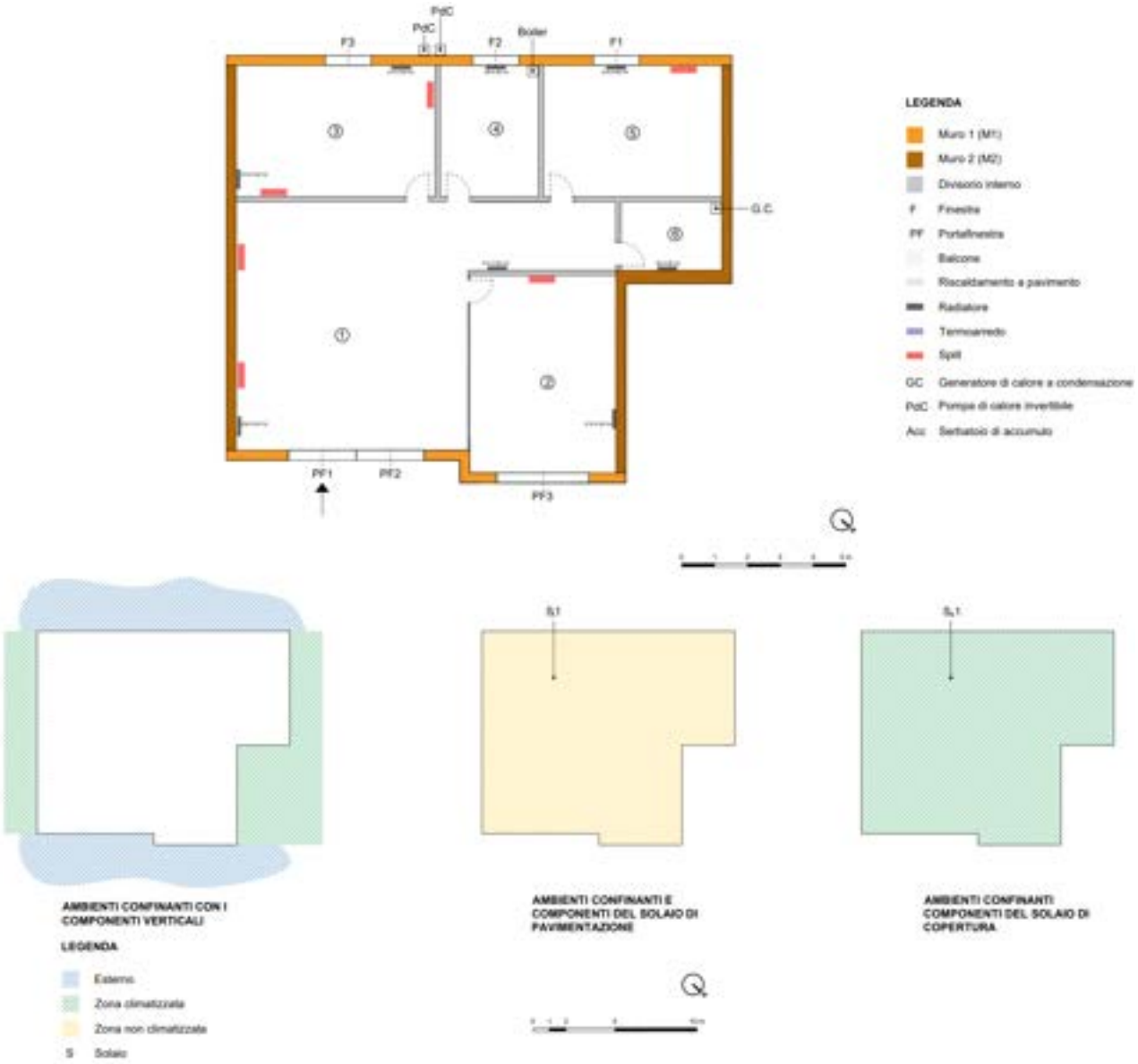


Figura 139. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (struttura con travi e pilastri) con tamponature esterne realizzate con blocchi di laterizio rifinite esternamente con intonaco, mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 18 + 5 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 356 a Tabella 360 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza.
Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.
In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 361) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 362) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.

Tabella 356. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Mattone forato	80	0.400	0.200
3	Intercapedine d'aria	60	0.333	0.180
4	Mattone pieno	120	0.800	0.150
5	Intonaco di calce	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		300	-	0.758
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.319	

Tabella 357. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
2	Mattone forato	80	0.400	0.200
3	Intercapedine d'aria	60	0.333	0.180
4	Mattone pieno	120	0.800	0.150
5	Intonaco di calce	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		300	-	0.758
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.319	

Tabella 358. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso ambienti riscaldati.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Blocco forato	300	0.319	0.940
3	Intonaco di calce	10	0.700	0.014
Zona non riscaldata/ vano scale		-	-	0.130
Totale		320	-	1.228
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.814	

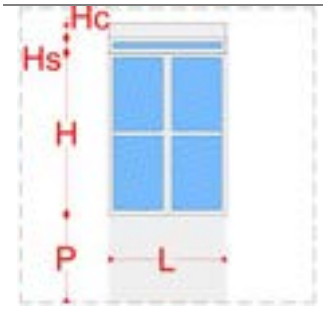
Tabella 359. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso il terreno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Piastrelle in ceramica	15	1.300	0.012
2	Massetto in calcestruzzo alleggerito	50	0.580	0.086
3	Soletta in laterizio	180	0.500	0.360
4	Sottofondo in cemento magro	100	0.900	0.111
Terreno		-	-	0.040
Totale		345	-	0.779
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.283	

Tabella 360. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso un ambiente riscaldato.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.100
1	Piastrelle in ceramica	15	1.300	0.012
2	Massetto in calcestruzzo alleggerito	50	0.580	0.086
3	Soletta in laterizio	180	0.500	0.360
4	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		265	-	0.687
Trasmittanza termica [W/m²K]			1.456	

Tabella 361. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*					*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Hs*	*Totale*	*Vetro*	
	PF01	2.10	2.50	0.00	0.00	0.50	6.30	3.35	3.294
	PF02	2.10	2.50	0.00	0.00	0.50	6.30	3.35	3.294
	PF03	2.80	2.70	0.00	0.00	0.00	7.56	4.88	3.572
	F01	1.40	1.40	1.00	0.00	0.00	1.96	0.99	2.552
	F02	1.40	1.40	1.00	0.00	0.00	1.96	0.99	2.552
	F03	1.40	1.40	1.00	0.00	0.00	1.96	0.99	2.552

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto, H_s = altezza sopraluce

Tabella 362. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete – telaio	0.179
IF – parete – solaio di interpiano	0.204
C – angolo tra pareti	-0.436
GF – parete – solaio di controterra	-0.176

Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di due pompe di calore invertibili, installate come evidenziato in Figura 139, che permettono di soddisfare i servizi energetici di riscaldamento e raffrescamento mediante sistemi ad espansione diretta (split). Il servizio di produzione acqua calda sanitaria è invece soddisfatto da un boiler elettrico. Inoltre, a fine 2019, il sistema impiantistico è stato integrato con un sistema a radiatori alimentati da un generatore a condensazione per il solo riscaldamento degli ambienti.
Le caratteristiche tecniche dei generatori di calore presenti sono riassunte in Tabella 363 e Tabella 364, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 365.

Tabella 363. Caratteristiche tecniche del generatore di calore e del boiler elettrico.

Caratteristiche del generatore di calore	*Multisplit*
Combustibile	Energia elettrica
Potenza nominale in riscaldamento – macchina 1 e 2 [kW]	7.10
COP – macchina 1 e 2 [-]	4.22
Potenza nominale in raffrescamento – macchina 1 e 2 [kW]	7.00
EER – macchina 1 e 2 [-]	4.00
Potenza Boiler elettrico 1 [kW]	1.2
Rendimento Boiler elettrico 1 [%]	0.75

Tabella 364. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Vitodens 100-W*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Interno
Potenza nominale – P_n [kW]	24.3
Potenza minima – P_{min} [kW]	4.4
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	208
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	149
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	24
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	97.8
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	107.7
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	1.35
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	0.1
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	0.8
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\ -\ min}$ [%]	15

Tabella 365. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	✓
Generatore di calore		Boiler	Pompa di calore + generatore a condensazione	Pompa di calore
Fluido termovettore		Acqua	Aria + acqua	aria
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	Autonomo
	Distribuzione	-	Collettore	-
	Tubazioni	-	Incassate nel pavimento	-
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	D.P.R. 412/93 [10]
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	Split + radiatori	split
	T esercizio	52 °C [4]	variabile	variabile
	ΔT	-	variabile	variabile
	Valvole	-	Si	-
Regolazione	*Tipologia*	-	Singolo Ambiente	Singolo Ambiente
	Caratteristiche	-	Azione proporzionale	Azione proporzionale

Oltre ai servizi energetici descritti, per le destinazioni d'uso di categorie E.2, è stato necessario acquisire anche tutte le informazioni inerenti ai sistemi illuminati e le apparecchiature presenti con lo scopo di stimare in maniera più corretta possibile la reale ripartizione dei consumi energetici. Per ogni stanza identificata in Figura 139 si sono rilevate la tipologia, la potenza e il numero delle lampade installate (Tabella 366) nonché gli accessori/apparecchiature presenti (Tabella 367), sebbene queste non saranno prese in considerazione nell'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$. In merito alle apparecchiature d'ufficio, oltre alle postazioni pc, sono state rilevate due stampanti, una per uso comune e una per uso privato. Sia per i sistemi illuminanti che per le altre apparecchiature, è stato necessario definire un orario di funzionamento/accensione che fosse congruente con le reali abitudini dei fruitori sulla base di quanto emerso in fase di sopralluogo. In particolare, si sono assunti i seguenti funzionamenti:

1. sistemi di illuminazione: 8 ore/giorno per la stanza n. 1, 3 e 5, essendo quelle stabilmente utilizzate, e 6 ore/giorno per la sala riunioni essendo un ambiente ampiamente utilizzato dagli utenti. Per i vani di servizio si è assunta convenzionalmente 1 ora/giorno;
2. stampante piccola: essendo ad uso esclusivo dell'utente della stanza n. 3, si è assunto un suo utilizzo pari a 1 volta al giorno (in media) per un tempo massimo ad utilizzo di 10 min;

3. stampante comune: questa è la stampante maggiormente impiegata essendo a servizio di tutti gli utenti. Per questo si è assunto un suo funzionamento pari a 3 volte al giorno per ciascun utente per un tempo massimo di 30 minuti ad utilizzo.

Si tiene a precisare che l'orario di funzionamento assunto per ogni apparecchiatura è stato definito in collaborazione con i fruitori stessi che, per la tipologia di lavoro svolta (professionisti dell'energia), tendono a svolgere il proprio lavoro prevalentemente usando strumenti digitali.
Inoltre, per alcune apparecchiature, quali ad esempio i pc, è stato necessario variarne l'assorbimento elettrico in quanto la presenza del personale dipendente è variata tra il 2019 e il 2020, comportando una diminuzione dei consumi mese per mese. Ad esempio, a seguito della pandemia, il personale che si trovava a condividere l'ufficio si è alternato occupando solo saltuariamente la propria postazione pc. Pertanto, ai fini delle analisi energetiche, si è cercato di tener conto di questa variazione di personale.

Tabella 366. Sistemi illuminanti presenti: tipologia, numero, potenza e ore di accensione stimate.

Stanza n.	*Tipologia di lampade*	*n. di lampade*	*Potenza singola lampada [W]*	*Ore medie giornaliere di accensione [h/giorno]*
1 – area comune reception	LED	4	36	8
2 – sala riunioni	LED	4	40	6
3 – ufficio singolo	LED	4	80 (2) e 40 (2)	8
4 – bagno n. 1	LED	1	36	1
5 – ufficio singolo	LED	4	80 (2) e 40 (2)	8
6 – copisteria	LED	1	36	1

Tabella 367. Apparecchiature presenti: tipologia, numero e potenza.

Stanza n.	*Numero Postazioni PC [-]*	*Potenza [W]*	*Ore medie giornaliere [h/giorno]*	*Altre apparecchiature [-]*	*Potenza [W]*	*Ore medie giornaliere [h/giorno]*
1 – area comune reception	1	120-180	6	-	-	-
2 – sala riunioni	1	120-180	8	-	-	-
3 – ufficio singolo	1	180	8	Stampante piccola (1)	350	0.01
4 – bagno n. 1	-	-	-	-		-
5 – ufficio singolo	1	180-360	8	-	-	-
6 – copisteria	-	-	-	Stampante (1)	750	0.44

2.4.16.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative agli anni 2019 e il 2020, sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato utilizzato in media complessivamente da un gruppo minimo di 4 (corrispondente al periodo del lockdown) fino ad un massimo di 7 per un totale di 266 giorni nel 2019 e 226 nel 2020.
Il caso studio selezionato, quindi, risulta di notevole interesse anche per il profilo occupazionale individuato in quanto completamente divergente rispetto quello standard previsto nella valutazione asset (APE); pertanto, è lecito attendersi una impostante scostamento tra l'APE e le due DE.
I consumi di acqua, metano e di energia elettrica acquisiti per i due anni analizzati, messi in relazione con il numero di utenti e di giorni di effettiva presenza, sono riassunti in Tabella 368.
Risulta rilevante osservare come tra il 2019 e il 2020 i consumi elettrici siano calati del 34%, mentre quelli di acqua risultano del 42%. Solo il consumo di metano è notevolmente aumentato (+750%) ma solo perché impiegato solo a partire da fine 2019.

Tabella 368. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020).

Mese	*Anno 2019*					*Anno 2020*				
	utenti [-]	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*	*utenti [-]*	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*
Gennaio	7	19	2123	769	0	7	24	1741	480	86
Febbraio	7	21	2347	748	0	7	22	1595	476	39
Marzo	7	21	2347	689	0	4	16	1160	380	49
Aprile	7	23	2570	553	0	4	12	870	319	14
Maggio	7	22	2459	489	0	4	10	725	170	0
Giugno	7	23	2607	475	0	4	12	975	256	0
Luglio	7	24	2721	761	0	4	15	1219	648	0
Agosto	7	24	2721	694	0	4	24	1950	586	0
Settembre	7	21	2381	474	0	4	20	1625	311	0
Ottobre	7	21	2381	465	0	4	24	1950	375	0
Novembre	7	23	2607	643	0	4	23	1869	452	5
Dicembre	7	24	2794	748	40	4	24	1779	488	146
Totale	-	266	30058	7508	40	-	226	17458	4941	339

2.4.16.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 140 e Tabella 369) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica A1 con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 140.82 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 6800 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei servizi di riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria e raffrescamento e di 810 Nm^3 di metano per il solo riscaldamento.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 368), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

Figura 140. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 369. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	14261	11440	25701	92.6	74.2	166.8	809.0	2983.3
Acqua Calda Sanitaria	1018	246	1264	6.6	1.6	8.2	0.0	522.1
Raffrescamento	987	238	1225	6.4	1.5	8.0	0.0	506.2
Illuminazione	5432	1309	6741	35.3	8.5	43.8	0.0	2785.6
Globale	21698	13233	34931	140.8	85.9	226.7	809.0	6797.2

2.4.16.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre due DE, la prima relativa all'anno 2019 mentre la seconda al 2020. Come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 354, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.16.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di illuminazione e delle apparecchiature d'ufficio;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.16.4.1 Stima dei consumi di illuminazione e delle apparecchiature d'ufficio;

A partire dalle potenze installate e dall'orario di funzionamento precedentemente definito, si è stimato un consumo medio mensile per questi due servizi energetici (Tabella 370). Dall'analisi dei risultati, si evince come nel 2020 vi sia stata una riduzione significativa dei consumi di illuminazione (-15%) e delle apparecchiature d'ufficio (-40%), riduzione prevalentemente legata alla riduzione dei fruitori a seguito della pandemia.
Complessivamente l'illuminazione e le apparecchiature d'ufficio, non considerati nella metodologia MC_{APE-DE}, concorrono alla spesa energetica per circa il 45% nel 2019 e quasi il 50% nel 2020.

Tabella 370. Consumo energetico stimato per l'illuminazione e le apparecchiature presenti.

Mese	*Anno 2019*			*Anno 2020*		
	Giorni di presenza [-]	Illuminazione [kW]	Apparecchiature [kW]	Giorni di presenza [-]	Illuminazione [kW]	Apparecchiature [kW]
Gennaio	19	114	136	24	145	138
Febbraio	21	127	151	22	133	126
Marzo	21	127	151	16	96	78
Aprile	23	139	165	12	72	59
Maggio	22	133	158	10	60	49
Giugno	23	139	165	12	72	59
Luglio	24	145	172	15	90	73
Agosto	24	145	172	24	145	117
Settembre	21	127	151	20	120	98
Ottobre	21	127	151	24	145	117
Novembre	23	139	165	23	139	113
Dicembre	24	145	172	24	145	117
Totale	266	1602	1908	226	1361	1145

2.4.16.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12].
A differenza dei casi studio residenziali, l'unica utenza installata che prevede l'utilizzo di acqua calda sono i lavabi dei bagni (consumo medio standard di 12 l/giorno·persona) che è stato quindi adottato come il fabbisogno medio giornaliero per ogni singolo utente.
A partire dal fabbisogno medio giornaliero per persona, si è quindi controllato che il valore risultante ogni mese non fosse maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette (unica verifica possibile per il presente caso studio); il confronto è mostrato in Figura 141 da cui si evince l'affidabilità e attendibilità del valore assunto.

Grazie ai risultati ottenuti, si è evinto che circa il 74% del consumo di acqua registrato nel 2019 è stato potenzialmente destinato per gli usi sanitari, mentre la stessa percentuale è calata al 62% nel 2020.
Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dagli utenti; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$, il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. Infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata ($MC_{APE\text{-}DE}$) è richiesto il valore giornaliero medio annuale.
Entrambi i valori sono dettagliati in Tabella 371 messi a confronto con il valore giornaliero medio mensile stimato applicando il calcolo standard (APE). La tabella mostra una significativa divergenza tra i valori stimati e l'APE; in particolare, si osservi come il volume medio giornaliero dell'APE sia quasi la metà del valore individuato per il 2019, mentre i due valori tendono a convergere nel 2020 che, però, è stato fortemente condizionato dalla pandemia. In accordo con il risultato atteso, quindi, è lecito attendersi una netta divergenza dei consumi determinati con APE e DE per il servizio di acqua calda sanitaria specialmente per l'anno 2019.

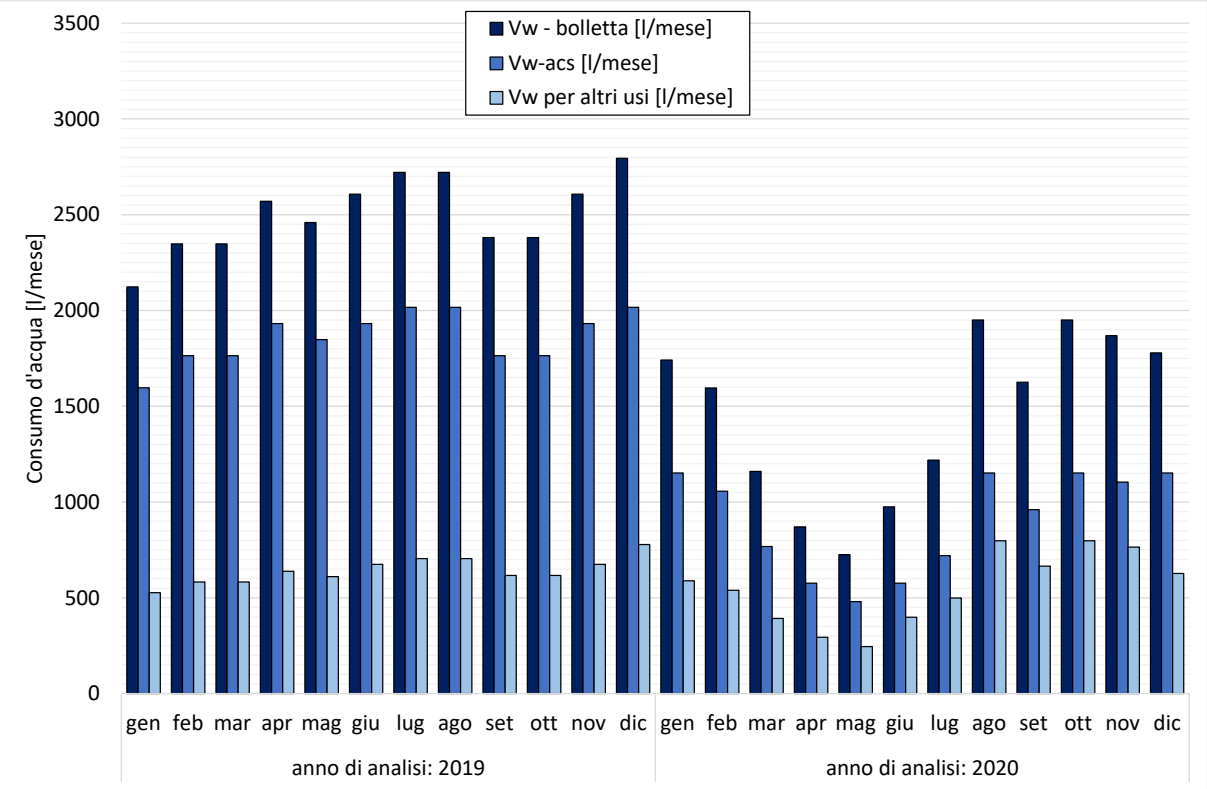


Figura 141. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

Tabella 371. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2019*		*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	1596	51.5	1152	37.2	30.8
Febbraio	1764	63.0	1056	36.4	30.8
Marzo	1764	56.9	768	24.8	30.8
Aprile	1932	64.4	576	19.2	30.8
Maggio	1848	59.6	480	15.5	30.8
Giugno	1932	64.4	576	19.2	30.8
Luglio	2016	65.0	720	23.2	30.8
Agosto	2016	65.0	1152	37.2	30.8
Settembre	1764	58.8	960	32.0	30.8
Ottobre	1764	56.9	1152	37.2	30.8
Novembre	1932	64.4	1104	36.8	30.8
Dicembre	2016	65.0	1152	37.2	30.8
Media	*1862*	*61.3*	*904*	*29.6*	*30.8*

2.4.16.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimati i primi consumi energetici e il volume di acqua calda potenzialmente richiesto, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dagli utenti mediante il questionario e dai consumi stimati per i servizi di illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione di acqua calda sanitaria (stimato a partire dal volume di acqua calda consumato); in particolare, per l'analisi si è partiti dai consumi stimati e mostrati in Figura 142 in cui è riportato il confronto tra il consumo di bolletta e quelli stimati rispettivamente per l'illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione d'acqua calda sanitaria.

La figura conferma come le assunzioni fatte per i tre servizi energetici potrebbero essere effettivamente coerenti con i consumi registrati mese per mese permettendo di evidenziare anche dei potenziali periodi in cui presumibilmente gli utenti hanno prevalentemente riscaldato o raffrescato; in particolare, dall'analisi del grafico si può evincere come nel 2019 il consumo registrato sia sempre stato maggiore di stimato per i soli tre servizi energetici fin qui esaminati indicando, probabilmente, la necessita di riscaldare e/o raffrescare per tutto l'anno. Questa ipotesi potrebbe non essere molto lontana dalla realtà visto che fino a dicembre del 2019 l'unico impianto presente era quello ad espansione diretta. Nel 2020 invece, i consumi stimati (linea in blu) tendono a quelli di bolletta solo nei periodi a cavallo della stagione estiva ed invernale, confermando quindi la bontà delle ipotesi fatte. Il grafico, inoltre, mostra dei significativi incrementi di consumo di energia elettrica proprio in corrispondenza della stagione estiva (da giugno a settembre) e invernale (da novembre ad aprile) sicuramente legati ai servizi di riscaldamento e raffrescamento, indicando, quindi, che nonostante l'installazione dell'impianto a radiatori, la copertura del servizio di riscaldamento è garantita anche dall'accensione del generatore a pompa di calore. In accordo con il periodo di riscaldamento della zona climatica esaminata (zona E), si è quindi ipotizzato che i picchi di consumo registrati tra novembre e aprile siano legati al solo servizio di riscaldamento, mentre quelli osservati tra giugno e settembre al solo servizio di raffrescamento.

A partire dai consumi teorici, si è quindi proceduto con la definizione delle configurazioni ottimali di funzionamento degli impianti (sia di riscaldamento che di raffrescamento), ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi, ottenendo:

- anno di analisi 2019: 5 giorni a settimana per 12 ore/giorno;
- anno di analisi 2020: 5 giorni a settimana per 10 ore/giorno.

Per il raffrescamento, invece, si raggiungono i consumi registrati assumendo un orario di accensione di 3 ore/giorno nel 2019 e di 4 ore/giorno nel 2020. A partire dalle configurazioni ottimali, è stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 372) per entrambi gli anni di analisi; in particolare, si

osservi come nel 2019 il servizio più energivoro è risultato quello del riscaldamento (26%), seguito dalle apparecchiature d'ufficio (25%) e dall'illuminazione (circa il 21%). Nel 2020, invece, il riscaldamento si è attestato il terzo servizio più energivoro (con circa il 20%) scavalcato dalle apparecchiature d'ufficio (circa il 23%) e dall'illuminazione (pari a circa il 27%); a causa del lockdown e la conseguente diminuzione del personale, si è osservato un consumo di acqua calda praticamente dimezzato diventando il servizio meno energivoro del 2020.
L'inventario energetico redatto anche mediante l'ausilio del software di simulazione, può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di energia elettrica calcolato (indicato in tabella con totale) con quello reale (indicato in tabella con bollette), si ottiene una discrepanza pari a -3.0% per l'anno 2019 e 2.6% per il 2020 (Tabella 372). Anche confrontando anche il consumo di metano l'attendibilità dell'inventario è confermata avendo una discrepanza del -0.2% nel 2019 e del 1.4% nel 2020. Queste difformità possono essere considerate come un errore accettabile essendo inferiori al ±5% [15]; pertanto, tutte le assunzioni fatte per ciascun servizio energetico possono essere considerate come affidabili.

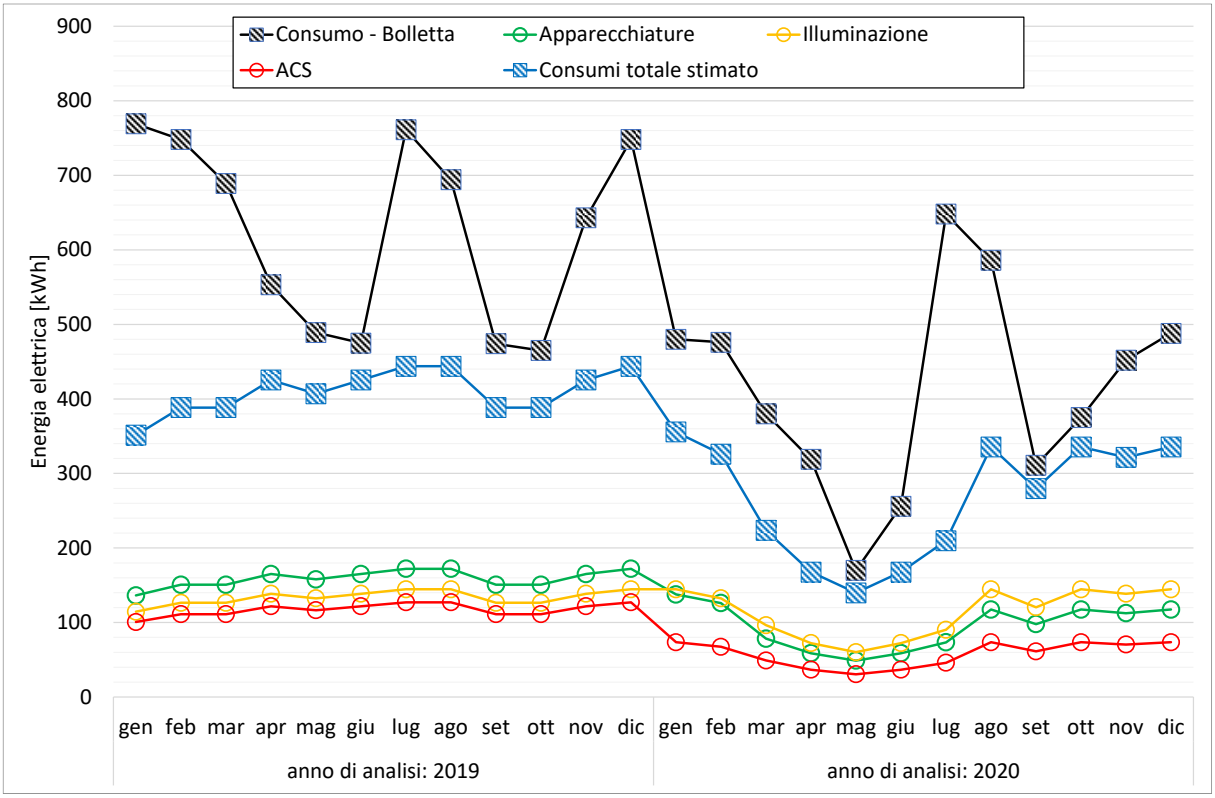


Figura 142. Confronto tra il consumo di energia elettrica di bolletta e quello stimato per i servizi di illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione di acqua calda per usi sanitari.

Tabella 372. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Metano [Nm³]	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Nm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
Riscaldamento	38.0	2031.0	317.0	1033.1
Produzione di acqua calda sanitaria	0.0	1409.1	0.0	692.3
Raffrescamento	0.0	784.6	0.0	838.6
Illuminazione	0.0	1602.4	0.0	1361.4
Apparecchiature	0.0	1908.2	0.0	1144.6
Totale	38.0	7735.2	317.0	5069.9
Bollette	37.9	7508.0	321.4	4941.0
scostamento	-0.2%	-3.0%	1.4%	-2.6%

Infine, in Tabella 373 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo di energia elettrica) derivanti dalle due DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura MC_{APE-DE} che con l'approccio APE.

Tabella 373. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2019	Riscaldamento	4357	10151	14508	28.3	65.9	94.2	38.0	2031.0
	Acqua Calda Sanitaria	2748	662	3410	17.8	4.3	22.1	0.0	1409.1
	Raffrescamento	1530	369	1899	9.9	2.4	12.3	0.0	784.6
	Illuminazione	3125	753	3878	20.3	4.9	25.2	0.0	1602.4
	Globale	7105	10813	17918	46.1	70.2	116.3	38.0	5827.0
2020	Riscaldamento	5323	5343	10666	34.5	34.7	69.2	317.0	1033.1
	Acqua Calda Sanitaria	1350	325	1675	8.8	2.1	10.9	0.0	692.3
	Raffrescamento	1635	394	2029	10.6	2.6	13.2	0.0	838.6
	Illuminazione	2655	640	3295	17.2	4.2	21.4	0.0	1361.4
	Globale	6673	5668	12341	43.3	36.8	80.1	317.0	3925.3

2.4.16.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.16.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 374, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 143 (anno 2019) e in Figura 144 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: i risultati più accurati si ottengono impiegando per il volume d'acqua un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI") mentre adottando il valore pari al 50% del consumo di bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI) o l'approccio APE si ottengono discrepanza più significative. Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wtot}) compresa tra il -16% al +171% (Figura 145);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wtot} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari al -2% nel 2020 e del 2% nel 2019 (Figura 145).

Tabella 374. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	2020	
Tipologia di generatore		Boiler elettrico		[-]
Vettore energetico		Energia elettrica		[-]
Superficie utile dell'immobile		154.08		[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		12.26		[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		15.66	15.23	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	61.3	29.6	[litri/giorno]
	Convenzionale	157.2	76.1	[litri/giorno]
	Bolletta	61.2	29.6	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	41.2	23.8	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.723	0.758	[-]
	F_{Vw}	1.611	1.611	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	6.6		[kWh/m²]
	EP_{Wren}	1.6		[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	8.2		[kWh/m²]
	Energia elettrica	522.1		[kWh]

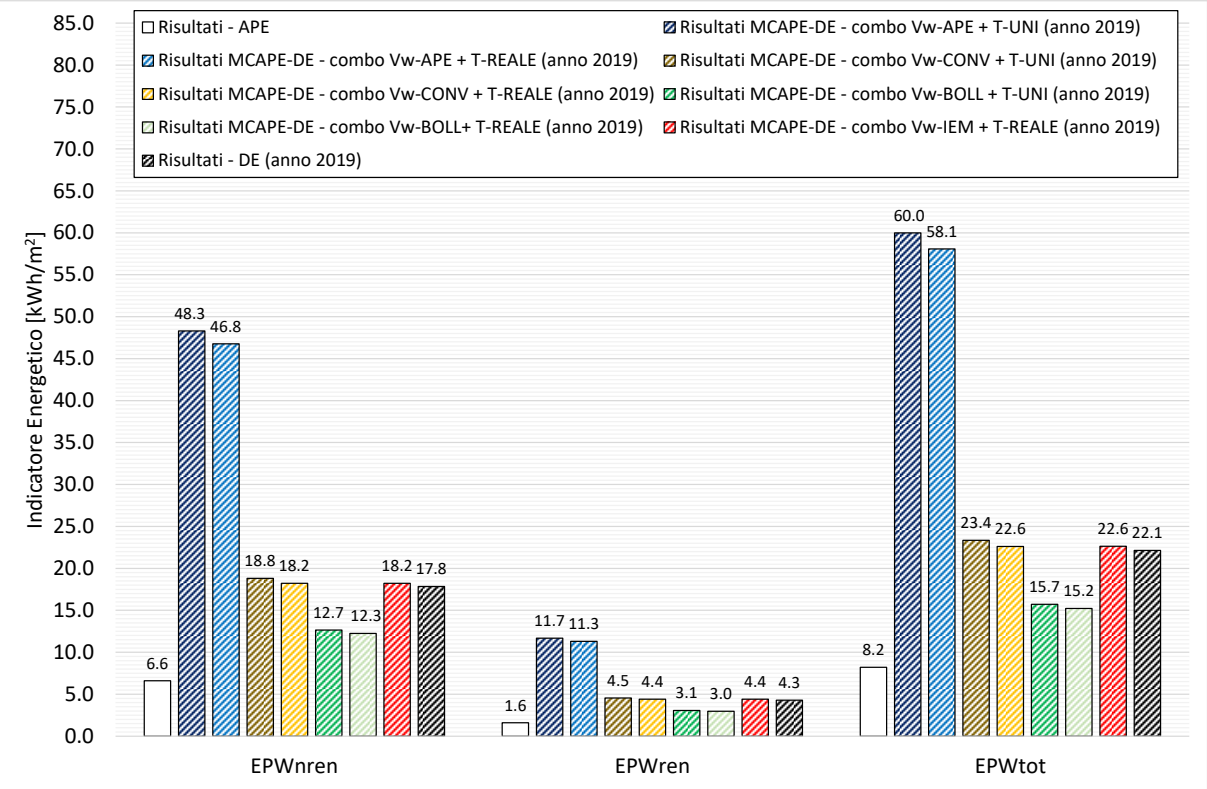


Figura 143. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

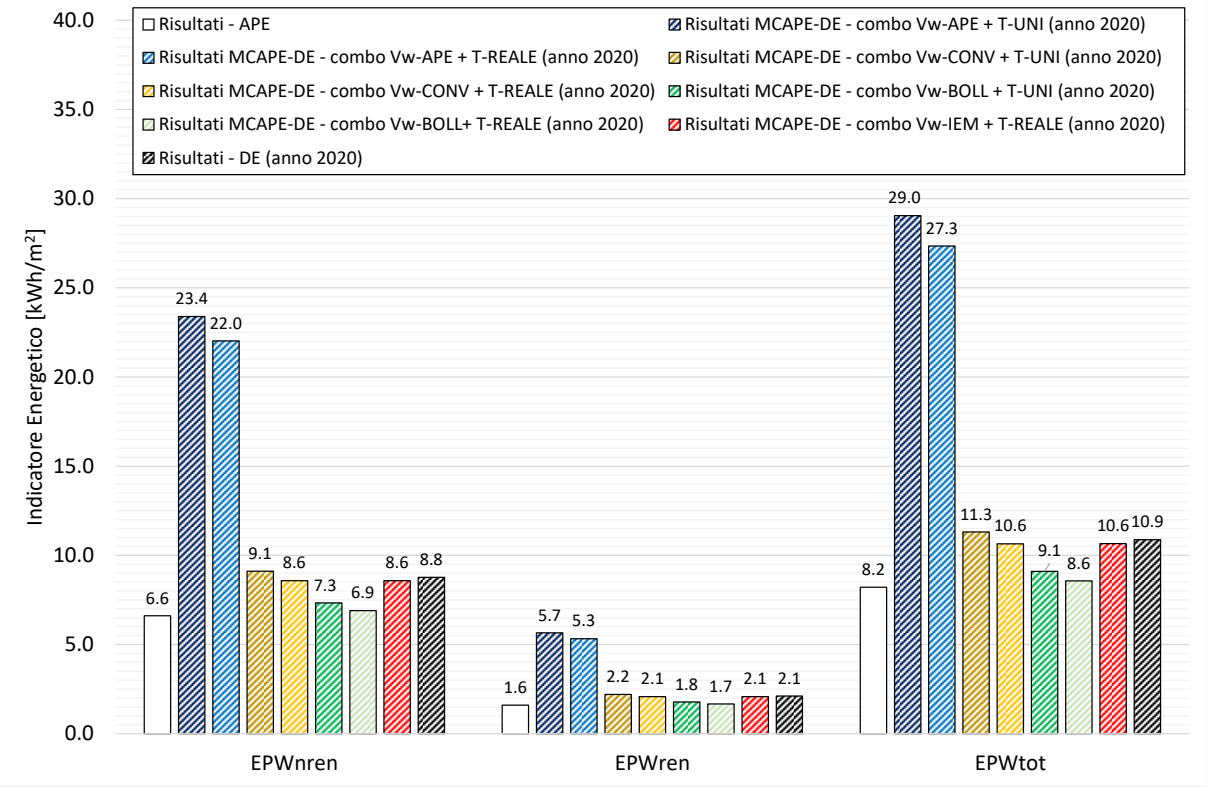


Figura 144. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

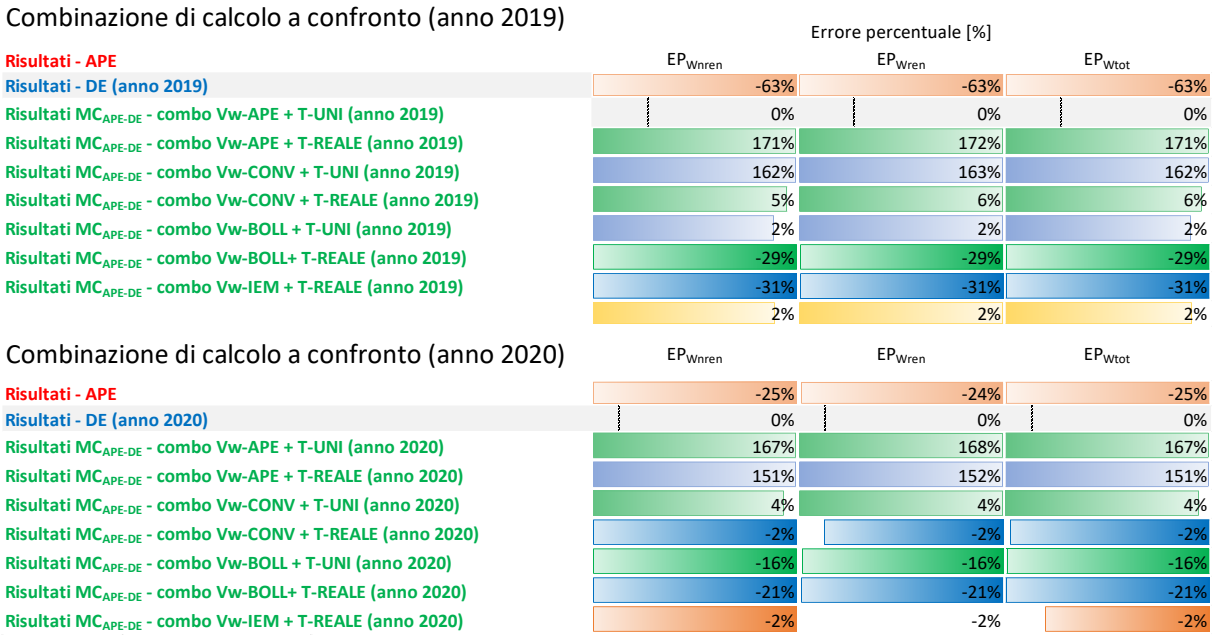


Figura 145. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. Il calcolo APE, invece, tende a sottostimare nettamente i risultati della DE con divergenze che variano da un minimo di -24% (indicatore EP_{Wtot} del 2020) ad un massimo del -63% (indicatore EP_{Wtot} del 2019).
Analizzando l'errore assoluto, evidenziato in Tabella 375, la differenza tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±0.5 kWh/m^2, errore che può essere considerato ampiamente come accettabile.
In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE". In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, la metodologia alternativa che si basa sul calcolo di un volume di acqua calda di tipo convenzionale sembra restituire un risultato più aderente ai reali consumi energetici, al contrario sia l'approccio APE che quello semplificato (ossia assumendo un volume pari al 50% del consumo di bolletta) tendono a restituire risultati molto variabili e divergenti dal reale consumo registrato.

Tabella 375. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-11.62	-1.97	-175.82	-29.81
	EP_{Wren}	-2.81	-0.48	-175.82	-29.81
	EP_{Wtot}	-14.42	-2.45	-175.82	-29.81
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-0.39	0.18	-2.19	2.11
	EP_{Wren}	-0.11	0.04	-2.46	1.86
	EP_{Wtot}	-0.50	0.22	-2.24	2.06

2.4.16.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 376, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto. In questo caso, è stato necessario definire un ulteriore parametro ossia una percentuale di utilizzo degli impianti presenti al fine di ripartire correttamente i fabbisogni energetici; questa percentuale è stata desunta in base all'energia primaria effettivamente coperta da ciascun impianto riscontrata in fase di DE.

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 146 (anno 2019) e in Figura 147 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra -12% e +26% dell'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{Hnren}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso tra +7% e +16%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali, come era lecito attendersi in virtù di quanto descritto in 2.3.2, determina un incremento dei risultati (discrepanze dell'ordine del +16% e del 26%).

Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 377, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del -12% e del -1%). Una correlazione ancora migliore si ottiene effettuando anche la seconda correzione per il coefficiente F_{H-set} (ma solo per la pompa di calore) in questo caso le differenze percentuali si attestano al 3-4%. Anche per il presente caso studio, si evidenzia una significativa difficoltà nell'approssimare correttamente il reale contributo rinnovabile della pompa di calore; questo errore, tuttavia, non comporta errori nella stima dei consumi energetici come sarà discusso in seguito.

In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, reali ma corretti per il fattore F_{GG}, o reali ma corretti per i fattori F_{GG} e F_{H-set}, la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

Tabella 376. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	*2020*	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-0		[-]
Tipologia del generatore di calore		Pompa di calore (PdC) e generatore a condensazione (GC)		[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Bassa e Alta		[-]
Vettore energetico principale		Energia elettrica e metano		[-]
Potenza nominale		14.2 (PdC) + 24.3		[kW]
COP medio e/o efficienza nominale		4.2 (PdC) /0.978		[-/%]
Superficie utile		154.08		[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2427		[GG]
Gradi Giorno – reali		1843	1918	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		12	10	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.759	0.790	[-]
	F_{H-set}	1.00 (GC) e 1.20 (PdC)	1.00 (GC) e 1.20 (PdC)	[-]
Percentuale di utilizzo		0.910 (PdC) – 0.09 (GC)	0.400 (PdC) – 0.600 (GC)	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	92.6		[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	74.2		[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	166.8		[kWh/m^2]
	Energia elettrica	2983.3		[kWh]
	Metano	809.0		[Nm^3]

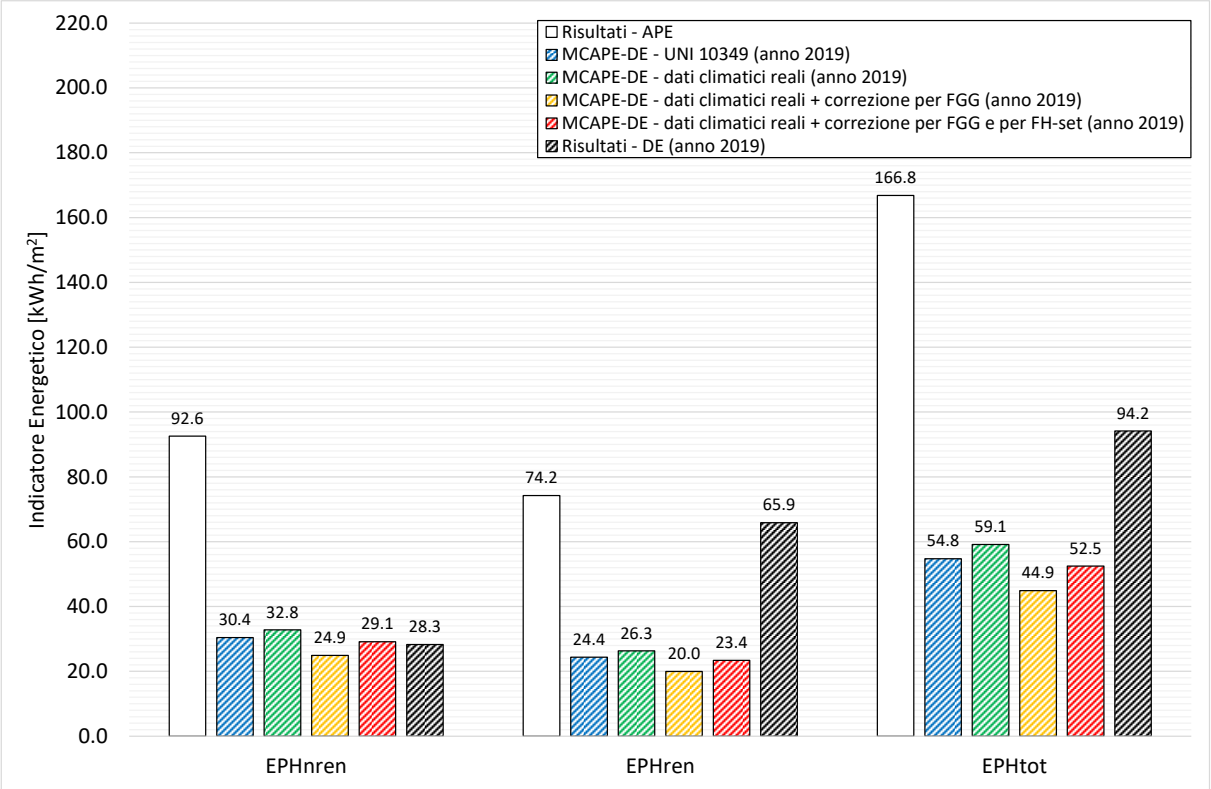


Figura 146. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

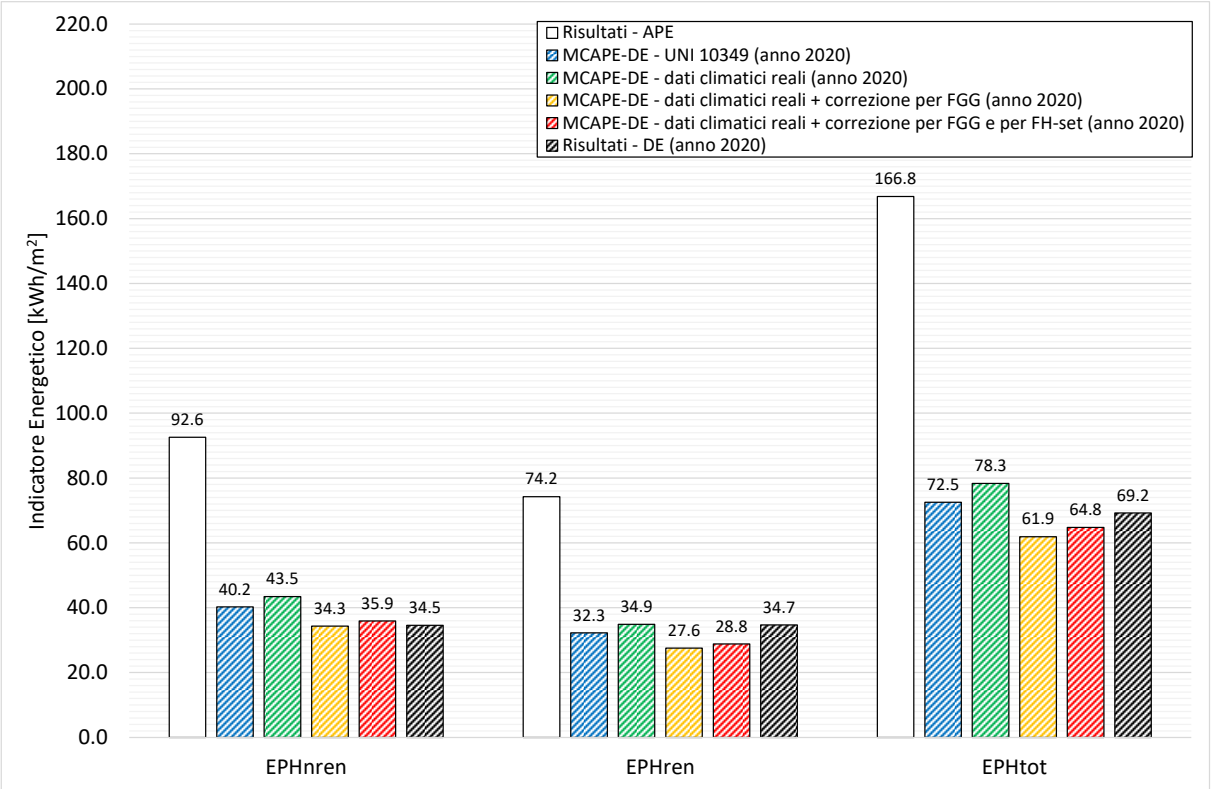


Figura 147. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 377. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	-2.11	-5.69	-7.47	-16.46
	EP_{Hren}	41.50	2.40	63.00	6.93
	EP_{Htot}	39.39	-3.28	41.84	-4.75
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-4.53	-8.91	-16.03	-25.80
	EP_{Hren}	39.56	-0.19	60.05	-0.53
	EP_{Htot}	35.03	-9.10	37.20	-13.14
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	3.36	0.20	11.89	0.57
	EP_{Hren}	45.90	7.12	69.66	20.54
	EP_{Htot}	49.26	7.32	52.32	10.57
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	-0.86	-1.39	-3.03	-4.02
	EP_{Hren}	42.51	5.85	64.52	16.87
	EP_{Htot}	41.65	4.46	44.24	6.44

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.
I risultati (Tabella 378) ottenuti nell'ipotesi di funzionamento degli impianti come emerso per l'anno 2020, sono messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE. In particolare, si osservi come anche in caso informazioni poco accurate sull'orario di accensione dell'impianto, la metodologia avrebbe permesso di identificare un orario medio giornaliero (valore evidenziato in rosso) come quello più probabile. Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 378. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} *[kWh/m²]*	EP_{Hren} *[kWh/m²]*	EP_{Htot} *[kWh/m²]*	*Consumo elettrico [kWh/anno]*	*Consumo metano [Nm³/anno]*
1	2.3	1.8	4.1	2.7	21.4
2	6.5	5.2	11.8	10.3	96.0
3	10.8	8.6	19.4	17.8	170.7
4	15.0	12.0	27.0	25.4	245.4
5	19.2	15.4	34.6	33.0	320.1
6	23.4	18.8	42.3	40.5	394.7
7	27.4	21.9	49.3	47.3	460.5
8	31.3	25.1	56.3	54.0	526.3
9	35.2	28.2	63.4	60.8	592.1
10	36.0	28.9	64.9	62.4	608.4
11	36.8	29.5	66.3	64.0	624.8
12	37.6	30.2	67.8	65.6	641.1
13	38.5	30.9	69.3	67.2	657.5
14	39.3	31.5	70.8	68.8	673.9
APE	92.6	74.2	166.8	2983.3	809.0

2.4.16.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 379, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche della macchina frigorifera, i Gradi Giorno estivi ricalcolati a partire dai dati climatici di normativa [3], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto. Contrariamente alle equazioni trovate per il servizio di riscaldamento (caratterizzate da coefficienti R^2 maggiori di 0.95/0.98), per il raffrescamento l'accuratezza è inferiore presentando valori di R^2 variabile tra un minimo di 0.82 e un massimo di 0.87. Per questo motivo nelle analisi che seguono si è tenuto conto di questa minore affidabilità andando a definire un range di valori plausibili degli indicatori stessi.

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 148 (anno 2019) e in Figura 149 (anno 2020). Per il raffrescamento, si riscontra una evidente sottostima dei risultati dell'APE mentre l'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce un risultato più in linea con i risultati della DE ma solo quando applicata con dati climatici reali. Le discrepanze oscillano tra -61% e +3% dell'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{Cnren}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore del -55% e del -51%; tale discrepanza tende a crescere quando si utilizzano i dati climatici reali che determinano una maggiore sottostima dei risultati rispetto le DE (discrepanze dell'ordine del -61% e del -57%).

Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GGe}, come si evince anche dalla Tabella 380, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi leggermente portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del +21% e del +3%). Effettuando anche la correzione legata alla differente temperatura di set point, invece, si riesce ridurre ulteriormente questo divario dalla DE, con un errore relativo compreso tra il +13% e il -4%.

Come anticipato, queste discrepanze fin qui argomentate possono in realtà subire delle variazioni più o meno marcate in funzione dell'accuratezza delle equazioni impiegate. Per questo, nelle figure sono stati riportati anche i range (linee in nero) rappresentanti i valori minimi e massimi che possono essere assunti dai vari indicatori energetici. Si osservi come la maggior variazione dei valori si riscontri per quelle combinazioni per le quali si è effettuata la correzione per i fattori F_{GGe} e F_{C-set}, mentre risultano nettamente più contenute per le prime due combinazioni. Se si considerasse questo range, le discrepanze rispetto la DE potrebbero variare significativamente oscillando tra un -21% e un +17%.

Tabella 379. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*	
		2019	*2020*
Livello di isolamento dell'edificio [-]		Liv-Iso-0	
Tipologia del generatore di calore [-]		Macchina frigorifera	
Potenza nominale del generatore [kW]		14.0	
EER [-]		4.0	
Superficie utile [m²]		154.08	
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2420	
Gradi Giorno – reali		7554	5878
Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]		3.0	4.0
Fattori correttivi	F_{GGe}	3.121	2.429
	F_{C-set}	0.929	0.929
Risultati APE	EP_{nren} [kWh/m²]	6.41	
	EP_{ren} [kWh/m²]	1.54	
	EP_{tot} [kWh/m²]	7.95	
	Energia elettrica [kWh]	506.15	

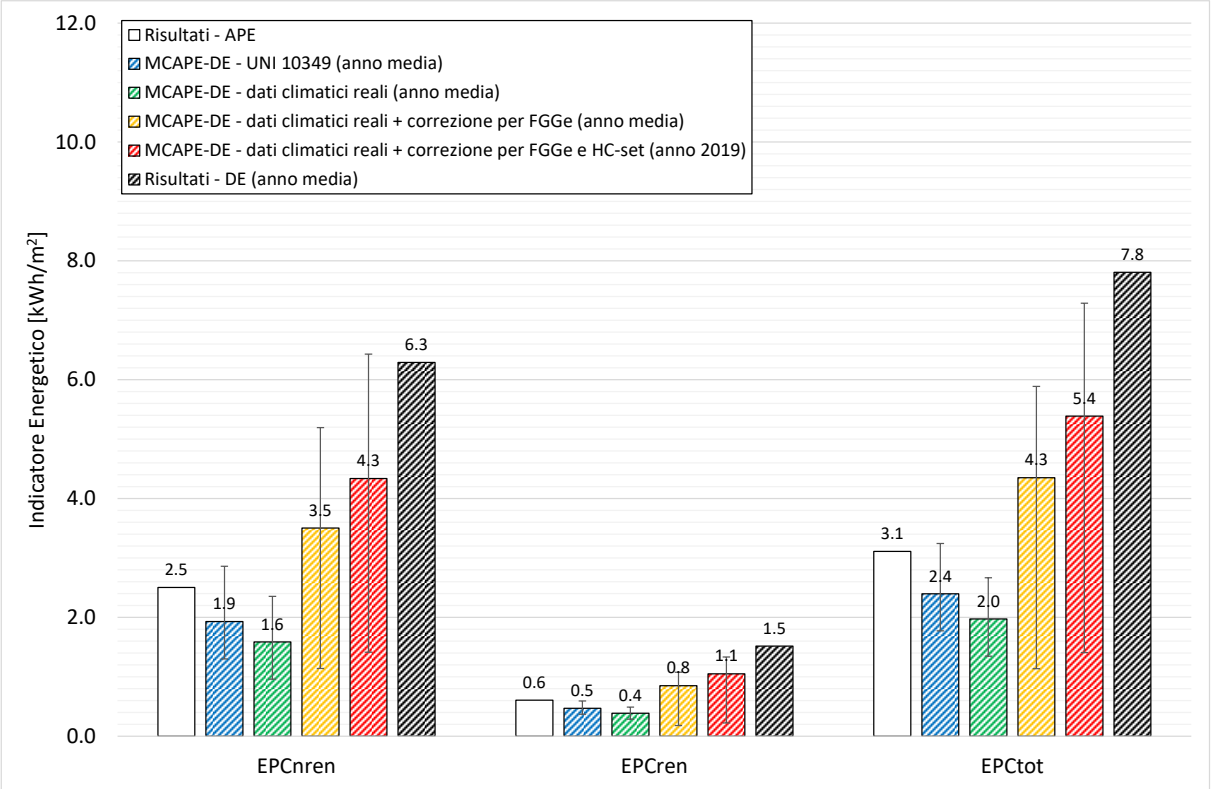


Figura 148. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

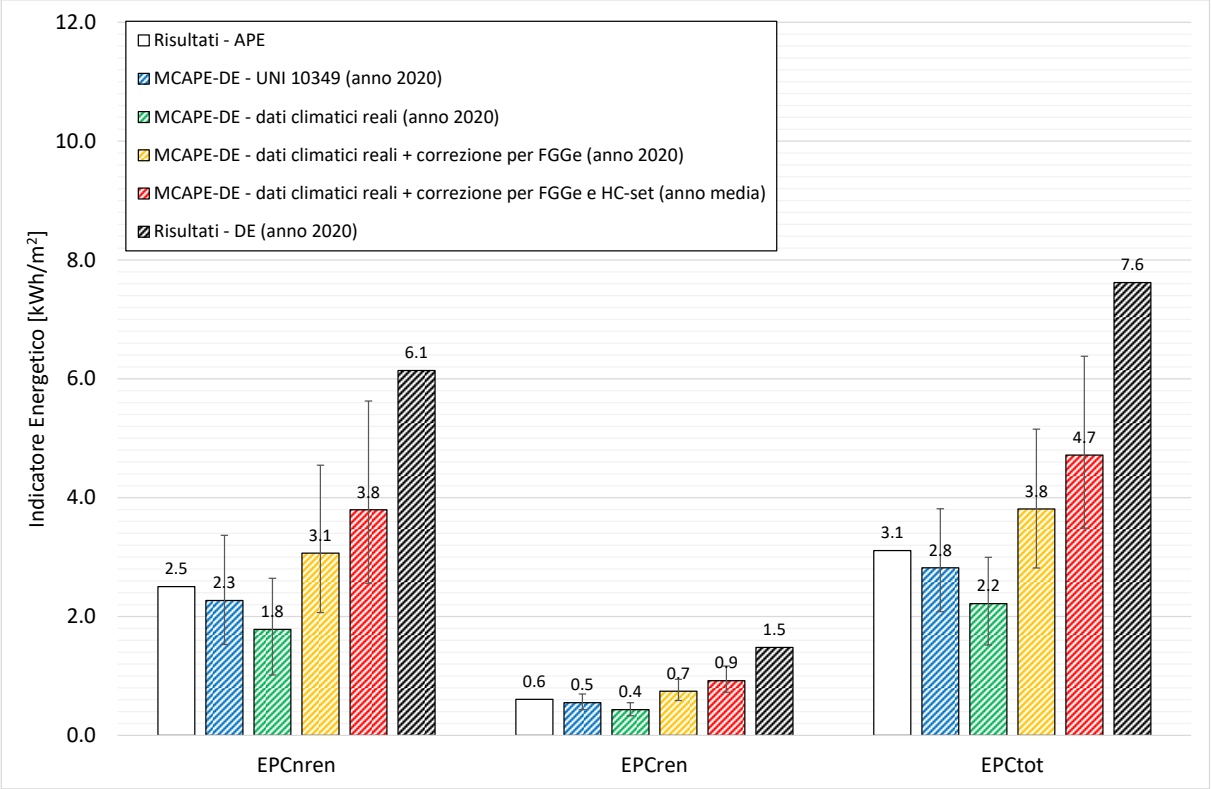


Figura 149. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 380. Servizio di raffrescamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore (con pompa di calore)*			
		Assoluto [kWh/m²]		Relativo [%]	
		2019	2020	2019	2020
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno Estivi	EP_{Cnren}	5.51	5.40	55.49	50.87
	EP_{Cren}	1.33	1.30	55.47	50.85
	EP_{Ctot}	6.84	6.70	55.48	50.87
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno Estivi ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Cnren}	6.07	6.09	61.17	57.42
	EP_{Cren}	1.46	1.47	61.15	57.40
	EP_{Ctot}	7.54	7.56	61.17	57.42
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno Estivi ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GGe}	EP_{Cnren}	-2.10	-0.36	-21.18	-3.42
	EP_{Cren}	-0.51	-0.09	-21.24	-3.46
	EP_{Ctot}	-2.61	-0.45	-21.19	-3.43
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GGe} e F_{C-set}	EP_{Cnren}	-1.24	0.42	-12.53	3.97
	EP_{Cren}	-0.30	0.10	-12.58	3.93
	EP_{Ctot}	-1.54	0.52	-12.54	3.96

2.4.16.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia MC_{APE-DE} sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi (F_{GG} e $F_{H\text{-set}}$);
- Raffrescamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi (F_{GGe} e $F_{C\text{-set}}$);

Il confronto dei consumi di metano e di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 150 e in Figura 151. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia MC_{APE-DE} con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.
Entrando più nel dettaglio, l'errore (rimarcato in Tabella 381) si attesta complessivamente al -10% nel 2019 (corrispondete ad una differenza di 400 kWh) e al -1% nel 2020 (pari a circa 4 kWh). L'errore relativo più marcato, come ampiamente discusso in precedenza, è stato riscontrato per il servizio di raffrescamento (±60%), mentre per il riscaldamento risulta del ±30%. Per il metano, invece, l'errore relativo massimo si attesta al 63% pari a circa 25 Nm^3. I risultati evidenziano una importante sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale compresa tra il 40-60%), confermando una migliore affidabilità della metodologia MC_{APE-DE}.

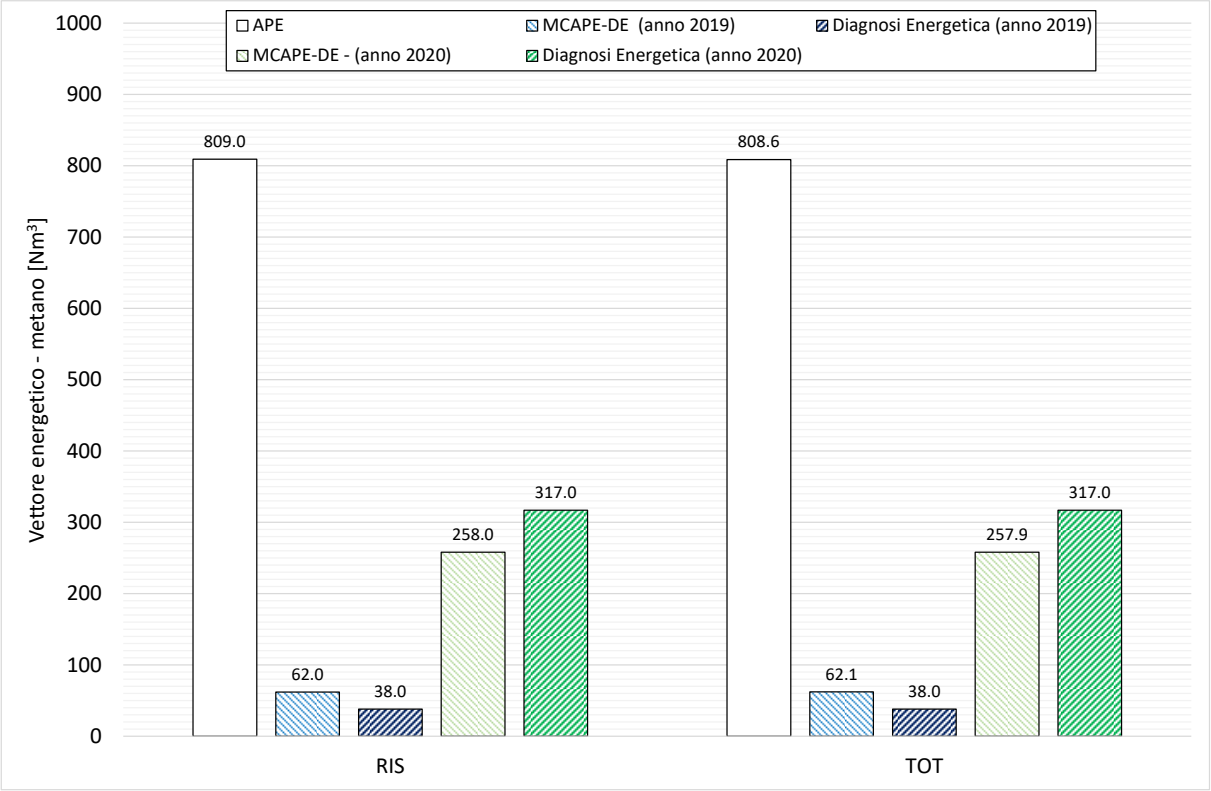


Figura 150. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

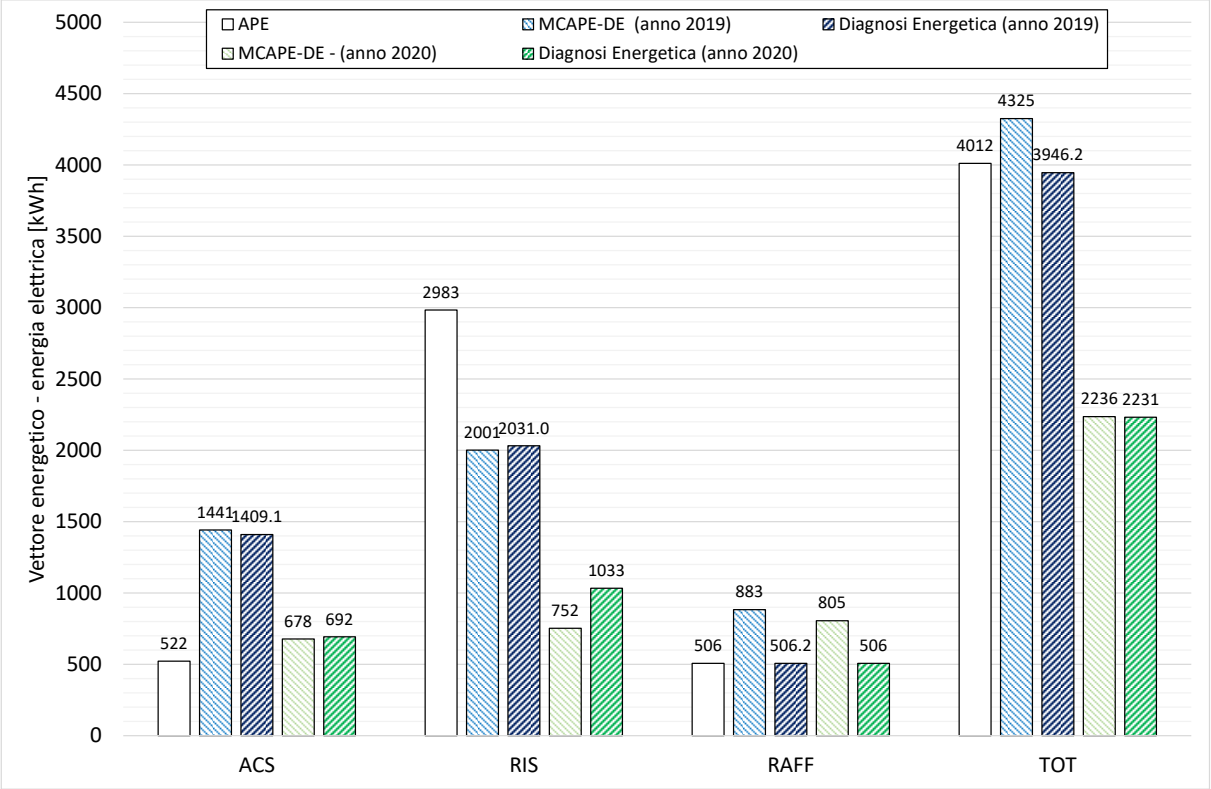


Figura 151. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 381. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	Anno di analisi	Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]				Errore Relativo per servizio energetico [%]			
		ACS	RIS	RAFF	TOT	ACS	RIS	RAFF	TOT
Energia elettrica	2019	-31.6	29.6	-376.7	-378.7	-2.2	1.5	-74.4	-9.6
	2020	14.3	280.8	-299.1	-4.1	2.1	27.2	-59.1	-0.2
Metano	2019	0.0	-24.0	0.0	-24.1	0.0	-63.0	0.0	-63.4
	2020	0.0	59.0	0.0	59.1	0.0	18.6	0.0	18.6

2.4.17 Caso Studio n. 15 – E.2-3

Il terzo caso studio che afferisce alla categoria E.2 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] ed è ubicato al piano primo di un capannone costruito dopo il 1990 nel comune di Spoleto (PG), città della regione Umbria contraddistinto dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 382. Per questo, oltre alla caratterizzazione termofisica, sono stati resi disponibili i dati dei consumi energetici relativi agli ultimi due anni e, in particolare, del 2019 e del 2020; pertanto, nei paragrafi che seguono si discuteranno i risultati conseguiti dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per questi due anni di riferimento.

Come previsto da normativa, l'APE è una valutazione di tipo standard dell'edificio per la quale è necessario fare riferimento ai dati climatici forniti dalla UNI 10349 [3], mentre per la redazione di una DE è necessario reperire i dati climatici reali, almeno medio mensili qualora fruibili, relativi agli anni di cui si dispongono i consumi. Sebbene la regione Umbria disponga di stazioni meteo sparse per tutto il territorio e di un archivio dati fruibile online [16], è stato possibile reperire i soli valori medi giornalieri della temperatura esterna non essendo disponibili quelli della radiazione solare. Pertanto, per la temperatura dell'aria esterna si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare si è deciso di fare riferimento, in mancanza di altri dati, a quelli forniti dalla UNI 10349 [3]; in particolare, in Tabella 383 si riportano i valori medi mensili considerati, la fonte, nonché il campo di applicazione degli stessi. Da un primo confronto si evince come i valori di temperatura medi annuali registrati nel 2019 (15.7 °C) e nel 2020 (15.2 °C) siano superiori a quello fornito dalla UNI 10349 (12.3 °C) di circa 3°C, evidenziando già una prima ed importante divergenza tra le due metodologie di calcolo previste da normativa (APE e DE).

Tabella 382. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Umbria
	Provincia	Perugia
	Comune	Spoleto
	Altitudine [10]	396 m s.l.m.
	Latitudine	42° 43'
	Longitudine	12° 44'
	Gradi Giorno [10]	2427
	Zona climatica [10]	E
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	1.10
	Temperatura bulbo secco [°C]	32.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	20.8
	Escursione termica giornaliera [°C]	9.0
	Umidità relativa [%]	37.2

Tabella 383. Valori medi mensili dei dati climatici impiegati per la redazione dell'APE e delle DE (riferite agli anni 2019 e 2020).

Mese dell'anno	*Temperatura dell'aria esterna [°C]*			*Radiazione solare globale giornaliera incidente su piano orizzontale [MJ/m²][1, A e B]*
	Normativa [1,A]	*2019 [2,B]*	*2020 [2,B]*	
Gennaio	4.4	4.1	6.7	5.0
Febbraio	4.2	8.0	9.4	9.1
Marzo	7.8	11.5	9.9	11.6
Aprile	11.3	13.3	13.6	16.3
Maggio	15.7	14.4	18.4	20.4
Giugno	18.7	24.7	20.7	22.9
Luglio	21.8	25.9	25.2	26.6
Agosto	22	26.5	26.0	23.7
Settembre	16.4	21.2	20.8	16.5
Ottobre	12.4	17.3	14.0	11.0
Novembre	8.1	12.5	10.9	6.3
Dicembre	4.3	8.5	7.1	4.4
Media annua	12.3	15.7	15.2	-

[1] fonte UNI 10349 [3]
[2] fonte stazione meteo di "Spoleto" - coordinate geografiche 42.7558333 e 12.7386111, quota 357 m [16]
[A] dato impiegato per la redazione dell'APE
[B] dato impiegato per la redazione della DE

2.4.17.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Tutte queste informazioni sono state reperite a seguito di un sopralluogo presso l'unità immobiliare che ha permesso di delineare le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali (Tabella 384) e di realizzarne una pianta geometrica (Figura 152).
Nella stessa figura si evidenziano, inoltre, le differenti componenti costruttive opache considerate (sia verticali che orizzontali) nonché gli ambienti di confine di ciascun elemento individuato. Come si osserva, l'immobile è caratterizzato da quattro tipologie di componenti opache verticali; la prima (parete indicata con M1) e la seconda (M2) confinanti verso l'esterno, la terza tipologia (M3) divide l'ambiente riscaldato da altri ambienti riscaldati, mentre la quarta (M4) confina verso un corridoio comune non riscaldato. Il solaio inferiore (S_i1) divide la zona climatizzata da un magazzino situato al piano terra (ambiente non riscaldato) a cui è stato attribuito un coefficiente di correzione della temperatura ($b_{tr,u}$) pari a 0.20, mentre il solaio superiore (solaio indicato con S_s1) confina verso l'esterno.

Tabella 384. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	Inizio anni '90	[-]
Tipologia edilizia	Complesso/capannone prefabbricato	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	2	[-]
Piano del caso studio	Primo	[-]
Altezza media vani	3.00	[m^2]
Superficie utile climatizzata	82.32	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	94.5	[m^2]
Volume netto climatizzato	246.96	[m^3]
Volume lordo climatizzato	333.59	[m^3]
Superficie disperdente	268.69	[m^2]
Rapporto S/V	0.81	[m^{-1}]

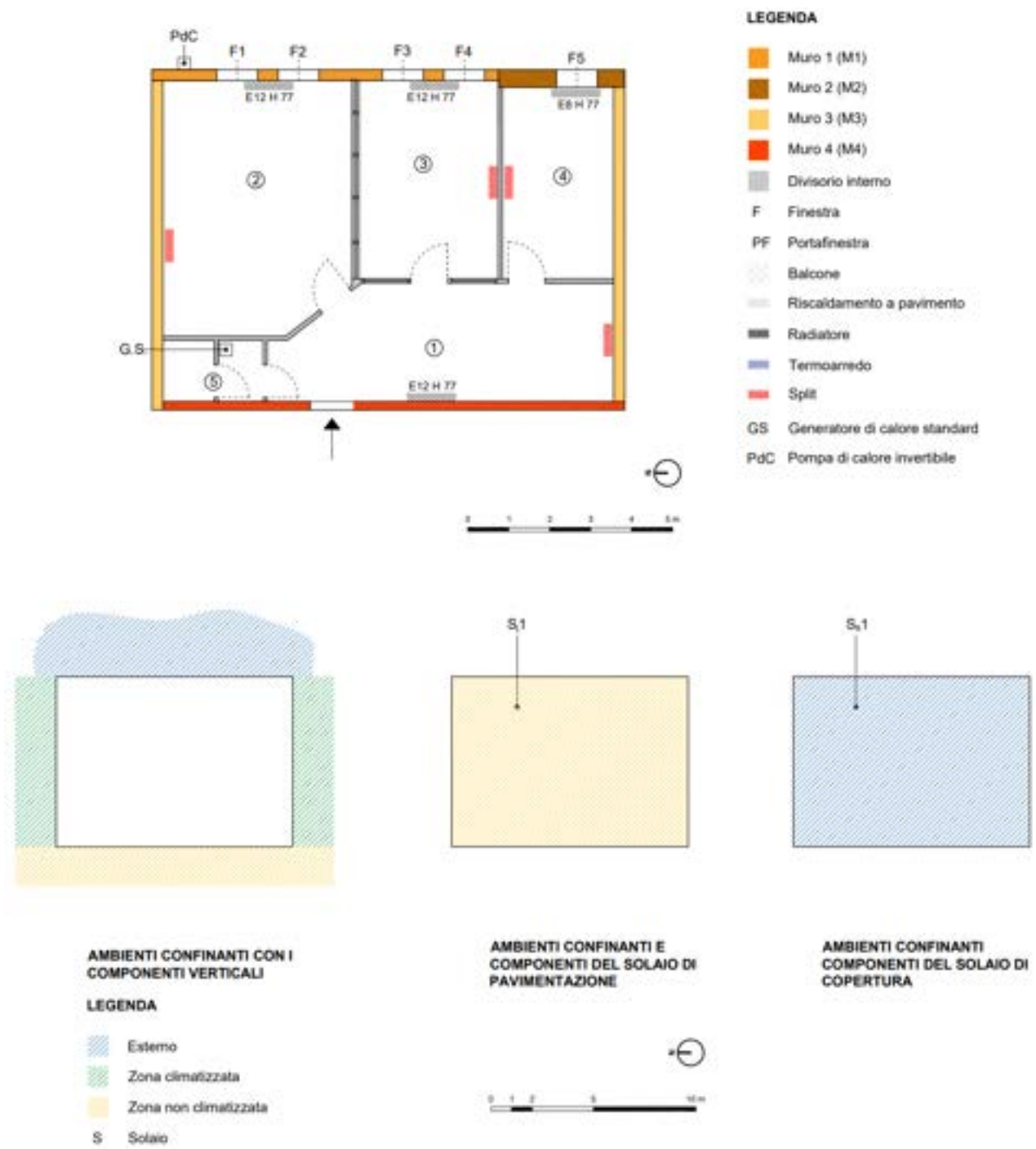


Figura 152. Caratterizzazione geometrica e individuazione delle zone confinanti.

L'edificio è caratterizzato da una struttura portante in cemento armato (struttura con travi e pilastri) con tamponature esterne prefabbricate in calcestruzzo, mentre i solai sono entrambi in laterocemento (pacchetto 16 + 5 cm). Ai fini della presente analisi, per le componenti opache si sono assunte le stratigrafie riportate da Tabella 385 a Tabella 392 che sono state desunte sulla base sia di quanto emerso in fase di sopralluogo che dell'esperienza.

Si precisa che nelle tabelle riportate, il valore di trasmittanza termica è stato calcolato adottando i coefficienti di adduzione (interno ed esterno) più appropriati in funzione della specifica condizione al contorno del singolo componente opaco.

Tabella 385. Stratigrafia della parete M1: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Pannello in calcestruzzo	60	0.580	0.103
3	Fibra di vetro	30	0.038	0.789
4	Pannello in calcestruzzo	200	0.580	0.345
5	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		320	-	1.450
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.689	

Tabella 386. Stratigrafia della parete M2: parete opaca confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Pannello in calcestruzzo	160	0.580	0.276
3	Fibra di vetro	30	0.038	0.789
4	Pannello in calcestruzzo	200	0.580	0.345
5	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		420	-	1.623
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.616	

Tabella 387. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F): tipologia 1.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Pannello in calcestruzzo	160	0.580	0.276
3	Fibra di vetro	30	0.038	0.789
4	Pannello in calcestruzzo	200	0.580	0.345
5	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		420	-	1.623
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.616	

Tabella 388. Stratigrafia del parapetto parete sottostante le finestre (F): tipologia 2.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Pannello in calcestruzzo	160	0.580	0.276
3	Fibra di vetro	30	0.038	0.789
4	Pannello in calcestruzzo	200	0.580	0.345
5	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Esterno		-	-	0.040
Totale		420	-	1.623
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.616	

Tabella 389. Stratigrafia della parete M3: parete opaca confinante verso locali vicini riscaldati.

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Pannello in calcestruzzo	100	0.580	0.172
3	Fibra di vetro	30	0.038	0.789
4	Pannello in calcestruzzo	100	0.580	0.172
5	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Locali vicini (zona riscaldata)		-	-	0.130
Totale		250	-	1.421
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.704	

Tabella 390. Stratigrafia della parete M4: parete opaca confinante verso il corridoio comune (zona non riscaldata).

Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.130
1	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
2	Pannello in calcestruzzo	70	0.580	0.121
3	Fibra di vetro	30	0.038	0.789
4	Pannello in calcestruzzo	70	0.580	0.121
5	Intonaco di calce e gesso	10	0.700	0.014
Corridoio (zona non riscaldata)		-	-	0.130
Totale		200	-	1.319
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.758	

Tabella 391. Stratigrafia del solaio di interpiano inferiore S_i1 confinante verso il magazzino.

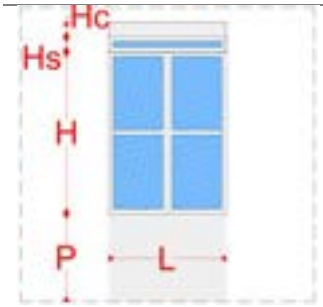
Descrizione del singolo strato (dall'interno verso l'esterno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Zona riscaldata		-	-	0.170
1	Piastrelle in ceramica	15	1.300	0.012
2	Isolante	20	0.038	0.526
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito	50	0.580	0.086
4	Soletta in laterizio	180	0.500	0.320
5	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Zona non riscaldata		-	-	0.170
Totale		265	-	1.313
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.762	

Tabella 392. Stratigrafia del solaio di interpiano superiore S_s2 confinante verso l'esterno.

Descrizione del singolo strato (dall'esterno verso l'interno)		*Spessore [mm]*	*Conducibilità [W/mK]*	*Resistenza termica [m²K/W]*
Esterno		-	-	0.040
1	Piastrelle in ceramica	15	1.300	0.012
2	Isolante	20	0.038	0.526
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito	50	0.580	0.086
4	Soletta in laterizio	180	0.500	0.320
5	Intonaco di calce e gesso	20	0.700	0.029
Zona riscaldata		-	-	0.100
Totale		265	-	1.113
Trasmittanza termica [W/m²K]			0.898	

In aggiunta agli elementi opachi riportati, sono stati considerati anche diversi elementi vetrati (Tabella 393) e i ponti termici più influenti il cui valore di trasmittanza termica lineica (Tabella 394) è stato determinato attraverso un codice di calcolo agli elementi finiti.
Infine, si è analizzata la componente impiantistica installata nel caso studio esaminato; in particolare, esso è dotato di una pompa di calore, installate come evidenziato in Figura 152, impiegata per il solo raffrescamento degli ambienti, e di un generatore di calore standard per la copertura dei servizi energetici di riscaldamento e di produzione acqua calda sanitaria. Le caratteristiche tecniche dei generatori di calore presenti sono riassunte in Tabella 395 e Tabella 396, mentre le principali proprietà dei sottosistemi impiantistici riscontrate in fase di sopralluogo per ciascun servizio energetico presente, sono riassunte in Tabella 397.

Tabella 393. Caratterizzazione geometrica e termica (trasmittanza termica) degli infissi.

Infisso		*Dimensioni geometriche [m]*					*Area [m²]*		*Trasmittanza termica [W/m²K]*
		L	*H*	*P*	*Hc*	*Hs*	*Totale*	*Vetro*	
	F01	1.05	1.40	1.00	0.00	0.00	1.47	0.79	2.919
	F02	1.05	1.40	1.00	0.00	0.00	1.47	0.79	2.919
	F03	1.05	1.40	1.00	0.00	0.00	1.47	0.79	2.919
	F04	1.05	1.40	1.00	0.00	0.00	1.47	0.79	2.919
	F05	1.05	1.40	1.00	0.00	0.00	1.47	0.79	2.919

L = lunghezza dell'infisso, H = altezza dell'infisso, P = altezza del parapetto/sottofinestra, H_c = altezza del cassonetto, H_s = altezza sopraluce

Tabella 394. Ponti termici: valori di trasmittanza termica lineica desunti attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti.

Ponte termico	*Trasmittanza termica lineica [W/mK]*
W – parete M1 – telaio	0.393
W – parete M2 – telaio	0.414
IF – parete – solaio di interpiano	0.387
IW - Parete M1 - Parete interna	-0.023
IW - Parete M2 - Parete interna	-0.027
R - Parete M1 - Copertura	0.201
R - Parete M2 - Copertura	0.127

Tabella 395. Caratteristiche tecniche del generatore di calore per il solo raffrescamento.

Caratteristiche del generatore di calore	*Multisplit*
Combustibile	Energia elettrica
Potenza nominale in raffrescamento [kW]	16.0
EER [-]	3.80

Tabella 396. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Tank24*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Interno
Potenza nominale – P_n [kW]	26.7
Potenza minima – P_{min} [kW]	15
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [kW]	60
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [kW]	153
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [kW]	24
Rendimento alla potenza nominale – $\eta_{100\%}$ [%]	89.6
Rendimento al 30% della potenza – $\eta_{30\%}$ [%]	85.1
Perdite al camino a bruciatore acceso - $P'_{ch,on}$ [%]	8.5
Perdite al camino a bruciatore spento - $P'_{ch,off}$ [%]	0
Perdite al mantello - $P'_{gn,env}$ [%]	1.9
Perdite al camino a bruciatore accesso alla potenza minima - $P'_{ch,on\text{-}min}$ [%]	15

Tabella 397. Servizi energetici e principali caratteristiche dei sottosistemi impiantistici presenti.

		Acqua calda sanitaria	*Riscaldamento*	*Raffrescamento*
Servizio energetico		✓	✓	✓
Generatore di calore		Generatore standard	Generatore standard	Pompa di calore
Fluido termovettore		Acqua	Acqua	Aria
Distribuzione	*Tipo*	Autonomo	Autonomo	Autonomo
	Distribuzione	-	Collettore	-
	Tubazioni	-	Incassate nel pavimento	-
	Isolamento	Dopo Legge 373/76 [17]	D.P.R. 412/93 [10]	D.P.R. 412/93 [10]
Emissione	*Tipologia*	Utenze varie	radiatori	split
	T esercizio	40 °C [4]	80°C	variabile
	ΔT	-	20°C	variabile
	Valvole	-	No	-
Regolazione	*Tipologia*	-	Termostato di zona	Singolo Ambiente
	Caratteristiche	-	On-Off	Azione proporzionale

Oltre ai servizi energetici descritti, per le destinazioni d'uso di categorie E.2, è stato necessario acquisire anche tutte le informazioni inerenti ai sistemi illuminati e le apparecchiature presenti con lo scopo di stimare in maniera più corretta possibile la reale ripartizione dei consumi energetici. Per ogni stanza identificata in Figura 152 si sono rilevate la tipologia, la potenza e il numero delle lampade installate (Tabella 398) nonché gli accessori/apparecchiature presenti (Tabella 399), sebbene queste non saranno prese in considerazione nell'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$. In merito alle apparecchiature d'ufficio, oltre alle postazioni pc, è stata rilevata una stampante di uso comune ed una macchinetta del caffè entrambe nella stanza di ingresso comune. Sia per i sistemi illuminanti che per le altre apparecchiature, è stato necessario definire un orario di funzionamento/accensione che fosse congruente con le reali abitudini dei fruitori sulla base di quanto emerso in fase di sopralluogo. In particolare, si sono assunti i seguenti funzionamenti:

1. sistemi di illuminazione: 8 ore/giorno per la stanza n. 2, 3 e 4, essendo quelle stabilmente utilizzate, e 3 ore/giorno per la stanza comune essendo un ambiente di transito e di aggregazione degli utenti. Per i vani di servizio si è assunta convenzionalmente 1 ora/giorno;
2. stampante comune: si è assunto un suo funzionamento pari a 3 volte al giorno per ciascun utente per un tempo massimo di 30 minuti ad utilizzo.

Si tiene a precisare che l'orario di funzionamento assunto per ogni apparecchiatura è stato definito in collaborazione con i fruitori stessi che, per la tipologia di lavoro svolta (professionisti dell'energia), tendono a svolgere il proprio lavoro prevalentemente usando strumenti digitali.
Inoltre, per alcune apparecchiature, quali ad esempio i pc e l'illuminazione, è stato necessario variarne l'assorbimento elettrico in quanto la presenza del personale dipendente è variata tra il 2019 e il 2020, comportando una diminuzione dei consumi mese per mese. Ad esempio, a seguito della pandemia, il personale che si trovava a condividere l'ufficio si è alternato occupando solo saltuariamente la propria postazione pc. Pertanto, ai fini delle analisi energetiche, si è cercato di tener conto di questa variazione di personale.

Tabella 398. Sistemi illuminanti presenti: tipologia, numero, potenza e ore di accensione stimate.

Stanza n.	*Tipologia di lampade*	*n. di lampade*	*Potenza singola lampada [W]*	*Ore medie giornaliere di accensione [h/giorno]*
1 – area comune	Fluorescenti	4	36	3
2 – ufficio	LED	2	40	8
3 – ufficio	LED	2	40	8
4 – ufficio singolo	LED	2	80	8
5 – bagno	Fluorescenti	4	72	1

Tabella 399. Apparecchiature presenti: tipologia, numero e potenza.

Stanza n.	*Numero Postazioni PC [-]*	*Potenza [W]*	*Ore medie giornaliere [h/giorno]*	*Altre apparecchiature [-]*	*Potenza [W]*	*Ore medie giornaliere [h/giorno]*
1 – area comune	-	-	-	Stampante (1) + macchina del caffè (1)	750 + 800	0.16 e 0.01
2 – ufficio	2	120-240	4-8	-	-	-
3 – ufficio	2	120-240	8	-	-	-
4 – ufficio singolo	1	120	8	-	-	-
5 – bagno	-	-	-	-	-	-

2.4.17.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

Le valutazioni energetiche relative agli anni 2019 e il 2020, sono state condotte combinando i consumi di bolletta con le risposte del questionario somministrato agli utenti (si veda paragrafo 2.4.1 e l'Appendice A per le risposte fornite) al fine di considerare un profilo di occupazione e di utilizzo dell'immobile reale. Dall'analisi delle risposte fornite è emerso come l'immobile sia stato utilizzato in media complessivamente da un gruppo minimo di 3 (corrispondente al periodo del lockdown) fino ad un massimo di 5 per un totale di 243 giorni nel 2019 e 119 nel 2020.

Il caso studio selezionato, quindi, risulta di notevole interesse anche per il profilo occupazionale individuato in quanto completamente divergente rispetto quello standard previsto nella valutazione asset (APE); pertanto, è lecito attendersi una impostante scostamento tra l'APE e le due DE.

I consumi di acqua, metano e di energia elettrica acquisiti per i due anni analizzati, messi in relazione con il numero di utenti e di giorni di effettiva presenza, sono riassunti in Tabella 400.

Risulta rilevante osservare come tra il 2019 e il 2020 i consumi elettrici e del metano siano calati del 23% mentre quelli di acqua del 50%.

Tabella 400. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di acqua, energia elettrica e metano messi in relazione con i giorni di presenza nei due anni di analisi (2019 e 2020).

Mese	*Anno 2019*					*Anno 2020*				
	utenti [-]	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*	*utenti [-]*	*Giorni di presenza [-]*	*Acqua [m³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*
Gennaio	5	20	2461	147	226	5	18	1750	115	162
Febbraio	5	20	2344	136	206	5	20	1843	122	157
Marzo	5	21	2344	127	181	3	14	737	82	138
Aprile	5	22	2461	137	93	3	6	369	35	69
Maggio	5	21	2696	249	33	3	10	1198	74	1
Giugno	5	20	2500	265	3	3	12	936	113	1
Luglio	5	23	1477	371	1	3	20	936	268	1
Agosto	5	15	2614	307	1	3	18	1435	459	1
Settembre	5	21	2500	312	1	4	20	1373	241	2
Ottobre	5	22	2728	142	57	4	22	1435	139	23
Novembre	5	20	2500	131	125	4	21	1248	125	112
Dicembre	5	18	2119	123	147	4	18	1376	118	164
Totale	-	243	28744	2447	1074	-	199	14636	1891	831

2.4.17.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 153 e Tabella 401) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica A1 con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 387.55 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 8000 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei servizi di riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria e raffrescamento e di circa 1600 Nm^3 di metano per il solo riscaldamento.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 400), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

Figura 153. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 401. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	16425	85	16510	199.5	1.0	200.6	1539.9	180.9
Acqua Calda Sanitaria	239	1	240	2.9	0.0	2.9	22.5	2.1
Raffrescamento	990	239	1229	12.0	2.9	14.9	0.0	508.5
Illuminazione	14249	3434	17683	173.1	41.7	214.8	0.0	7306.4
Globale	31903	3759	35662	387.5	45.7	433.2	1562.4	7997.9

2.4.17.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stato possibile condurre due DE, la prima relativa all'anno 2019 mentre la seconda al 2020. Come dati climatici si è fatto riferimento ai dati fruibili dal sito della Regione Umbria [16] e nello specifico ai valori medio mensili riportati in Tabella 383, ossia per la temperatura si è fatto riferimento all'archivio storico della stazione climatica più vicina al caso studio mentre per quelli della radiazione solare, in mancanza di altri dati, si è fatto riferimento a quelli forniti dalla UNI 10349 [3].
Differentemente a quanto previsto dalla normativa vigente [13-15], ciascuna analisi energetica si concluderà con l'inventario energetico, ossia senza individuare scenari migliorativi di efficienza energetica. Esso è stato definito combinando i consumi di bolletta sia con le informazioni riportate nel paragrafo 2.4.17.1 che con quelle desunte dall'analisi del questionario, attraverso il seguente processo metodologico:

1. Stima dei consumi di illuminazione e delle apparecchiature d'ufficio;
2. Stima del fabbisogno di acqua calda per usi igienici sanitari;
3. Definizione dell'inventario energetico per i vettori energetici presenti.

2.4.17.4.1 Stima dei consumi di illuminazione e delle apparecchiature d'ufficio;

A partire dalle potenze installate e dall'orario di funzionamento precedentemente definito, si è stimato un consumo medio mensile per questi due servizi energetici (Tabella 402). Dall'analisi dei risultati, si evince come nel 2020 vi sia stata una riduzione significativa dei consumi (18%) sia di illuminazione che delle apparecchiature d'ufficio, riduzione prevalentemente legata alla riduzione dei fruitori a seguito della pandemia.
Complessivamente l'illuminazione e le apparecchiature d'ufficio, non considerati nella metodologia MC_{APE-DE}, concorrono alla spesa energetica per circa il 58% nel 2019 e quasi il 62% nel 2020.

Tabella 402. Consumo energetico stimato per l'illuminazione e le apparecchiature presenti.

Mese	*Anno 2019*			*Anno 2020*		
	Giorni di presenza [-]	Illuminazione [kW]	Apparecchiature [kW]	Giorni di presenza [-]	Illuminazione [kW]	Apparecchiature [kW]
Gennaio	20	42	79	18	38	71
Febbraio	20	42	79	20	42	79
Marzo	21	44	83	14	29	42
Aprile	22	46	87	6	13	18
Maggio	21	44	83	10	21	30
Giugno	20	42	79	12	25	48
Luglio	23	48	91	20	42	79
Agosto	15	32	59	18	38	71
Settembre	21	44	83	20	42	79
Ottobre	22	46	87	22	46	87
Novembre	20	42	79	21	44	83
Dicembre	18	38	71	18	38	71
Totale	243	511	964	119	419	760

2.4.17.4.2 Fabbisogno di acqua calda per usi igienici e sanitari

La ripartizione dei consumi d'acqua è stata effettuata stimando un fabbisogno medio giornaliero a partire dal numero e tipologia di apparecchi sanitari effettivamente presenti per i quali, in assenza di dati certi, si è assunta una portata d'acqua di tipo standard disponibile in Letteratura [12].
A differenza dei casi studio residenziali, l'unica utenza installata che prevede l'utilizzo di acqua calda sono i lavabi dei bagni (consumo medio standard di 12 l/giorno·persona) che è stato quindi adottato come il fabbisogno medio giornaliero per ogni singolo utente.
A partire dal fabbisogno stimato si è proceduto con un duplice controllo:

1. Il valore di V_{W-acs} stimato mensilmente non deve essere maggiore di quello effettivamente consumato e dichiarato nelle bollette;

2. Il consumo di metano calcolato a partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato non deve superare quello dichiarato in bolletta depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina.

Il primo controllo è anche quello più facilmente verificabile e ha restituito esito positivo per entrambi gli anni esaminati (Figura 154).
Ai fini del secondo controllo, invece, è stata fatta la seguente assunzione: il combustibile riportato in bolletta da maggio a settembre è destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria e cottura dei cibi. Questa ipotesi trova riscontro sia con le abitudini degli utenti sia con il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento previsto da normativa per la zona climatica E. A partire dal valore di $V_{W\text{-}acs}$ stimato, in accordo con la metodologia prevista dalla UNI TS 11300-2 [5], è stato calcolato il relativo consumo di metano che è stato messo a confronto con il valore dichiarato in bolletta congiuntamente con il consumo stimato per l'uso cucina (Figura 155).
Il risultato evidenzia come il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato con l'approccio convenzionale non possa essere mantenuto costante in ogni mese dell'anno, in quanto si evidenzia, seppure minimo, uno scostamento (linea tratteggiata in nero) nei mesi intermedi. Questa discrepanza è dovuta al fatto che durante i mesi più caldi, a parità di volume d'acqua consumato, la richiesta di acqua calda è stata leggermente più contenuta.
In virtù del risultato ottenuto, per i soli mesi in cui si è determinato un consumo di metano superiore a quello di bolletta (quelli per cui il secondo controllo non è soddisfatto), si è deciso di stimare il volume di acqua calda sanitaria a partire dall'effettivo consumo dichiarato (depurato del consumo di metano stimato per l'uso cucina). Il risultato è riportato in Figura 156, in cui si mostra un duplice confronto tra:

1. Il metano riportato in bolletta depurato del consumo stimato per l'uso cucina e il metano consumato per il servizio di acqua calda sanitaria associato in funzione dell'effettivo volume d'acqua calda consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di sinistra);
2. Il volume d'acqua totale riportato in bolletta e il volume d'acqua calda effettivamente consumato (valori numerici riportati nell'asse delle ordinate di destra).

In accordo con i risultati ottenuti, si evince che circa il 39% del consumo di acqua di bolletta del 2019 è stato destinato ai soli usi sanitari, mentre la medesima percentuale si è attestata al 38% nel 2020.
Si precisa, infine, che i risultati fin qui discussi tengono conto degli effettivi giorni di presenza dichiarati dagli utenti; tuttavia, ai fini dell'analisi comparativa con le altre metodologie di calcolo nonché per l'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$, il volume di $V_{W\text{-}acs}$ stimato deve essere distribuito equamente per i giorni del mese o dell'anno che si analizzano. Infatti, nei codici di calcolo è necessario inserire il valore giornaliero medio mensile mentre nella procedura di calcolo sviluppata ($MC_{APE\text{-}DE}$) è richiesto il valore giornaliero medio annuale.
Entrambi i valori sono dettagliati in Tabella 403 messi a confronto con il valore giornaliero medio mensile stimato applicando il calcolo standard (APE). La tabella mostra una significativa divergenza tra i valori stimati e l'APE; in particolare, si osservi come il volume medio giornaliero dell'APE sia quasi la metà del valore individuato per il 2019, mentre i due valori tendono a convergere nel 2020 che, però, è stato fortemente condizionato dalla pandemia. In accordo con il risultato atteso, quindi, è lecito attendersi una netta divergenza dei consumi determinati con APE e DE per il servizio di acqua calda sanitaria specialmente per l'anno 2019.

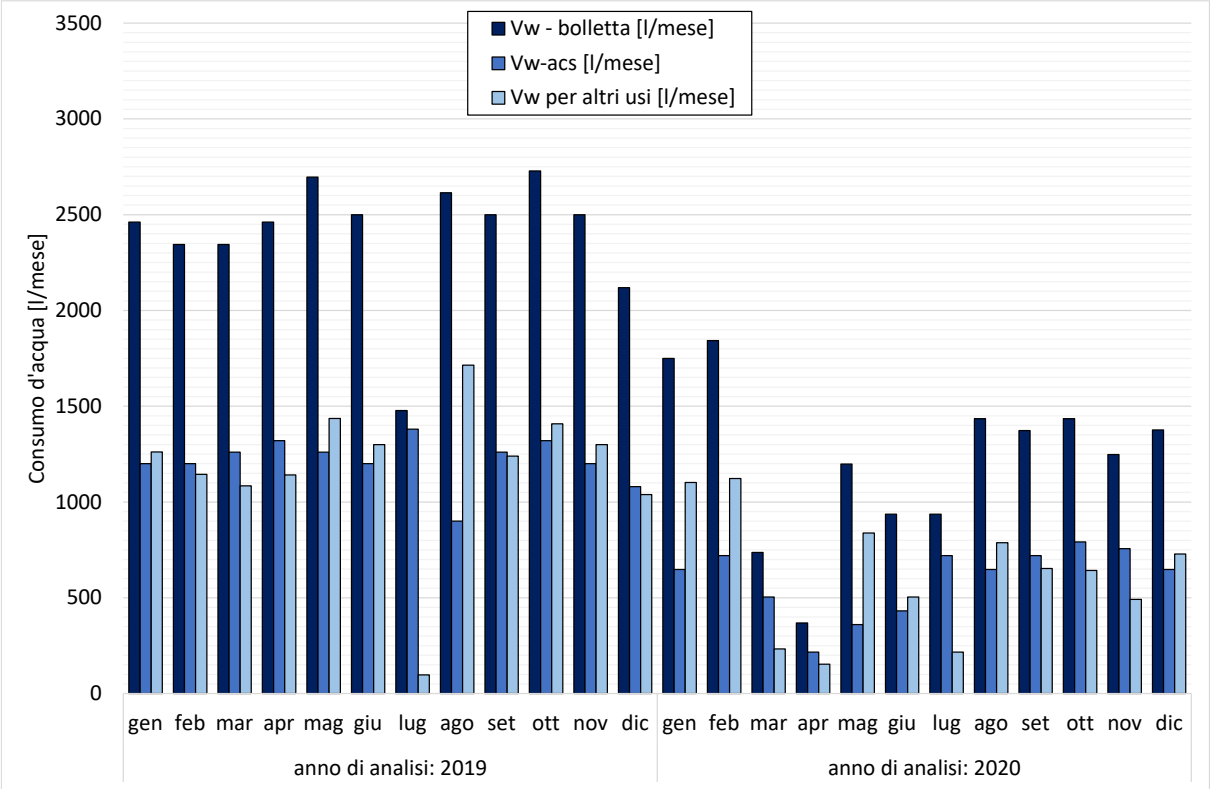


Figura 154. Confronto tra il consumo d'acqua riportato in bolletta, fabbisogno d'acqua per usi sanitari e quello per altri scopi.

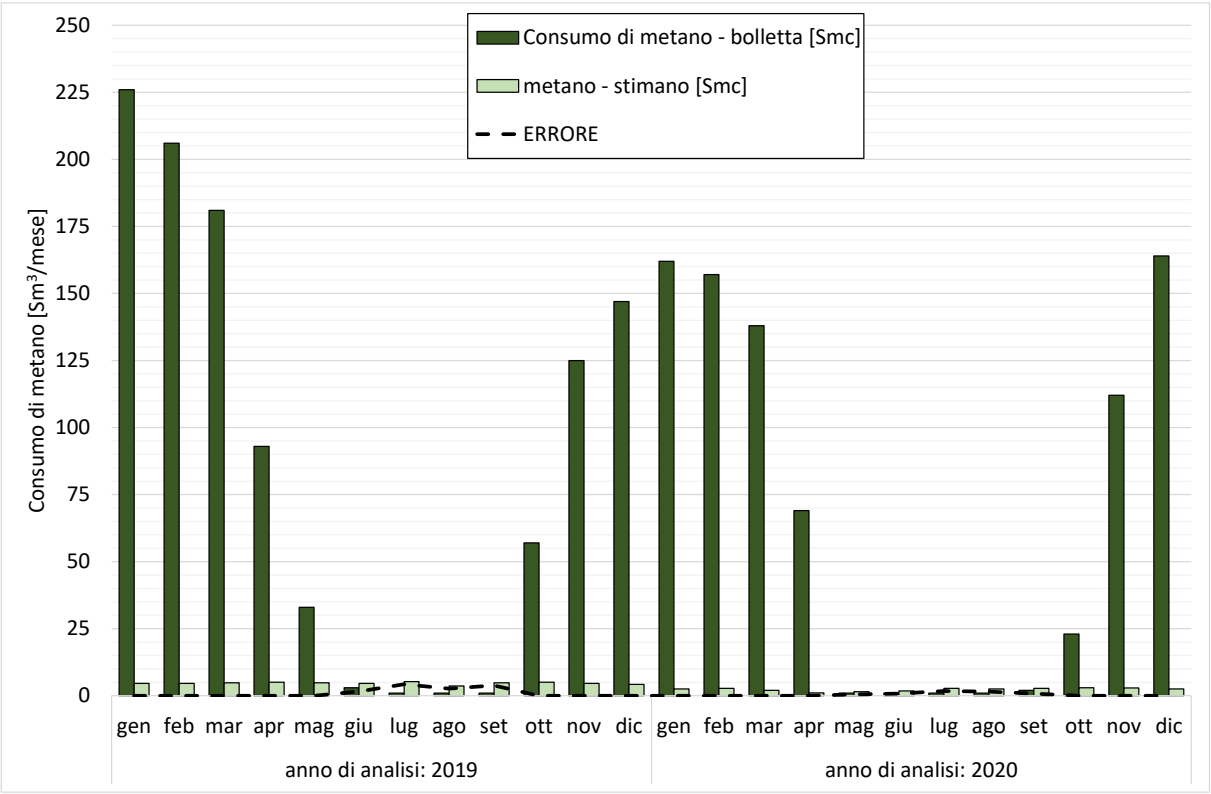


Figura 155. Confronto tra consumo di metano dichiarato in bolletta, quello stimato per l'uso cucina e quello associato alla produzione di acqua calda sanitaria calcolato a partire dal valore stimato di $V_{W\text{-}acs}$.

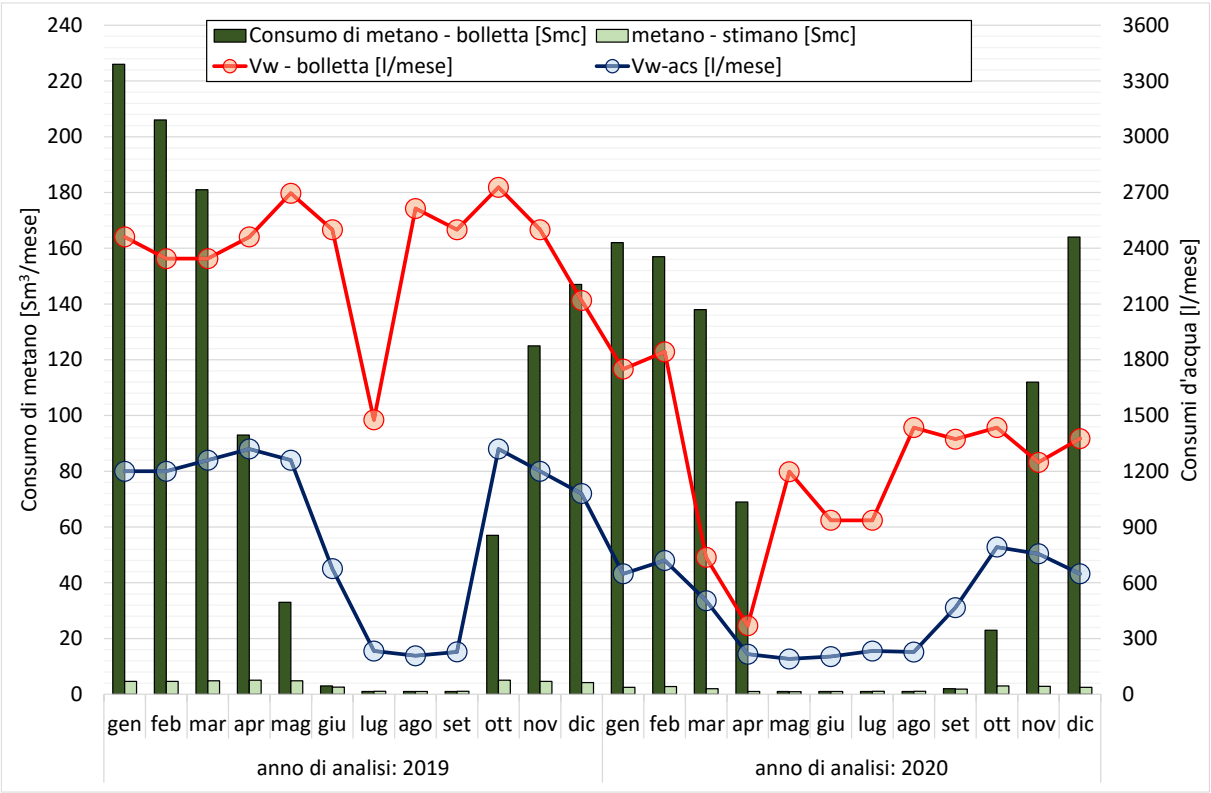


Figura 156. Confronto tra i consumi di bolletta (acqua e metano) e quelli stimati per il solo servizio di acqua calda sanitaria.

Tabella 403. Volume d'acqua calda sanitaria medio giornaliero determinato per i due anni di analisi.

Mese	*Anno 2019*		*Anno 2020*		*APE*
	Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume totale d'acqua calda sanitaria [litri]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*	*Volume medio giornaliero [litri/giorno]*
Gennaio	1200	38.7	648	20.9	16.5
Febbraio	1200	42.9	720	24.8	16.5
Marzo	1260	40.6	504	16.3	16.5
Aprile	1320	44.0	216	7.2	16.5
Maggio	1260	40.6	190	6.1	16.5
Giugno	676	22.5	203	6.8	16.5
Luglio	233	7.5	233	7.5	16.5
Agosto	207	6.7	228	7.3	16.5
Settembre	228	7.6	466	15.5	16.5
Ottobre	1320	42.6	792	25.5	16.5
Novembre	1200	40.0	756	25.2	16.5
Dicembre	1080	34.8	648	20.9	16.5
Media	*932*	*30.7*	*467*	*15.3*	*16.5*

2.4.17.4.3 Definizione dell'inventario energetico

Stimati i primi consumi energetici e il volume di acqua calda potenzialmente richiesto, si è proceduto con la definizione dell'inventario energetico ripartendo i consumi per ogni servizio energetico considerato. Per questa analisi, si è sempre partiti dalle indicazioni fornite dagli utenti mediante il questionario e dai consumi stimati per i servizi di illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione di acqua calda sanitaria (stimato a partire dal volume di acqua calda consumato); in particolare, per l'analisi si è partiti dai consumi stimati e

mostrati in Figura 157 in cui è riportato il confronto tra il consumo di bolletta e quelli stimati rispettivamente per l'illuminazione e le apparecchiature d'ufficio.
La figura conferma come le assunzioni fatte per i tre servizi energetici potrebbero essere effettivamente coerenti con i consumi registrati mese per mese permettendo di evidenziare anche dei potenziali periodi in cui presumibilmente gli utenti hanno prevalentemente raffrescato; in particolare, dall'analisi del grafico si può evincere come nel 2019 il consumo registrato sia sempre stato maggiore di stimato per i soli due servizi energetici fin qui esaminati indicando, probabilmente, la necessita di raffrescare da maggio a settembre. Anche nel 2020 i consumi stimati (linea in blu) tendono a quelli di bolletta solo nei periodi più freddi, confermando la necessità di raffrescare tra giugno e settembre. In accordo con i risultati ottenuti, si è quindi ipotizzato che i picchi di consumo registrati tra maggio e settembre siano legati al solo servizio di raffrescamento.
A partire dai consumi teorici, si è quindi proceduto con la definizione delle configurazioni ottimali di funzionamento degli impianti (sia di riscaldamento che di raffrescamento), ossia quelle che determinano un minor scostamento dai reali consumi energetici, per ciascun anno di analisi, ottenendo:

- anno di analisi 2019: 5 giorni a settimana per 8 ore/giorno;
- anno di analisi 2020: 5 giorni a settimana per 8 ore/giorno.

Per il raffrescamento, invece, si raggiungono i consumi registrati assumendo un orario di accensione di 5 ore/giorno sia nel 2019 che nel 2020. A partire dalle configurazioni ottimali, è stato quindi possibile definire l'inventario energetico del caso studio (Tabella 404) per entrambi gli anni di analisi; in particolare, si osservi che per l'energia elettrica il servizio più energivoro è quello legato alle apparecchiature d'ufficio (circa il 40%) seguito dal raffrescamento (variabile tra il 36% e il 34% nei due anni di analisi) e dall'illuminazione (circa il 20-21%). Per il metano, invece, il servizio energetico più energivoro è sempre il riscaldamento che concorre con più del 96% alla spesa energetica.

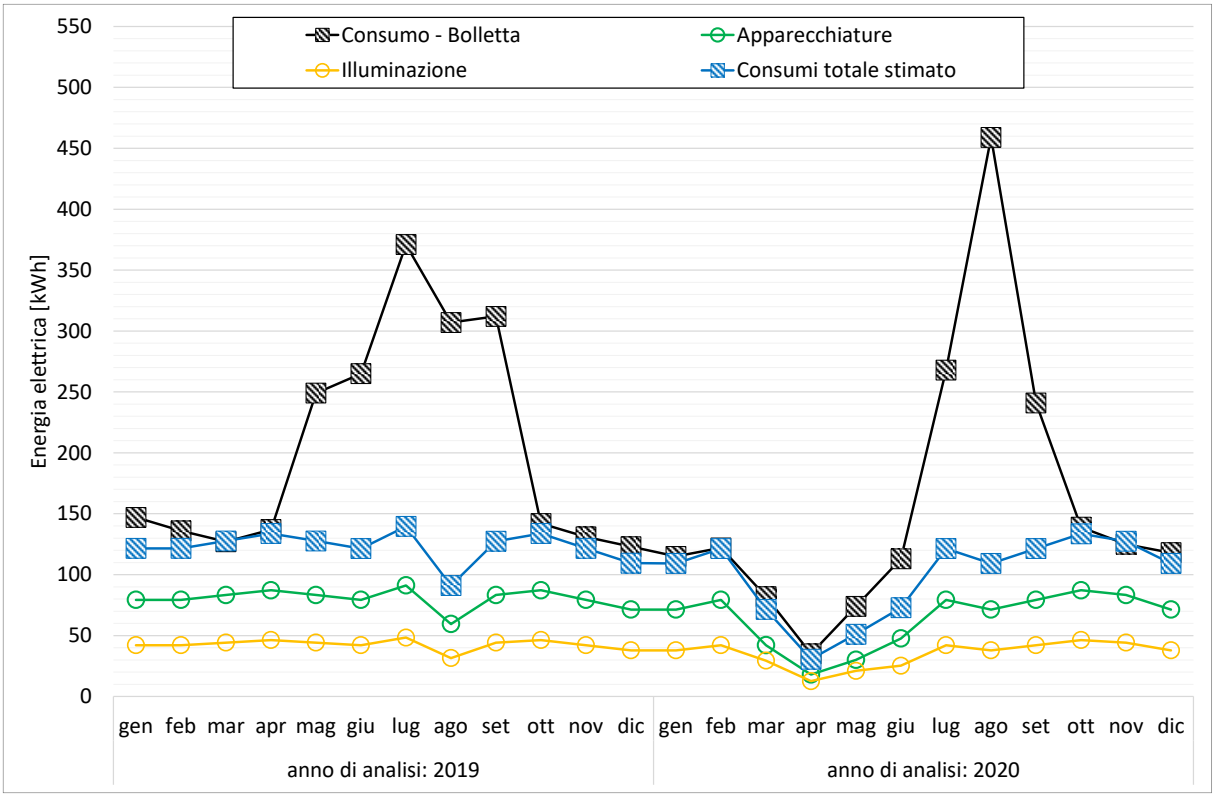


Figura 157. Confronto tra il consumo di energia elettrica di bolletta e quello stimato per i servizi di illuminazione, apparecchiature d'ufficio e produzione di acqua calda per usi sanitari.

L'inventario energetico redatto anche mediante l'ausilio del software di simulazione, può essere considerato attendibile in quanto andando a confrontare il consumo di energia elettrica calcolato (indicato in tabella con totale) con quello reale (indicato in tabella con bollette), si ottiene una discrepanza pari a -2.0% per l'anno 2019 e -3.3% per il 2020 (Tabella 372). Anche confrontando il consumo di metano l'attendibilità dell'inventario è confermata avendo una discrepanza del +1.7% nel 2019 e del -3.0% nel 2020. Queste difformità possono essere considerate come un errore accettabile essendo inferiori al ±5% [15]; pertanto, tutte le assunzioni fatte per ciascun servizio energetico possono essere considerate come affidabili.
Infine, in Tabella 405 si riportano i principali risultati di calcolo (in termini di fabbisogno, indici di energia primaria e consumo di energia elettrica) derivanti dalle due DE; questi rappresentano i valori di riferimento per l'analisi comparativa sia con la procedura MC_{APE-DE} che con l'approccio APE.

Tabella 404. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Metano [Nm³]	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Nm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
Riscaldamento	964.4	110.6	792.5	93.6
Produzione di acqua calda sanitaria	36.9	4.3	18.7	2.1
Raffrescamento	0.0	905.1	-	679.0
Illuminazione	0.0	511.3	-	418.7
Apparecchiature	0.0	963.6		760.3
Totale	1001.2	2494.9	811.2	1953.8
Bollette	1018.1	2447.0	787.8	1891.0
scostamento	1.7%	-2.0%	-3.0%	-3.3%

Tabella 405. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE del 2019 e del 2020) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
2019	Riscaldamento	10281	52	10333	124.9	0.6	125.5	964	111
	Acqua Calda Sanitaria	393	2	395	4.8	0.0	4.8	37	4
	Raffrescamento	1765	425	2190	21.4	5.2	26.6	0	905
	Illuminazione	997	240	1237	12.1	2.9	15.0	0	511
	Globale	10674	54	10728	129.7	0.7	130.3	1001	1531
2020	Riscaldamento	8454	44	8498	102.7	0.5	103.2	793	94
	Acqua Calda Sanitaria	199	1	200	2.4	0.0	2.4	19	2
	Raffrescamento	1324	319	1643	16.1	3.9	20.0	0	679
	Illuminazione	816	197	1013	9.9	2.4	12.3	0	419
	Globale	8653	45	8698	105.1	0.5	105.7	811	1193

2.4.17.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.17.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 406, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 158 (anno 2019) e in Figura 159 (anno 2020). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce dei risultati molto variabili, la cui accuratezza rispetto al valore restituito dalla DE (Risultati – DE), risente della tipologia e della qualità dei parametri di input, come segue:

- ✓ Combinazioni con dati climatici UNI 10349 [3]: i risultati più accurati si ottengono impiegando per il volume d'acqua un valore convenzionale (combo "Vw-CONV + T-UNI") o adottando il valore pari al 50% del consumo di bolletta (combo "Vw-BOLL + T-UNI) mentre con l'approccio APE si ottengono discrepanze più significative. Per queste combinazioni si registra comunque una divergenza del principale indicatore energetico (EP_{Wtot}) compresa tra il +61% al +124% (Figura 160);
- ✓ Combinazioni con dati climatici reali: l'impiego di dati climatici reali determina in generale un piccolo decremento dell'indicatore energetico EP_{wtot} rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa. L'impiego di un volume di acqua calda più realistico, ossia quello derivante dall'inventario energetico, comporta una migliore convergenza con i risultati della DE con un errore relativo pari al +17% nel 2020 e del 22% nel 2019 (Figura 160).

Tabella 406. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	2020	
Tipologia di generatore		Generatore standard		[-]
Vettore energetico		Metano		[-]
Superficie utile dell'immobile		82.32		[m²]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		12.26		[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		15.66	15.23	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	30.7	15.3	[litri/giorno]
	Convenzionale	54.8	26.9	[litri/giorno]
	Bolletta	39.9	19.6	[litri/giorno]
	Inventario energetico (DE) - media	39.4	20.0	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.723	0.758	[-]
	F_{Vw}	1.271	1.271	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	6.6		[kWh/m²]
	EP_{Wren}	1.6		[kWh/m²]
	EP_{Wtot}	8.2		[kWh/m²]
	Energia elettrica	522.1		[kWh]
	Metano	22.5		[Nm³]

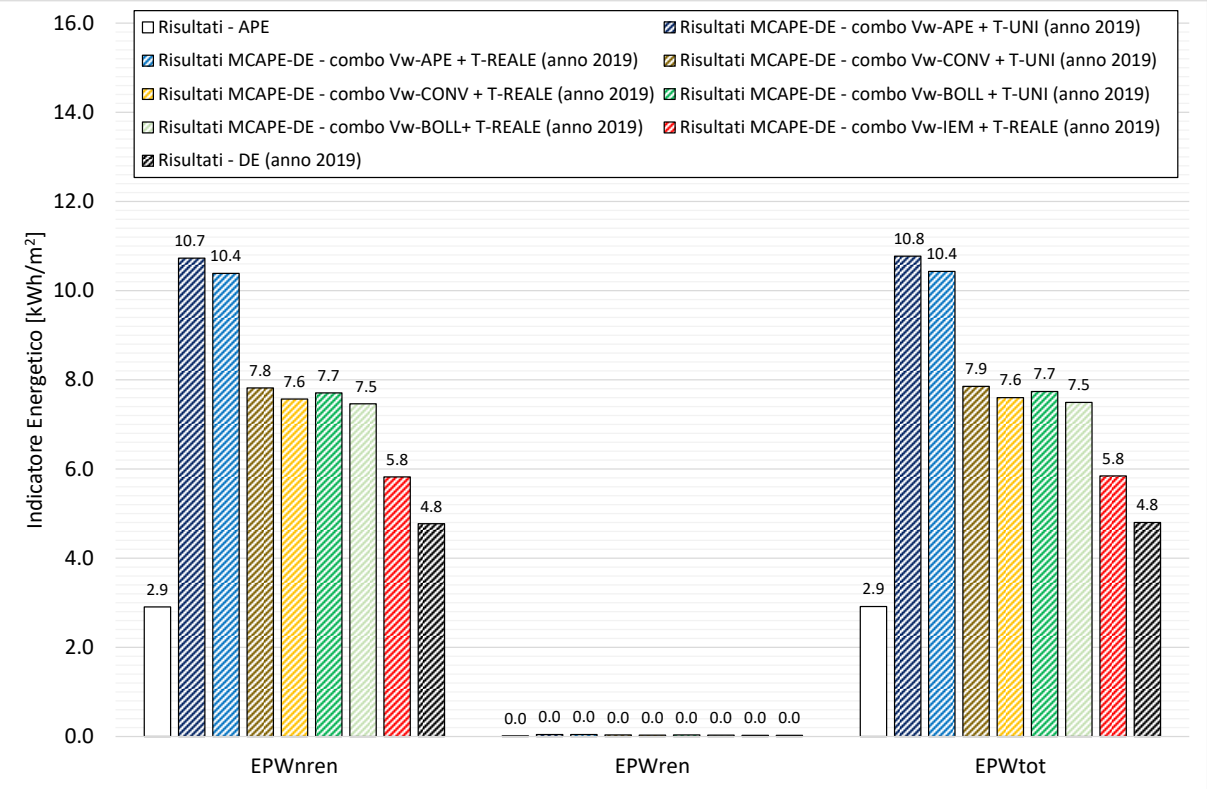


Figura 158. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

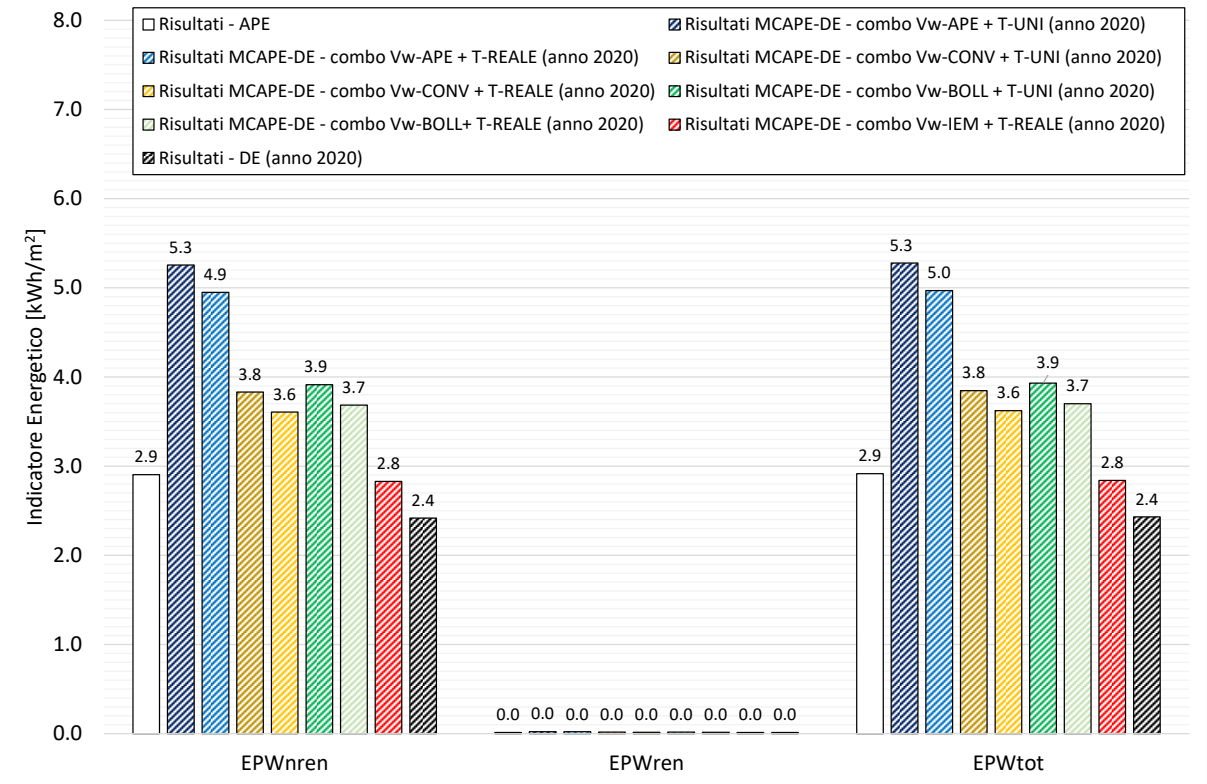


Figura 159. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

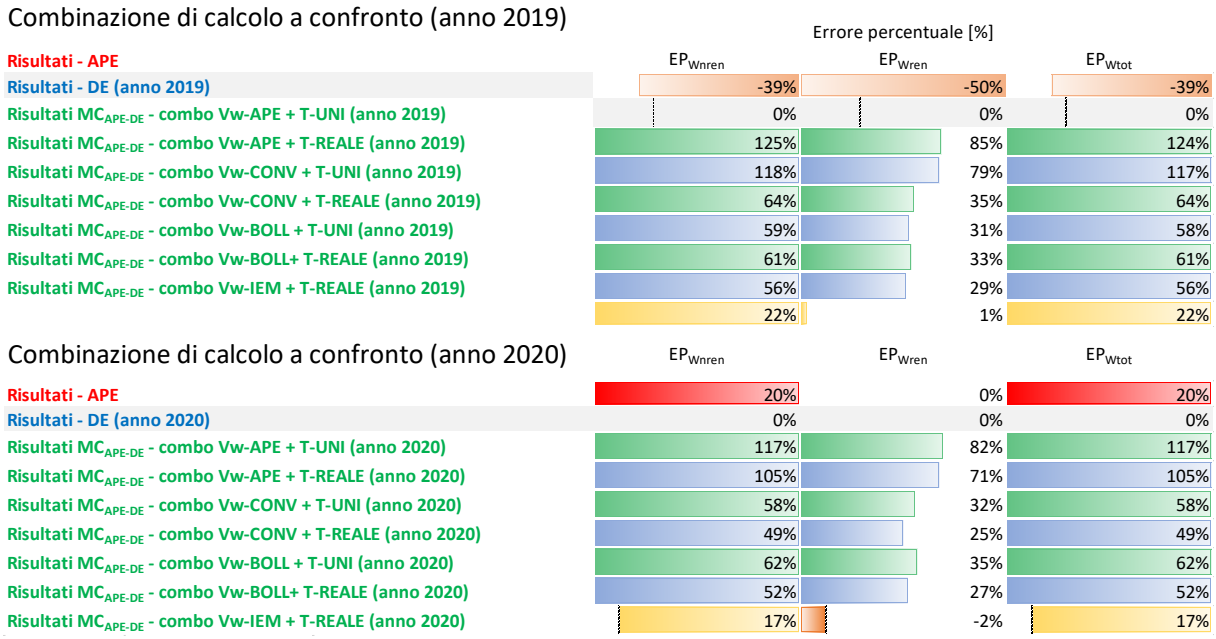


Figura 160. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: variazione percentuale tra DE e le diverse metodologie di analisi applicate (APE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, la metodologia MC_{APE-DE} permette di approssimare sempre più o meno correttamente i principali indicatori energetici della DE con delle variazioni percentuali che variano con le combinazioni adottate. Il calcolo APE, invece, tende a sottostimare (2019) o sovrastimare (2020) leggermente i risultati della DE con divergenze che variano da un minimo di +20% (indicatore EP_{Wtot} del 2020) ad un massimo del -39% (indicatore EP_{Wtot} del 2019).
Analizzando l'errore assoluto, evidenziato in Tabella 407, la differenza tra DE e MC_{APE-DE} risulta essere sempre inferiore a ±1.5 kWh/m^2, errore che può essere considerato ampiamente come accettabile.
In accordo con i risultati, è possibile affermare che l'errore riscontrato tra MC_{APE-DE} e DE sia comunque trascurabile e che la combinazione di calcolo più accurata sia la "Vw-IEM + T-REALE". In caso di assenza di una DE, e quindi dell'inventario energetico, la metodologia alternativa che si basa sul calcolo di un volume di acqua calda di tipo convenzionale sembra restituire un risultato più aderente ai reali consumi energetici, al contrario sia l'approccio APE che quello semplificato (ossia assumendo un volume pari al 50% del consumo di bolletta) tendono a restituire risultati più variabili e divergenti dal reale consumo registrato.

Tabella 407. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
APE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-2.92	0.08	-100.49	2.60
	EP_{Wren}	-0.01	0.00	-101.16	2.28
	EP_{Wtot}	-2.93	0.08	-100.49	2.60
DE - MC_{APE-DE} (combo Vw-IEM + T-REALE)	*EP_{Wnren}*	-1.05	-0.41	-21.92	-16.97
	EP_{Wren}	0.00	0.00	-0.58	2.28
	EP_{Wtot}	-1.05	-0.41	-21.82	-16.88

2.4.17.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 408, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto. In questo caso, è stato necessario definire un ulteriore parametro ossia una percentuale di utilizzo degli impianti presenti al fine di ripartire correttamente i fabbisogni energetici; questa percentuale è stata desunta in base all'energia primaria effettivamente coperta da ciascun impianto riscontrata in fase di DE.

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 161 (anno 2019) e in Figura 162 (anno 2020); in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente a confronto con tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze che oscillano tra -12% e +30% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore compreso tra +22% e +30%, al contrario l'utilizzo di dati climatici reali determina un decremento dei risultati (discrepanze dell'ordine del +16% e del 23%).

Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GG}, come si evince anche dalla Tabella 409, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del -12% e del -3%). Una correlazione ancora migliore si ottiene effettuando anche la seconda correzione per il coefficiente F_{H-set} (ma solo per la pompa di calore) in questo caso le differenze percentuali si attestano al 2% e al 12%. Anche per il presente caso studio, si evidenzia una significativa difficoltà nell'approssimare correttamente il reale contributo rinnovabile della pompa di calore; questo errore, tuttavia, non comporta errori nella stima dei consumi energetici come sarà discusso in seguito.

In accordo con i risultati ottenuti per il servizio di riscaldamento, indipendentemente dall'uso di dati climatici di normativa, reali, reali ma corretti per il fattore F_{GG}, o reali ma corretti per i fattori F_{GG} e F_{H-set}, la metodologia MC_{APE-DE} evidenzia una significativa divergenza dal calcolo standard (APE) e una netta convergenza con le DE, confermando quindi l'affidabilità della stessa in tutti i casi esaminati.

Tabella 408. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*		*u.m.*
		2019	*2020*	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-1		[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore standard		[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta		[-]
Vettore energetico principale		Metano		[-]
Potenza nominale		26.7		[kW]
COP medio e/o efficienza nominale		89.6		[-/%]
Superficie utile		82.32		[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2427		[GG]
Gradi Giorno – reali		1843	1918	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		8	7	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.759	0.790	[-]
	F_{H-set}	1.150	1.150	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	199.5		[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	1.0		[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	200.6		[kWh/m^2]
	Energia elettrica	180.9		[kWh]
	Metano	1539.9		[Nm^3]

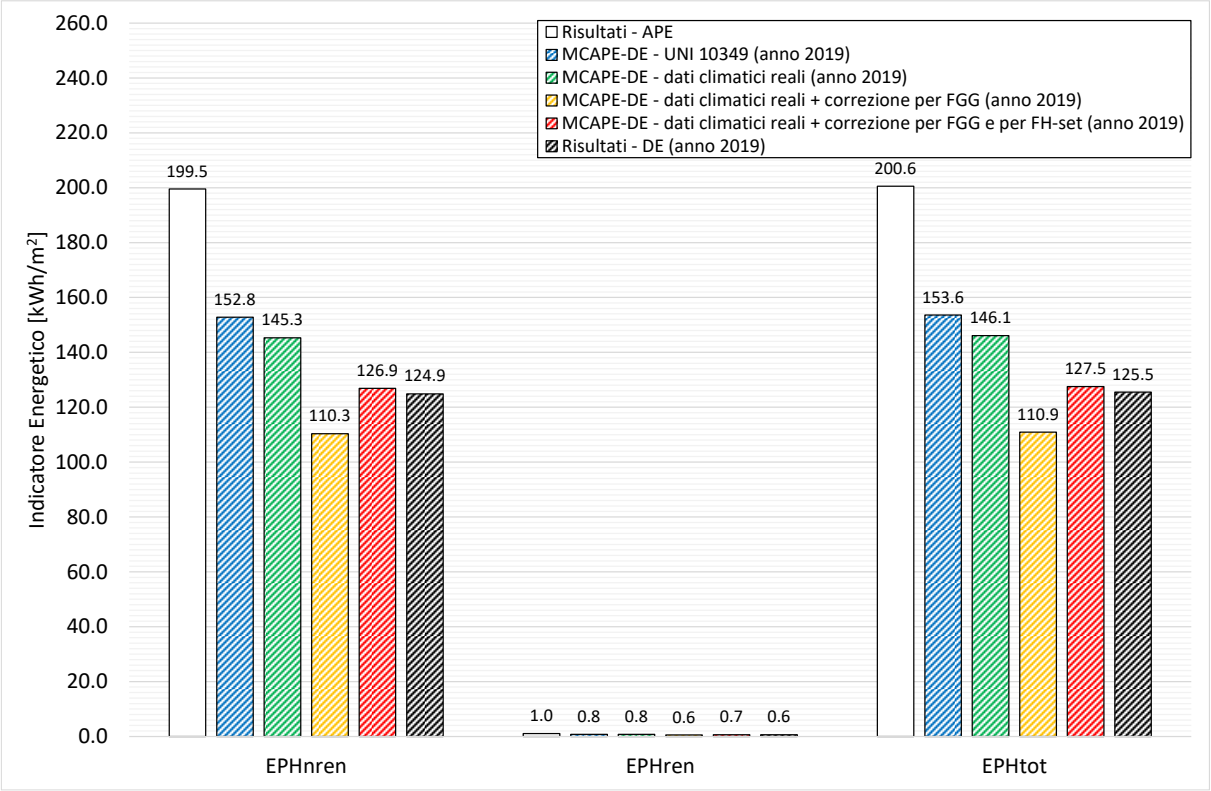


Figura 161. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

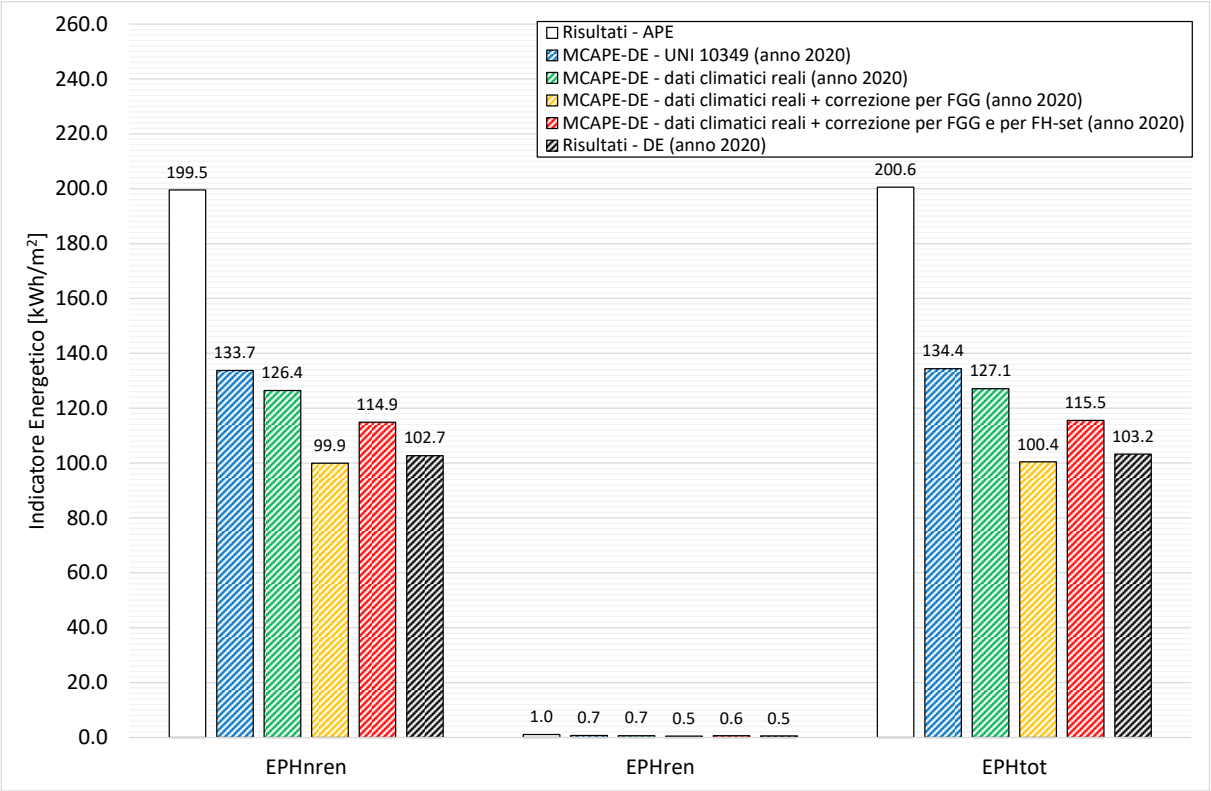


Figura 162. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 409. Servizio di riscaldamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore*			
		Assoluto [kWh/m²]		*Relativo [%]*	
		2019	*2020*	*2019*	*2020*
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno DPR 412/93	EP_{Hnren}	-27.92	-31.01	-22.36	-30.20
	EP_{Hren}	-0.16	-0.16	-25.19	-29.46
	EP_{Htot}	-28.08	-31.17	-22.37	-30.20
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Hnren}	-20.42	-23.73	-16.35	-23.11
	EP_{Hren}	-0.12	-0.12	-19.04	-22.41
	EP_{Htot}	-20.54	-23.85	-16.36	-23.10
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG}	EP_{Hnren}	14.55	2.77	11.65	2.70
	EP_{Hren}	0.06	0.02	9.61	3.25
	EP_{Htot}	14.62	2.79	11.64	2.70
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GG} e F_{H-set}	EP_{Hnren}	-2.00	-12.22	-1.60	-11.90
	EP_{Hren}	-0.02	-0.06	-3.95	-11.26
	EP_{Htot}	-2.02	-12.28	-1.61	-11.89

Infine, è stata condotta un'ulteriore analisi in cui è stato variato l'orario di accensione dell'impianto; in particolare, si sono assunti degli orari di accensione compresi tra 1 h/giorno e il numero di ore massime previste da normativa [10] stabilito in funzione della zona climatica di appartenenza (in questo caso 14 ore/giorno). Per questa analisi si è deciso di fare riferimento ai dati climatici forniti da normativa perché si presuppone l'impiego di tale approccio solo per quelle casistiche per cui non fosse disponibile una DE.
I risultati (Tabella 410) ottenuti nell'ipotesi di funzionamento degli impianti come emerso per l'anno 2020, sono messi a confronto con gli equivalenti valori restituiti dall'APE, confermano sia la grande importanza di una corretta stima dell'orario di accensione dell'impianto che la possibilità di impiegare la metodologia di calcolo anche in assenza di una DE. In particolare, si osservi come anche in caso informazioni poco accurate sull'orario di accensione dell'impianto, la metodologia avrebbe permesso di identificare un orario medio giornaliero (valore evidenziato in rosso) come quello più probabile. Si osservi, infine, come anche nel caso di accensione dell'impianto pari a 14 ore/giorno i valori determinati con l'approccio APE non siano mai raggiunti, evidenziando quindi una importante criticità della metodologia standard.

Tabella 410. Servizio di riscaldamento: risultati della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento.

Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]	EP_{Hnren} [kWh/m²]	EP_{Hren} [kWh/m²]	EP_{Htot} [kWh/m²]	*Consumo elettrico [kWh/anno]*	*Consumo metano [Nm³/anno]*
1	28.1	0.1	28.2	16.6	218.7
2	45.4	0.2	45.6	26.8	353.6
3	62.7	0.3	63.0	37.1	488.4
4	80.0	0.4	80.4	47.3	623.2
5	97.3	0.5	97.8	57.5	758.1
6	114.6	0.6	115.2	67.8	892.9
7	133.7	0.7	134.4	79.1	1041.7
8	152.8	0.8	153.6	90.4	1190.6
9	171.9	0.9	172.8	101.7	1339.4
10	173.0	0.9	173.9	102.3	1347.7
11	174.0	0.9	174.9	102.9	1356.0
12	175.1	0.9	176.0	103.6	1364.3
13	176.2	0.9	177.1	104.2	1372.6
14	177.2	0.9	178.2	104.8	1380.9
APE	199.5	1.0	200.6	180.9	1539.9

2.4.17.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 411, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche della macchina frigorifera, i Gradi Giorno estivi ricalcolati a partire dai dati climatici di normativa [3], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto. Contrariamente alle equazioni trovate per il servizio di riscaldamento (caratterizzate da coefficienti R^2 maggiori di 0.95/0.98), per il raffrescamento l'accuratezza è inferiore presentando valori di R^2 variabile tra un minimo di 0.719 e un massimo di 0.817. Per questo motivo nelle analisi che seguono si è tenuto conto di questa minore affidabilità andando a definire un range di valori plausibili degli indicatori stessi.

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 163 (anno 2019) e in Figura 164 (anno 2020). Per il raffrescamento, si riscontra una evidente sottostima dei risultati dell'APE mentre l'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce un risultato più in linea con i risultati della DE ma solo quando applicata con dati climatici reali. Le discrepanze oscillano tra -63% e +0% dell'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{Cnren}); in particolare, i grafici mostrano come l'impiego di dati climatici convenzionali (quelli della norma UNI 10349 [3]) comportino un errore del -63% e del -51%; tale discrepanza tende a crescere quando si utilizzano i dati climatici reali che determinano una maggiore sottostima dei risultati rispetto le DE (discrepanze dell'ordine del -71% e del -62%).

Questo risultato conferma la necessità di una correzione delle equazioni implementate nel caso di utilizzo di dati climatici reali. Nel caso di correzione con F_{GGe}, come si evince anche dalla Tabella 412, la discrepanza tra DE e MC_{APE-DE} tende ad attenuarsi leggermente portando ad una più vicina convergenza dei risultati (differenza dell'ordine del -11% e del -7%). Effettuando anche la correzione legata alla differente temperatura di set point, invece, si riesce ridurre ulteriormente questo divario dalla DE, con un errore relativo compreso tra il -3% e una perfetta corrispondenza nel 2020.

Come anticipato, queste discrepanze fin qui argomentate possono in realtà subire delle variazioni più o meno marcate in funzione dell'accuratezza delle equazioni impiegate. Per questo, nelle figure sono stati riportati anche i range (linee in nero) rappresentanti i valori minimi e massimi che possono essere assunti dai vari indicatori energetici. Si osservi come la maggior variazione dei valori si riscontri per quelle combinazioni per le quali si è effettuata la correzione per i fattori F_{GGe} e F_{C-set}, mentre risultano nettamente più contenute per le prime due combinazioni. Se si considerasse questo range, le discrepanze rispetto la DE potrebbero variare significativamente oscillando tra un -28% e un +40%.

Tabella 411. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*	
		2019	*2020*
Livello di isolamento dell'edificio [-]		Liv-Iso-0	
Tipologia del generatore di calore [-]		Macchina frigorifera	
Potenza nominale del generatore [kW]		16.0	
EER [-]		3.8	
Superficie utile [m²]		82.32	
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2420	
Gradi Giorno – reali		7554	5878
Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]		5.0	5.0
Fattori correttivi	F_{GGe}	3.121	2.429
	F_{C-set}	1.083	1.083
Risultati APE	EP_{nren} [kWh/m²]	12.03	
	EP_{ren} [kWh/m²]	2.90	
	EP_{tot} [kWh/m²]	14.93	
	Energia elettrica [kWh]	508.51	

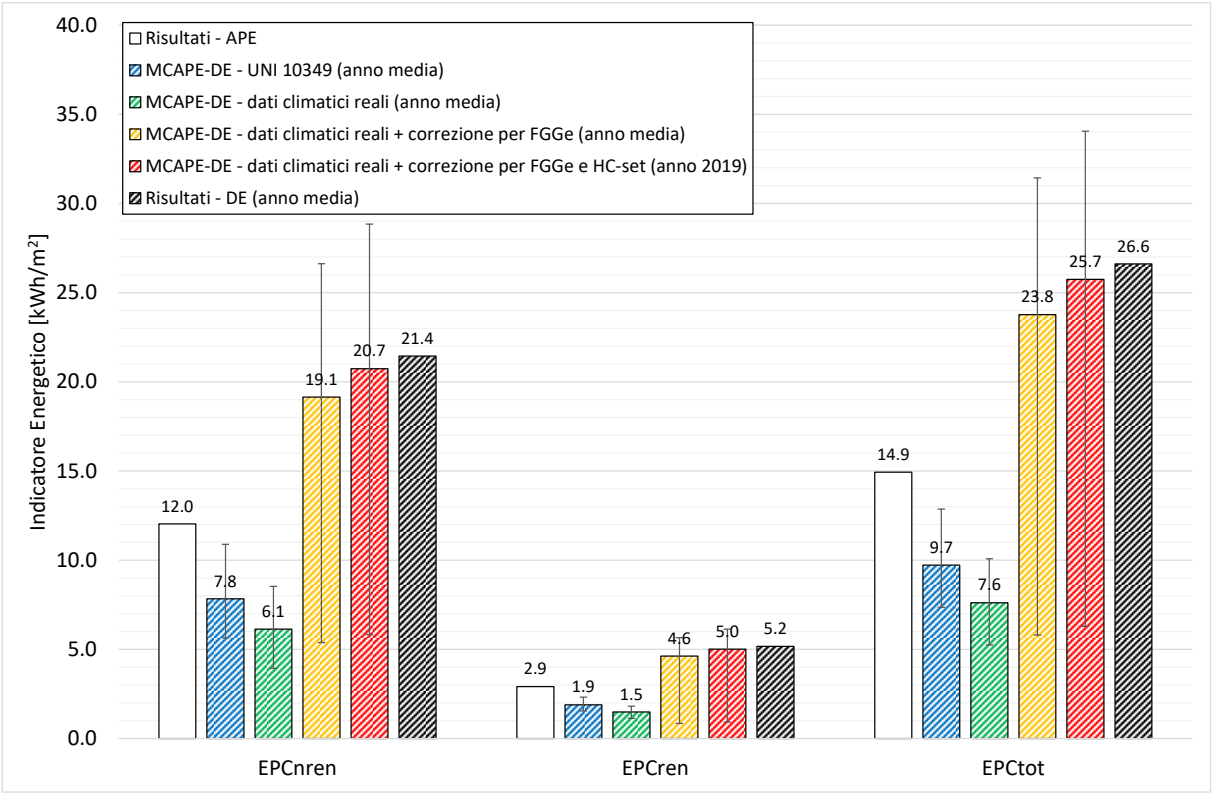


Figura 163. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2019.

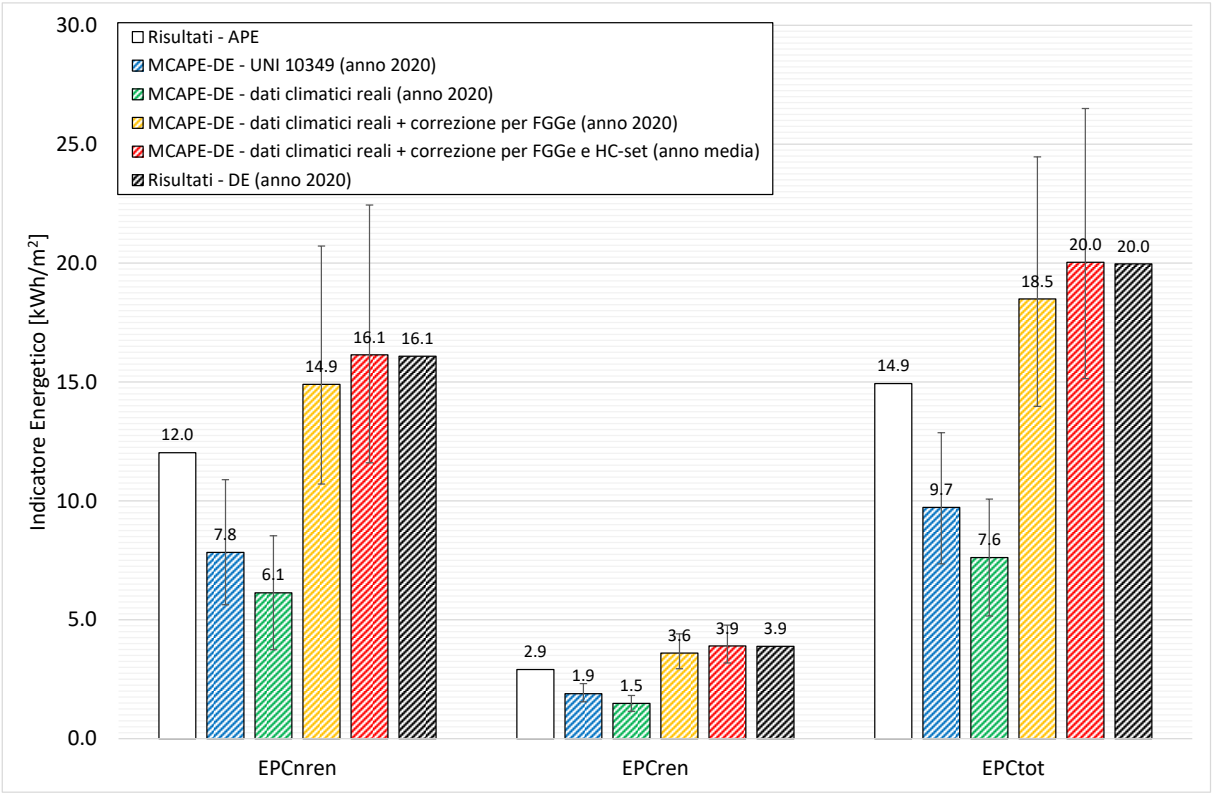


Figura 164. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}) per l'anno 2020.

Tabella 412. Servizio di raffrescamento: errore assoluto e relativo riscontrato tra le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Metodologia di confronto	*Indicatori Energetici*	*Errore (con pompa di calore)*			
		Assoluto [kWh/m²]		Relativo [%]	
		2019	2020	2019	2020
DE - MC_{APE-DE} – Gradi Giorno Estivi	EP_{Cnren}	13.61	8.25	63.47	51.31
	EP_{Cren}	3.28	1.99	63.42	51.24
	EP_{Ctot}	16.89	10.24	63.46	51.30
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno Estivi ricalcolati a partire dai dati climatici reali	EP_{Cnren}	15.31	9.95	71.40	61.87
	EP_{Cren}	3.69	2.40	71.35	61.81
	EP_{Ctot}	18.99	12.35	71.39	61.86
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno Estivi ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GGe}	EP_{Cnren}	2.30	1.19	10.72	7.40
	EP_{Cren}	0.55	0.28	10.58	7.25
	EP_{Ctot}	2.85	1.47	10.70	7.37
DE - MC_{APE-DE} - Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali + correzione per F_{GGe} e F_{C-set}	EP_{Cnren}	0.70	-0.05	3.28	-0.32
	EP_{Cren}	0.16	-0.02	3.13	-0.48
	EP_{Ctot}	0.87	-0.07	3.25	-0.35

2.4.17.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Ai fini della seguente verifica, per la metodologia MC_{APE-DE} sono stati considerate le combinazioni di input i cui risultati hanno evidenziato una migliore correlazione con quelli della DE per ciascun servizio energetico presente:

- Produzione di acqua calda sanitaria: combinazione "Vw-IEM + T-REALE", in cui i dati climatici di riferimento sono quelli reali e il volume di acqua calda è stato determinato come valore medio dei valori giornalieri medio mensili restituiti dalla DE ($V_{W\text{-Inventario Energetico media}}$);
- Riscaldamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi (F_{GG} e $F_{H\text{-set}}$);
- Raffrescamento: combinazione di calcolo in cui si è fatto riferimento ai Gradi Giorno ricalcolati a partire dai dati climatici reali e i risultati sono stati corretti per entrambi i fattori correttivi (F_{GGe} e $F_{C\text{-set}}$);

Il confronto dei consumi di metano e di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 165 e in Figura 166. Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia MC_{APE-DE} con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.
Entrando più nel dettaglio, l'errore per l'energia elettrica (rimarcato in Tabella 413) si attesta complessivamente al -0.5% nel 2019 (corrispondete ad una differenza di 4 kWh) e al -2% nel 2020 (pari a circa 13 kWh). L'errore relativo più marcato, come ampiamente discusso in precedenza, è stato riscontrato per il servizio di riscaldamento (±12%). Per il metano, invece, l'errore relativo massimo si attesta al 12% pari a circa 95 Nm^3. I risultati evidenziano una importante sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale compresa tra il 41-50%), confermando una migliore affidabilità della metodologia MC_{APE-DE}.

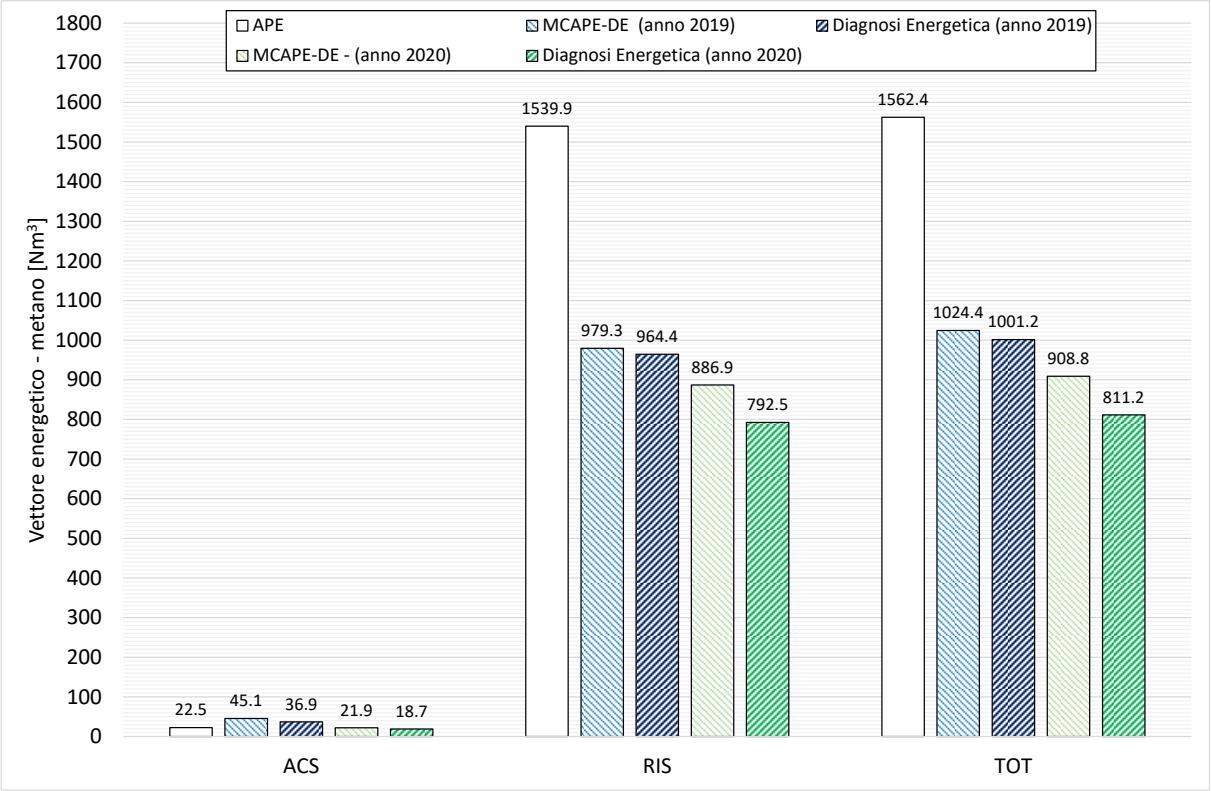


Figura 165. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

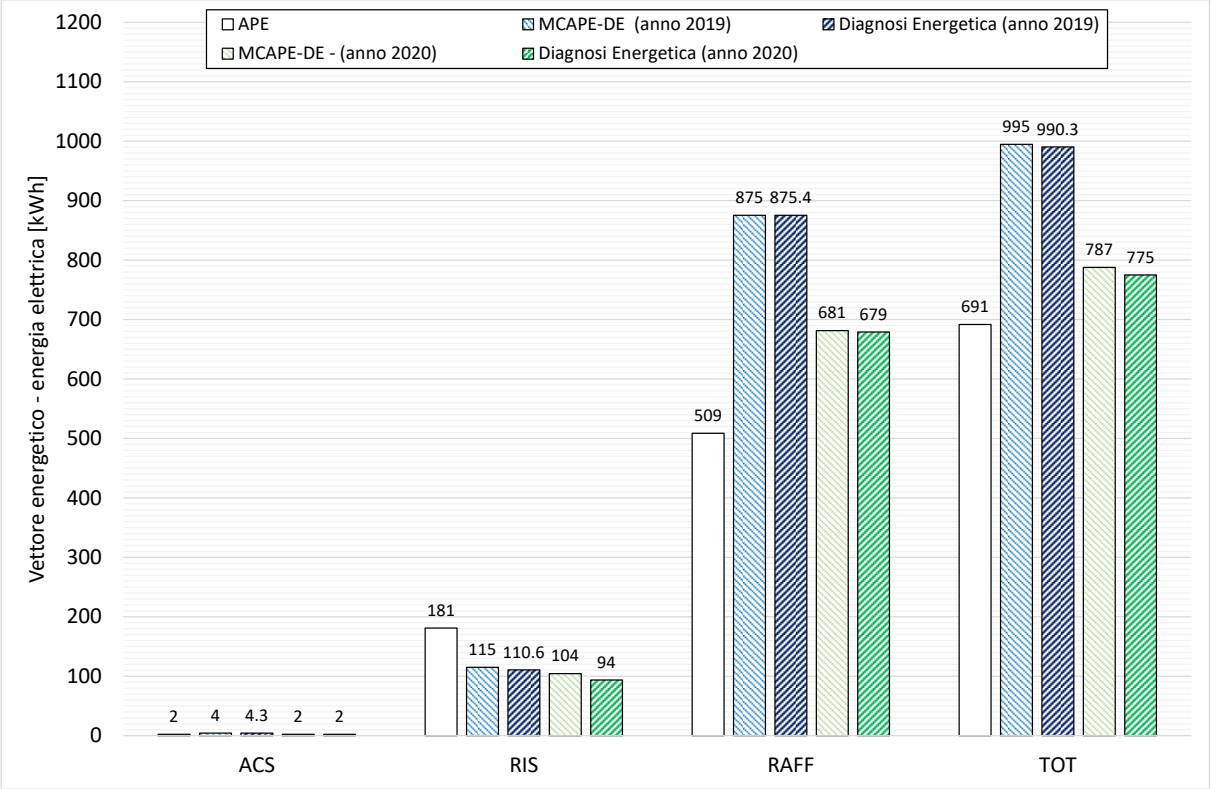


Figura 166. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 413. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	2019	0.0	-4.4	0.0	-4.4	-0.6	-4.0	0.0	-0.4
	2020	0.0	-10.5	-2.2	-12.7	2.3	-11.3	-0.3	-1.6
Metano	2019	-8.3	-14.9	0.0	-23.1	-22.4	-1.5	0.0	-2.3
	2020	-3.2	-94.4	0.0	-97.7	-17.4	-11.9	0.0	-12.0

2.4.18 Caso Studio n. 16 – E.2-4

Il quarto caso studio che afferisce alla categoria E.2 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] riguarda un intero edificio costruito nel comune di Parma, città contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 382. Il fabbricato, realizzato nel 1962, è caratterizzato da una forma articolata e da quattro piani fuori terra, cui si aggiungono il piano sottotetto, un piano seminterrato ed un interrato.
Il presente caso studio è stato oggetto di Diagnosi Energetica nel 2018/2019 in accordo con le normative vigenti [13, 14], ossia considerando un consumo energetico medio derivante da uno o più anni di analisi. Ai fini del presente lavoro, essendo un edificio precedentemente analizzato, si riporteranno le principali caratteristiche dell'immobile utili per applicare la metodologia MC_{APE-DE}, nonché i principali risultati energetici (APE e DE) necessarie per il confronto. Per ulteriori informazioni riguardo sia l'APE che la DE si rimanda allo specifico report redatto [19].

Tabella 414. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Emilia-Romagna
	Provincia	Parma
	Comune	Parma
	Altitudine [10]	57 m s.l.m.
	Latitudine	44° 48'
	Longitudine	10° 19'
	Gradi Giorno [10]	2502
	Zona climatica [10]	E
	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
Climatico invernale ed estivo	Regione di vento	B
	Velocità media del vento [m/s]	1.50
	Temperatura bulbo secco [°C]	31.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	23.7
	Escursione termica giornaliera [°C]	10.0
	Umidità relativa [%]	55.0

2.4.18.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali dell'edificio emerse dal report redatto [19] sono sintetizzate in Tabella 415; per le caratteristiche geometriche e termiche delle oltre 11 tipologie di involucro opaco verticale, delle 5 orizzontali e delle 44 tipologie di infissi individuate a seguito di opportuni sopralluoghi, nonché dei ponti termici definiti ai fini dei calcoli energetici, si rimanda all'apposito report [19]. Si precisa che, sebbene l'edificio sia stato costruito nel 1962, le sue caratteristiche termiche risultano più coerenti con gli immobili realizzati intorno agli anni '90 ossia successivamente all'emanazione della Legge 10 [20]; pertanto, ai fini dell'applicazione della metodologia MC_{APE-DE} si è attribuito un livello di isolamento Li-Iso-1.

In merito alla componente impiantistica, esso è caratterizzato da un impianto di riscaldamento centralizzato costituito da tre generatori a condensazione alimentate a metano (Tabella 416), mentre la climatizzazione estiva è garantita da due impianti VRF (Tabella 417). Il servizio di acqua calda sanitaria è invece soddisfatto mediante 5 boiler elettrici di potenza 1.5 KW. In aggiunta ai servizi appena citati, sono stati analizzati anche i servizi di illuminazione e trasporto di persone e cose che, ai fini della presente trattazione, non sono stati riportati in quanto non presi in esame dalla metodologia MC_{APE-DE}.

Tabella 415. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	1962	[-]
Tipologia edilizia	Intero edificio	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	4	[-]
Piano del caso studio	Intero edificio	[-]
Altezza media vani	3.48	[m^2]
Superficie utile climatizzata	5761.61	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	6232.48	[m^2]
Volume netto climatizzato	19923.93	[m^3]
Volume lordo climatizzato	23805.68	[m^3]
Superficie disperdente	6385.77	[m^2]
Rapporto S/V	0.27	[m^{-1}]

Tabella 416. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Rendamax R604*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Centrale termica
Potenza nominale – P_n [kW]	285.2
Potenza minima – P_{min} [kW]	39.5
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [W]	260
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [W]	380
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [W]	35
Rendimento alla potenza nominale 80/60°C – $\eta_{100\%}$ [%]	98
Rendimento normalizzato 75/60°C– η [%]	106.8

Tabella 417. Caratteristiche tecniche del generatore di calore a pompa di calore per il raffrescamento.

Caratteristiche del generatore di calore	*VRF*
Combustibile	Energia elettrica
Potenza nominale in raffrescamento [kW]	308
EER [-]	2.90

2.4.18.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

La valutazione energetica media condotta, si è basata su dei consumi energetici di bolletta mediati; questi sono sintetizzati in Tabella 418. Si tiene a precisare che, a differenza degli altri casi studi esaminati per i quali si è disposto di informazioni molto dettagliate, per questo non è stato considerato né l'effettivo profilo occupazionale né il reale consumo di acqua ma, per entrambi, si è fatto riferimento a dati standard (5 giorni lavorati su 7 per il profilo occupazionale e stima del volume di acqua calda sanitaria derivante dal calcolo standard).

Tabella 418. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di energia elettrica e metano.

Mese	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*
Gennaio	23364	7557
Febbraio	20237	8394
Marzo	19791	7320
Aprile	16262	4066
Maggio	19194	0
Giugno	18302	0
Luglio	24467	0
Agosto	20482	0
Settembre	20529	0
Ottobre	21580	1131
Novembre	20752	4336
Dicembre	25160	6437
Totale	250118	39241

2.4.18.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 167 e Tabella 419) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica D con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 185.63 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di metano di circa 160622 kWh/anno di energia elettrica per la copertura dei servizi di riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria e raffrescamento e di circa 72000 Nm^3 di metano per il solo riscaldamento.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 418), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

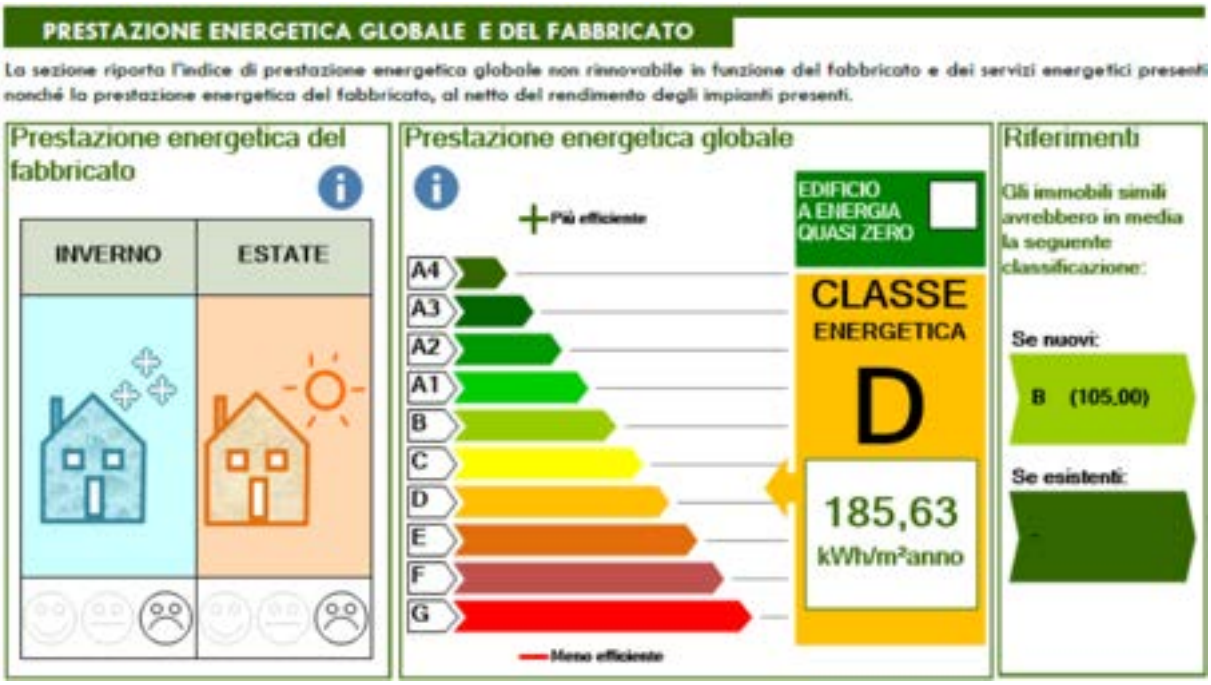


Figura 167. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 419. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	763431	2897	766328	133,12	0,51	133,62	71995	6165
Acqua Calda Sanitaria	36143	8711	44855	6,30	1,52	7,82	-	18535
Raffrescamento	28335	6829	35164	4,94	1,19	6,13	-	14531
Illuminazione	225885	54444	280329	39,39	9,49	48,88	-	115838
Trasporto	10829	2610	13439	1,89	0,46	2,34	-	5553
Globale	1064623	75492	1140115	185,63	13,16	198,80	71995	160622

2.4.18.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stata condotta un'unica DE relativa all'anno medio degli anni di cui sono stati resi disponibili i consumi. A differenza delle precedenti DE, questa è stata condotta in maniera "*completa*" riguardando anche aspetti legati all'efficientamento energetico dell'edificio. Ai fini della presente trattazione, comunque, ci si fermerà all'inventario energetico.

Dal report disponibile, si è evinto che ai fini della DE si è assunto il sistema di riscaldamento operante dal lunedì al venerdì per 11 ore al giorno (per tutto il periodo di riscaldamento), mentre il gruppo frigo è stato considerato funzionante da giugno a settembre sempre per cinque giorni settimanali e per 11 ore giornaliere.

A partire da queste configurazioni, è stato definito l'inventario energetico del presente caso studio, ossia la ripartizione dei consumi dei vettori energetici per servizio energetico presente e per anno di analisi. La Tabella 420 evidenzia come, in merito all'energia elettrica, il servizio più energivoro sia il raffrescamento (circa il 36%), seguito dall'apparecchiature da ufficio (circa il 32%) e dall'illuminazione (tendente al 22%).

Infine, analogamente a quanto fatto per l'APE, si riportano in Tabella 421 i principali risultati di calcolo (fabbisogno di energia primaria e indici di energia primaria) derivanti dalle DE, a cui si farà riferimento per l'analisi comparativa con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$.

Tabella 420. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Metano [Nm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
Riscaldamento	39241	4.548
Produzione di acqua calda sanitaria	-	17.342
Raffrescamento	-	89.290
Illuminazione	-	54.108
Trasporto	-	5.553
Apparecchiature	-	79.254
Totale inventario	39241	250.118

Tabella 421. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*		
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*
medio	Riscaldamento	441362	2138	443500	77.0	0.4	77.3
	Acqua Calda Sanitaria	33817	8151	41968	5.9	1.4	7.3
	Raffrescamento	174116	41966	216082	30.4	7.3	37.7
	Globale	649295	52255	701549	113	9	122

2.4.18.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.18.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 422, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 168 (anno medio). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce un risultato leggermente sottostimato rispetto la DE (errore di 0.3 kWh/m^2 per l'indicatore non rinnovabile e di 0.1 kWh/m^2 per quello rinnovabile). In termini relativi, il calcolo APE tende, invece, a sovrastimare il risultato della DE di un 6-7%, mentre la metodologia MC_{APE-DE} restituisce un valore inferiore del 5-6%.

Tabella 422. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*	*u.m.*
		medio	
Tipologia di generatore		Boiler	[-]
Vettore energetico		elettrico	[-]
Superficie utile dell'immobile		5735.08	[m^2]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		13.54	[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		13.54	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	1147	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.934	[-]
	F_{Vw}	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	6.3	[kWh/m^2]
	EP_{Wren}	1.5	[kWh/m^2]
	EP_{Wtot}	7.8	[kWh/m^2]
	Energia elettrica	18535.0	[kWh]

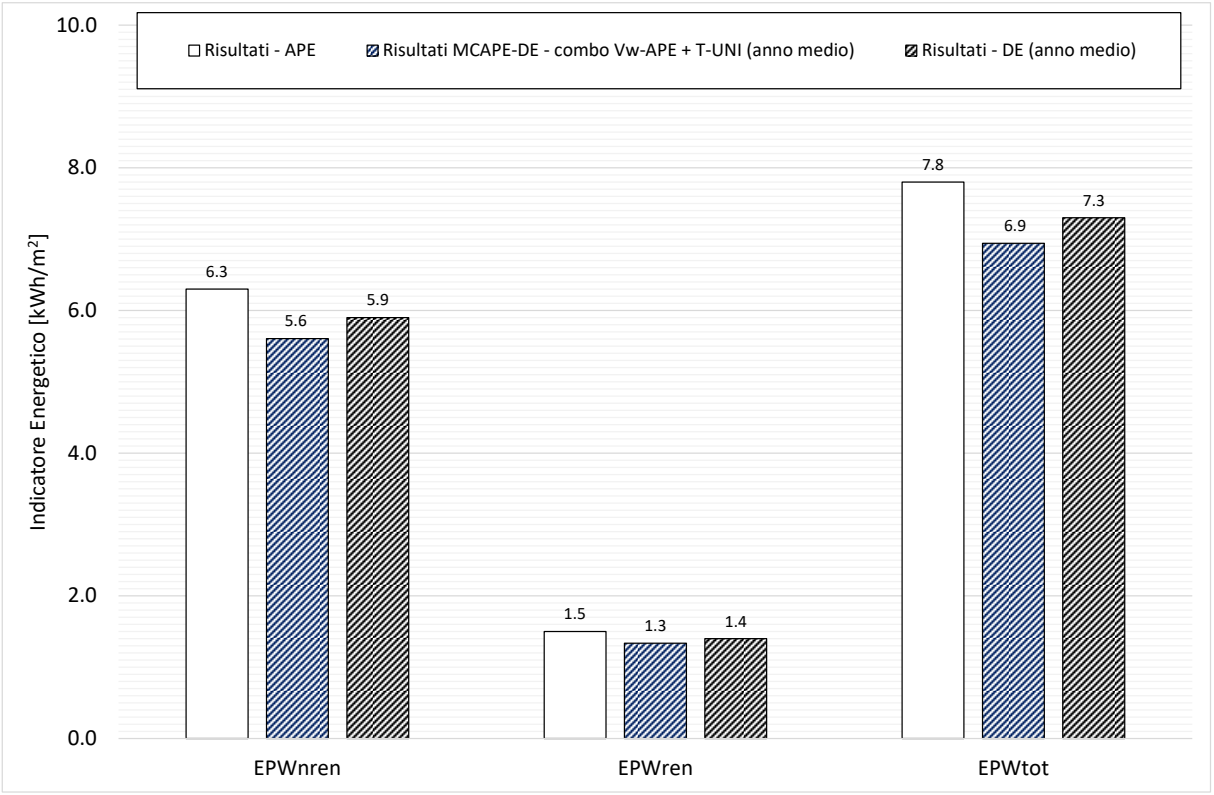


Figura 168. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

2.4.18.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 423, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.

Tabella 423. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*	*u.m.*
		medio	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-1	[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore a condensazione	[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta	[-]
Vettore energetico principale		Metano	[-]
Potenza nominale		855.6/30 = 28.5	[kW]
COP medio e/o efficienza nominale		0.980	[-/%]
Superficie utile		5761.6	[m²]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2502	[GG]
Gradi Giorno – reali		2135	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		11	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.853	[-]
	F_{H-set}	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	133.1	[kWh/m²]
	EP_{Hren}	0.5	[kWh/m²]
	EP_{Htot}	133.6	[kWh/m²]
	Energia elettrica	6165.0	[kWh]
	Metano	72297.0	[Nm³]

In questo caso, è stato necessario definire un ulteriore parametro ossia una percentuale di utilizzo degli impianti presenti al fine di ripartire correttamente i fabbisogni energetici; questa percentuale è stata desunta in base all'energia primaria effettivamente coperta da ciascun impianto riscontrata in fase di DE.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 169; in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente mentre la metodologia MC_{APE-DE} restituisce un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze del +44% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}).

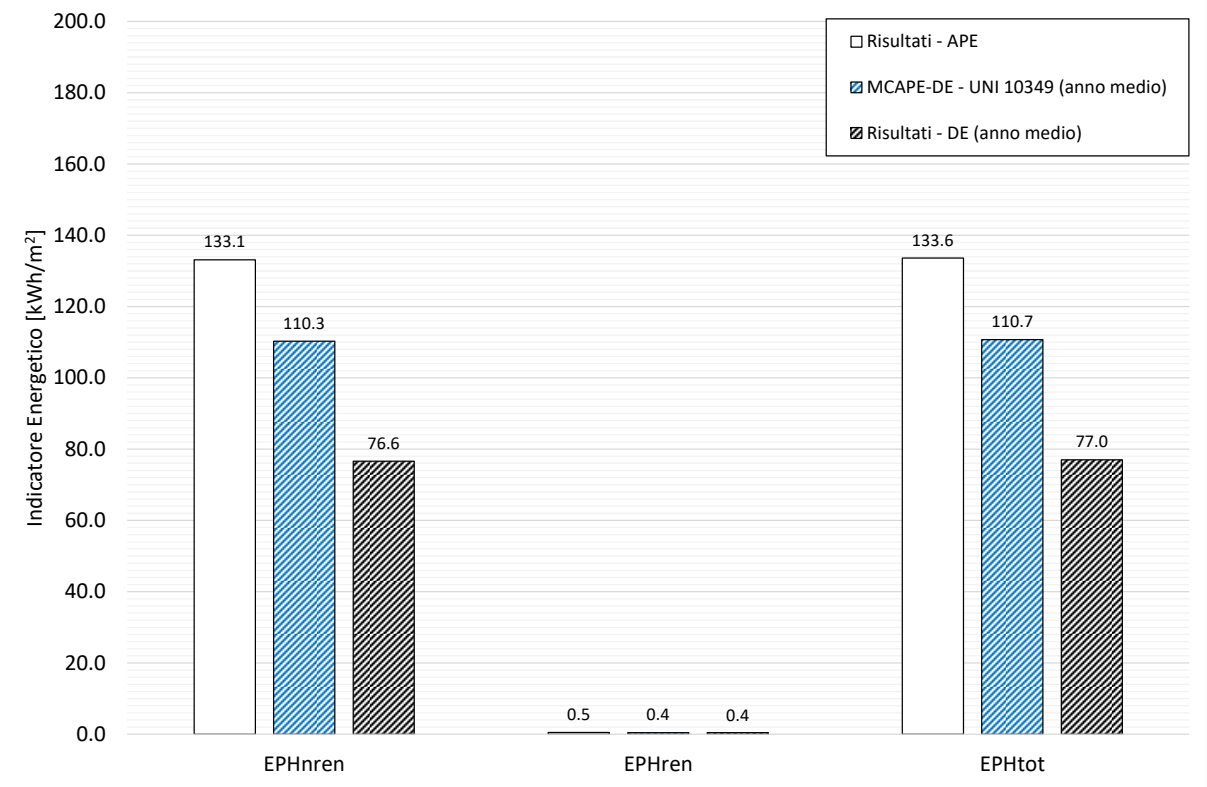


Figura 169. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

2.4.18.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 424, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche della macchina frigorifera, i Gradi Giorno estivi ricalcolati a partire dai dati climatici di normativa [3], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto. Contrariamente alle equazioni trovate per il servizio di riscaldamento (caratterizzate da coefficienti R^2 maggiori di 0.95/0.98), per il raffrescamento l'accuratezza è inferiore presentando valori di R^2 variabile tra un minimo di 0.719 e un massimo di 0.817. Per questo motivo nelle analisi che seguono si è tenuto conto di questa minore affidabilità andando a definire un range di valori plausibili degli indicatori stessi.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati in Figura 170; in particolare, si riscontra una evidente sottostima dei risultati dell'APE mentre l'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce un risultato più in linea con i risultati della DE (discrepanza del -54%).

Tabella 424. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento - medio*
Livello di isolamento dell'edificio [-]		Liv-Iso-1
Tipologia del generatore di calore [-]		Macchina frigorifera
Potenza nominale del generatore [kW]		308/7.2 = 42.8
EER [-]		2.9
Superficie utile [m²]		5761.6
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		3678
Gradi Giorno – reali		3678
Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]		11
Fattori correttivi	F_{GGe}	1.000
	$F_{C\text{-}set}$	0.000
Risultati APE	EP_{nren} [kWh/m²]	4.90
	EP_{ren} [kWh/m²]	1.20
	EP_{tot} [kWh/m²]	6.10
	Energia elettrica [kWh]	14531.0

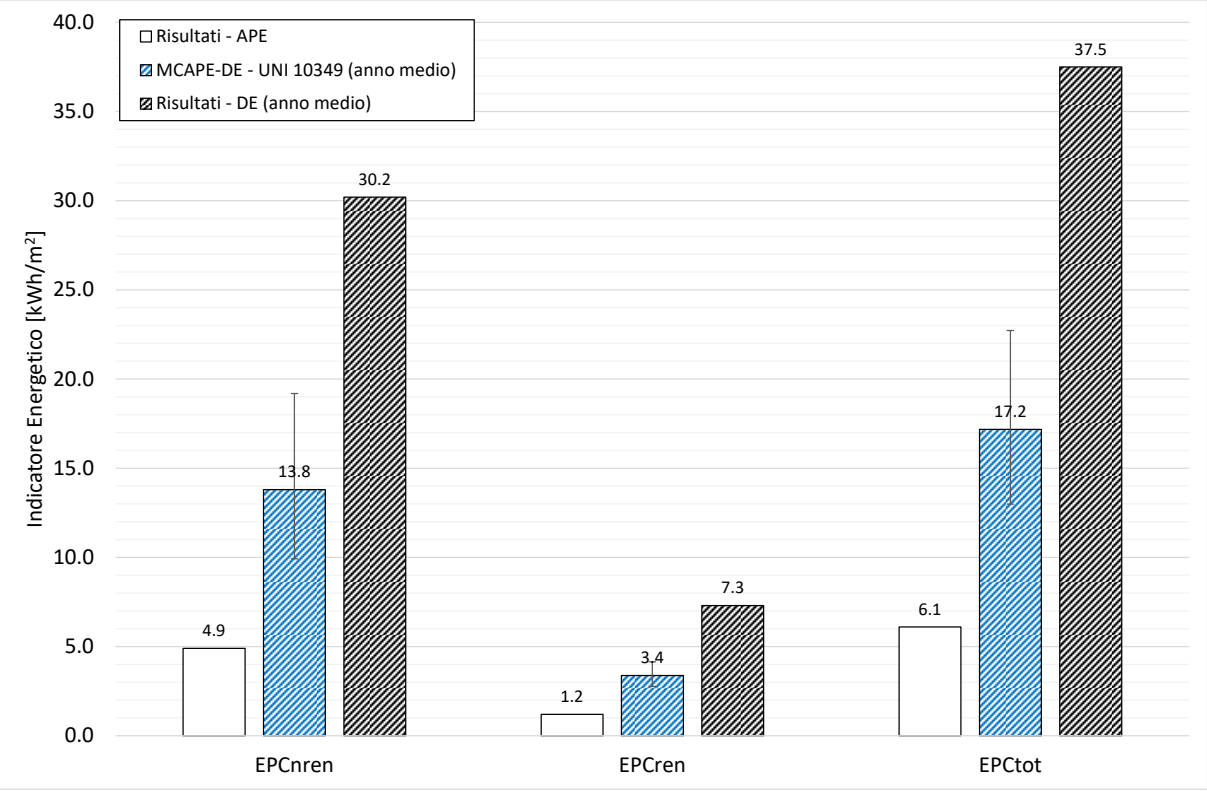


Figura 170. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

2.4.18.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate. Il confronto dei consumi di metano e di energia elettrica restituiti dalle tre metodologie sono riportati rispettivamente in Figura 171 e in Figura 172.

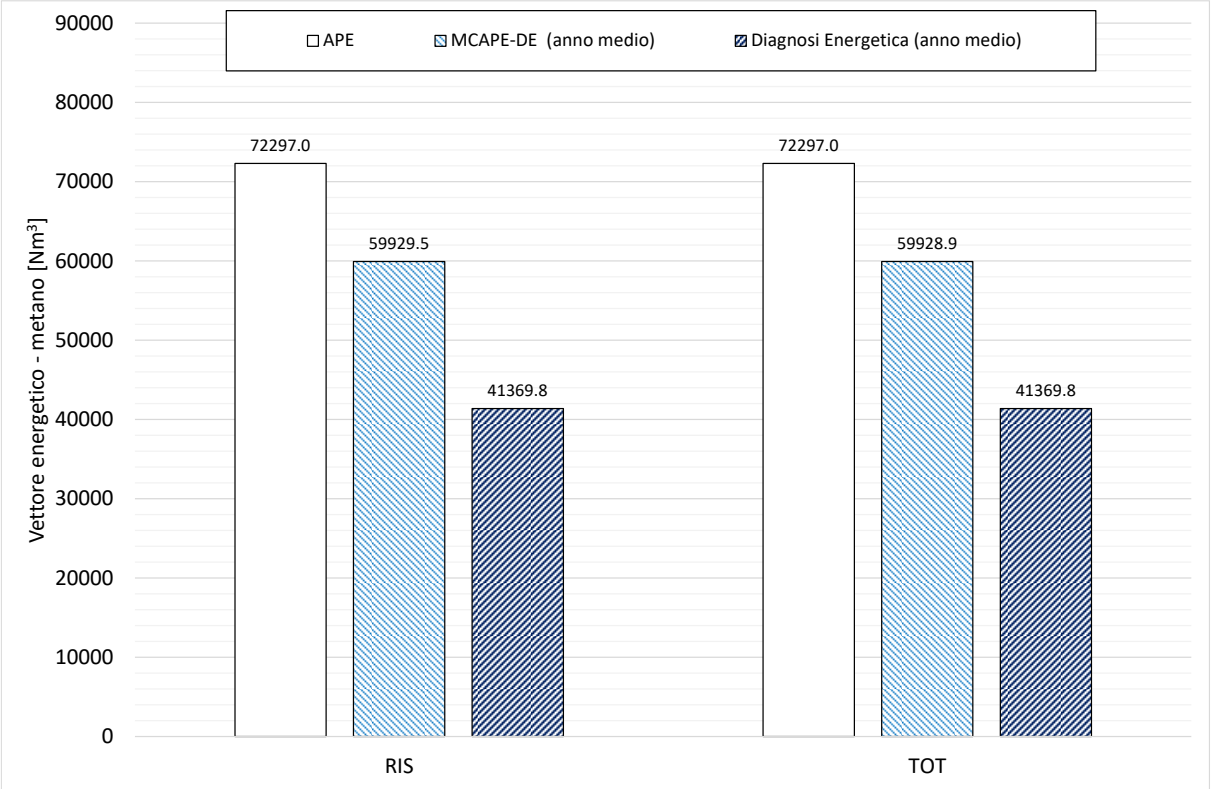


Figura 171. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

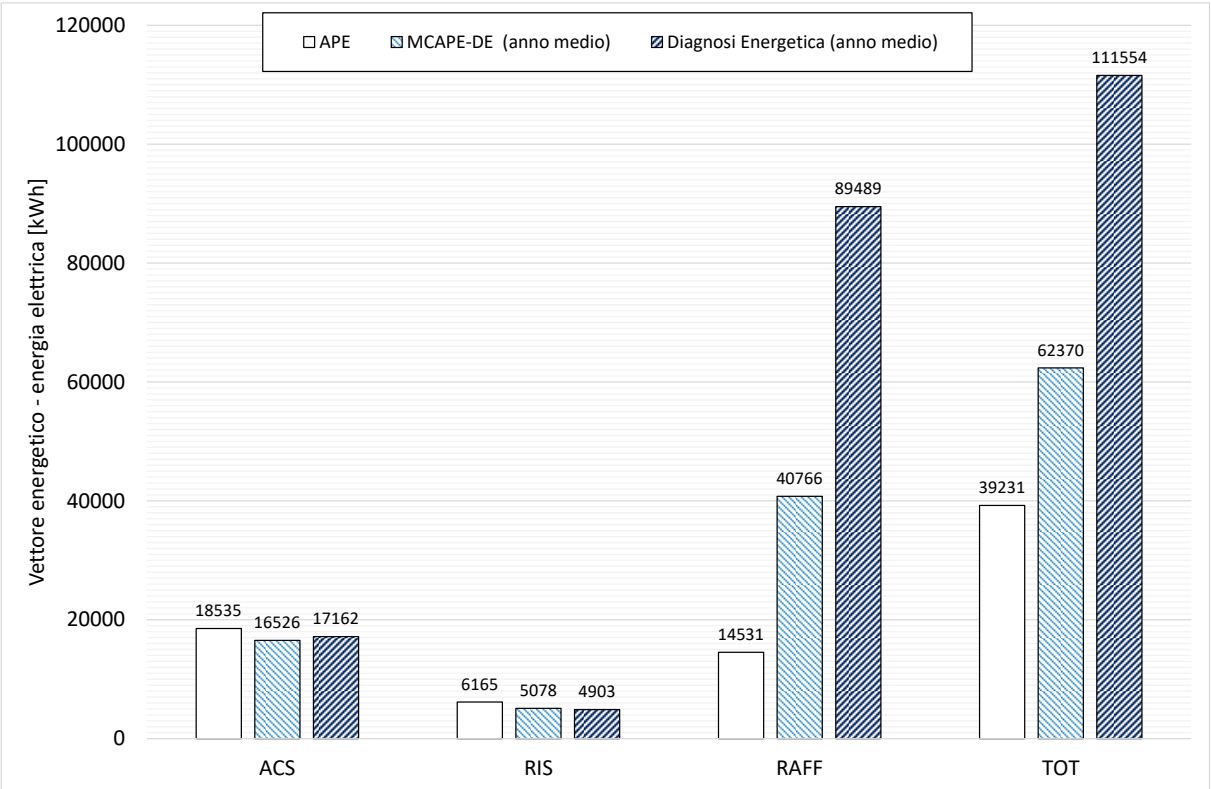


Figura 172. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia MC_{APE-DE} con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE.
Entrando più nel dettaglio, l'errore per l'energia elettrica (rimarcato in Tabella 425) si attesta complessivamente al 44% (corrispondete ad una differenza di 45000 kWh) mentre quello di metano è al -45% (pari a circa 18600 Nm^3).
I risultati evidenziano una importante sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale del +60%), confermando una migliore affidabilità della metodologia $MC_{APE-DE.}$

Tabella 425. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm^3]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	medio	636.4	-175.0	48722.8	49184.2	3.7	-3.6	54.4	44.1
Metano	medio	0.0	-18559.7	0.0	-18559.1	0.0	-44.9	0.0	-44.9

2.4.19 Caso Studio n. 17 – E.2-5

Il quinto caso studio che afferisce alla categoria E.2 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] riguarda un intero edificio costruito nel comune di Roma, città contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 426. Il fabbricato, realizzato nel 1986, è caratterizzato da una pianta rettangolare e da sei piani fuori terra, cui si aggiungono una copertura a terrazzo, due pianti interrati, un piano seminterrato e un piano terreno.

Il presente caso studio è stato oggetto di Diagnosi Energetica nel 2018 in accordo con le normative vigenti [13, 14], ossia considerando un consumo energetico medio derivante da uno o più anni di analisi. Ai fini del presente lavoro, essendo un edificio precedentemente analizzato, si riporteranno le principali caratteristiche dell'immobile utili per applicare la metodologia MC_{APE-DE}, nonché i principali risultati energetici (APE e DE) necessarie per il confronto. Per ulteriori informazioni riguardo sia l'APE che la DE si rimanda allo specifico report redatto [19].

Tabella 426. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Lazio
	Provincia	Roma
	Comune	Roma
	Altitudine [10]	20 m s.l.m.
	Latitudine	41° 53'
	Longitudine	12° 28'
	Gradi Giorno [10]	1415
	Zona climatica [10]	E
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	166 giorni dal 1/11 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	1.70
	Temperatura bulbo secco [°C]	34.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	25.2
	Escursione termica giornaliera [°C]	11.0
	Umidità relativa [%]	50.0

2.4.19.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali dell'edificio emerse dal report redatto [19] sono sintetizzate in Tabella 427; per le caratteristiche geometriche e termiche delle oltre 8 tipologie di involucro opaco verticale, delle 6 orizzontali e delle 9 tipologie di infissi individuate a seguito di opportuni sopralluoghi, nonché dei ponti termici definiti ai fini dei calcoli energetici, si rimanda all'apposito report [19]. Si precisa che, in considerazione dell'anno di costruzione dell'edificio (1986) e delle sue effettive caratteristiche termiche, ai fini dell'applicazione della metodologia MC_{APE-DE} si è attribuito un livello di isolamento Li-Iso-0.

In merito alla componente impiantistica, esso è caratterizzato da un unico generatore standard alimentate a metano (Tabella 428), mentre la climatizzazione estiva è garantita da un gruppo frigo (Tabella 429). Il servizio di acqua calda sanitaria risulta invece assente. In aggiunta ai servizi appena citati, sono stati analizzati anche i servizi di ventilazione, illuminazione e trasporto di persone e cose che, ai fini della presente trattazione, non sono stati riportati in quanto non presi in esame dalla metodologia MC_{APE-DE}.

Tabella 427. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	1986	[-]
Tipologia edilizia	Intero edificio	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	6	[-]
Piano del caso studio	Intero edificio	[-]
Altezza media vani	3.05	[m^2]
Superficie utile climatizzata	5566.1	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	5805.4	[m^2]
Volume netto climatizzato	16933.7	[m^3]
Volume lordo climatizzato	19270.8	[m^3]
Superficie disperdente	5826.4	[m^2]
Rapporto S/V	0.30	[m^{-1}]

Tabella 428. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*RTQ 3S*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Centrale termica
Potenza nominale – P_n [kW]	448.0
Potenza minima – P_{min} [kW]	134.4
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [W]	843
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [W]	996
Potenza elettrica minima assorbita al bruciatore – $P_{el\text{-}min,bru}$ [W]	37
Rendimento alla potenza nominale 80/60°C – $\eta_{100\%}$ [%]	95.4
Rendimento normalizzato 75/60°C– η [%]	96.7

Tabella 429. Caratteristiche tecniche del generatore di calore a pompa di calore per il raffrescamento.

Caratteristiche del generatore di calore	*Macchina frigorifera*
Combustibile	Energia elettrica
Potenza nominale in raffrescamento [kW]	415
EER [-]	2.48

2.4.19.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

La valutazione energetica media condotta, si è basata su dei consumi energetici di bolletta mediati; questi sono sintetizzati in Tabella 430. Si tiene a precisare che, a differenza degli altri casi studi esaminati per i quali si è disposto di informazioni molto dettagliate, per questo non è stato considerato né l'effettivo profilo occupazionale né il reale consumo di acqua ma, per entrambi, si è fatto riferimento a dati standard (5 giorni lavorati su 7 per il profilo occupazionale e stima del volume di acqua calda sanitaria derivante dal calcolo standard).

Tabella 430. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di energia elettrica e metano.

Mese	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*
Gennaio	30554	7529
Febbraio	28644	4522
Marzo	29494	5275
Aprile	25575	980
Maggio	32790	0
Giugno	48637	0
Luglio	69641	0
Agosto	53494	0
Settembre	52709	0
Ottobre	37030	3
Novembre	30056	3055
Dicembre	33789	6016
Totale	472410	27380

2.4.19.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 173 e Tabella 431) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica D con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 189.77 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di energia elettrica 182811 kWh/anno per la copertura dei servizi di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, illuminazione, e trasporto di persone e cose, mentre il consumo di metano si attesta a quasi di 67051 Nm^3 per soddisfare il solo riscaldamento.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 430), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

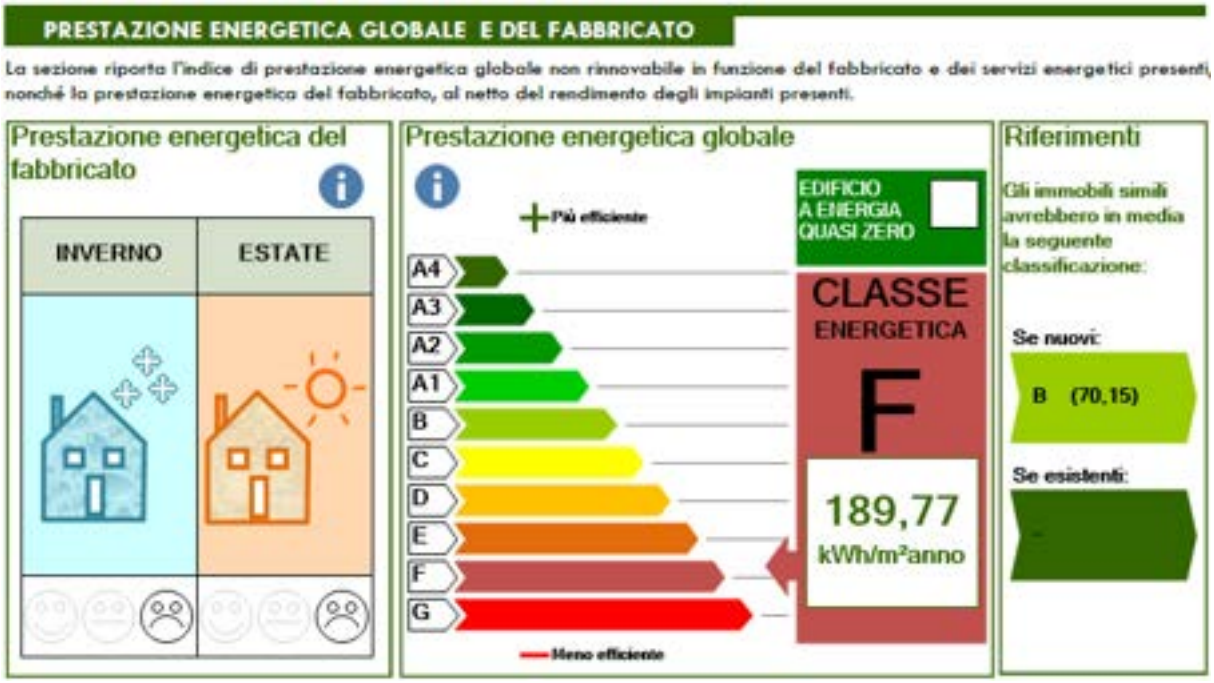


Figura 173. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 431. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m^2]*			*Metano [Nm^3/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	740013	9689	749702	133.0	1.7	134.7	67051	20615
Acqua Calda Sanitaria	36323	8755	45078	6.5	1.6	8.1	0.0	18627
Raffrescamento	79715	19213	98929	14.3	3.5	17.8	0.0	40879
Illuminazione	200245	48264	248509	36.0	8.7	44.6	0.0	102689
Trasporto	14474	3489	17963	2.6	0.6	3.2	0.0	7423
Globale	1070770	89410	1160181	192.4	16.1	208.4	67051	190234

2.4.19.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stata condotta un'unica DE relativa all'anno medio degli anni di cui sono stati resi disponibili i consumi. A differenza delle precedenti DE, questa è stata condotta in maniera "*completa*" riguardando anche aspetti legati all'efficientamento energetico dell'edificio. Ai fini della presente trattazione, comunque, ci si fermerà all'inventario energetico.

Dal report disponibile, si è evinto che ai fini della DE si è assunto il sistema di riscaldamento operante dal lunedì al venerdì per 12 ore al giorno (per tutto il periodo di riscaldamento), mentre il gruppo frigo è stato considerato funzionante da giugno a settembre sempre per cinque giorni settimanali e per 8 ore giornaliere. Si precisa che le ore indicate fanno riferimento alle condizioni climatiche reali, le quali, però, non sono dettagliate nel report. Questo potrebbe comportare una significativa divergenza dei risultati.

A partire da queste configurazioni, è stato definito l'inventario energetico del presente caso studio, ossia la ripartizione dei consumi dei vettori energetici per servizio energetico presente e per anno di analisi. La Tabella 432 evidenzia come, in merito all'energia elettrica, il servizio più energivoro siano le apparecchiature d'ufficio (circa il 36%), seguito dal raffrescamento (circa il 30%), e dall'illuminazione (tendente al 14%).

Infine, analogamente a quanto fatto per l'APE, si riportano in Tabella 433 i principali risultati di calcolo (fabbisogno di energia primaria e indici di energia primaria) derivanti dalle DE, a cui si farà riferimento per l'analisi comparativa con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$.

Tabella 432. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Metano [Sm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
Riscaldamento	27380	32563
Produzione di acqua calda sanitaria	-	-
Raffrescamento	-	144180
Ventilazione	-	39710
Illuminazione	-	66266
Trasporto	-	9511
Apparecchiature	-	171900
Totale inventario	39241	464130

Tabella 433. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*		
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*
medio	Riscaldamento	349263	15305	364568	62.7	2.7	65.5
	Acqua Calda Sanitaria	-	-	-	-	-	-
	Raffrescamento	281151	255199	536350	50.5	45.8	96.4
	Globale	649295	52255	701549	113	9	122

2.4.19.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.19.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per il caso in esame non è stato possibile condurre il confronto per il presente servizio energetico in quanto non contemplato in fase di Diagnosi.

2.4.19.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 434, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
In questo caso, è stato necessario definire un ulteriore parametro ossia una percentuale di utilizzo degli impianti presenti al fine di ripartire correttamente i fabbisogni energetici; questa percentuale è stata desunta in base all'energia primaria effettivamente coperta da ciascun impianto riscontrata in fase di DE.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 174; in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente mentre la metodologia MC_{APE-DE} restituisce un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze del +34% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}).

Tabella 434. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*	*u.m.*
		medio	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-0	[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore standard	[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta	[-]
Vettore energetico principale		Metano	[-]
Potenza nominale		448/26.6 = 16.8	[kW]
COP medio e/o efficienza nominale		0.954	[-/%]
Superficie utile		5566.1	[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		1415	[GG]
Gradi Giorno – reali		1415	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		12	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	1.000	[-]
	F_{H-set}	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	133.0	[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	1.7	[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	134.7	[kWh/m^2]
	Energia elettrica	20614.9	[kWh]
	Metano	67051.3	[Nm^3]

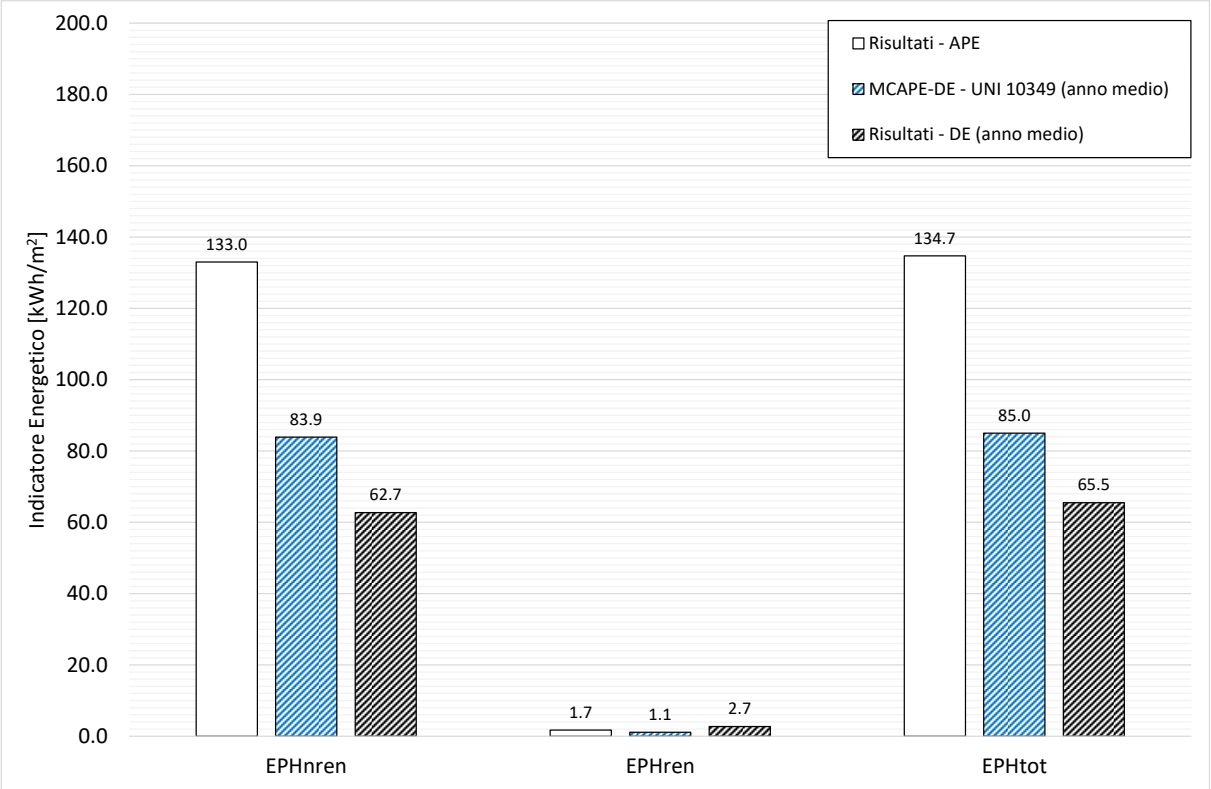


Figura 174. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

2.4.19.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 435, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche della macchina frigorifera, i Gradi Giorno estivi ricalcolati a partire dai dati climatici di normativa [3], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto. Contrariamente alle equazioni trovate per il servizio di riscaldamento (caratterizzate da coefficienti R^2 maggiori di 0.95/0.98), per il raffrescamento l'accuratezza è inferiore presentando valori di R^2 variabile tra un minimo di 0.823 e un massimo di 0.875. Per questo motivo nelle analisi che seguono si è tenuto conto di questa minore affidabilità andando a definire un range di valori plausibili degli indicatori stessi.

Tabella 435. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento - medio*
Livello di isolamento dell'edificio [-]		Liv-Iso-0
Tipologia del generatore di calore [-]		Macchina frigorifera
Potenza nominale del generatore [kW]		415/7.2
EER [-]		2.48
Superficie utile [m²]		5566.1
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		5194
Gradi Giorno – reali		5194
Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]		8
Fattori correttivi	F_{GGe}	1.000
	$F_{C\text{-}set}$	0.000
Risultati APE	EP_{nren} [kWh/m²]	6.53
	EP_{ren} [kWh/m²]	1.57
	EP_{tot} [kWh/m²]	8.10
	Energia elettrica [kWh]	18627.18

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati in Figura 175; in particolare, si riscontra una evidente sottostima dei risultati dell'APE mentre l'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce un risultato più in linea con i risultati della DE (discrepanza del -40%).

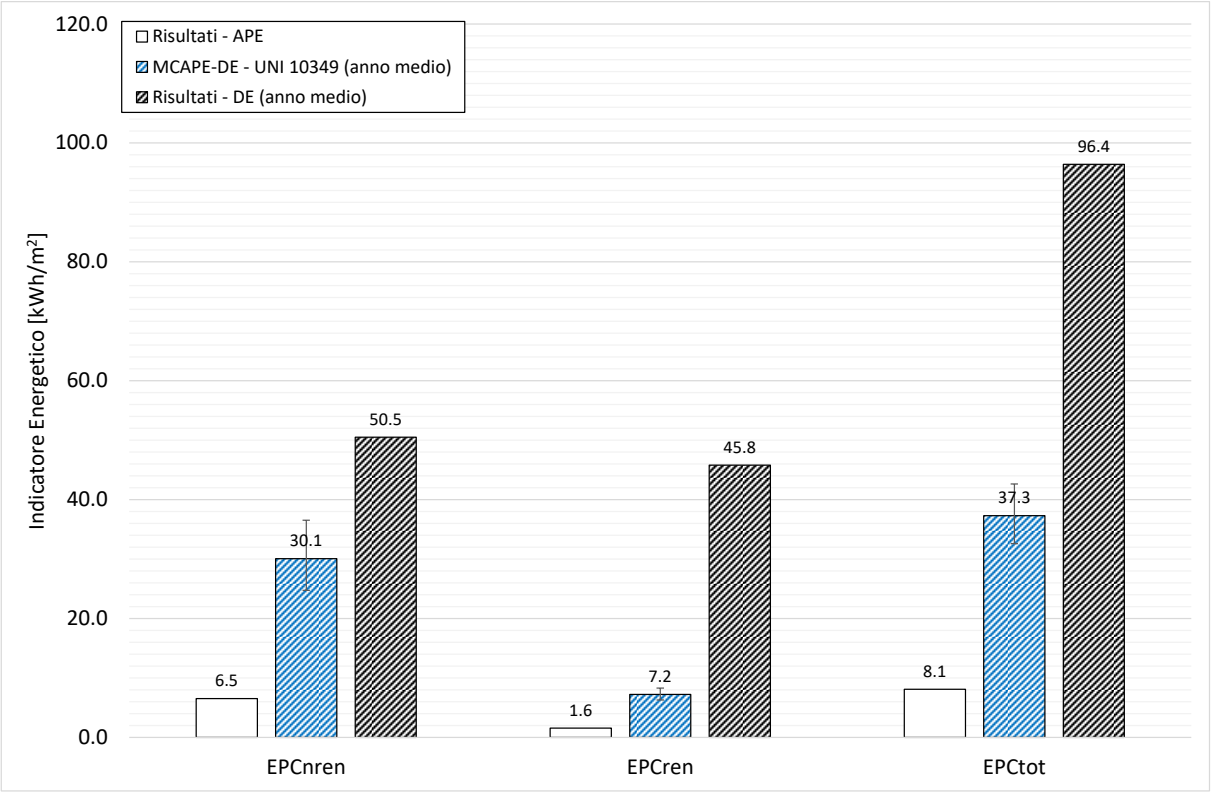


Figura 175. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

2.4.19.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate; in particolare, il confronto dei consumi di metano e di energia elettrica sono riportati rispettivamente in Figura 176 e in Figura 177.

Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia MC_{APE-DE} con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE. Entrando più nel dettaglio, l'errore per l'energia elettrica (rimarcato in Tabella 436) si attesta complessivamente al 44% (corrispondete ad una differenza di 78000 kWh) mentre quello di metano è al -54% (pari a circa 15000 Nm^3).

I risultati evidenziano una importante sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale del +60%), confermando una migliore affidabilità della metodologia MC_{APE-DE}.

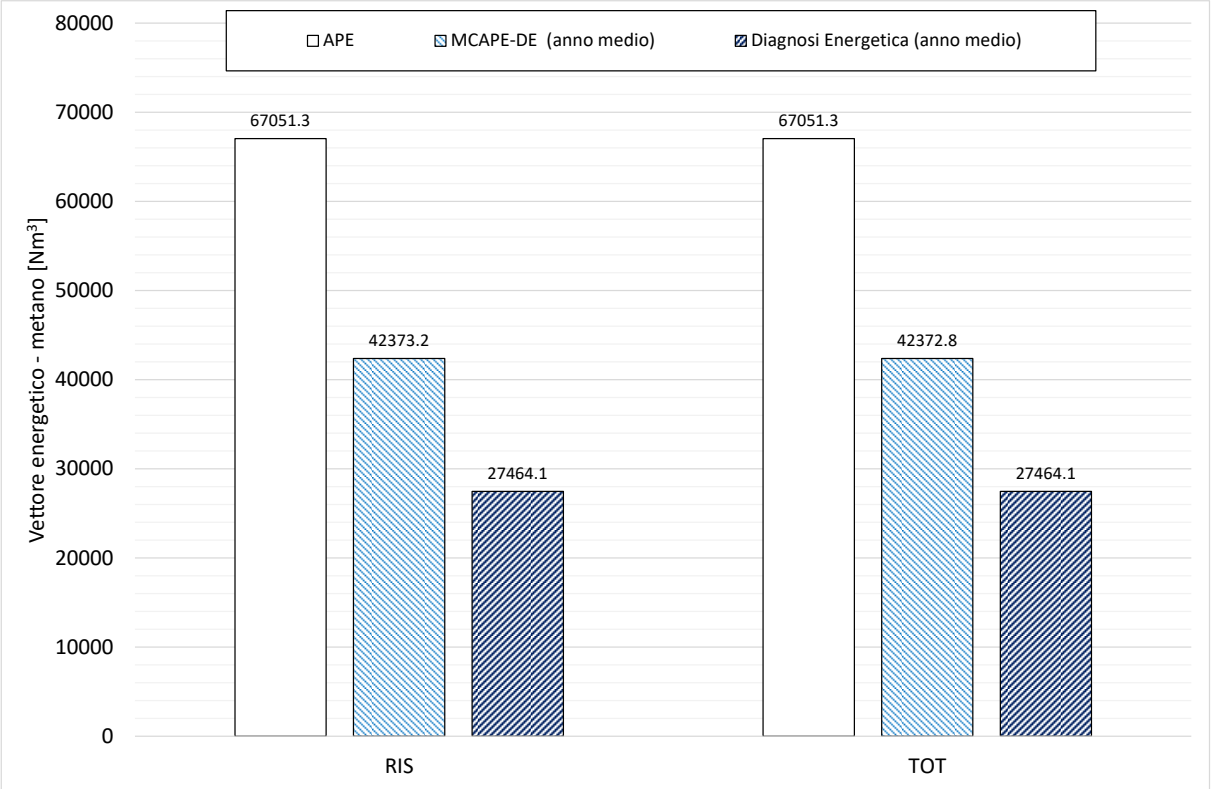


Figura 176. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

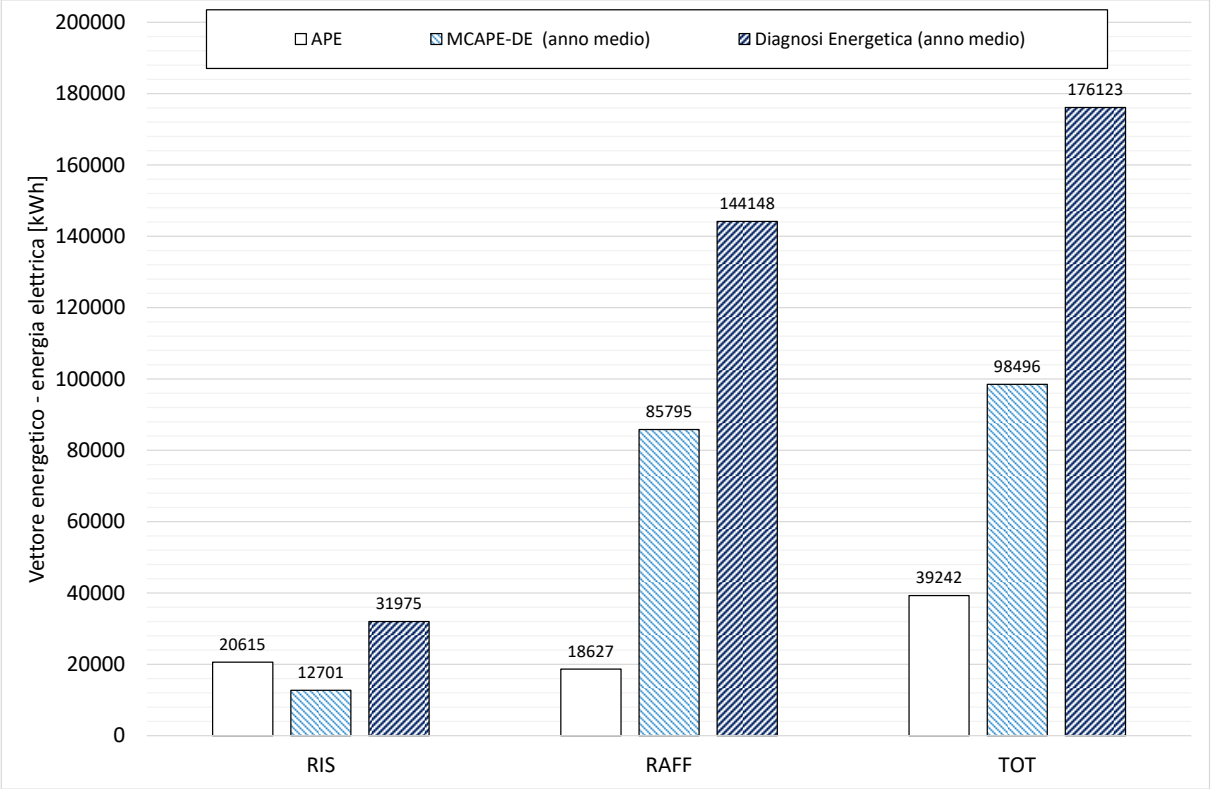


Figura 177. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 436. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	medio	0.0	19274.7	58352.9	77627.6	0.0	60.3	40.5	44.1
Metano	medio	0.0	-14909.2	0.0	-14908.8	0.0	-54.3	0.0	-54.3

2.4.20 Caso Studio n. 18 – E.2-6

Il sesto caso studio che afferisce alla categoria E.2 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] riguarda un intero edificio costruito nel comune di Roma, città contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 437.

Il presente caso studio è stato oggetto di Diagnosi Energetica nel 2018/2019 in accordo con le normative vigenti [13, 14], ossia considerando un consumo energetico medio derivante da uno o più anni di analisi. Ai fini del presente lavoro, essendo un edificio precedentemente analizzato, si riporteranno le principali caratteristiche dell'immobile utili per applicare la metodologia MC_{APE-DE}, nonché i principali risultati energetici (APE e DE) necessarie per il confronto. Per ulteriori informazioni riguardo sia l'APE che la DE si rimanda allo specifico report redatto [19].

Tabella 437. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Lazio
	Provincia	Roma
	Comune	Roma
	Altitudine [10]	20 m s.l.m.
	Latitudine	41° 53'
	Longitudine	12° 28'
Climatico invernale ed estivo	Gradi Giorno [10]	1415
	Zona climatica [10]	E
	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	166 giorni dal 1/11 al 15/04
	Regione di vento	C
	Velocità media del vento [m/s]	1.70
	Temperatura bulbo secco [°C]	34.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	25.2
	Escursione termica giornaliera [°C]	11.0
	Umidità relativa [%]	50.0

2.4.20.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali dell'edificio emerse dal report redatto [19] sono sintetizzate in Tabella 438; per le caratteristiche geometriche e termiche delle 6 tipologie di involucro opaco verticale, delle 5 orizzontali e delle 4 tipologie di infissi individuate a seguito di opportuni sopralluoghi, nonché dei ponti termici definiti ai fini dei calcoli energetici, si rimanda all'apposito report [19]. Si precisa che, in considerazione dell'anno di costruzione dell'edificio (1950) e delle sue effettive caratteristiche termiche, ai fini dell'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ si è attribuito un livello di isolamento Li-Iso-0.

L'edificio è inoltre servito da n. 11 pompe di calore invertibili le cui caratteristiche nominali sono riportate in Tabella 439 che permettono la copertura del servizio di riscaldamento e raffrescamento. Il servizio di acqua calda sanitaria è invece coperto da boiler elettrici di potenza complessiva pari a 10.5 kW. In aggiunta ai servizi appena citati, sono stati analizzati anche i servizi di ventilazione, illuminazione e trasporto di persone e cose che, ai fini della presente trattazione, non sono stati riportati in quanto non presi in esame dalla metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$.

Tabella 438. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	1950	[-]
Tipologia edilizia	Intero edificio	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	6	[-]
Piano del caso studio	Intero edificio	[-]
Altezza media vani	2.90	[m^2]
Superficie utile climatizzata	2092.89	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	2332.78	[m^2]
Volume netto climatizzato	6084.64	[m^3]
Volume lordo climatizzato	7627.98	[m^3]
Superficie disperdente	2347.12	[m^2]
Rapporto S/V	0.31	[m^{-1}]

Tabella 439. Caratteristiche tecniche delle pompe di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Pompa di calore*
Combustibile	Energia elettrica
Ambiente di installazione	Esterno
Potenza nominale in riscaldamento - macchine da 1 a 10 [kW]	32.6
COP macchine da 1 a 10 [-]	3.10
Potenza nominale in riscaldamento - macchina n. 11 [kW]	31.5
COP macchine n. 11 [-]	4.33
Potenza nominale in raffrescamento - macchine da 1 a 10 [kW]	29.1
COP macchine da 1 a 10 [-]	2.57
Potenza nominale in raffrescamento - macchina n. 11 [kW]	28.0
COP macchine n. 11 [-]	3.86

2.4.20.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

La valutazione energetica media condotta, si è basata su dei consumi energetici di bolletta mediati; questi sono sintetizzati in Tabella 440.

Si tiene a precisare che, a differenza degli altri casi studi esaminati per i quali si è disposto di informazioni molto dettagliate, per questo non è stato considerato né l'effettivo profilo occupazionale né il reale consumo di acqua ma, per entrambi, si è fatto riferimento a dati standard (5 giorni lavorati su 7 per il profilo occupazionale e stima del volume di acqua calda sanitaria derivante dal calcolo standard).

Tabella 440. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di energia elettrica e metano.

Mese	*Energia elettrica - media [kWh]*
Gennaio	33244
Febbraio	30131
Marzo	28546.5
Aprile	7981
Maggio	17158
Giugno	12060.5
Luglio	35381
Agosto	30316.5
Settembre	24877
Ottobre	18243.5
Novembre	25493
Dicembre	19065.5
Totale	319833.5

2.4.20.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 178 e Tabella 441) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica C con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 164.58 kWh/m^2.

Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di energia elettrica 176636 kWh/anno per la copertura dei servizi di riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, illuminazione, e trasporto di persone e cose. Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 440), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

Figura 178. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 441. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*	
Riscaldamento	179166	43184	222349	85.6	20.6	106.2	91880
Produzione acqua calda sanitaria	11619	2801	14420	5.6	1.3	6.9	5958
Raffrescamento	52558	12668	65226	25.1	6.1	31.2	26953
Ventilazione	28236	6806	35041	13.5	3.3	16.7	14480
Illuminazione	69625	16781	86406	33.3	8.0	41.3	35705
Trasporto	3237	780	4017	1.5	0.4	1.9	1660
Globale	344441	83019	427460	164.6	39.7	204.2	176636

2.4.20.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stata condotta un'unica DE relativa all'anno medio degli anni di cui sono stati resi disponibili i consumi. A differenza delle precedenti DE, questa è stata condotta in maniera "*completa*" riguardando anche aspetti legati all'efficientamento energetico dell'edificio. Ai fini della presente trattazione, comunque, ci si fermerà all'inventario energetico.

Dal report disponibile, si è evinto che ai fini della DE si è assunto il sistema impiantistico è operante dal lunedì al venerdì per 10 ore al giorno sia per il riscaldamento (periodo convenzionale) che per il raffrescamento. Si precisa che le ore indicate fanno riferimento alle condizioni climatiche reali, le quali, però, non sono dettagliate nel report. Questo potrebbe comportare una significativa divergenza dei risultati.

A partire da queste configurazioni, è stato definito l'inventario energetico del presente caso studio, ossia la ripartizione dei consumi dei vettori energetici per servizio energetico presente e per anno di analisi. La Tabella 442 evidenzia come, in merito all'energia elettrica, il servizio più energivoro siano le apparecchiature d'ufficio (circa il 36%), seguito dal raffrescamento (circa il 30%), e dall'illuminazione (tendente al 14%).

Infine, analogamente a quanto fatto per l'APE, si riportano in Tabella 443 i principali risultati di calcolo (fabbisogno di energia primaria e indici di energia primaria) derivanti dalle DE, a cui si farà riferimento per l'analisi comparativa con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$.

Tabella 442. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Energia elettrica [kWh]*
Riscaldamento	45009
Produzione di acqua calda sanitaria	8292
Raffrescamento	71952
Ventilazione	14480
Illuminazione	73444
Trasporto	1659
Apparecchiature	104976
Totale inventario	319812

Tabella 443. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*		
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*
medio	Riscaldamento	87768	21154	108922	41.94	10.11	52.04
	Acqua Calda Sanitaria	16169	3897	20067	7.73	1.86	9.59
	Raffrescamento	140306	33817	174124	67.04	16.16	83.20
	Globale	244243	58869	303112	116.70	28.13	144.83

2.4.20.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.20.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 444, ossia i risultati energetici dell'APE, il volume di acqua calda per usi sanitaria (determinato con diversi approcci), la tipologia del generatore e le temperature medie annuali esterne.

I risultati, messi a confronto con quelli ottenuti con l'APE e la DE, sono riportati rispettivamente in Figura 179 (anno medio). Come si evince, la procedura MC_{APE-DE} restituisce un risultato leggermente sottostimato rispetto sia la DE (errore di 2.7 kWh/m^2 per l'indicatore non rinnovabile e di 0.7 kWh/m^2 per quello rinnovabile) che del calcolo APE (differenza di 0.6 kWh/m^2 e di 0.1 kWh/m^2 rispettivamente). Entrando più nel dettaglio il calcolo APE tende a sottostimare il risultato della DE di un 27%, mentre la metodologia MC_{APE-DE} restituisce un valore inferiore del 35%. Si tiene a precisare che il risultato è conseguenza della scarsità di informazioni riportate nella DE stessa, quali ad esempio i dati climatici a cui si è fatto riferimento, non permettendo una buona applicazione della metodologia.

Tabella 444. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*	*u.m.*
		medio	
Tipologia di generatore		Boiler	[-]
Vettore energetico		elettrico	[-]
Superficie utile dell'immobile		2092.89	[m^2]
Temperatura esterna media annuale – UNI 10349		16.70	[°C]
Temperatura esterna media annuale – monitorata		16.70	[°C]
Volume di acqua calda (V_w)	*APE*	418.6	[litri/giorno]
Fattori correttivi	F_{Tm-acs}	0.000	[-]
	F_{Vw}	0.000	[-]
Risultati APE	EP_{Wnren}	5.6	[kWh/m^2]
	EP_{Wren}	1.3	[kWh/m^2]
	EP_{Wtot}	6.9	[kWh/m^2]
	Energia elettrica	5958.0	[kWh]

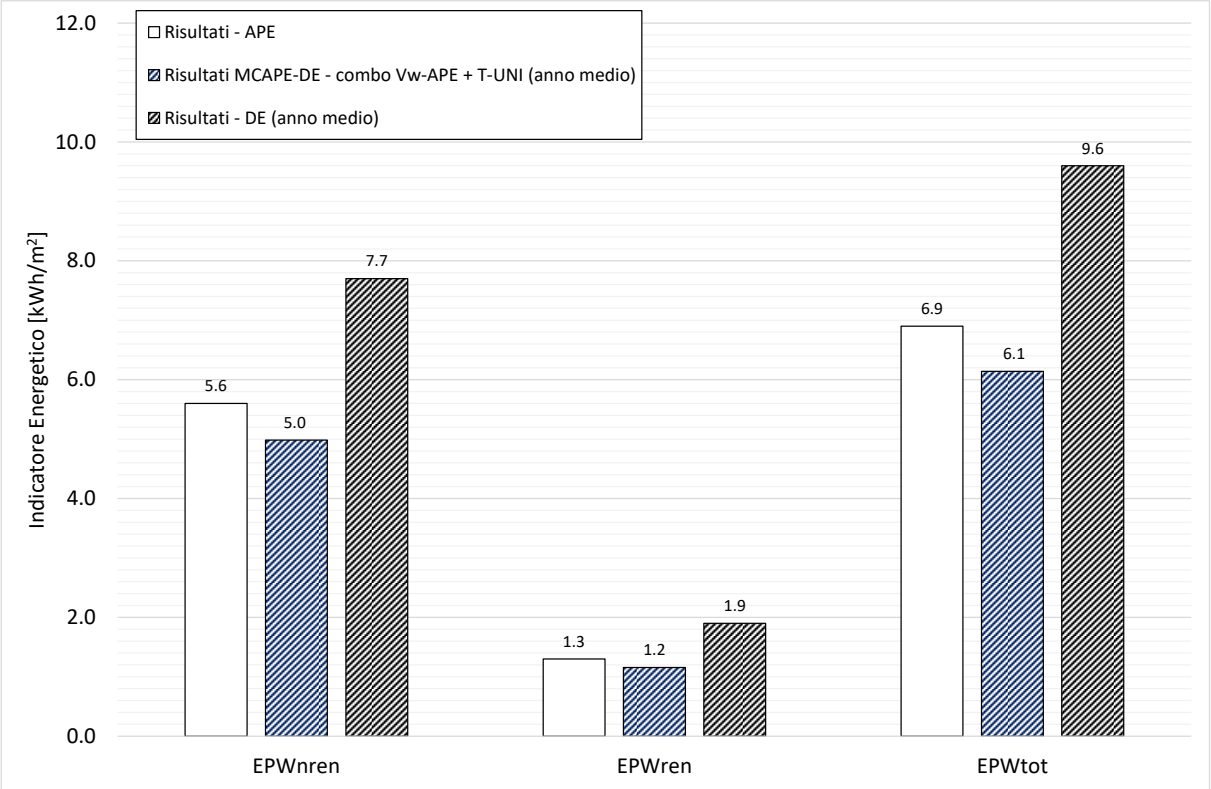


Figura 179. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

2.4.20.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 445, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.

Tabella 445. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*	*u.m.*
		medio	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-0	[-]
Tipologia del generatore di calore		Pompa di calore	[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		media	[-]
Vettore energetico principale		Energia elettrica	[-]
Potenza nominale		320/10.2 = 31.0	[kW]
COP medio e/o efficienza nominale		2.6	[-/%]
Superficie utile		2092.89	[m²]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		1415	[GG]
Gradi Giorno – reali		1415	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		10	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	1.000	[-]
	F_{H-set}	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	85.6	[kWh/m²]
	EP_{Hren}	20.6	[kWh/m²]
	EP_{Htot}	106.2	[kWh/m²]
	Energia elettrica	91880.0	[kWh]

In questo caso, è stato necessario definire un ulteriore parametro ossia una percentuale di utilizzo degli impianti presenti al fine di ripartire correttamente i fabbisogni energetici; questa percentuale è stata desunta in base all'energia primaria effettivamente coperta da ciascun impianto riscontrata in fase di DE.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 180; in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente in tutte le casistiche indagate. L'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce, invece, un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze del +30%.

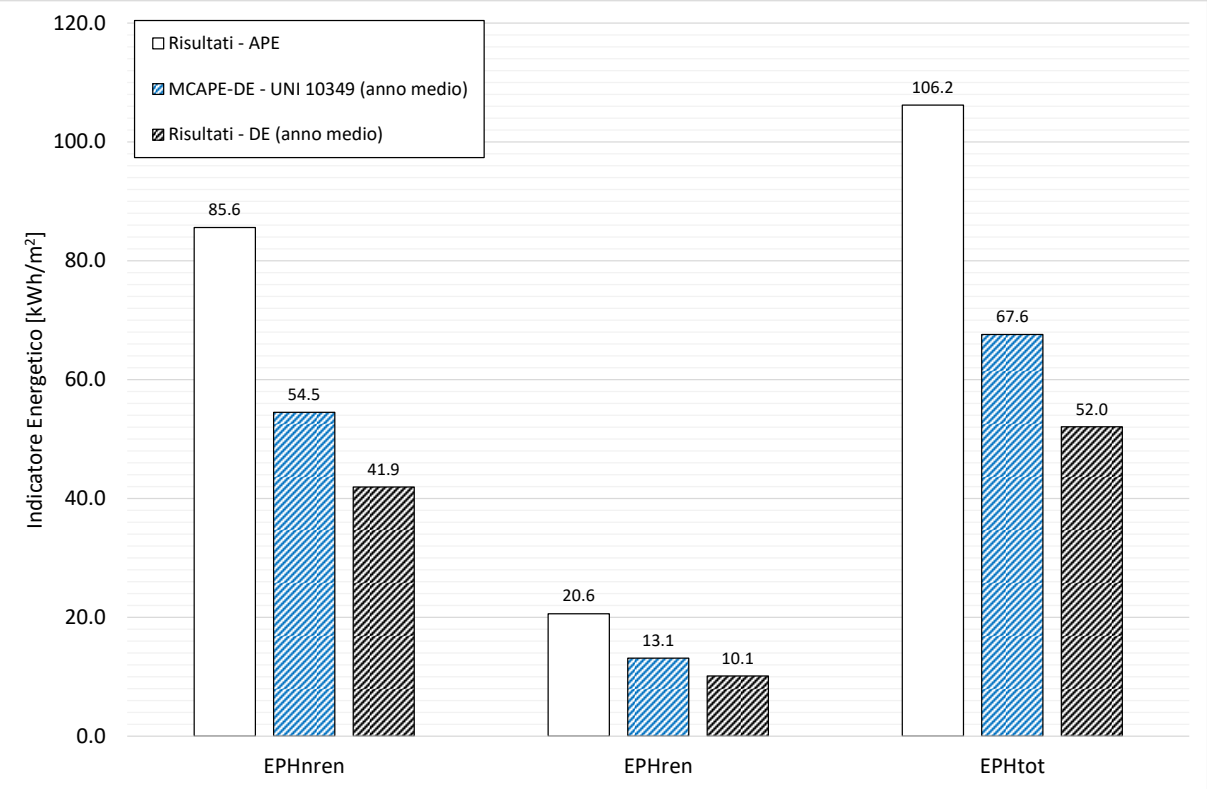


Figura 180. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

2.4.20.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 446, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche della macchina frigorifera, i Gradi Giorno estivi ricalcolati a partire dai dati climatici di normativa [3], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto. Contrariamente alle equazioni trovate per il servizio di riscaldamento (caratterizzate da coefficienti R^2 maggiori di 0.95/0.98), per il raffrescamento l'accuratezza è inferiore presentando valori di R^2 variabile tra un minimo di 0.823 e un massimo di 0.875. Per questo motivo nelle analisi che seguono si è tenuto conto di questa minore affidabilità andando a definire un range di valori plausibili degli indicatori stessi.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati in Figura 181; in particolare, si riscontra una evidente sottostima dei risultati dell'APE mentre l'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce un risultato nettamente più elevato con i risultati della DE (discrepanza del -54%).

Tabella 446. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC$_{APE-DE}$.

Parametro di input		*Anno di riferimento - medio*
Livello di isolamento dell'edificio [-]		Liv-Iso-0
Tipologia del generatore di calore [-]		Macchina frigorifera
Potenza nominale del generatore [kW]		319/7.2 = 44.3
EER [-]		2.90
Superficie utile [m²]		2092.9
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		5194
Gradi Giorno – reali		5194
Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]		10
Fattori correttivi	F_{GGe}	1.000
	F_{C-set}	0.000
Risultati APE	EP_{nren} [kWh/m²]	25.10
	EP_{ren} [kWh/m²]	6.10
	EP_{tot} [kWh/m²]	31.20
	Energia elettrica [kWh]	26953.0

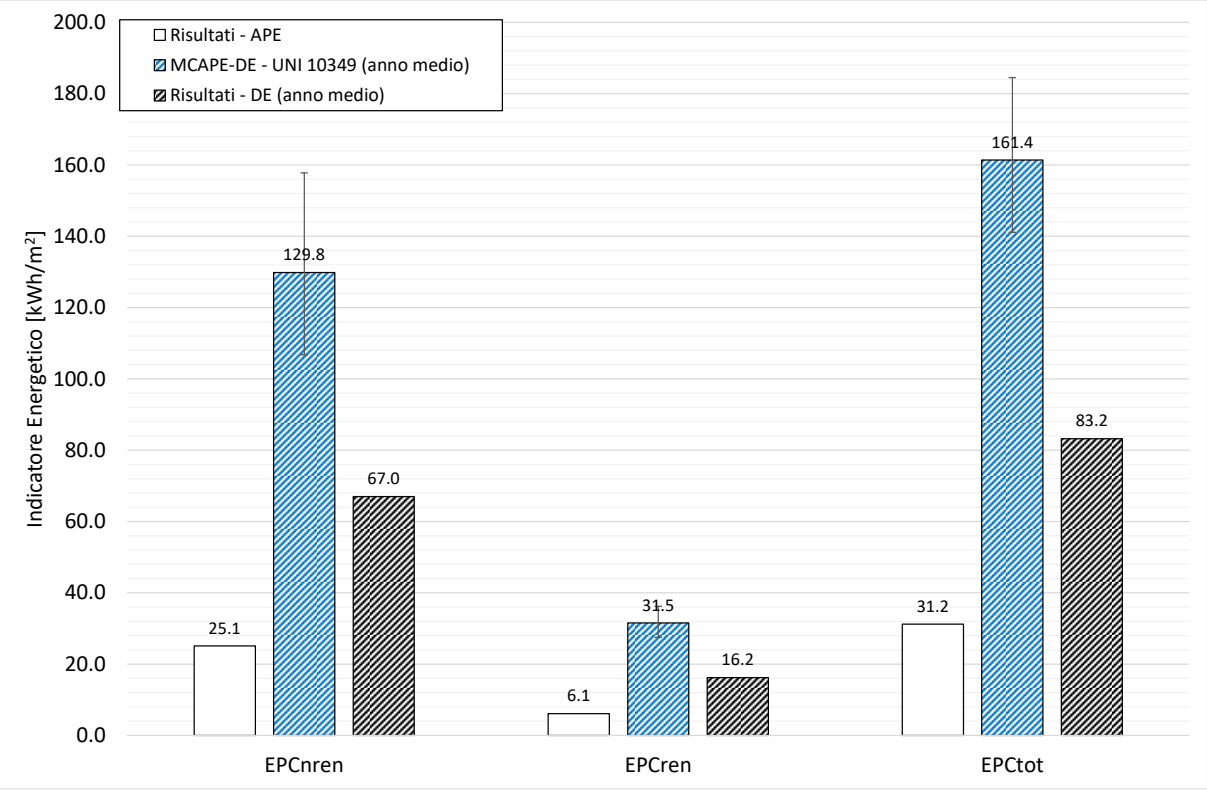


Figura 181. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC$_{APE-DE}$).

2.4.20.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate; in particolare, il confronto dei consumi di energia elettrica è riportato in Figura 182.

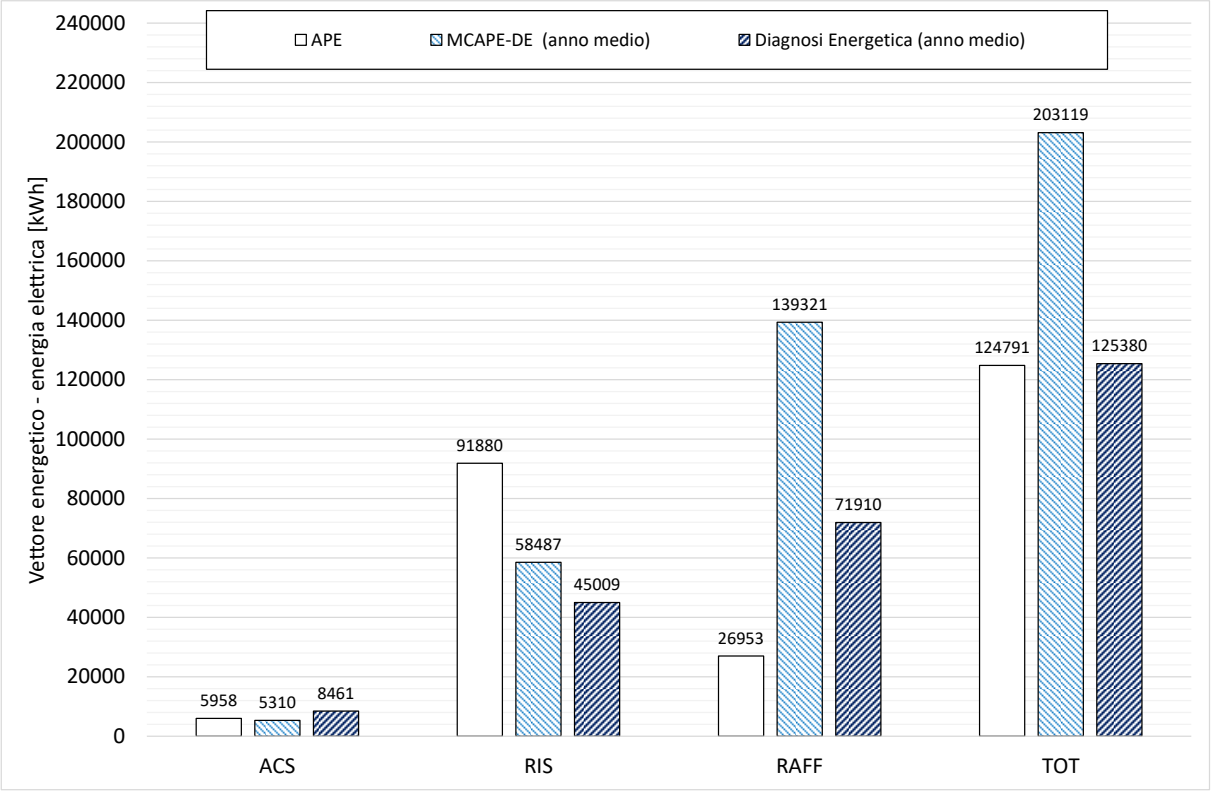


Figura 182. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia MC_{APE-DE} con quelli della DE è piuttosto evidente, sebbene la divergenza sia principalmente al servizio di raffrescamento. Se si limitasse il confronto al servizio di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria l'errore relativo oscillerebbe intorno al 30-40% confermando.
I risultati evidenziano una importante sovrastima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale del +50%) se si considerassero i servizi energetici singolarmente, la contrario complessivamente il risultato restituito dal calcolo APE risulta molto prossimo a quello della DE.

2.4.21 Caso Studio n. 19 – E.2-7

Il settimo caso studio che afferisce alla categoria E.2 in accordo con il D.P.R. n. 412/93 [10] riguarda un intero edificio costruito nel comune di Torino, città contraddistinta dalle caratteristiche geografiche e climatiche sintetizzate in Tabella 447. Il fabbricato, realizzato nel 1983, è caratterizzato da una pianta rettangolare e si eleva cinque piani fuori terra più un piano seminterrato e due piani interrati di cui il secondo utilizzato ad autorimessa.

Il presente caso studio è stato oggetto di Diagnosi Energetica nel 2018 in accordo con le normative vigenti [13, 14], ossia considerando un consumo energetico medio derivante da uno o più anni di analisi. Ai fini del presente lavoro, essendo un edificio precedentemente analizzato, si riporteranno le principali caratteristiche dell'immobile utili per applicare la metodologia MC_{APE-DE}, nonché i principali risultati energetici (APE e DE) necessarie per il confronto. Per ulteriori informazioni riguardo sia l'APE che la DE si rimanda allo specifico report redatto [19].

Tabella 447. Dati geografici e principali caratteristiche climatiche fornite da normativa per il caso studio esaminato.

Contesto	*Parametro*	*Dato*
Geografico	Regione	Piemonte
	Provincia	Torino
	Comune	Torino
	Altitudine [10]	239 m s.l.m.
	Latitudine	45° 7'
	Longitudine	7° 43'
	Gradi Giorno [10]	2617
	Zona climatica [10]	E
Climatico invernale ed estivo	Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni dal 15/10 al 15/04
	Regione di vento	A
	Velocità media del vento [m/s]	1.40
	Temperatura bulbo secco [°C]	31.0
	Temperatura di bulbo umido [°C]	22.7
	Escursione termica giornaliera [°C]	11.0
	Umidità relativa [%]	50.0

2.4.21.1 Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione sia del contesto climatico in cui è inserito l'immobile che delle grandezze che ne possono influenzare i consumi. Le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali dell'edificio emerse dal report redatto [19] sono sintetizzate in Tabella 448; per le caratteristiche geometriche e termiche delle oltre 7 tipologie di involucro opaco verticale, delle 9 orizzontali e delle 16 tipologie di infissi individuate a seguito di opportuni sopralluoghi, nonché dei ponti termici definiti ai fini dei calcoli energetici, si rimanda all'apposito report [19]. Si precisa che, sebbene l'edificio sia stato costruito nel 1983, le sue caratteristiche termiche risultano più coerenti con gli immobili realizzati intorno agli anni '90 ossia successivamente all'emanazione della Legge 10 [20]; pertanto, ai fini dell'applicazione della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ si è attribuito un livello di isolamento Li-Iso-1.

In merito alla componente impiantistica, esso è caratterizzato da un impianto di riscaldamento centralizzato costituito da due generatori a condensazione alimentati a metano (Tabella 449) installati nel 2008, mentre la climatizzazione estiva è garantita da due impianti VRF (Tabella 450). Il servizio di acqua calda sanitaria invece risulta assente. In aggiunta ai servizi appena citati, sono stati analizzati anche i servizi di illuminazione e trasporto di persone e cose che, ai fini della presente trattazione, non sono stati riportati in quanto non presi in esame dalla metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$.

Tabella 448. Caratteristiche generali e tipologiche del caso studio.

Parametro	*Dato*	*Unità di misura*
Anno di costruzione	1983	[-]
Tipologia edilizia	Intero edificio	[-]
Numero piani fuori terra dell'intero immobile	5	[-]
Piano del caso studio	Intero edificio	[-]
Altezza media vani	3.00	[m^2]
Superficie utile climatizzata	4025.6	[m^2]
Superficie lorda climatizzata	4375.1	[m^2]
Volume netto climatizzato	12035.6	[m^3]
Volume lordo climatizzato	14839.2	[m^3]
Superficie disperdente	4579.66	[m^2]
Rapporto S/V	0.31	[m^{-1}]

Tabella 449. Caratteristiche tecniche del generatore di calore.

Caratteristiche del generatore di calore	*Vitocrossal 200*
Combustibile	Metano
Ambiente di installazione	Centrale termica
Potenza nominale – P_n [kW]	225 + 285
Potenza minima – P_{min} [kW]	75 + 95
Potenza elettrica nominale assorbita al bruciatore – $P_{el,bru}$ [W]	95
Potenza elettrica assorbita al circolatore – $P_{el,pmp}$ [W]	106

Tabella 450. Caratteristiche tecniche dei VRF.

Caratteristiche del generatore di calore	*VRF*
Combustibile	Energia elettrica
Potenza nominale in raffrescamento [kW]	25 + 30
EER [-]	3.51 + 3.67

2.4.21.2 Consumi reali dei vettori energetici utilizzati: analisi delle bollette

La valutazione energetica media condotta, si è basata su dei consumi energetici di bolletta mediati; questi sono sintetizzati in Tabella 451. Si tiene a precisare che, a differenza degli altri casi studi esaminati per i quali si è disposto di informazioni molto dettagliate, per questo non è stato considerato né l'effettivo profilo occupazionale né il reale consumo di acqua ma, per entrambi, si è fatto riferimento a dati standard (5 giorni lavorati su 7 per il profilo occupazionale e stima del volume di acqua calda sanitaria derivante dal calcolo standard).

Tabella 451. Consumi reali dei vettori energetici presenti: consumi di energia elettrica e metano.

Mese	*Energia elettrica [kWh]*	*Metano [Sm³]*
Gennaio	16916	7336
Febbraio	11618	5904
Marzo	12017	3954
Aprile	9705	2231
Maggio	10253	282
Giugno	11271	0
Luglio	11710	0
Agosto	11579	0
Settembre	9100	0
Ottobre	11037	834
Novembre	13247	4776
Dicembre	10364	7669
Totale	138815	32985

2.4.21.3 Attestato di Prestazione Energetica

I risultati ottenuti secondo il calcolo standard (APE) sono riportati di seguito (Figura 183 e Tabella 452) in termini di classificazione energetica dell'immobile, di fabbisogni di energia primaria (kWh), di indicatori di energia primaria (kWh/m^2) e di consumo complessivo dei vettori energetici utilizzati.

Come si evince dagli output riportati, l'edificio presenta una classe energetica B con un valore dell'indicatore energetico globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) pari a 148.52 kWh/m^2. Il calcolo APE ha inoltre restituito un consumo complessivo di energia elettrica 76519 kWh/anno per la copertura dei servizi di riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, e trasporto di persone e cose, mentre il consumo di metano si attesta a quasi di 42986 Nm^3 per soddisfare il solo riscaldamento.

Questi output risultano essere ampiamente divergenti dai reali consumi rilevati in bolletta (Tabella 451), evidenziando già una importante criticità della metodologia standard per il caso studio esaminato.

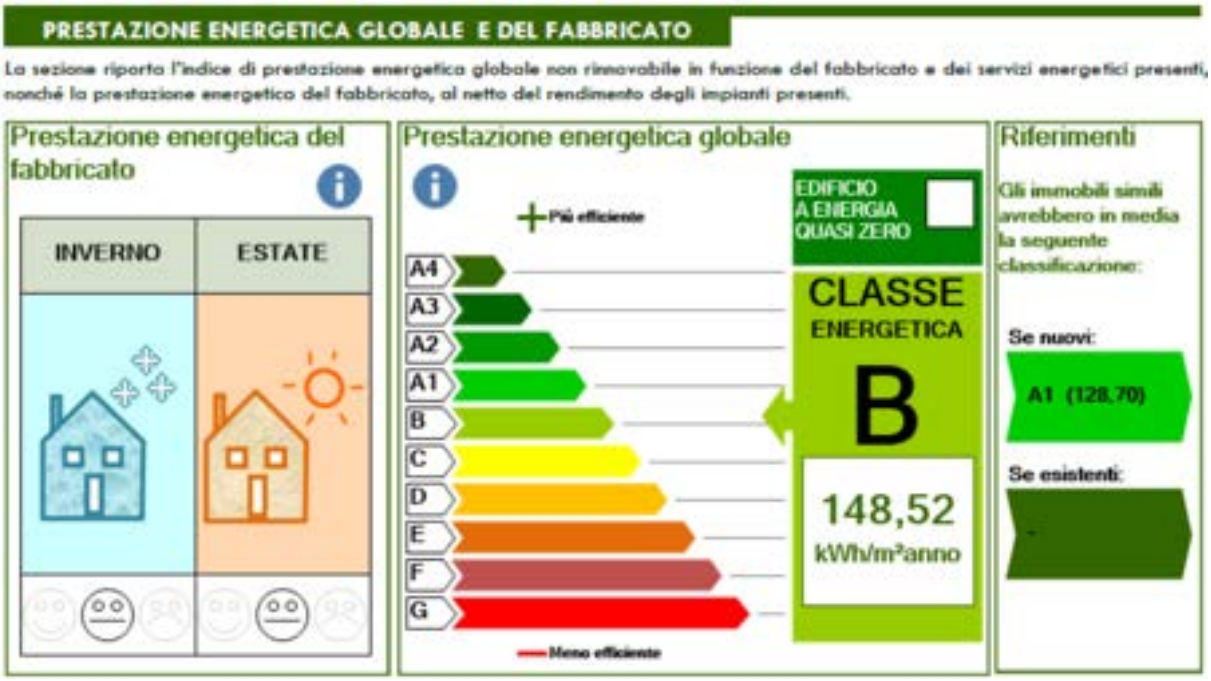


Figura 183. indicatore energetico $EP_{gl,nren}$ e classificazione energetica del caso studio esaminato.

Tabella 452. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo asset (APE) ripartiti per servizio energetico.

Servizio energetico	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*			*Metano [Nm³/anno]*	*Energia elettrica [kWh/anno]*
	nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*		
Riscaldamento	453257	1110	454367	112.60	0.28	112.87	32011	2363
Raffrescamento	17412	4197	21609	4.33	1.04	5.37	0	8929
Illuminazione	124956	30118	155074	31.04	7.48	38.52	0	64080
Trasporto	2237	539	2776	0.56	0.13	0.69		1147
Globale	597862	35964	633826	148.52	8.93	157.45	32011	76519

2.4.21.4 Diagnosi Energetica

Per il presente caso studio è stata condotta un'unica DE relativa all'anno medio degli anni di cui sono stati resi disponibili i consumi. A differenza delle precedenti DE, questa è stata condotta in maniera "*completa*" riguardando anche aspetti legati all'efficientamento energetico dell'edificio. Ai fini della presente trattazione, comunque, ci si fermerà all'inventario energetico.

Dal report disponibile, si è evinto che ai fini della DE si è assunto il sistema di riscaldamento operante dal lunedì al venerdì per 11 ore al giorno (per tutto il periodo di riscaldamento), mentre il gruppo frigo è stato considerato funzionante da maggio a settembre sempre per cinque giorni settimanali ma per 10 ore giornaliere.

Si precisa che le ore indicate fanno riferimento alle condizioni climatiche reali, le quali, però, non sono dettagliate nel report. Questo potrebbe comportare una significativa divergenza dei risultati.

A partire da queste configurazioni, è stato definito l'inventario energetico del presente caso studio, ossia la ripartizione dei consumi dei vettori energetici per servizio energetico presente e per anno di analisi. La Tabella 404Tabella 453 evidenzia come, in merito all'energia elettrica, il servizio più energivoro sia l'illuminazione (circa il 34%), seguito dal raffrescamento (poco più del 30%) e dall'apparecchiature da ufficio (circa il 30%).

Infine, analogamente a quanto fatto per l'APE, si riportano in Tabella 454 i principali risultati di calcolo (fabbisogno di energia primaria e indici di energia primaria) derivanti dalle DE, a cui si farà riferimento per l'analisi comparativa con la procedura $MC_{APE\text{-}DE}$.

Tabella 453. Definizione dell'inventario energetico: ripartizione dei consumi per servizio energetico.

Servizi energetici	*Metano [Sm³]*	*Energia elettrica [kWh]*
Riscaldamento	32985	1535
Raffrescamento	-	43130
Illuminazione	-	46650
Trasporto	-	1147
Apparecchiature	-	41366
Totale inventario	32985	138815

Tabella 454. Fabbisogni di energia primaria (Q), indici di energia primaria (EP) e consumi dei vettori energetici ottenuti dal calcolo tailored (DE) ripartiti per servizio energetico.

anno	*Servizio energetico*	*Energia Primaria - Q [kWh]*			*Indici di energia primaria – EP [kWh/m²]*		
		nren	*ren*	*tot*	*nren*	*ren*	*tot*
medio	Riscaldamento	347258	721	347979	86.26	0.18	86.44
	Acqua Calda Sanitaria	-	-	-	-	-	-
	Raffrescamento	84104	62323	146426	20.89	15.48	36.37
	Globale	431361	494405	494405	107.16	15.66	122.82

2.4.21.5 Applicazione della metodologia di correlazione MC_{APE-DE}

Nel presente paragrafo, oltre a spiegare nel dettaglio come deve essere applicata la metodologia sviluppata (MC_{APE-DE}), saranno analizzati i risultati derivanti dall'utilizzo di parametri di input con differente livello di accuratezza. L'obiettivo non è solo quello di fornire una prima validazione della procedura ma anche di definire eventuali limiti di applicabilità e di accuratezza in funzione della qualità dei dati richiesti.

2.4.21.5.1 Confronto degli indicatori energetici: produzione acqua calda sanitaria

Per il caso in esame non è stato possibile condurre il confronto per il presente servizio energetico in quanto non contemplato in fase di Diagnosi.

2.4.21.5.2 Confronto degli indicatori energetici: riscaldamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 455, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche del generatore di calore, i Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto.
In questo caso, è stato necessario definire un ulteriore parametro ossia una percentuale di utilizzo degli impianti presenti al fine di ripartire correttamente i fabbisogni energetici; questa percentuale è stata desunta in base all'energia primaria effettivamente coperta da ciascun impianto riscontrata in fase di DE.
I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati rispettivamente in Figura 184; in generale, la sovrastima dei risultati dell'APE è evidente mentre la metodologia MC_{APE-DE} restituisce un risultato sempre più in linea con i risultati della DE con discrepanze del +11% del principale indicatore energetico (EP_{Htot}).

Tabella 455. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento*	*u.m.*
		medio	
Livello di isolamento dell'edificio		Liv-Iso-0	[-]
Tipologia del generatore di calore		Generatore a condensazione	[-]
Temperatura di esercizio del generatore di calore		Alta	[-]
Vettore energetico principale		Metano	[-]
Potenza nominale		855.6/30 = 28.5	[kW]
COP medio e/o efficienza nominale		0.980	[-/%]
Superficie utile		5761.6	[m^2]
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		2502	[GG]
Gradi Giorno – reali		2135	[GG]
Ore di accensione medie giornaliere		11	[h/giorno]
Fattori correttivi	F_{GG}	0.853	[-]
	F_{H-set}	1.000	[-]
Risultati APE	EP_{Hnren}	133.1	[kWh/m^2]
	EP_{Hren}	0.5	[kWh/m^2]
	EP_{Htot}	133.6	[kWh/m^2]
	Energia elettrica	6165.0	[kWh]
	Metano	72297.0	[Nm^3]

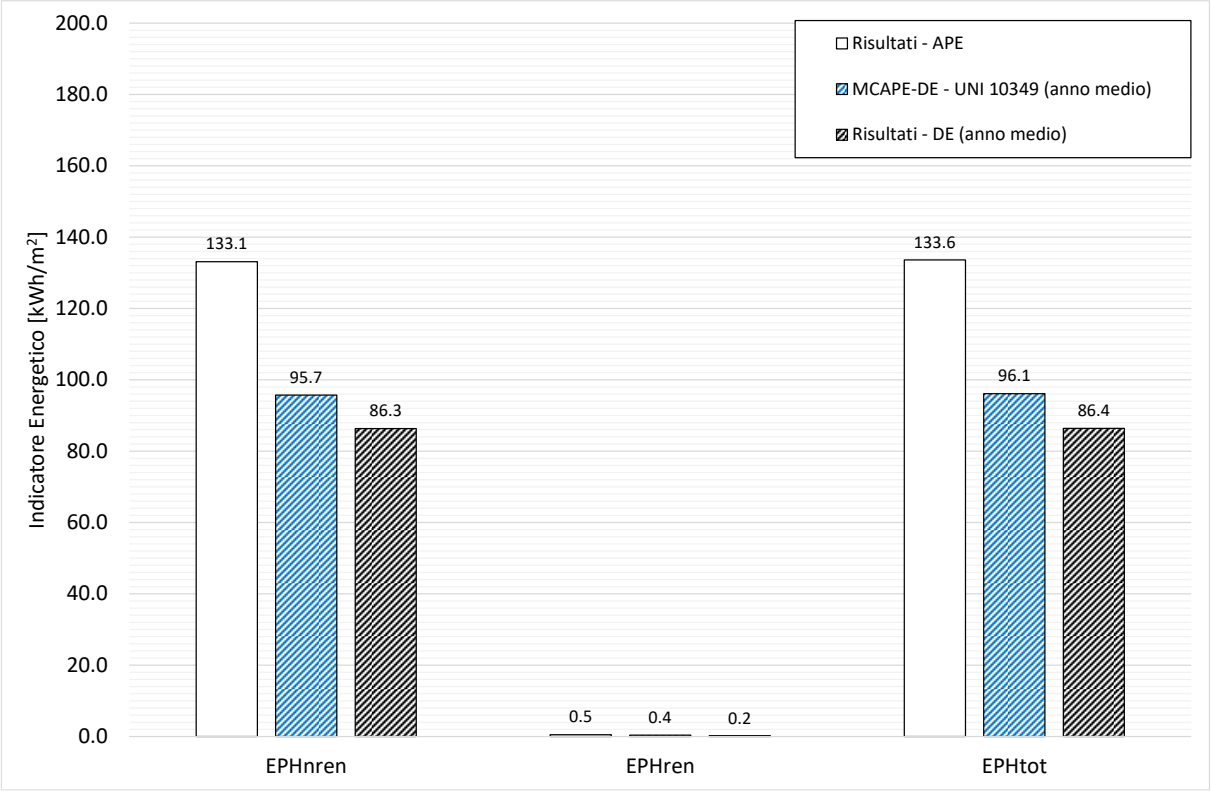


Figura 184. Servizio di riscaldamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

2.4.21.5.3 Confronto degli indicatori energetici: raffrescamento

Per applicare la metodologia MC_{APE-DE} sono necessari i parametri di input mostrati in Tabella 456, ossia i risultati energetici dell'APE, le caratteristiche tecniche della macchina frigorifera, i Gradi Giorno estivi ricalcolati a partire dai dati climatici di normativa [3], quelli ricalcolati a partire dai dati climatici reali, e le ore di accensione dell'impianto. Contrariamente alle equazioni trovate per il servizio di riscaldamento (caratterizzate da coefficienti R^2 maggiori di 0.95/0.98), per il raffrescamento l'accuratezza è inferiore presentando valori di R^2 variabile tra un minimo di 0.719 e un massimo di 0.817. Per questo motivo nelle analisi che seguono si è tenuto conto di questa minore affidabilità andando a definire un range di valori plausibili degli indicatori stessi.

Tabella 456. Servizio di riscaldamento: parametri di input richiesti per l'applicazione della metodologia MC_{APE-DE}.

Parametro di input		*Anno di riferimento - medio*
Livello di isolamento dell'edificio [-]		Liv-Iso-0
Tipologia del generatore di calore [-]		Macchina frigorifera
Potenza nominale del generatore [kW]		56/7.2*3=23.3
EER [-]		3.76
Superficie utile [m²]		4025.58
Gradi giorno – DPR 412/93 [10]		5427
Gradi Giorno – reali		5427
Ore di accensione medie giornaliere [h/giorno]		10
Fattori correttivi	F_{GGe}	1.000
	F_{C-set}	0.000
Risultati APE	EP_{nren} [kWh/m²]	4.30
	EP_{ren} [kWh/m²]	1.00
	EP_{tot} [kWh/m²]	5.4
	Energia elettrica [kWh]	8908

I risultati, messi a confronto con quelli restituiti dall'APE e dalle DE, sono riportati in Figura 185; in particolare, si riscontra una evidente sottostima dei risultati dell'APE mentre l'applicazione della MC_{APE-DE} restituisce un risultato più in linea con i risultati della DE (discrepanza del -28%).

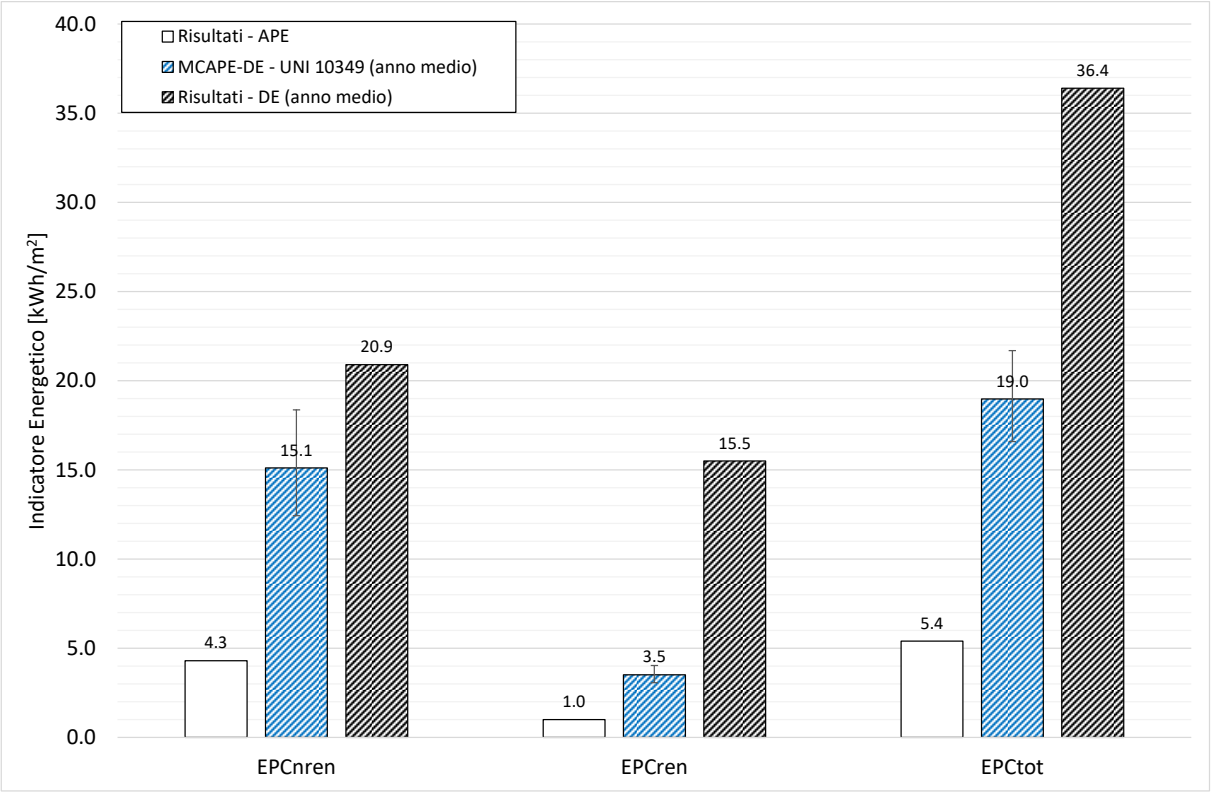


Figura 185. Servizio di raffrescamento: confronto degli indicatori energetici ottenuti con le tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

2.4.21.5.4 Confronto dei consumi dei vettori energetici

Ultimo aspetto esaminato ha riguardato i consumi dei vettori energetici determinati con le tre metodologie di calcolo adottate; in particolare, il confronto dei consumi di metano e di energia elettrica sono riportati rispettivamente in Figura 186 e in Figura 187.

Come si evince, e come era lecito attendersi in virtù dei risultati ottenuti, anche in questo caso la divergenza dei risultati della metodologia MC_{APE-DE} con quelli dell'APE è piuttosto evidente, confermando, invece, una netta convergenza con i risultati delle DE. Entrando più nel dettaglio, l'errore per l'energia elettrica (rimarcato in Tabella 457) si attesta complessivamente al 23% (corrispondete ad una differenza di 10500 kWh) mentre quello di metano è al -10% (pari a circa 3500 Nm^3).

I risultati evidenziano una importante sottostima dei consumi derivanti dal calcolo APE (variazione percentuale del -380%), confermando una migliore affidabilità della metodologia $MC_{APE-DE.}$

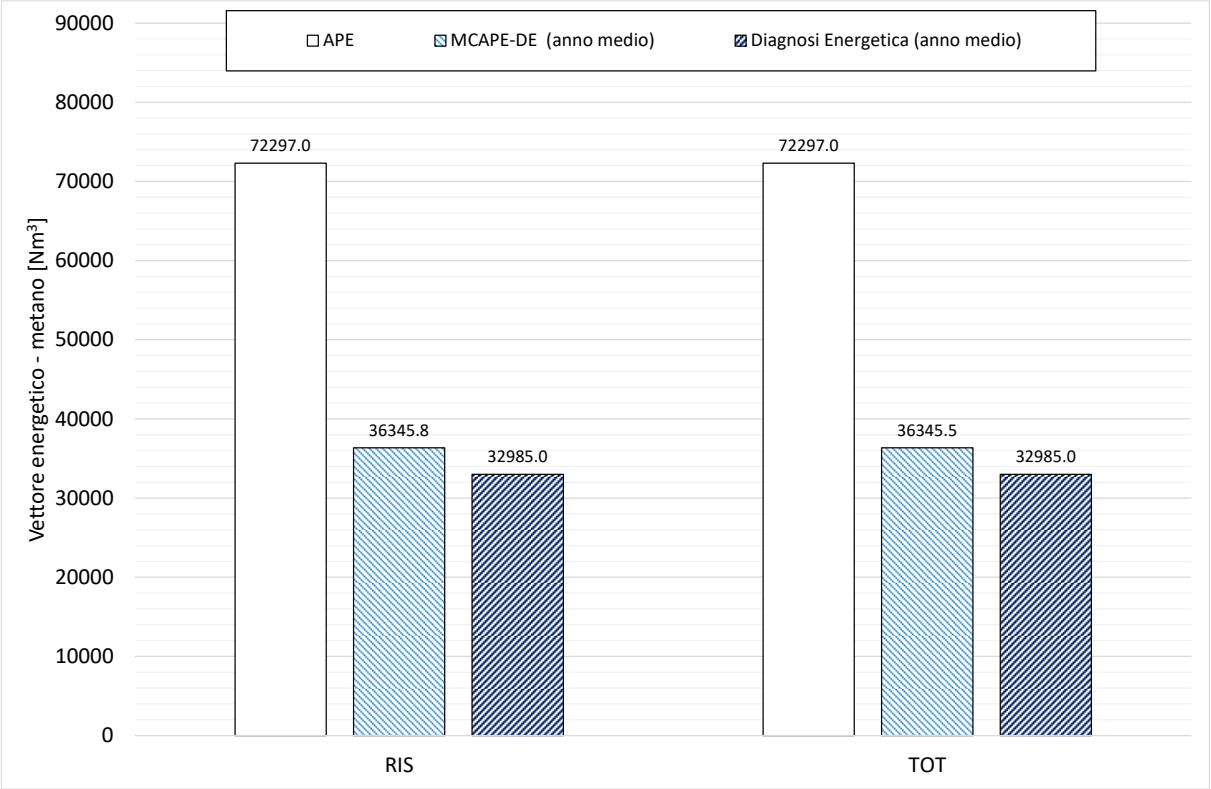


Figura 186. Confronto del consumo di metano derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

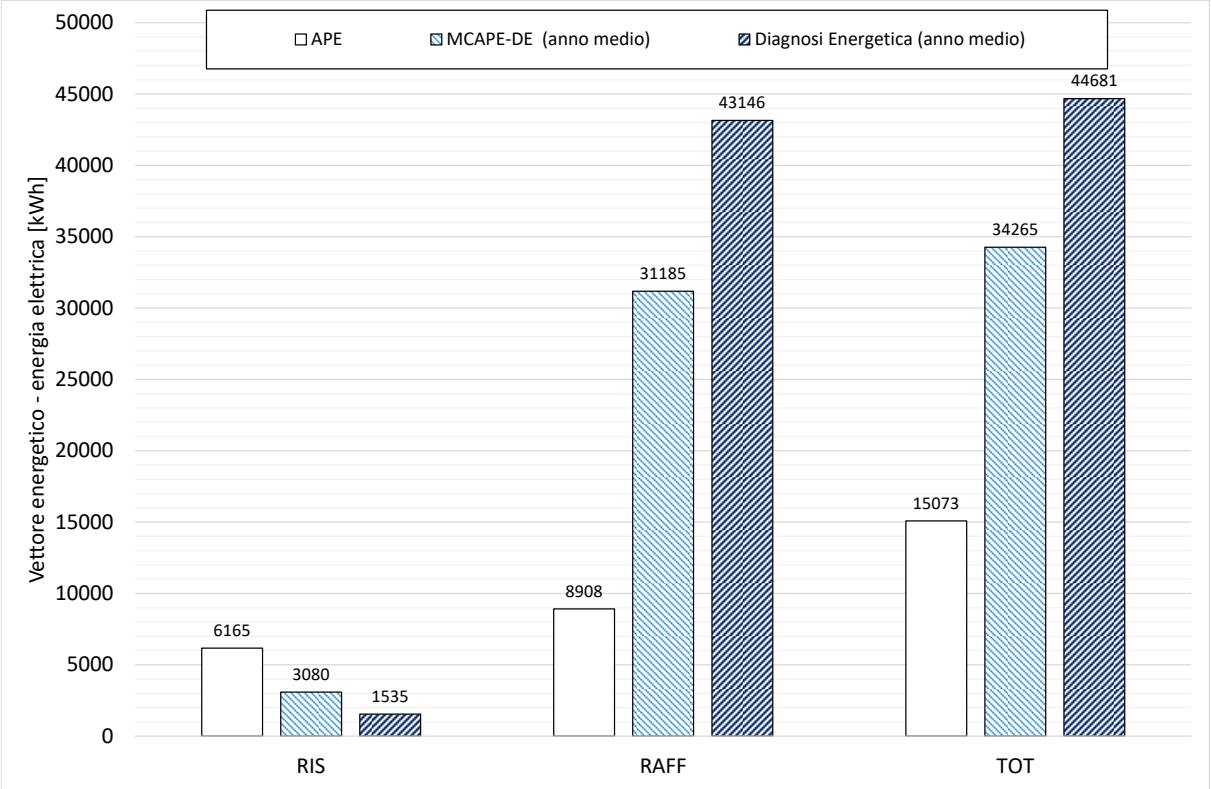


Figura 187. Confronto del consumo di energia elettrica derivante dall'applicazione delle tre metodologie di calcolo (APE, DE e MC_{APE-DE}).

Tabella 457. Confronto dei consumi dei vettori energetici: errore assoluto e relativo riscontrato tra la metodologia MC_{APE-DE} e la DE.

Vettore Energetico	*Anno di analisi*	*Errore Assoluto per servizio energetico [kWh o Nm³]*				*Errore Relativo per servizio energetico [%]*			
		ACS	*RIS*	*RAFF*	*TOT*	*ACS*	*RIS*	*RAFF*	*TOT*
Energia elettrica	medio	0.0	-1545.0	11961.1	10416.2	0.0	-100.6	27.7	23.3
Metano	medio	0.0	-3360.8	0.0	-3360.5	0.0	-10.2	0.0	-10.2

2.5 Calcolo degli indicatori di prestazione energetica per i casi studio indagati e confronto con i benchmark di letteratura

Come evinto nella seconda annualità di ricerca, gli indicatori di prestazione energetica rappresentano uno strumento immediato e di facile interpretazione per valutare le reali prestazioni degli edifici; in accordo con [*15*], l'indicatore è generalmente definito come un "*valore quantitativo […] associato ad una specifica unità di misura*".

Premesso, inoltre, che la realizzazione di interventi di riqualificazione energetica conduce sempre al miglioramento della condizione del sistema comportando un risparmio energetico e, di conseguenza, economico, i casi per i quali gli assorbimenti energetici risultano maggiori rispetto al valore di riferimento sono, senz'altro da attenzionare e considerare prioritari ai fini dell'implementazione delle misure di miglioramento dell'efficienza energetica. Di conseguenza, gli indicatori di prestazione energetica risultano la cartina al tornasole dei consumi energetici del sistema oggetto di studio e consentono le comparazioni fra edifici a mezzo aggiustamenti e normalizzazioni.

In accordo con questa premessa, nel presente paragrafo si riporta il calcolo di specifici indicatori energetici dei casi studio esaminati e il confronto degli stessi con i benchmark disponibili in letteratura e ampiamente discussi in [1], con lo scopo di capire se la metodologia sviluppata $MC_{APE\text{-}DE}$ permetta di ottenere degli indicatori veritieri e in linea con la Diagnosi Energetica.

2.5.1 Calcolo degli indicatori per gli edifici residenziali e confronto con i benchmark

In tale contesto, risulta svolta un'indagine per individuare la collocazione del consumo energetico dei casi studio a destinazione d'uso residenziale rispetto agli indicatori di riferimento di letteratura scientifica (benchmark).

Vengono calcolati gli indicatori, riportati in Tabella 458, per l'anno 2019. In relazione ai livelli di aggregazione degli stessi [1], per quanto riguarda la forma di energia trattata, trattasi di energia finale; la dimensione del sistema indagato è micro, nel senso che vengono tracciati i consumi del singolo edificio; il settore della domanda di energia al quale si fa riferimento è il residenziale; gli usi finali, ossia i servizi energetici indagati sono il riscaldamento, la produzione di ACS e il raffrescamento. Per quanto riguarda la fonte dei dati, essi provengono da modelli matematici implementati ai fini della conduzione della DE, dall'applicazione della $MC_{APE\text{-}DE}$ e dalla redazione dell'APE.

La scelta degli indicatori per i casi studio scaturisce dalla possibilità di confronto con i benchmark che vengono valutati sulla base della disponibilità di dati di letteratura. Stante tale premessa, gli indicatori vengono calcolati al 2019, in quanto i benchmark risultano disponibili per tale anno.

In relazione alla costruzione dei benchmark, per l'acquisizione dei consumi energetici e per l'adozione del fattore di normalizzazione legato alle caratteristiche del clima, risulta consultata la banca dati Eurostat [21]. Mentre per pervenire ai fattori di aggiustamento, si è fatto riferimento al tool "indicatori chiave" della banca dati Odyssee [22].

Nello specifico, dalla banca dati Eurostat vengono estratti, per l'Italia al 2019, i consumi in termini di energia finale per l'espletamento dei servizi energetici di:

- ✓ riscaldamento;
- ✓ produzione di ACS;
- ✓ raffrescamento.

Viene considerato il fattore di conversione di 1 J pari a $2{,}777 \times 10^{-7}$ kWh ai fini del confronto fra indicatori e benchmark a mezzo delle stesse unità di misura.

Inoltre, dalle tabulazioni Eurostat vengono acquisiti i gradi-giorno invernali ed estivi, per l'Italia, al 2019.

Mentre, la banca dati Odyssee consente l'acquisizione del dato sul patrimonio edilizio ad uso residenziale italiano, in termini di numerosità degli edifici permanentemente occupati al 2019, inoltre, dalla stessa fonte di dati, è possibile acquisire il valore della superficie utile media degli edifici residenziali per il medesimo anno.

Tabella 458- Indicatori di consumo energetico calcolati - Destinazione d'uso residenziale

Servizio Energetico	*Formulazione matematica indicatore*	*Definizione parametri*	
Riscaldamento	$Q_h^{'norm} = \frac{Q_h}{A_h x HDD}$	$Q'_h{}^{norm}$	Indicatore di prestazione energetica normalizzato per il riscaldamento [Wh/(HDD m^{2}anno)]
		Q_h	Consumo annuo di energia termica per il riscaldamento [Wh]
		A_h	Superficie utile riscaldata [m^2]
		HDD	Gradi-giorno per il riscaldamento [HDD]
Produzione di acqua calda sanitaria	$Q'_{hw} = \frac{Q_{hw}}{A_h}$ $E'_{hw} = \frac{E_{hw}}{A_h}$	Q'_{hw}	Indicatore di prestazione termico per la produzione di ACS [kWh/(m^{2}anno)]
		Q_{hw}	Consumo annuo di energia termica per la produzione di ACS [kWh]
		E'_{hw}	Indicatore di prestazione elettrico per la produzione di ACS [kWh/(m^{2}anno)]
		E_{hw}	Consumo annuo di energia elettrica per la produzione di ACS [kWh]
Raffrescamento	$E'_c{}^{norm} = \frac{E_c}{A_c x CDD}$	$E'_c{}^{norm}$	Indicatore di prestazione energetica normalizzato per il raffrescamento [Wh/(m^{2}CDDanno)]
		E_c	Consumo annuo di energia elettrica per il raffrescamento [Wh]
		A_c	Superficie utile raffrescata [m^2]
		CDD	Gradi-giorno per il raffrescamento [CDD]

Ai fini della costruzione dei benchmark, il consumo di energia finale italiano, per ogni servizio energetico, viene rapportato alla numerosità degli edifici ed alla superficie media degli stessi. Ovviamente anche per i benchmark, i livelli di aggregazione risultano i medesimi di quelli degli indicatori dei casi studio per consentire la comparazione, in particolare, dalla dimensione macro data dall'Italia, si passa a quella micro dell'edificio, grazie ai dati di numerosità degli edifici residenziali italiani e di superficie utile media degli stessi. La fonte dei dati è rappresentata dalle indagini statistiche.
Si mostrano le elaborazioni grafiche di confronto, al 2019, fra gli indicatori dei casi studio ed i benchmark, in funzione del servizio energetico e riferite agli approcci:

- ✓ conduzione della DE;
- ✓ applicazione della $MC_{APE\text{-}DE}$;
- ✓ redazione dell'APE;

di conseguenza, i valori di consumo energetico e di gradi-giorno per il calcolo degli indicatori dei casi studio provengono, rispettivamente, da: DE, $MC_{APE\text{-}DE}$ ed APE a fronte di benchmark costanti.
Vengono considerati i casi studio da 1 a 7 (disponibilità di dati al 2019) ed i servizi energetici di: riscaldamento, produzione di ACS e raffrescamento.
Le elaborazioni grafiche tracciate, in base all'applicazione dei tre approcci sopracitati, sono organizzate in funzione del servizio energetico, per tutti i casi studio ad uso residenziale indagati.

2.5.1.1 Servizio di produzione di acqua calda sanitaria

L'indice per la produzione di ACS (Figura 188), con la conduzione della DE, in generale, risulta inferiore rispetto al benchmark per tutti i casi studio eccetto il 4, per il quale si manifesta uno sforamento nel confronto con il benchmark.
Nell'applicazione della $MC_{APE\text{-}DE}$, il superamento del benchmark, oltre che per il caso 4 segnalato per la DE, si presenta anche per il caso 6.
Mentre nella redazione dell'APE, si evincono valori intorno al benchmark per tutti i casi studio con minimi sforamenti per i casi 3 e 7 e superamenti, leggermente, più marcati per i casi 1 e 6.

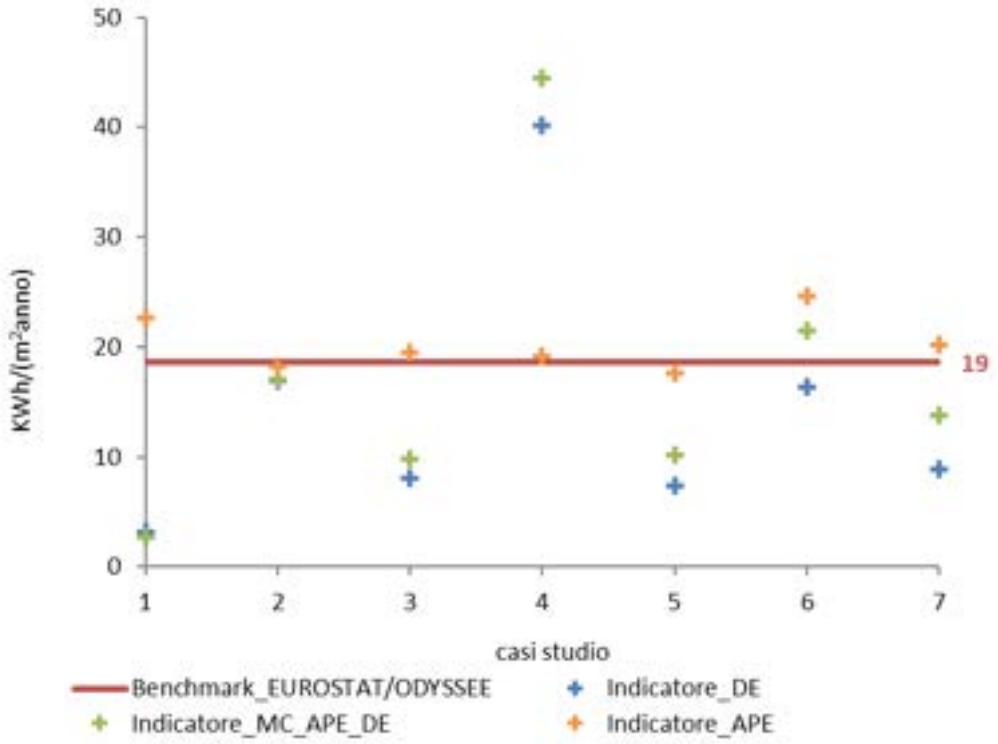


Figura 188. Approcci: DE, MC_{APE-DE}, APE - Destinazione d'uso residenziale Indicatore di consumo energetico per la produzione di ACS (anno 2019)

2.5.1.2 Servizio di riscaldamento

Per quanto riguarda l'indicatore di consumo energetico per il riscaldamento (Figura 189), in relazione alla conduzione della DE, esso risulta congruente rispetto al benchmark per tutti i casi studio e, in particolare, inferiore rispetto al valore di riferimento eccetto per il caso studio 7.

L'andamento dell'indicatore riscontrato nell'applicazione della MC_{APE-DE} ricalca, in linea di massima, quello relativo alla conduzione della DE.

In merito alla redazione dell'APE, in generale, i trend degli indicatori si scostano, in modo marcato, da quelli relativi alla conduzione della DE ed all'applicazione della MC_{APE-DE} e, nel complesso, gli indici risultano maggiori per l'APE rispetto alla DE e alla MC_{APE-DE}. Bisogna sottolineare che l'APE prevede assunzioni standard rispetto al comportamento reale dell'edificio considerato per la DE, la MC_{APE-DE} ed i benchmark. Di conseguenza, il confronto fra i dati APE ed i benchmark è fittizio ma le elaborazioni grafiche vengono mostrate ugualmente al fine di mettere in luce l'"effetto sovradimensionamento" che scaturisce dall'APE rispetto alla DE e alla MC_{APE-DE}. In particolare, per il riscaldamento, si hanno superamenti del benchmark per i casi 1 e 2.

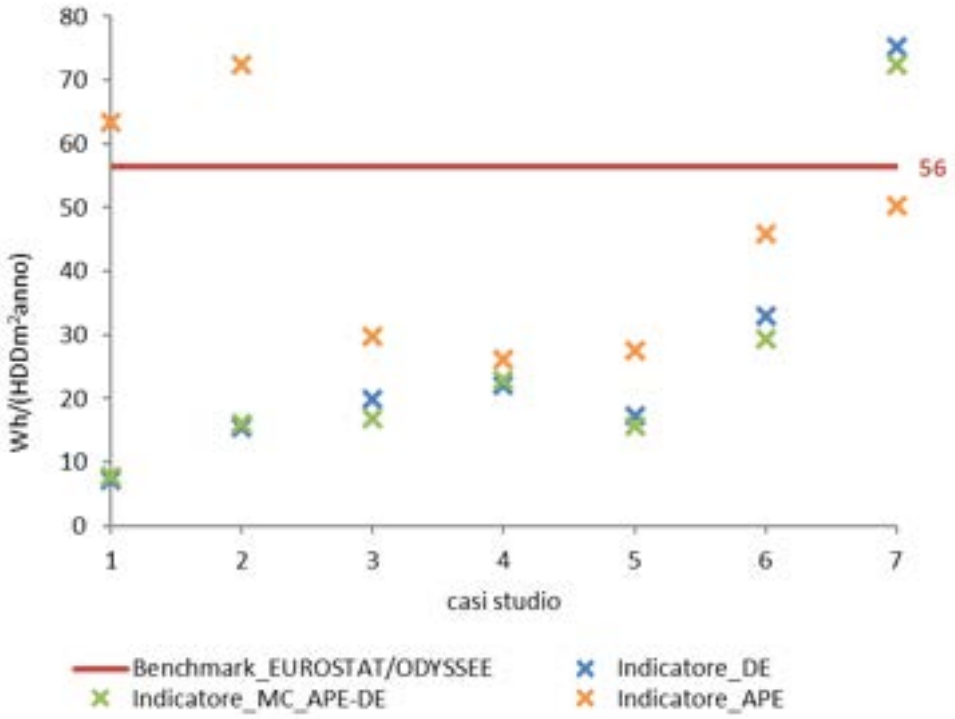


Figura 189.Approcci: DE, MC_{APE-DE}, APE - Destinazione d'uso residenziale Indicatore di consumo energetico per il riscaldamento (anno 2019)

2.5.1.3 Servizio di raffrescamento

L'unico edificio a destinazione d'uso residenziale nel quale è presente un impianto di raffrescamento è quello rappresentativo del caso studio n. 3 (E.1-3) per il quale per i tre approcci: DE, MC_{APE-DE} ed APE, l'indicatore risulta, di gran lunga, inferiore rispetto al benchmark (Tabella 459).

Tabella 459. Approcci: DE, MC_{APE-DE}, APE - Destinazione d'uso residenziale Indicatore di consumo energetico per il raffrescamento (anno 2019)

Approccio	*Wh/(CDDm²anno)*
DE	0,4
MC_{APE-DE}	0,3
APE	1,5
Benchmark	4

2.5.1.4 Focus sui casi studio con impiego di fonti energetiche rinnovabili

In riferimento ai casi studio a destinazione d'uso residenziale è stata condotta un'indagine su quelli per i quali sono presenti FER (9,10,11). In particolare, per il caso studio 9 risultano installati un impianto solare-termico per la produzione di ACS ed un sistema fotovoltaico per la generazione di energia elettrica. Mentre i casi 10 e 11 presentano impianti fotovoltaici per la produzione di elettricità.

Per ogni caso studio, risultano calcolati il fabbisogno energetico complessivo e la produzione da FER in termini di energia primaria (Figura 190). Inoltre, viene valutato l'indice di autosufficienza da FER [25] espresso come il rapporto fra la produzione da FER ed il fabbisogno energetico totale. Tale indicatore viene estrapolato dal progetto Energy Efficient building district Database (ExcEED) [25] i cui risultati sono strutturati in una banca dati che raccoglie informazioni quantitative e qualitative sugli edifici e sui distretti urbani di ultima generazione dell'Unione Europea.

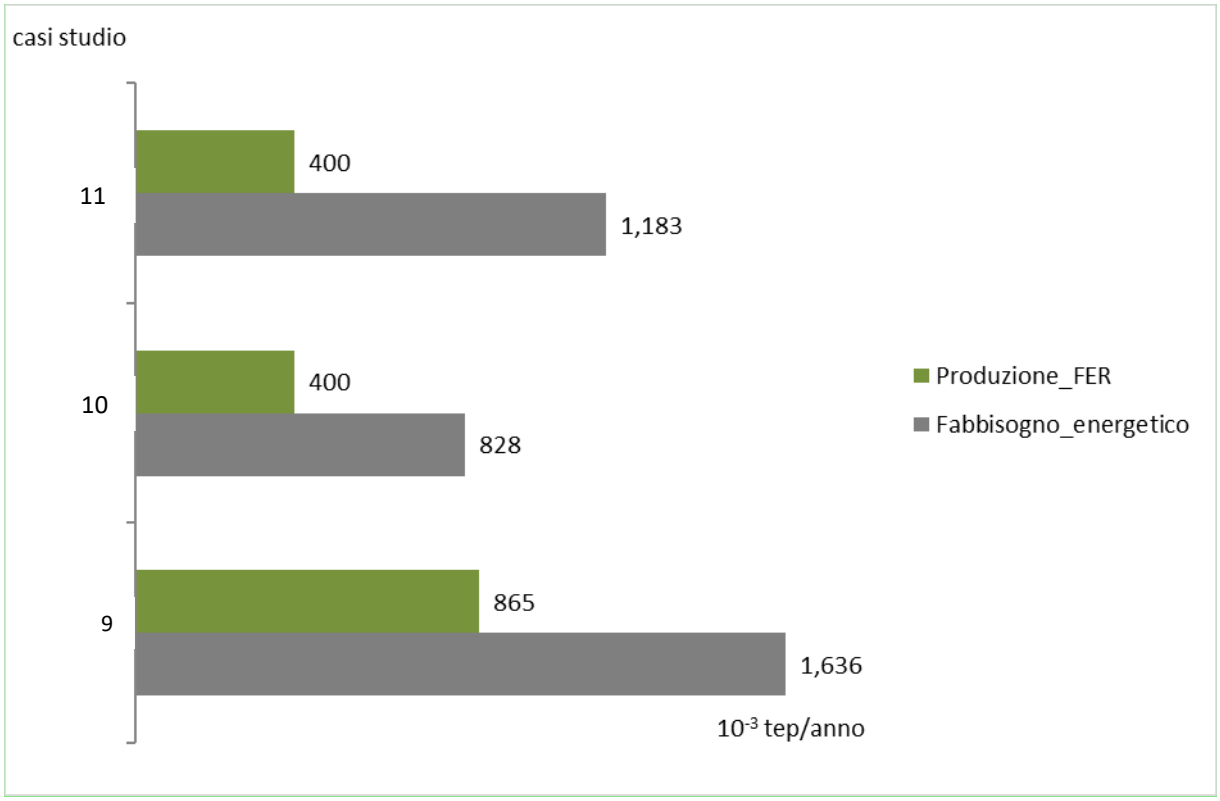


Figura 190. Destinazione d'uso residenziale Fabbisogno energetico complessivo e produzione da FER

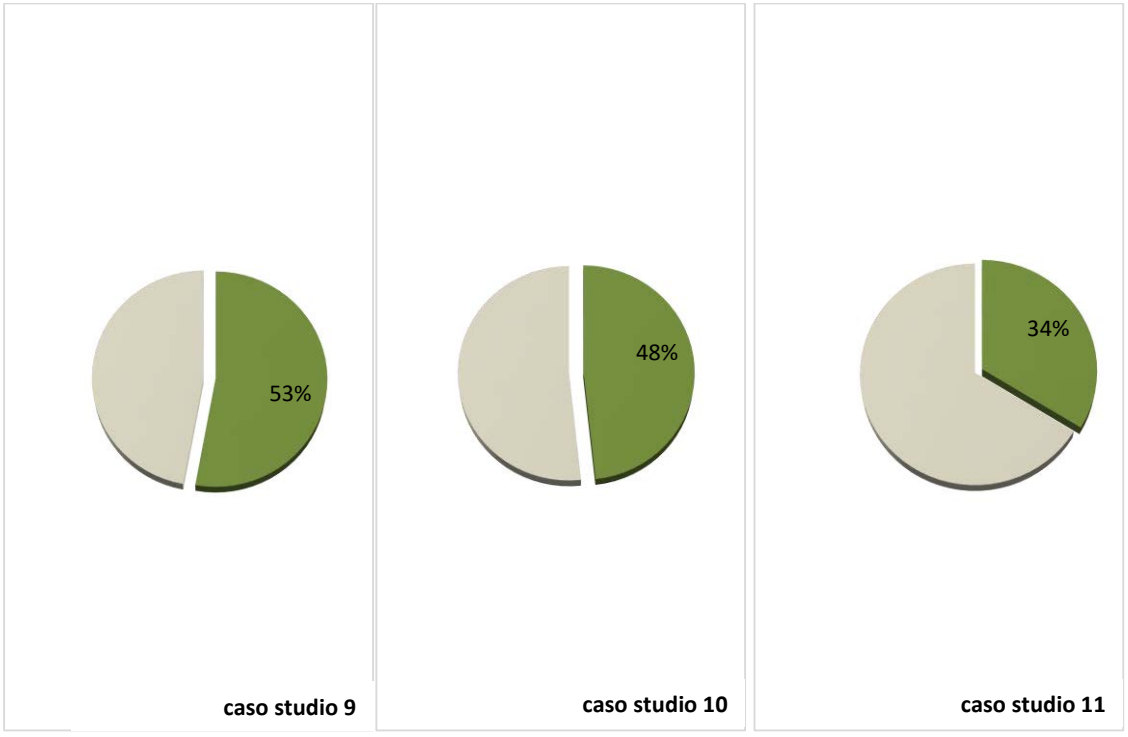


Figura 191. Destinazione d'uso residenziale: Indice di autosufficienza energetica da FER [25].

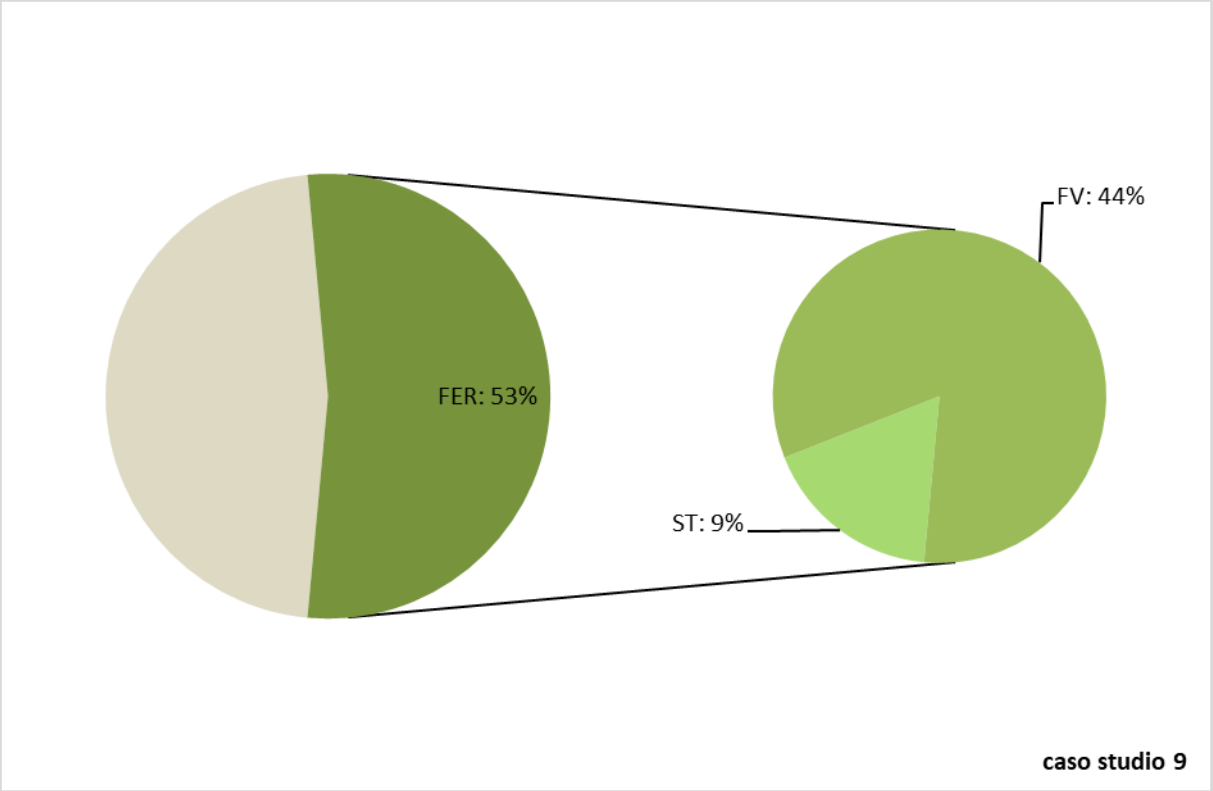


Figura 192. Destinazione d'uso residenziale Ripartizione del contributo da FER fra FV e ST.

Per autosufficienza da FER si intende l'indipendenza energetica, ossia il raggiungimento dell'autonomia dalla rete elettrica pubblica in termini di approvvigionamento di energia grazie al consumo di energia da fonte rinnovabile. Avere un'autosufficienza da FER al 100% significa, per un edificio, soddisfare la richiesta energetica delle utenze, esclusivamente, con l'energia prodotta in loco dalle FER.
Come si evince dalla Figura 192Destinazione d'uso residenziale Ripartizione del contributo da FER fra FV e ST., il caso studio 9 presenta un'autosufficienza da FER pari al 53%, mentre i casi studio 10 e 11, rispettivamente, uguale a 48% e 34%. L'aliquota percentuale esprime la fetta di fabbisogno energetico complessivo dell'edificio che viene soddisfatta da FER.
Questo aspetto implica che per il caso studio 9, la combinazione del solare termico e del fotovoltaico comporta la copertura da FER di oltre la metà della domanda di energia (53%). In particolare, la Figura 192 mostra gli apporti specifici da solare-termico e da fotovoltaico al contributo da FER per il caso studio 9. Il ruolo dell'impianto fotovoltaico risulta di rilievo garantendo il soddisfacimento del 44% del fabbisogno energetico dell'edificio, mentre i pannelli solari-termici rispondono al 9% della richiesta di energia.
Mentre per il caso studio 10, l'impianto fotovoltaico soddisfa quasi la metà del fabbisogno energetico dell'edificio (48%).
In ultimo, oltre un terzo della domanda di energia viene coperta dai pannelli fotovoltaici (34%) per il caso studio 11.

2.5.2 Calcolo degli indicatori per gli edifici ad uso uffici e confronto con i benchmark

Analoga indagine svolta per la destinazione d'uso residenziale viene condotta per individuare la collocazione del consumo energetico dei casi studio a destinazione d'uso uffici rispetto agli indicatori di riferimento di letteratura scientifica (benchmark).
Vengono calcolati gli indicatori riportati in Tabella 460. Essi scaturiscono dall'implementazione di dati medi. In relazione ai livelli di aggregazione degli stessi, trattasi di forma di energia finale; dimensione del sistema micro, ossia edificio; settore della domanda di energia: terziario, ossia uffici; usi finali: raffrescamento e somma di riscaldamento e raffrescamento da vettore energia elettrica.

Per quanto riguarda la fonte dei dati, essi provengono da modelli matematici implementati ai fini della conduzione della DE, applicazione della MC_{APE-DE}, redazione dell'APE.
I fattori di conversione impiegati ai fini del confronto fra indicatori e benchmark a mezzo delle stesse unità di misura sono: 1kWh pari a 0,086 (10^{-3} tep) per il vettore energia termica e 1kWh pari a 0,187 (10^{-3} tep) per il vettore energia elettrica.
La selezione degli indicatori scaturisce dalla possibilità di confronto con i benchmark che vengono valutati sulla base della disponibilità di dati di letteratura. Stante tale premessa, gli indicatori vengono calcolati come dati medi su più anni, in quanto i benchmark risultano disponibili come valori medi per gli anni dal 2015 al 2019.
In riferimento alla costruzione dei benchmark, viene impiegato lo studio ENEA/Assoimmobiliare di maggio 2019 [24]. Esso si basa sui consumi riportati in 123 DE di edifici per uffici. I dati, in forma aggregata, decorrono dal 2015 e provengono dal portale ENEA dedicato alle DE condotte dalle grandi imprese e quelle a forte consumo di energia per assolvere all'obbligo sancito nell'art. 8 del Dlgs 102/2014. Tra i soggetti obbligati sono comprese anche società aventi un gran numero di uffici dislocati in tutta Italia, di conseguenza, nello studio, il campione di edifici ad uso uffici viene selezionato in modo da essere rappresentativo di tutto il territorio nazionale. Per il servizio energetico considerato, il benchmark del campione non è un valore univoco, bensì viene calcolato come: valore medio ± deviazione standard, di modo da ottenere un intervallo di oscillazione del riferimento comprensivo dei valori minimo, medio e massimo (forchetta di benchmark). Inoltre, per ogni servizio energetico, la forchetta di benchmark non è lo stessa su tutto il territorio nazionale ma è funzione dell'area geografica, di modo da racchiudere tutte le caratteristiche climatiche del Paese che influenzano i consumi per climatizzazione invernale ed estiva. Di conseguenza, per ogni servizio energetico, sussistono tre forchette di benchmark che rappresentano le aree: Nord, Centro e Sud-Isole. Alle aree vengono abbinate le zone climatiche, quindi, all'area geografica Nord corrisponde la zona climatica E, a quella Centro la zona climatica D ed a quella Sud-Isole, le zone B e C.
Ai fini della costruzione delle forchette di benchmark, viene indagata la DE di ogni ufficio e i consumi di energia per i servizi energetici di raffrescamento e di (riscaldamento + raffrescamento) espletati a mezzo del vettore energia elettrica. Per ogni servizio energetico considerato, il consumo viene rapportato alla superficie utile climatizzata, di modo da pervenire all'indicatore per il dato ufficio. Viene ripetuta l'operazione per tutti gli uffici rappresentativi del campione. Calcolati tutti gli indicatori per il servizio energetico specifico, si estrae il dato medio e la deviazione standard, ossia la dispersione dei dati intorno al valore medio. Ovviamente anche per i benchmark, i livelli di aggregazione risultano i medesimi di quelli degli indicatori dei casi studio per consentire la comparazione. La fonte di dati è rappresentata dai modelli matematici implementati per la conduzione delle DE. Le forchette di benchmark vengono riportate in Tabella 461 .

Tabella 460. Indicatori di consumo energetico calcolati.

Servizio energetico	*Formulazione matematica indicatore*	*Definizione parametri*	
Raffrescamento	$E'_C = \frac{E_c}{A_c}$	E'_c	Indicatore di prestazione energetica per il raffrescamento [kWh/(m^{2}anno)]
		E_c	Consumo medio annuo di energia elettrica per il raffrescamento [kWh]
		A_c	Superficie utile raffrescata [m^2]
(Riscaldamento + Raffrescamento) Vettore: energia elettrica	$E'_{h,c} = \frac{E_h + E_C}{A_h}$	$E'_{h,c}$	Indicatore di prestazione energetica per il riscaldamento e il raffrescamento elettrici [kWh/(m^{2}anno)]
		E_h	Consumo medio annuo di energia elettrica per il riscaldamento [kWh]
		E_c	Consumo medio annuo di energia elettrica per il raffrescamento [kWh]
		A_h	superficie utile riscaldata [m^2]
		(superficie utile riscaldata ≡ superficie utile raffrescata)	

Tabella 461. Benchmark per destinazione d'uso uffici [24]

Area geografica	*Servizio energetico*	*Forchette di benchmark*			*Unità di misura*
		media	min	max	
Nord	Raffrescamento	67	34	101	kWh/m²
Centro		93	11	175	
Sud-Isole		48	35	62	
Nord	Riscaldamento + Raffrescamento Vettore: energia elettrica	54	15	93	kWh/m²
Centro		51	10	93	
Sud-Isole		71	40	102	

Si mostrano le elaborazioni grafiche, per i casi studio da 12 a 18 riferite alla conduzione della DE, all'applicazione della MC_{APE-DE} ed alla redazione dell'APE. Da esse, si evince il confronto fra gli indicatori dei casi studio ed i benchmark, in funzione del servizio energetico. In particolare, vengono esaminati: raffrescamento e (riscaldamento + raffrescamento) comportanti il consumo di energia elettrica. Inoltre, per ogni grafico sono presenti due forchette di benchmark poiché i casi studio da 12 a 15 ed il 18 sono compresi nell'area geografica Nord in funzione della zona climatica di appartenenza del luogo di ubicazione dell'ufficio (zona E) , mentre i casi 16 e 17 appartengono all'area Centro (zona D).

2.5.2.1 Servizio di raffrescamento

In relazione al servizio energetico di raffrescamento (Figura 193), innanzitutto, si sottolinea la forchetta di benchmark più alta, ossia caratterizzata da valori di riferimento maggiori, per i casi studio dell'area geografica Centro. Tale condizione è plausibile, in quanto per zone climatiche più calde, come il Centro rispetto al Nord, è previsto un consumo superiore di energia per la climatizzazione estiva.
Per il raffrescamento, In merito alla conduzione della DE, per quanto riguarda tutti i casi studio dell'Area Nord, gli indici risultano esterni alla forchetta ed, in particolare, in posizione inferiore rispetto al valore minimo della stessa, mentre per i casi 16 e 17 del Centro, gli indicatori appartengono alla forchetta e si mantengono in posizioni sottostanti alla media.
Nell'applicazione della MC_{APE-DE}, i valori dei casi studio 12,13,14 e 18 non risultano visibili sul grafico perché coperti da quelli della conduzione della DE che sono, nella sostanza, analoghi. Di conseguenza, tutti gli indici dei casi studio dell'Area Nord presentano valori esterni alla forchetta ed, in particolare, più bassi del valore minimo della stessa, mentre per i casi studio dell'area Centro, gli indicatori appartengono alla forchetta, in particolare il caso studio 17 presenta un dato cospicuo spostato verso la media di riferimento.

Per quanto concerne la redazione dell'APE, valgono le stesse considerazioni esposte per i casi studio a destinazione d'uso residenziale, nel senso che trattasi di un confronto fittizio fra indicatori e benchmark, in quanto i primi si riferiscono a condizioni standard mentre i secondi a dati reali.

Per il raffrescamento non si evince l'"effetto amplificativo" dell'APE rispetto alla DE, in quanto tutti gli indici presentano valori inferiori per l'APE rispetto alla DE. Tali indici da APE si collocano al di sotto del valore minimo della forchetta di riferimento, eccetto per il caso 17 per il quale l'indicatore si posiziona, di poco, al di sopra dell'estremo minimo dell'intervallo di riferimento.

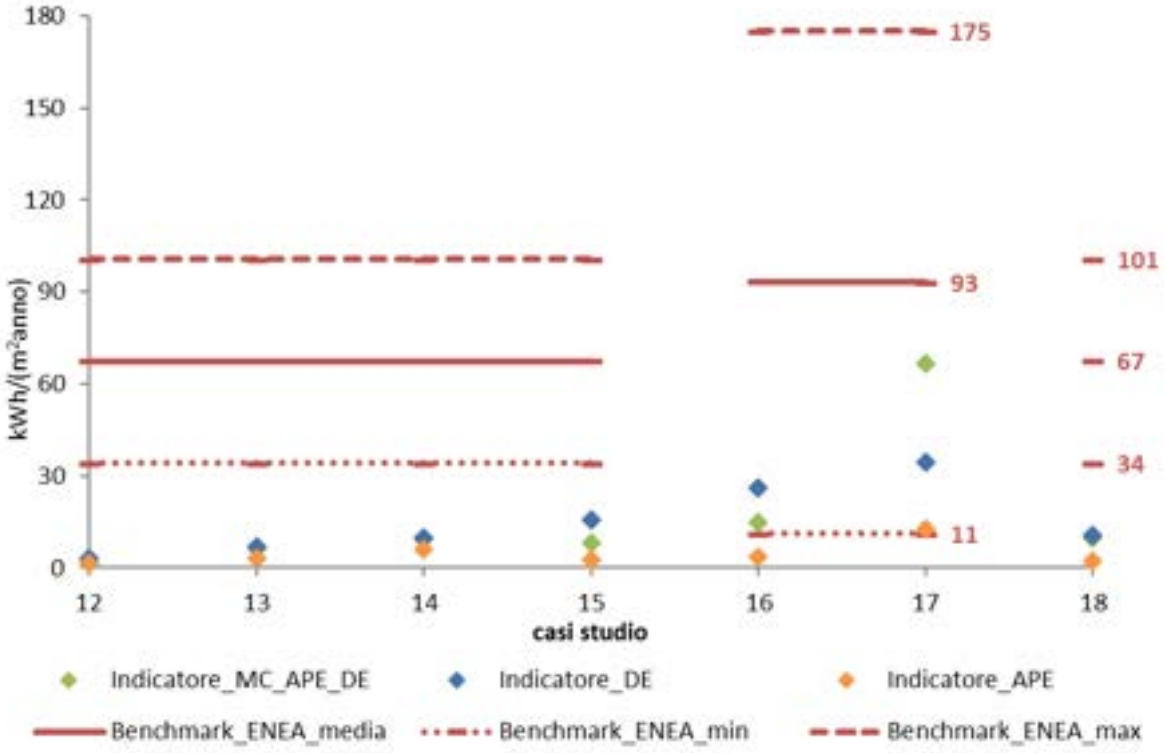


Figura 193. Approcci: DE, MC_{APE-DE}, APE - Destinazione d'uso uffici Indicatore di consumo energetico medio per il raffrescamento.

2.5.2.2 Servizio di raffrescamento e riscaldamento da vettore di energia elettrica

In relazione alla somma dei servizi di riscaldamento e raffrescamento erogati a mezzo consumo di energia elettrica (Figura 194), non risulta possibile calcolare l'indicatore per i casi 14, 15,16 e 18, in quanto il riscaldamento viene garantito tramite il vettore energia termica (consumo di gas naturale). Mentre, il caso 13 presenta la particolarità per la quale per la climatizzazione invernale viene previsto l'impiego di entrambi i vettori energetici: termico ed elettrico, in quanto è presente sia una caldaia (consumo di gas naturale) da fine 2019 che una pompa di calore (consumo di energia elettrica). Di conseguenza, per il caso 13, si può calcolare l'indice in relazione alla somma di riscaldamento da PdC e raffrescamento.
In riferimento alla conduzione della DE, tutti gli indici appartengono alle forchette di riferimento e, per i casi 12 e 13, essi risultano inferiori alla media, mentre per il caso 17, l'indicatore supera di poco il valore medio della forchetta di benchmark.
In relazione alla MC_{APE-DE}, i valori appartengono alle forchette. Nello specifico per i casi 12 e 13, i dati non sono visibili sul grafico in quanto, sostanzialmente, analoghi a quelli della conduzione della DE dai quali sono coperti e quindi, di poco, superiori al valore minimo di riferimento, mentre per il caso 17, l'indice si avvicina all'estremo superiore dell'intervallo di riferimento.
Gli indici da APE sono per tutti i casi superiori a quelli relativi alla conduzione della DE ed appartengono alle forchette di benchmark. Nello specifico, il caso 17 supera di poco la media di riferimento.
Focalizzando l'attenzione sull'approccio di applicazione della MC_{APE-DE} che costituisce lo strumento innovativo sviluppato nella precedente annualità e testato nell'attività di ricerca della presente annualità, in relazione alla trattazione svolta, si evince la congruenza degli indicatori calcolati per i casi studio attraverso la MC_{APE-DE} ed i benchmark di letteratura, in termini di ordini di grandezza e quindi, di possibilità di confronto plausibile con restituzione di risultati attendibili. In conclusione, si conferma la buona affidabilità della metodologia MC_{APE-DE} applicata ai principali servizi energetici sia per gli edifici a destinazione d'uso residenziale che per gli uffici.

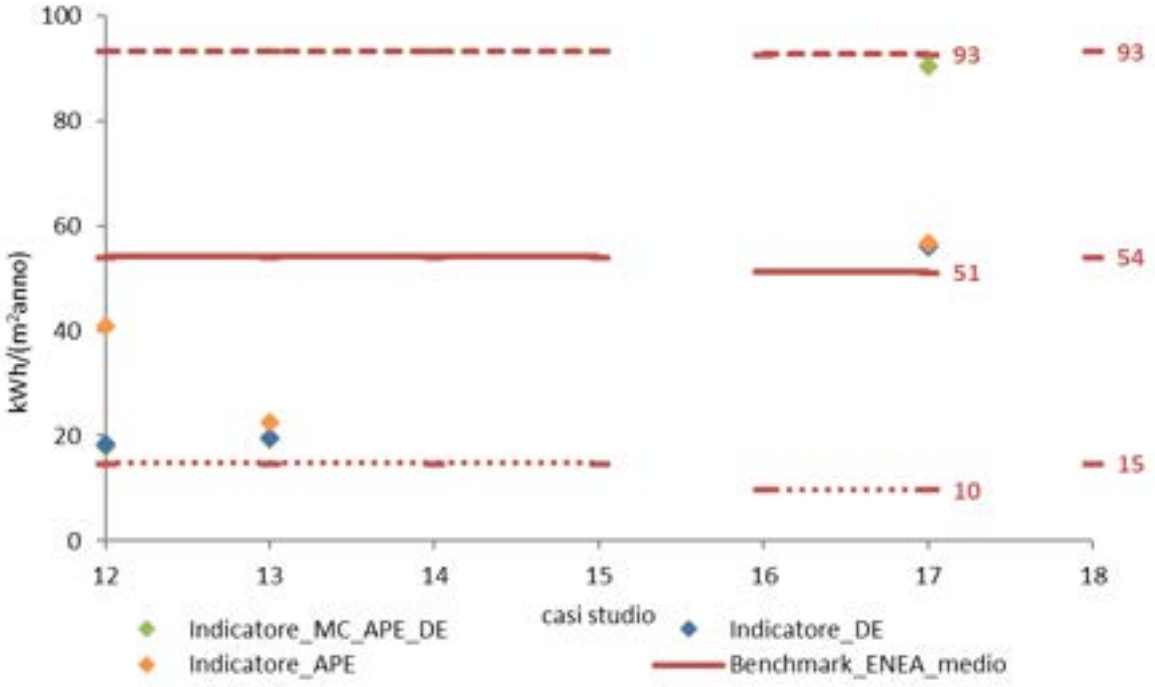


Figura 194. Approcci: DE, MC$_{APE-DE,}$ APE - Destinazione d'uso uffici Indicatore di consumo energetico medio per (riscaldamento + raffrescamento).

2.6 Applicazione della metodologia di correlazione sviluppata sugli APE contenuti nel SIAPE

2.6.1 Caratteristiche del campione analizzato

A seguito della verifica e validazione della MC_{APE-DE}, applicandola e confrontandola con i risultati dell'APE e delle DE redatti per i precedenti casi studio reali, la nuova metodologia di correlazione è stata applicata agli attestati presenti nel SIAPE (Sistema Informativo sugli APE), creato e gestito da ENEA. I dati del SIAPE erano già stati oggetto di analisi durante il primo anno di attività, per definire diverse caratteristiche del patrimonio edilizio nazionale.

Nel tempo intercorso tra il primo e il terzo anno di attività, il campione dati di base è più che raddoppiato grazie al collegamento di ulteriori 6 Regioni al sistema nazionale: complessivamente, a fine 2021, data di estrazione dei dati per le presenti elaborazioni, il SIAPE contava oltre 2,8 milioni di APE provenienti da 14 Regioni e 2 Province Autonome.

Come già indicato in [2], il campione dati di base è stato sottoposto a un sistema di verifica volto a scartare i dati considerati poco attendibili. In particolare, diversi filtri sono stati applicati in maniera progressiva al fine di verificare le informazioni su zona climatica, parametri dimensionali, motivazione dell'APE, anno di costruzione, servizi energetici obbligatori, indici di prestazione per singolo servizio energetico e potenza nominale dell'impianto. In aggiunta al sistema di filtri utilizzato nel primo anno di attività, sono stati effettuati ulteriori controlli sugli indicatori di energia primaria non rinnovabile (EP_{nren}), volti a scartare valori sospetti, che non possono essere verificati con i soli dati a disposizione. Dopo un'analisi della distribuzione dei range di EPnren su tutto il campione (Tabella 462), sono stati imposti dei tagli sui valori limite a seconda del servizio energetico analizzato come segue:

- Riscaldamento: maggiore di 0 kWh/m^2 fino a 500 kWh/m^2;
- Raffrescamento: maggiore di 0 kWh/m^2 fino a 250 kWh/m^2;
- Produzione di acqua calda sanitaria: maggiore di 0 kWh/m^2 fino a 250 kWh/m^2.

Complessivamente, il sistema di verifica ha portato a scartare circa il 25% del campione iniziale.

L'obiettivo di questa analisi sull'impiego della MC_{APE-DE} è valutare le variazioni che l'applicazione della stessa comporti sui risultati degli APE a livello nazionale. Essendo questa indagine a livello dimostrativo e svolta in maniera massiva su tutto il database del SIAPE, sono state imposte al campione dati ulteriori regole al fine di attuare delle semplificazioni dei casi studio analizzati. Le regole sono le seguenti:

- Assenza di impianto simulato;
- Corrispondenza tra il servizio energetico e l'impianto installato come segue:
    - Climatizzazione invernale: caldaia standard, caldaia a condensazione e pompa di calore elettrica (aria-aria, aria-acqua, acqua-aria, acqua-acqua). La pompa di calore è considerata realisticamente impiegata solo nei casi in cui l'anno di costruzione è successivo al 2004;
    - Climatizzazione estiva: pompa di calore (aria-aria);
    - Produzione di acqua calda sanitaria: caldaia standard, caldaia a condensazione, pompa di calore elettrica (aria-aria, aria-acqua, acqua-aria, acqua-acqua) e boiler elettrico.
- La motivazione di redazione dell'APE non può ricadere nelle categorie "Ristrutturazione importante" e "Altro". Nel primo caso, senza un'analisi più approfondita, non è possibile stabilire il livello di isolamento (Liv-Iso) in base al solo anno di costruzione dell'immobile; nel secondo, i casi ricadenti in questa categoria non sono facilmente riconducibili a eventuali interventi dal momento che, in circa il 90% degli APE afferenti a questa motivazione, la descrizione aggiuntiva risulta non dichiarata;

Tabella 462. Analisi di distribuzione dei range di valori dell'indicatore EP_{nren} per ogni servizio energetico.

Indicatori di Energia primaria non rinnovabile EP_{nren} [kWh/m^2]

	>0÷10	*10÷50*	*50÷100*	*100÷250*	*250÷500*	*500÷750*	*750÷1000*	*1000÷1500*	*>1500*
Riscaldamento	1%	11%	36%	37%	13%	2%	0%	0%	0%
Raffrescamento	59%	23%	12%	5%	1%	0%	0%	0%	0%
Produzione ACS	24%	42%	27%	5%	1%	0%	0%	0%	0%
Totale	8%	17%	33%	30%	10%	1%	0%	0%	0%

- Il servizio energetico presente deve essere dotato di un solo impianto; tuttavia, un impianto può servire due servizi energetici;
- Ad esclusione della pompa di calore, gli APE riportanti l'installazione di impianti da fonte energetica rinnovabile (FER) non sono stati considerati;
- Sono state considerate solo località i cui Gradi Giorno coincidono con quelli identificati durante il secondo anno di attività [1], durante la definizione delle configurazioni di simulazione; questi sono i seguenti: 568, 707, 751, 990, 1034, 1142, 1185, 1317, 1415, 1435, 1530, 1688, 1821, 2102, 2259, 2289, 2323, 2345, 2404, 2472, 2514, 2617, 2791, 2850, 4264. Questa regola è quella che più ha ridotto il campione dati.

In conclusione, le condizioni per l'applicazione della $MC_{APE\text{-}DE}$ sono avvenute nelle seguenti occorrenze:
- Produzione di acqua calda sanitaria: 398,690 APE (17% dei casi del campione dati filtrato con installato il servizio energetico);
- Riscaldamento: 452,604 APE (18% del campione dati filtrato);
- Raffrescamento: 94,541 APE (13% dei casi del campione dati filtrato con installato il servizio energetico).

L'applicazione massiva della $MC_{APE\text{-}DE}$ sui dati del SIAPE ha confermato quanto già evidenziato nell'analisi dei casi studio reali. La trattazione di queste analisi sarà svolta per singolo servizio energetico e, visto l'elevano numero di occorrenze selezionate (quasi un milione), la discussione dei risultati ottenuti sarà fatta per le casistiche più spesso ricorrenti, per semplificare l'interpretazione degli stessi. Tali casistiche saranno selezionate attraverso una valutazione del campione dati in base a diversi parametri presenti nell'XML.

2.6.2 Produzione di acqua calda sanitaria

2.6.2.1 Caratteristiche del campione analizzato

Il campione di APE cui è stata applicata la $MC_{APE\text{-}DE}$ è composto da 398,690 attestati la cui distribuzione per classe energetica vede circa il 60% nelle classi energetiche meno efficienti (F e G), circa il 36% in quelle intermedie (C, D ed E) e il restante 4% in quelle migliori (A4-B), come mostrato in Figura 195. Questo andamento è simile a quello nazionale, anche se il numero di classi energetiche più efficienti risulta dimezzato [26]; ciò è giustificabile per le regole imposte al campione dati e descritte al paragrafo precedente, attraverso le quali, ad esempio, non sono stati considerati i casi di ristrutturazione importante, che avrebbero contribuito ad alzare le prestazioni energetiche del campione analizzato.
Il campione dati è stato ulteriormente valutato in base ad altri parametri, al fine di evidenziare le caratteristiche più spesso ricorrenti. L'analisi per i Gradi Giorno ha mostrato come la maggior parte dei casi ricada nel Gradi Giorno 1415 (33%), 2404 (36%) e 2617 (15%), principalmente in corrispondenza dei comuni di Roma, Milano e Torino, rispettivamente (Figura 196).
L'analisi dei dati è proseguita considerando anche altri parametri rilevanti (Tabella 463), quali la destinazione d'uso da D.P.R. 412/1993 [10], l'anno di costruzione e il relativo livello di isolamento Liv-Iso e la tipologia impiantistica installata per il servizio di produzione di acqua calda sanitaria. Le analisi hanno evidenziato come oltre il 90% dei casi afferisca alla destinazione d'uso residenziale (E.1), anche in considerazione dell'obbligatorietà di analizzare il servizio di produzione di acqua calda sanitaria per questa categoria di immobili; nel settore non residenziale, invece, si evidenzia una percentuale di casi inferiore al 4% per gli uffici (E.2) e di circa il 3% per gli edifici commerciali (E.5). In linea con le statistiche nazionali, oltre l'85% degli immobili analizzati è stata costruita prima del 1990 e, ai fini della presente trattazione, sono stati considerati con il livello di isolamento nullo, ovvero Liv-Iso 0. L'analisi della tipologia di impianto installata ha mostrato che oltre la metà dei casi presenta una caldaia standard installata per la produzione di acqua calda sanitaria, seguita dal boiler elettrico (30%) e dalla caldaia a condensazione (15%); meno del 2% dei casi usa pompe di calore per questo servizio.

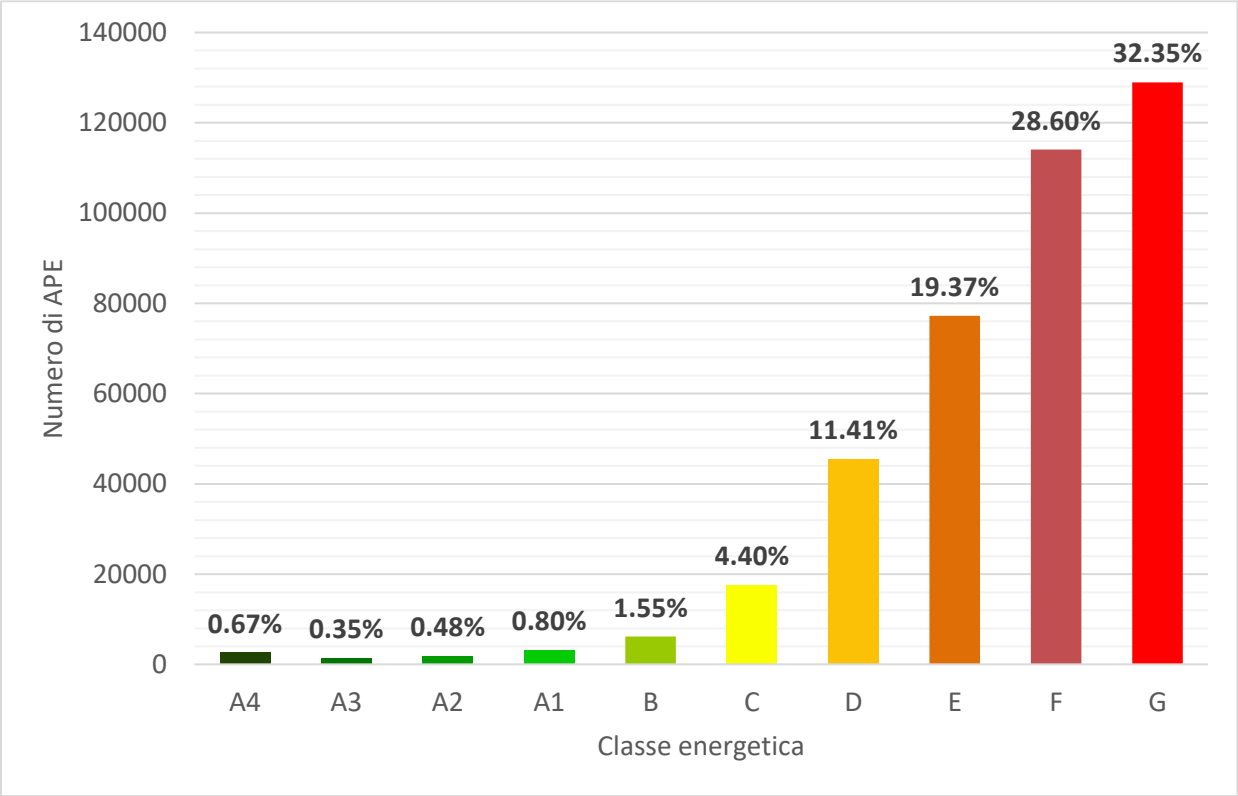


Figura 195. Distribuzione del campione per classe energetica.

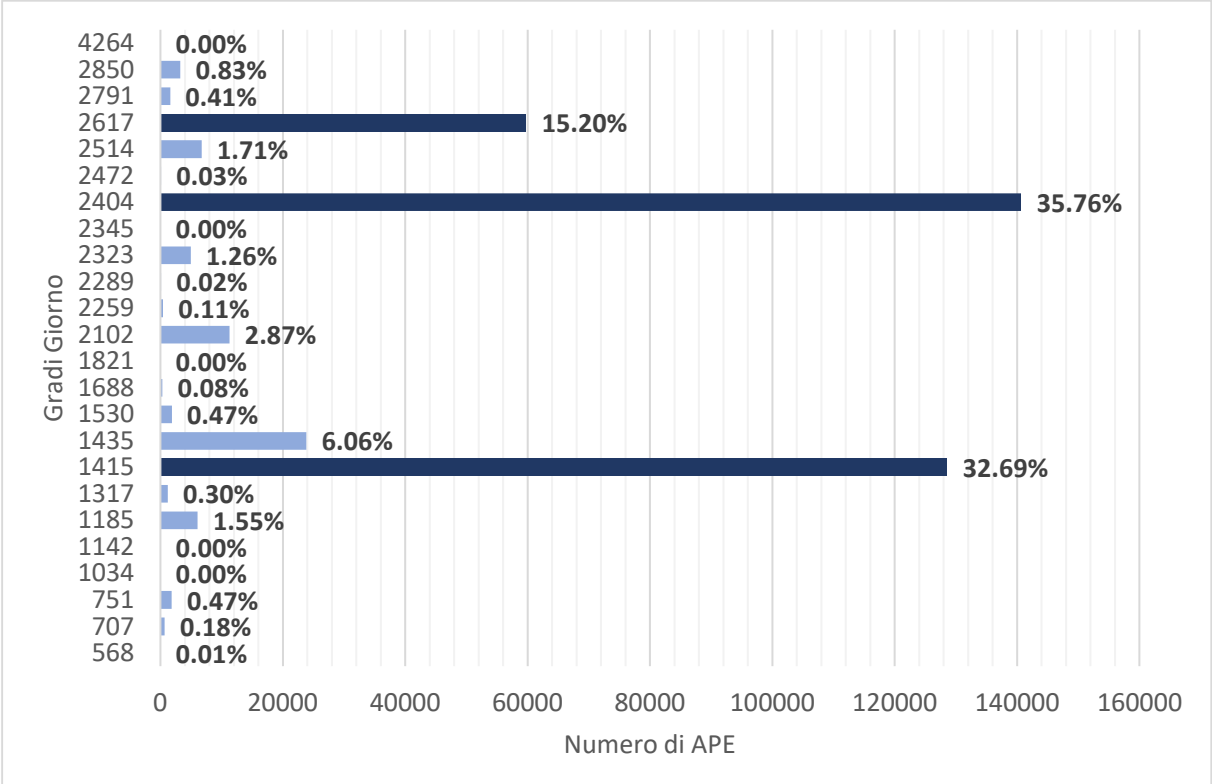


Figura 196. Distribuzione del campione per i Gradi Giorno selezionati (in blu scuro le casistiche con maggiori occorrenze).

Tabella 463. Distribuzione del campione secondo la classificazione delle destinazioni d'uso (D.P.R. 412/1993 [10]), l'anno di costruzione e il conseguente livello di isolamento (Liv-Iso) e la tipologia impiantistica.

Destinazione d'uso da classificazione da DPR 412/1993	*E.1*	*E.1(1) bis*	*E.1(3)*	*E.2*	*E.3*	*E.4*	*E.5*	*E.6*	*E.7*	*E.8*
	91.63%	0.04%	0.11%	3.84%	0.05%	0.41%	3.01%	0.06%	0.05%	0.81%
Anno di costruzione e livello di isolamento	Prima del 1990 (Liv-Iso 0)		Tra il 1990 e il 2005 (Liv-Iso 1)			Tra il 2005 e il 2015 (Liv-Iso 2)			Dopo il 2015 (Liv-Iso 3)	
	85.63%		8.44%			3.81%			2.12%	
Tipologia impiantistica	Caldaia standard		Caldaia a condensazione			Pompa di calore			Boiler elettrico	
	52.88%		15.13%			1.69%			30.30%	

L'ultima indagine è stata incentrata sulla superficie utile riscaldata S_U, parametro di maggiore influenza nel calcolo del volume di acqua calda sanitaria nella metodologia asset. I risultati di tale analisi sono riportati in Figura 197 e mostrano la maggioranza dei casi residenziali ricadenti nel range di superficie utile riscaldata S_U tra 50 e 75 m^2 (33%), seguiti da quelli sotto i 50 m^2 (27%) e quelli nel range tra 75 e 100 m^2 (22%); nel settore non residenziale, invece, la distribuzione è più omogenea, con il picco nel range di superficie utile riscaldata S_U tra 100 e 200 m^2. In questa seconda categoria di destinazioni d'uso è individuabile una forte crescita dei casi superiori ai 500 m^2.

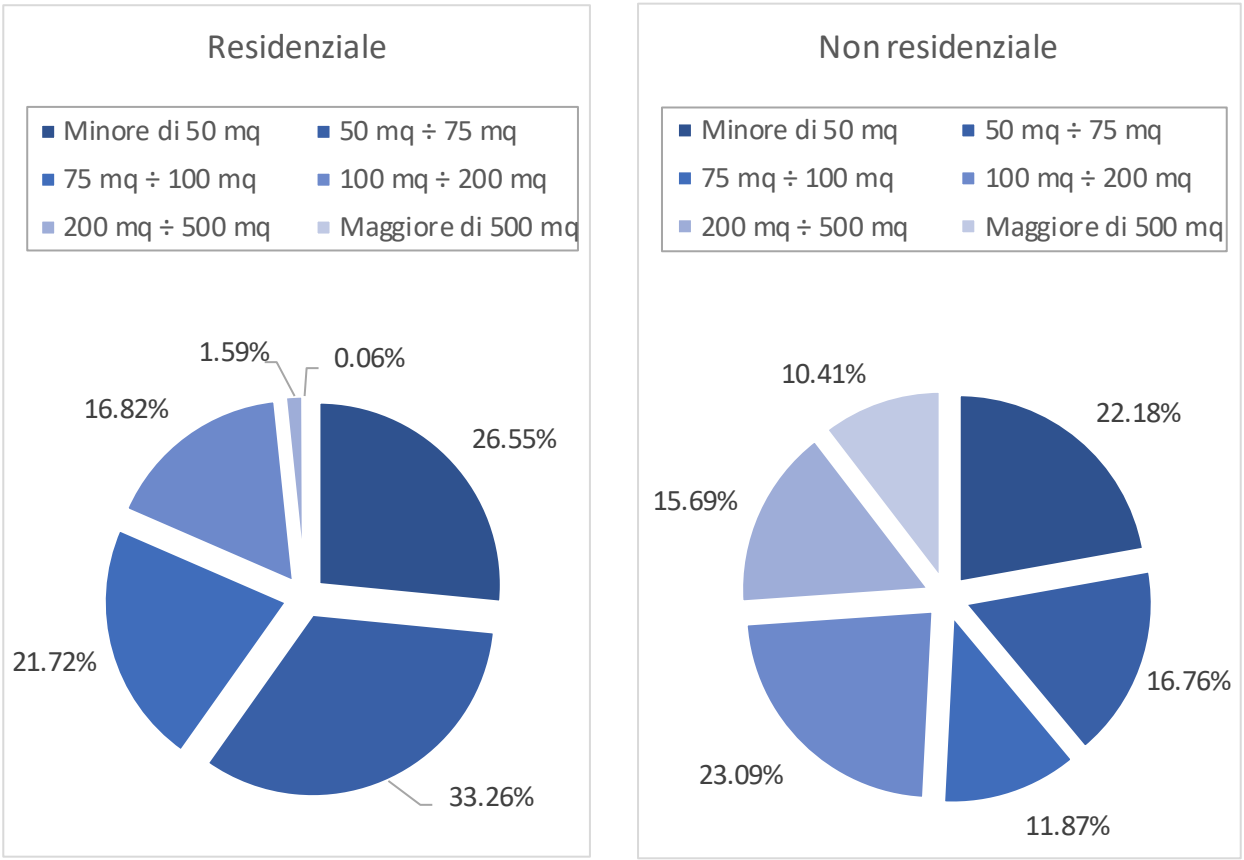


Figura 197. Distribuzione del campione per range di superficie utile riscaldata SU per i settori residenziale e non residenziale.

2.6.2.2 Risultati

In base alle caratteristiche evidenziate nel precedente paragrafo, l'applicazione della $MC_{APE\text{-}DE}$ è stata di seguito analizzata per specifiche casistiche, ovvero immobili residenziali (E.1), con caldaie standard o boiler elettrici per la produzione di acqua calda sanitaria, una superficie utile riscaldata S_U tra i 25 m^2 e i 200 m^2.
I risultati sono mostrati divisi in base all'installazione del boiler elettrico, della caldaia standard e della caldaia a condensazione rispettivamente in Figura 198, Figura 199 e Figura 200 ognuna rappresentante l'andamento degli indicatori di energia primaria non rinnovabile per il servizio di acqua calda sanitaria (I_W o EP_W) calcolati

tramite l'APE ($EP_{Wnren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo occupazionale minimo ($EP_{Wnren-MC_{APE-DE}min}$), medio ($EP_{Wnren-MC_{APE-DE}med}$) e massimo ($EP_{Wnren-MC_{APE-DE}max}$) e in base a 4 diversi range di superficie utile riscaldata S_U: minore di 50 m^2, 50÷70 m^2, 70÷100 m^2, 100÷200 m^2.
A parità di condizioni, non si notano notevoli differenze tra i valori a seconda dell'impianto considerato; invece, la variazione dei due principali parametri per la valutazione del volume di acqua calda sanitaria, ovvero la superficie utile riscaldata S_U per l'APE e il numero di occupanti per la MC_{APE-DE} è molto più evidente. I risultati confermano quanto già descritto nei paragrafi precedenti, ossia che l'APE tende a sottostimare i consumi di acqua calda sanitaria, soprattutto nel caso di immobili con superfici utili riscaldate di valore ridotto e occupate da più di un utente; al contrario, la MC_{APE-DE} restituisce un valore più realistico in quanto proprio basato sul numero di utenti. All'aumentare della superficie utile riscaldata S_U, la divergenza tra gli indicatori calcolati tramite la metodologia asset e quella di correlazione tende ad assottigliarsi.

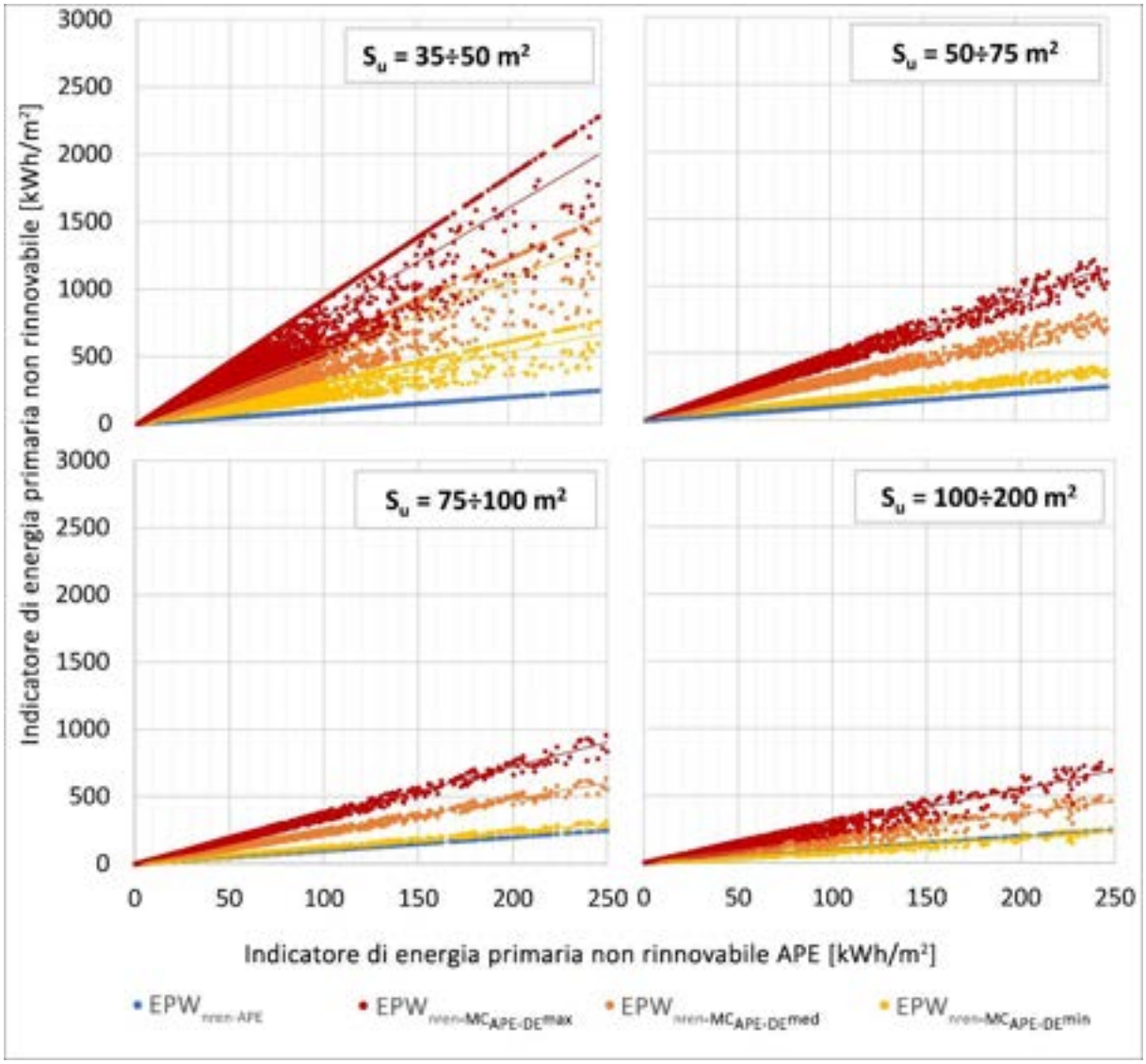


Figura 198. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($EP_{Wnren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo occupazionale minimo ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmin}$), medio ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmed}$) e massimo ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmax}$), variando la superficie utile riscaldata S_U: boiler elettrico.

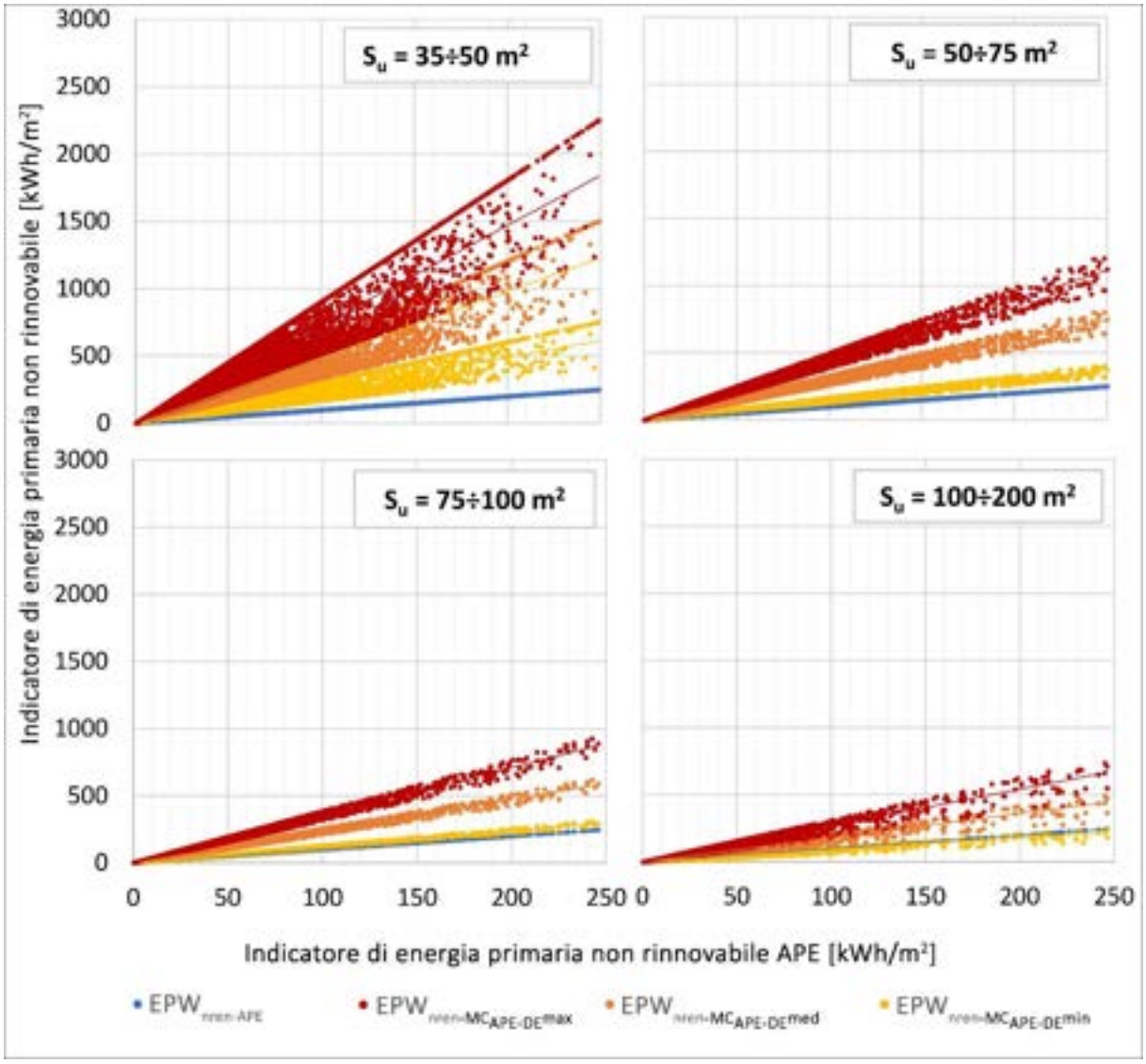


Figura 199. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($EP_{Wnren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo occupazionale minimo ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmin}$), medio ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmed}$) e massimo ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmax}$), variando la superficie utile riscaldata S_U:: caldaia standard.

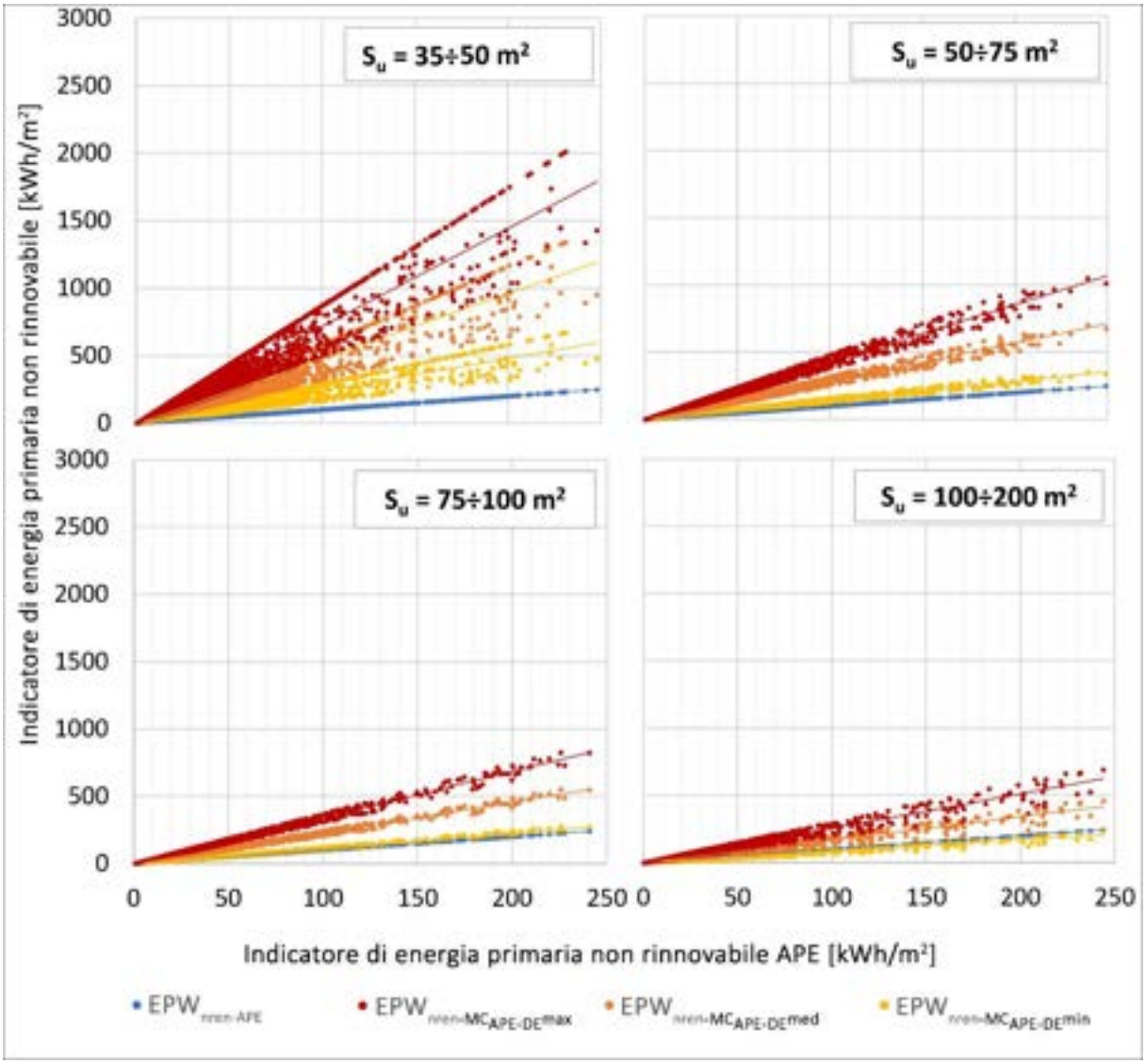


Figura 200. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($EP_{Wnren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo occupazionale minimo ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmin}$), medio ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmed}$) e massimo ($EP_{Wnren-MCAPE-DEmax}$), variando la superficie utile riscaldata S_U: caldaia a condensazione.

2.6.3 Riscaldamento

2.6.3.1 Caratteristiche del campione analizzato

Il campione di APE cui è stata applicata la MC_{APE-DE} è composto da 452,604 attestati la cui distribuzione per classe energetica vede circa il 60% nelle classi energetiche meno efficienti (F e G), circa il 35% in quelle intermedie (C, D ed E) e il restante 5% in quelle migliori (A4-B), come mostrato in Figura 201. Anche in questo caso si può notare un andamento simile a quello nazionale, con un decremento della percentuale nelle classi energetiche più efficienti come sottolineato nel paragrafo 2.6.2.1.

Il campione dati è stato ulteriormente valutato in base ad altri parametri, al fine di evidenziare le caratteristiche più spesso ricorrenti. L'analisi per i Gradi Giorno ha mostrato come la maggior parte dei casi ricada nel Gradi Giorno 1415 (30%), 2404 (43%) e 2617 (14%), principalmente in corrispondenza dei comuni di Roma, Milano e Torino, rispettivamente (Figura 202).

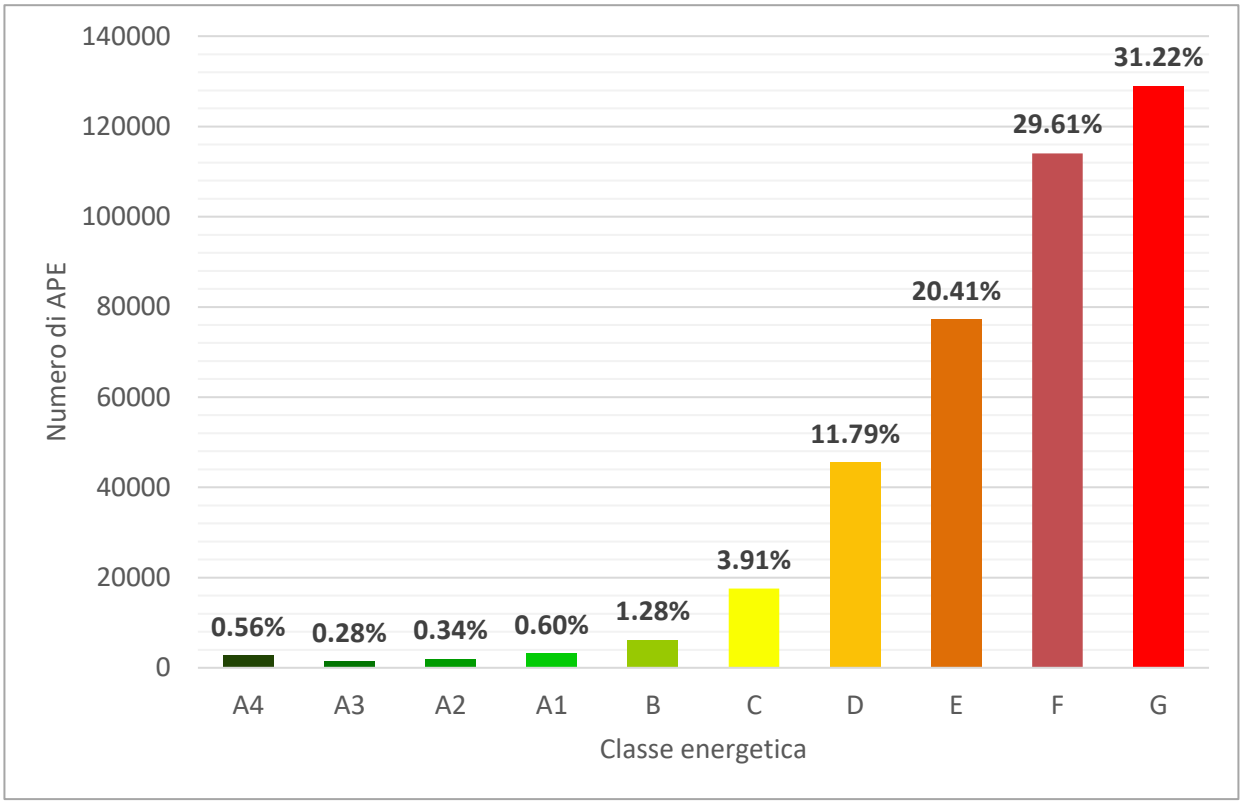


Figura 201. Distribuzione del campione per classe energetica.

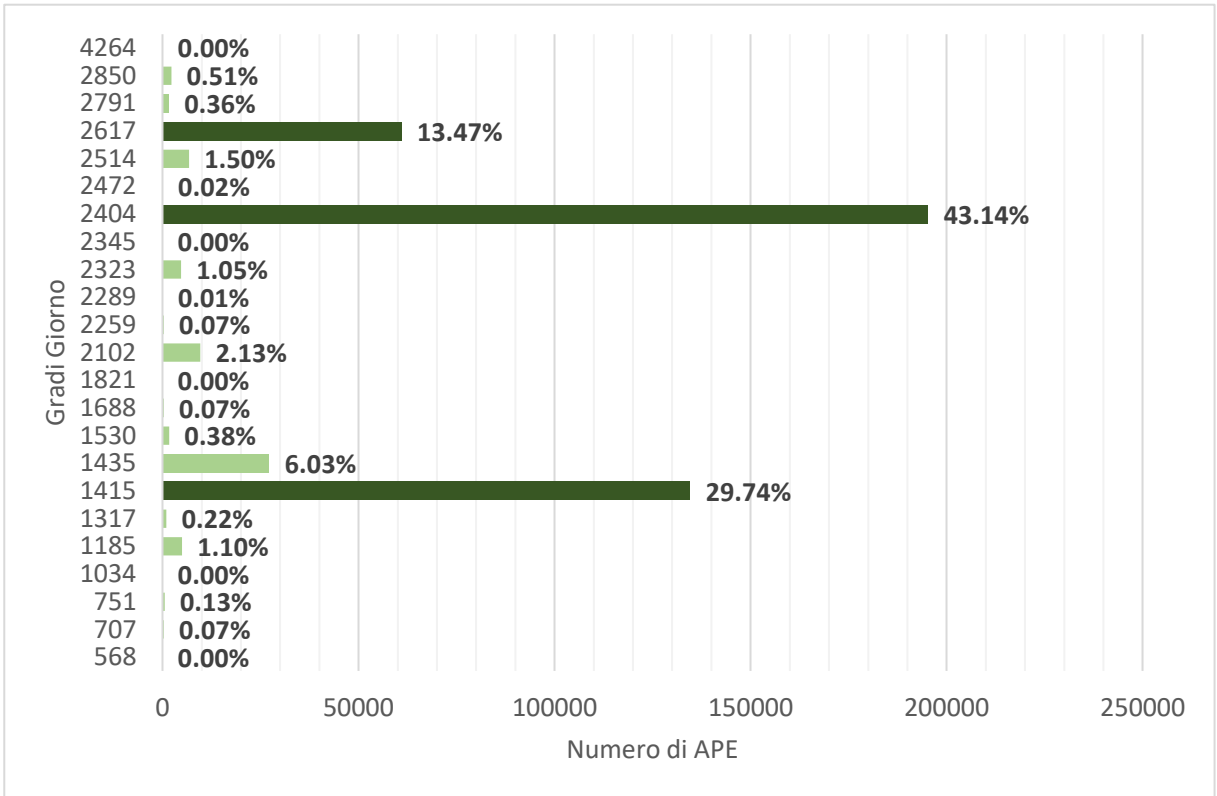


Figura 202. Distribuzione del campione per i Gradi Giorno selezionati (in verde scuro le casistiche con maggiori occorrenze).

L'analisi dei dati è proseguita considerando anche altri parametri rilevanti (Tabella 464), quali la destinazione d'uso da D.P.R. 412/1993 [10], l'anno di costruzione e il relativo livello di isolamento Liv-Iso e la tipologia

impiantistica installata per il servizio di produzione di acqua calda sanitaria. Le analisi hanno evidenziato come oltre il 90% dei casi afferisca alla destinazione d'uso residenziale (E.1), mentre, nel settore non residenziale, si evidenzia una percentuale di circa il 3% per gli uffici (E.2) e sotto al 3% per gli edifici commerciali (E.5). In linea con le statistiche nazionali, oltre l'85% degli immobili analizzati è stata costruita prima del 1990 e, ai fini della presente trattazione, sono stati considerati con il livello di isolamento nullo, ovvero Liv-Iso 0. L'analisi della tipologia di impianto installata ha mostrato che oltre il 70% dei casi presenta una caldaia standard installata per la fornitura di riscaldamento, seguita da quella a condensazione (27%); meno del 2% dei casi usa pompe di calore per questo servizio.
L'ultima indagine è stata incentrata sulla potenza nominale P_n, parametro importante nel calcolo del consumo per il riscaldamento nella metodologia asset. I risultati di tale analisi sono riportati in Figura 203 e mostrano che la maggioranza degli impianti per il riscaldamento installati sia nel settore residenziale che in quello non residenziale ha una potenza nominale compresa nel range tra 20 e 35 kW (48% e 35% rispettivamente), lasciando presumere la presenza di un impianto autonomo per le abitazioni. In entrambe le destinazioni d'uso il 16-17% degli impianti analizzati ha una potenza nominale compresa nel range tra 150 e 300 kW, mentre il 13-15% ricade nel range 300-600 kW.

Tabella 464. Distribuzione del campione secondo la classificazione delle destinazioni d'uso (D.P.R. 412/1993 [10]), l'anno di costruzione e il conseguente livello di isolamento (Liv-Iso) e la tipologia impiantistica.

Destinazione d'uso da classificazione da DPR 412/1993	*E.1*	*E.1(1) bis*	*E.1(3)*	*E.2*	*E.3*	*E.4*	*E.5*	*E.6*	*E.7*	*E.8*
	91.75%	0.03%	0.08%	3.17%	0.04%	0.18%	3.00%	0.05%	0.05%	1.64%
Anno di costruzione e livello di isolamento	*Prima del 1990 (Liv-Iso 0)*		*Tra il 1990 e il 2005 (Liv-Iso 1)*			*Tra il 2005 e il 2015 (Liv-Iso 2)*			*Dopo il 2015 (Liv-Iso 3)*	
	86.93%		7.54%			4.09%			1.44%	
Tipologia impiantistica	*Caldaia standard*		*Caldaia a condensazione*					*Pompa di calore*		
	70.66%		27.36%					1.98%		

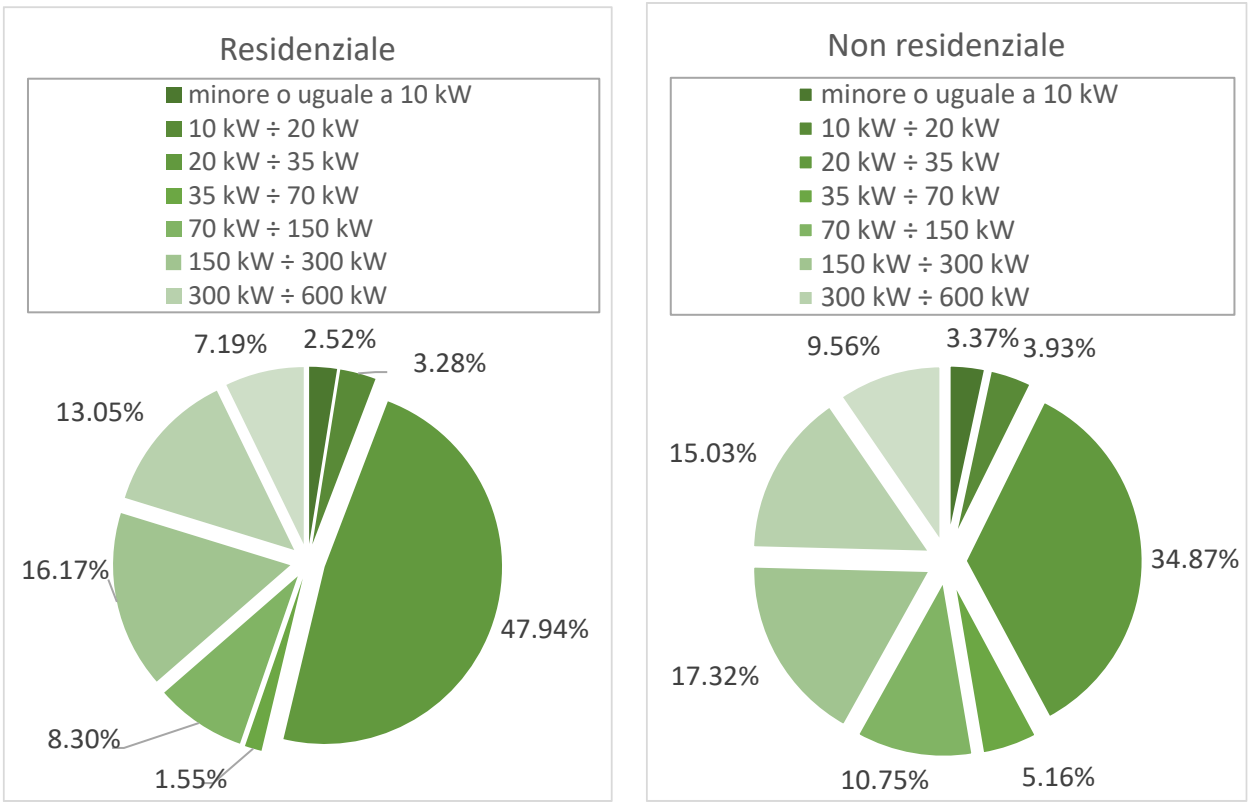


Figura 203. Distribuzione del campione per range di potenza nominale P_n per i settori residenziale e non residenziale.

2.6.3.2 Risultati

In base alle caratteristiche evidenziate nel precedente paragrafo, l'applicazione della MC_{APE-DE} è stata di seguito analizzata per specifiche casistiche, quali ad esempio immobili residenziali (E.1), che presentano caldaie standard o a condensazione per la fornitura della climatizzazione invernale con una potenza nominale compresa tra i 20 kW e i 35 kW e per località caratterizzate da 1415 Gradi Giorno.

I risultati sono mostrati in Figura 204 e Figura 205, la quale rappresenta l'andamento degli indicatori di energia primaria non rinnovabile per il servizio di riscaldamento EPH calcolati tramite l'APE (EPHnren-APE) e con la metodologia MCAPE-DE, considerando un profilo di utilizzo dell'impianto minimo ($EPH_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}min}$), medio ($EPH_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}med}$), massimo ($EPH_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}max}$) e di una sola ora ($EPH_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}1h}$). I risultati sono mostrati al variare del livello di isolamento considerati sia considerando una caldaia a condensazione che uno standard per il quale sono stati considerati solo i livelli Liv-Iso 0, Liv-Iso 1, Liv-Iso 2, in quanto per edifici di nuova costruzione si presume che presentino un generatore a condensazione come previsto da normativa.

Come da aspettativa, l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato con la MC_{APE-DE} tende a decrescere in base al numero di ore di utilizzo dell'impianto tendendo al valore APE solo per il profilo massimo ma solo per poche casistiche. I risultati, inoltre, confermano che l'APE tende a sovrastimare i consumi per il riscaldamento, soprattutto nel caso di immobili dove il livello di isolamento è elevato.

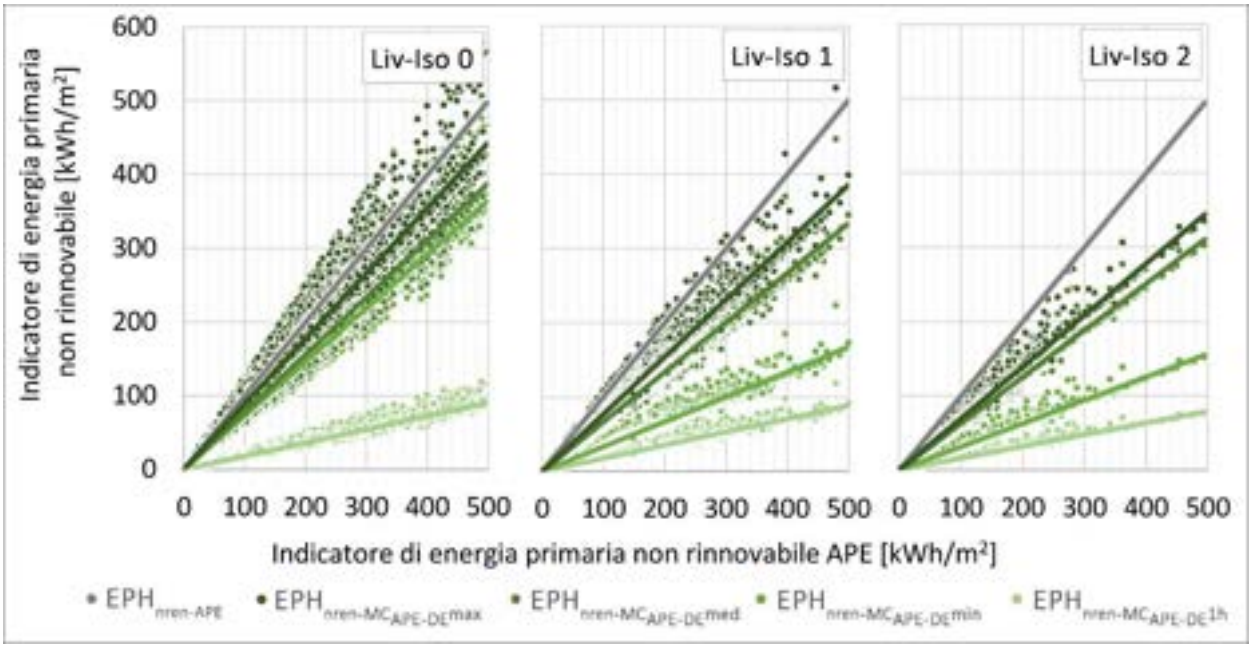


Figura 204. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($EPH_{nren\text{-}APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo di utilizzo dell'impianto minimo ($EPH_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}min}$), medio ($EPH_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}med}$), massimo ($EPH_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}max}$) e di una sola ora ($EPH_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}De}1h}$), variando il livello di isolamento Liv-Iso, in località con 1415 Gradi Giorno: caldaia standard con una potenza nominale tra i 20 kW e i 35 kW.

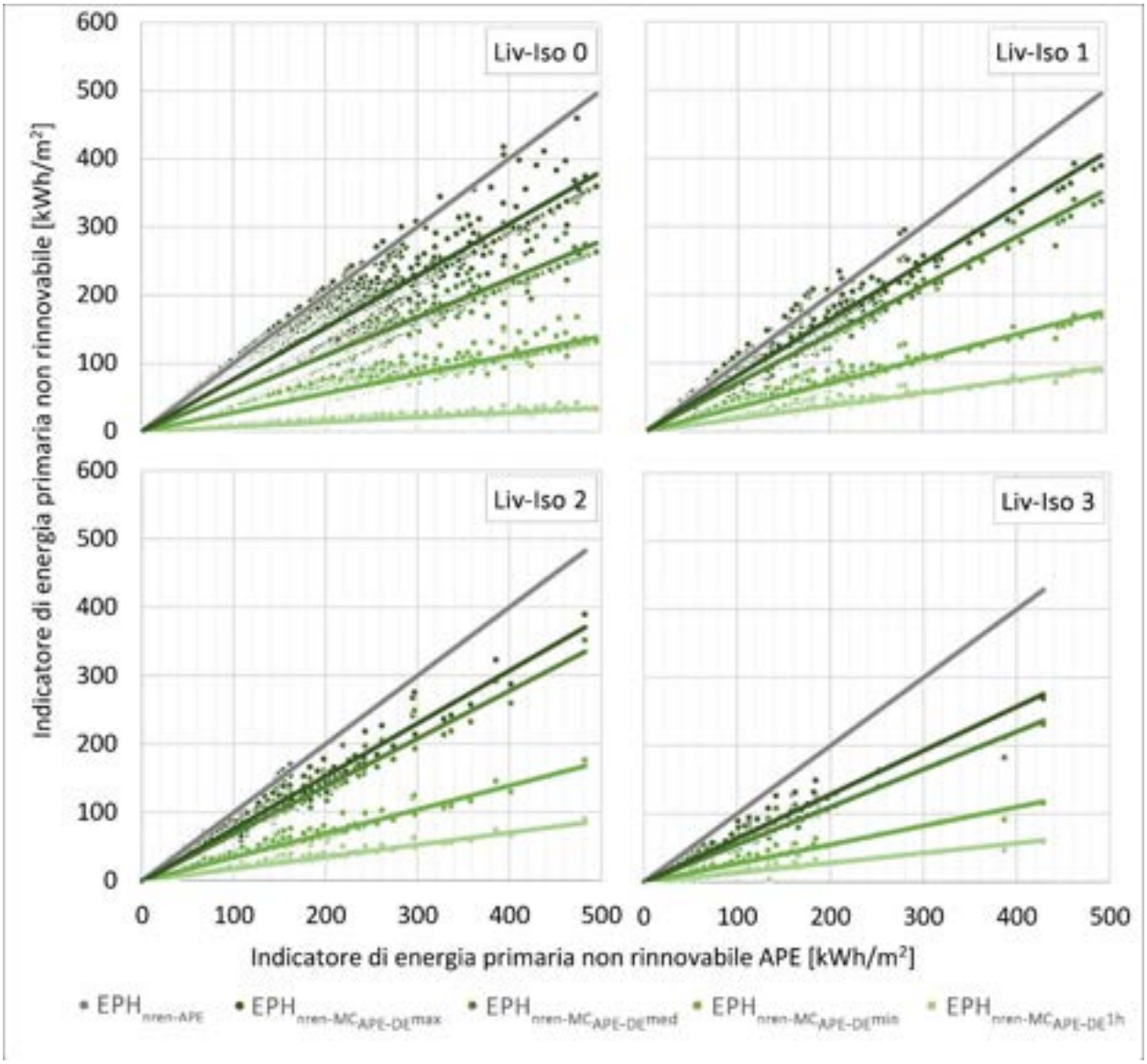


Figura 205. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($EPH_{nren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo di utilizzo dell'impianto minimo ($EPH_{nren\ -MC_{APE-DE}min}$), medio ($EPH_{nren--MC_{APE-DE}med}$), massimo ($EPH_{nren--MC_{APE-DE}max}$) e di una sola ora ($EPH_{nren--MC_{APE-De}1h}$), variando il livello di isolamento Liv-Iso, in località con 1415 Gradi Giorno: caldaia a condensazione con una potenza nominale tra i 20 kW e i 35 kW.

2.6.4 Raffrescamento

2.6.4.1 Caratteristiche del campione analizzato

Il campione di APE cui è stata applicata la MC_{APE-DE} è composto da 94,541 attestati la cui distribuzione per classe energetica vede un picco nella classe energetica E (26%), seguita dalla D (25%) e dalla F (20%); la classe energetica G rappresenta meno del 9% del campione Figura 206. A differenza dei precedenti servizi, quello di climatizzazione estiva è invece utilizzato in immobili le cui prestazioni energetiche sono più efficienti.

Il campione dati è stato ulteriormente valutato in base ad altri parametri, al fine di evidenziare le caratteristiche più spesso ricorrenti. L'analisi per i Gradi Giorno ha mostrato come più della metà del campione analizzato ricada nei Gradi Giorno 2404 (60%) seguiti dai 1415 con una percentuale significativamente più bassa (24%); i precedenti gradi giorno ricadono principalmente in corrispondenza dei comuni di Milano e Roma, rispettivamente (Figura 207).

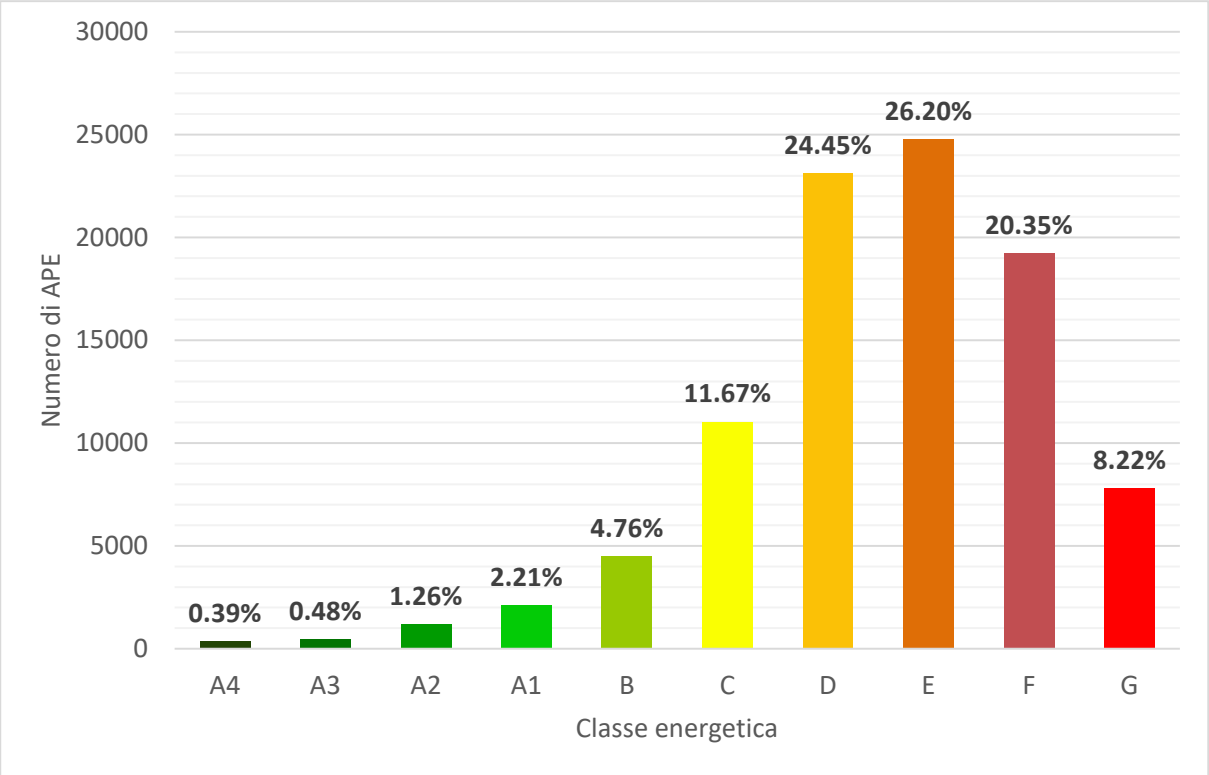


Figura 206. Distribuzione del campione per classe energetica.

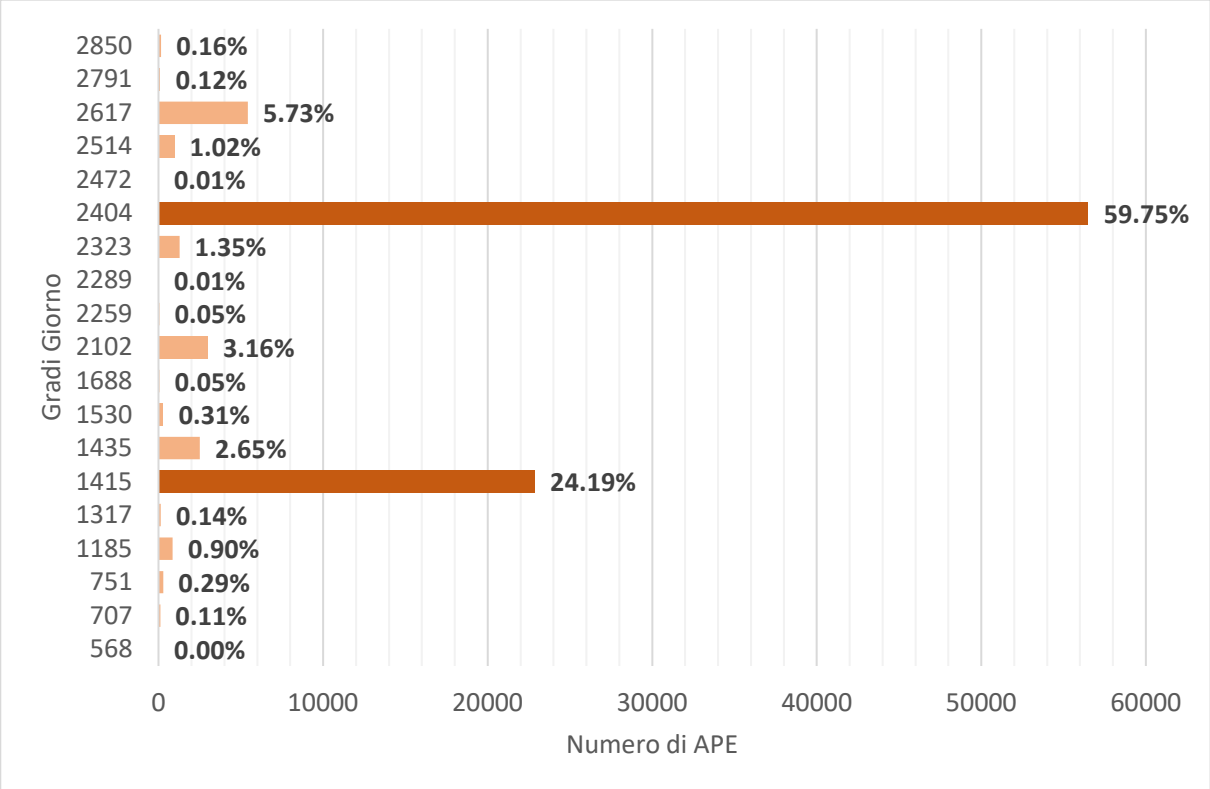


Figura 207. Distribuzione del campione per i Gradi Giorno selezionati (in verde scuro le casistiche con maggiori occorrenze).

L'analisi dei dati è proseguita considerando anche altri parametri rilevanti (Tabella 465), quali la destinazione d'uso da D.P.R. 412/1993 [10], l'anno di costruzione e il relativo livello di isolamento Liv-Iso; la tipologia

impiantistica corrisponde sempre con una macchina frigorifera. Le analisi hanno evidenziato un calo di casi afferenti al settore residenziale (meno dell'80%) con una forte crescita della percentuale degli APE nelle classificazioni E.2 (uffici) ed E.5 (commercio). Questi risultati si riflettono anche sull'età degli immobili censiti, con una percentuale di quelli meno recenti (meno dell'80%), indice del fatto che questo tipo di impianto è installato in edifici più nuovi e, conseguentemente alle normative sull'efficienza energetica, più efficienti.
L'ultima indagine è stata incentrata sulla potenza nominale P_n, parametro importante nel calcolo del consumo per il raffrescamento nella metodologia asset. I risultati di tale analisi sono riportati in Figura 208 e mostrano che la maggioranza degli impianti per il riscaldamento installati nel settore residenziale ha una potenza nominale P_n inferiore ai 5 kW (oltre il 70%), seguiti da quelli nel range 5-10 kW (22%); il settore non residenziale, invece, vede i casi maggiormente distribuiti, con quasi il 40% delle pompe di calore installate con una potenza nominale oltre i 20 kW (quasi il 40%) seguite da circa il 33% inferiore ai 5 kW.

Tabella 465. Distribuzione del campione secondo la classificazione delle destinazioni d'uso (D.P.R. 412/1993 [10]), l'anno di costruzione e il conseguente livello di isolamento (Liv-Iso) e la tipologia impiantistica.

Destinazione d'uso da classificazione da DPR 412/1993	*E.1*	*E.1(1)bis*	*E.1(3)*	*E.2*	*E.3*	*E.4*	*E.5*	*E.6*	*E.7*	*E.8*
	77.92%	0.02%	0.25%	9.03%	0.13%	1.09%	8.76%	0.11%	0.09	2.60%
Anno di costruzione e livello di isolamento	*Prima del 1990 (Liv-Iso 0)*		*Tra il 1990 e il 2005 (Liv-Iso 1)*			*Tra il 2005 e il 2015 (Liv-Iso 2)*			*Dopo il 2015 (Liv-Iso 3)*	
	81.74%		10.30%			6.22%			1.73%	

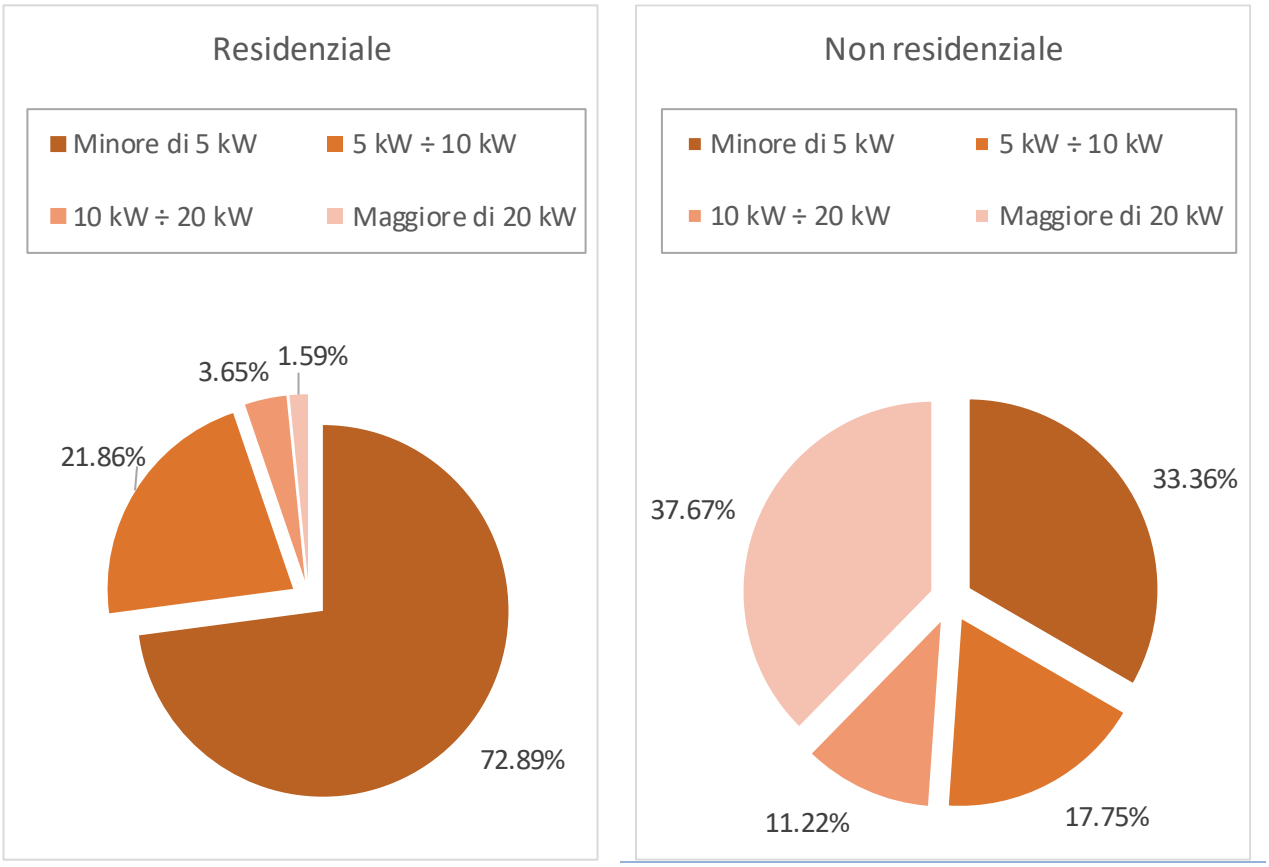


Figura 208. Distribuzione del campione per range di potenza nominale P_n per i settori residenziale e non residenziale.

2.6.4.2 Risultati

In base alle caratteristiche evidenziate nel precedente paragrafo, di seguito è mostrato un esempio applicativo della $MC_{APE\text{-}DE}$ per le seguenti casistiche: immobili residenziali (E.1), con impianto di potenza nominale minore o uguale a 5 kW.

I risultati sono mostrati in Figura 209, la quale rappresenta l'andamento degli indicatori di energia primaria non rinnovabile per il servizio di raffrescamento EPC calcolati tramite l'APE ($EPC_{nren\text{-}APE}$) e con la $MC_{APE\text{-}DE}$, considerando un profilo di utilizzo dell'impianto minimo ($EPC_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}min}$), medio ($EPC_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}med}$), massimo ($EPC_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}max}$) e di una sola ora ($EPC_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}1h}$) al variare dei livelli di isolamento (Liv-Iso 0, Liv-Iso 1, Liv-Iso 2, Liv-Iso 3) e per le località caratterizzate da 2404 Gradi Giorno.
A differenza dei precedenti servizi, dove l'indicatore dell'APE tendeva generalmente a sottostimare (produzione di acqua calda sanitaria) o a sovrastimare (riscaldamento) i consumi, per il raffrescamento i risultati sono molto più variabili in funzione del livello di isolamento adottato. Infatti, per immobili con Liv-Iso 0, ovvero quelli meno recenti, l'indicatore $EPC_{nren\text{-}APE}$ si colloca tra i profili medio ($EPC_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}med}$) e minimo ($EPC_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}min}$) restituiti dalla metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$. Questa tendenza cambia al miglioramento del livello di isolamento, dove la linea di tendenza calcolata sui valori dell'$EPC_{nren\text{-}APE}$ tende a sovrapporsi a quella ricavata dalla $MC_{APE\text{-}DE}$ con profilo massimo ($EPC_{nren\text{-}MC_{APE\text{-}DE}max}$) per il Liv-Iso 1, fino a superarla per i casi con Liv-Iso 2. Questo risultato conferma quanto emerso nell'analisi puntuale dei precedenti casi studio, ossia da una parte l'importante criticità del calcolo asset ma anche dell'approccio medio mensile, di approssimare il reale comportamento del sistema edificio-impianto nel periodo estivo, dall'altra la possibilità di correggere, almeno in parte, questo trend attraverso l'uso della nuova metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ che permette di ottenere dei risultati potenzialmente più in linea con i reali consumi energetici.
Si precisa, inoltre, che la configurazione che prevede un Liv-Iso 3, 2404 Gradi Giorno, una potenza nominale della pompa di calore ≤ 5 kW e una destinazione d'uso residenziale è rappresentata da un numero di casi molto esiguo, per cui le osservazioni derivanti potrebbero variare al variare del campione esaminato. Questo potrebbe essere anche uno dei motivi per i quali gli indicatori risultanti dall'APE e dalla $MC_{APE\text{-}DE}$ hanno valori piuttosto ridotti; queste considerazioni nonché analisi potranno essere ulteriormente riviste quando sarà possibile condurre analisi più approfondite e nello specifico quando sarà disponibile uno storico più cospicuo all'interno del SIAPE.

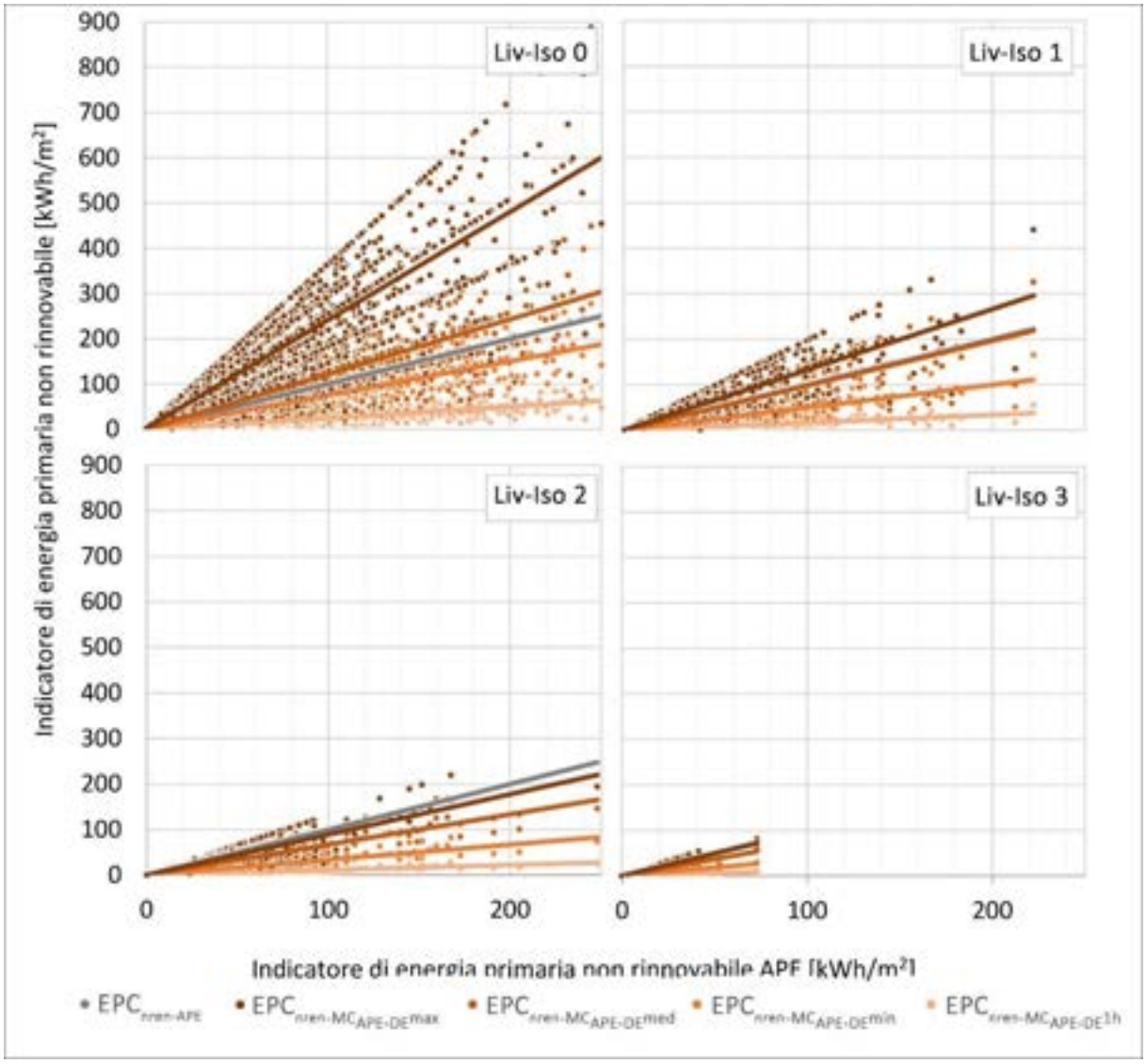


Figura 209. Confronto tra l'indicatore di energia primaria non rinnovabile calcolato tramite APE ($EPC_{nren-APE}$) e a seguito dell'applicazione della MC_{APE-DE}, considerando un profilo di utilizzo dell'impianto minimo ($EPC_{nren\ -MC_{APE-DE}min}$), medio ($EPC_{nren--MC_{APE-DE}med}$), massimo ($EPC_{nren--MC_{APE-DE}max}$) e di una sola ora ($EPC_{nren--MC_{APE-De}^{1h}}$), variando il livello di isolamento Liv-Iso, in località con 2404 Gradi Giorno: pompa di calore con potenza inferiore o uguale a 5 kW.

2.7 Implementazione del tool MC_{APE-DE}

I risultati fin qui esposti hanno evidenziato le potenzialità della procedura di correlazione sviluppata in questo triennio di ricerca; in particolare, il confronto su reali casi studio ha permesso di evidenziarne non solo i punti di forza ma anche criticità nella applicazione al variare della precisione con i quali vengono definiti i diversi parametri di input.

In conclusione dell'attività svolta, è stato quindi sviluppato un tool di semplice utilizzo che permetta un più facile utilizzo della stessa metodologia anche da parte di non esperti del settore; in particolare, è stato sviluppato un primo tool esemplificativo eseguibile su pc al solo scopo illustrativo per evidenziare la facilità di applicazione della procedura MC_{APE-DE}. Si precisa che il presente tool è solo di carattere illustrativo e che in considerazione di come è stato sviluppato potrebbe essere reso fruibile anche tramite piattaforme web per facilitarne la diffusione.

Un esempio di interfaccia grafica dell'Application Tool MC_{APE-DE} è mostrata in Figura 210 in cui si è ipotizzata una suddivisione della schermata principale nelle seguenti tabelle (alcune di input e altre di output):

1. Tabella Dati Generali: la prima tabella richiede dati di input di carattere generale inseribili attraverso dei menù a tendina (per la categoria d'uso dell'immobile, il comune di appartenenza, l'anno di costruzione e il numero di fruitori), dei campi editabili (per la superficie utile e i giorni di utilizzo dell'immobile) o mediante campi da selezionare (temperatura dell'aria esterna). Se si selezionasse il campo "*UNI*", la procedura MC_{APE-DE} restituirebbe dei risultati calcolati a partire dai dati climatici di normativa [3], in caso di selezione del campo "*dati reali*", invece, si aprirebbe una finestra di dialogo aggiuntiva in cui sarebbe necessario inserire i valori medio mensili della temperatura dell'aria esterna della località in esame. In questa circostanza, la procedura MC_{APE-DE} restituirebbe dei risultati calcolati a partire dai dati climatici reali inseriti dall'utente;
2. Tabella Acqua Calda Sanitaria: ai fini dell'applicazione della procedura per il servizio di acqua calda sanitaria, è sufficiente selezionare dal menù a tendina la tipologia di generatore di calore impiegato per tale servizio (boiler, generatore standard, generatore a condensazione o scaldacqua a pompa di calore) e l'approccio di calcolo che si desidera utilizzare per la definizione del volume di acqua calda per usi sanitari. In questo esempio, nell'ipotesi di utilizzare il tool anche in assenza di una diagnosi energetica, sono state impostate solo due metodologie di calcolo: la prima derivante dal calcolo standard (indicato con "APE"), mentre la seconda è basata sia su volumi di acqua di tipo convenzionale che sul numero di fruitori. Nel caso si scegliesse il calcolo standard (APE), non sarebbe necessario fornire ulteriori informazioni in quanto il volume di acqua calda sanitario sarebbe determinato sulla base della superficie utile dell'immobile. In caso di calcolo "convenzionale", invece, si aprirebbe una nuova finestra di dialogo (Figura 211) in cui l'utente dovrebbe indicare la percentuale media di utilizzo delle apparecchiature sanitarie indicate;
3. Tabella Riscaldamento: ai fini dell'applicazione della procedura per il servizio di riscaldamento, l'utente deve semplicemente selezionare dal menù a tendina la tipologia di generatore di calore impiegato per tale sevizio. In funzione della tipologia selezionata (generatore standard, a condensazione o a pompa di calore), si aprirà una nuova finestra di dialogo (Figura 212) in cui l'utente deve inserire la tipologia dei terminali di emissione, le caratteristiche nominali del generatore di calore (potenza e rendimento, nel caso di generatori tradizionali, o COP, nel caso di pompa di calore), la temperatura di set-point all'interno dell'ambiente e le ore medie giornaliere di accensione dell'impianto. Inoltre, solo per il riscaldamento è data la possibilità di definire un secondo generatore di calore ad integrazione totale o parziale del primo. In questa eventualità, oltre alle caratteristiche appena descritte, è richiesto all'utente di indicare una percentuale di utilizzo del generatore di calore n.2 con lo scopo di effettuare una ripartizione degli indicatori energetici tra i due generatori di calore;
4. Tabella Raffrescamento: ai fini dell'applicazione della procedura per il servizio di raffrescamento, l'utente deve semplicemente indicare la presenza o meno di questo servizio energetico. In caso affermativo si aprirà una nuova finestra di dialogo (Figura 213) in cui l'utente dovrà inserire le caratteristiche nominali della macchina frigorifera (potenza e EER), la temperatura di set-point all'interno degli ambienti e le ore medie giornaliere di accensione dell'impianto;

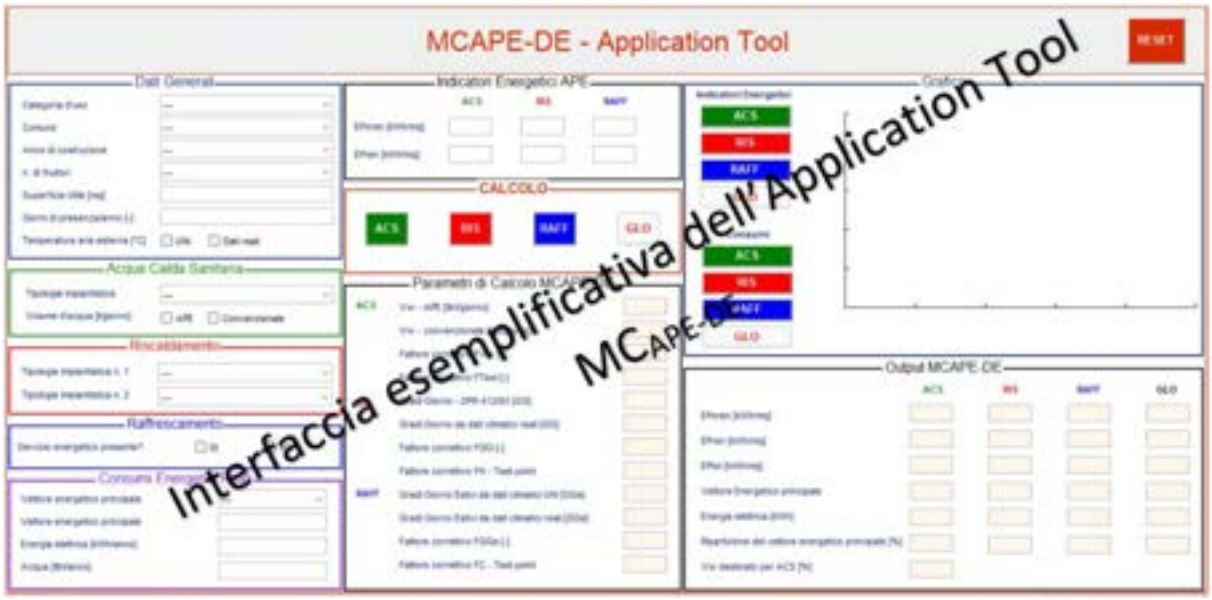


Figura 210. Interfaccia grafica del tool MCAPE-DE eseguibile su pc.

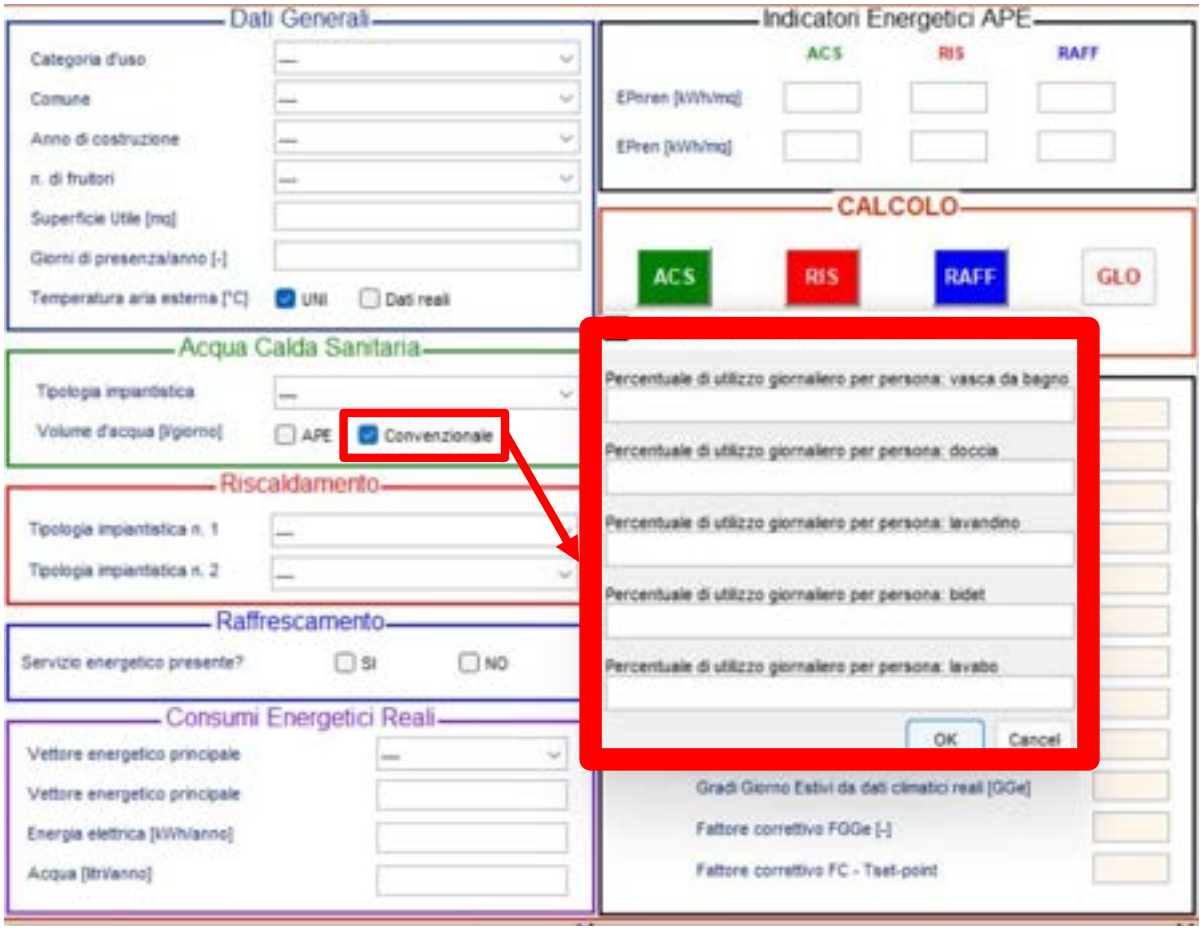


Figura 211. Tabella di input per il servizio di acqua calda sanitaria: definizione della percentuale di utilizzo delle apparecchiature sanitarie per la definizione del volume di acqua calda per usi sanitari.

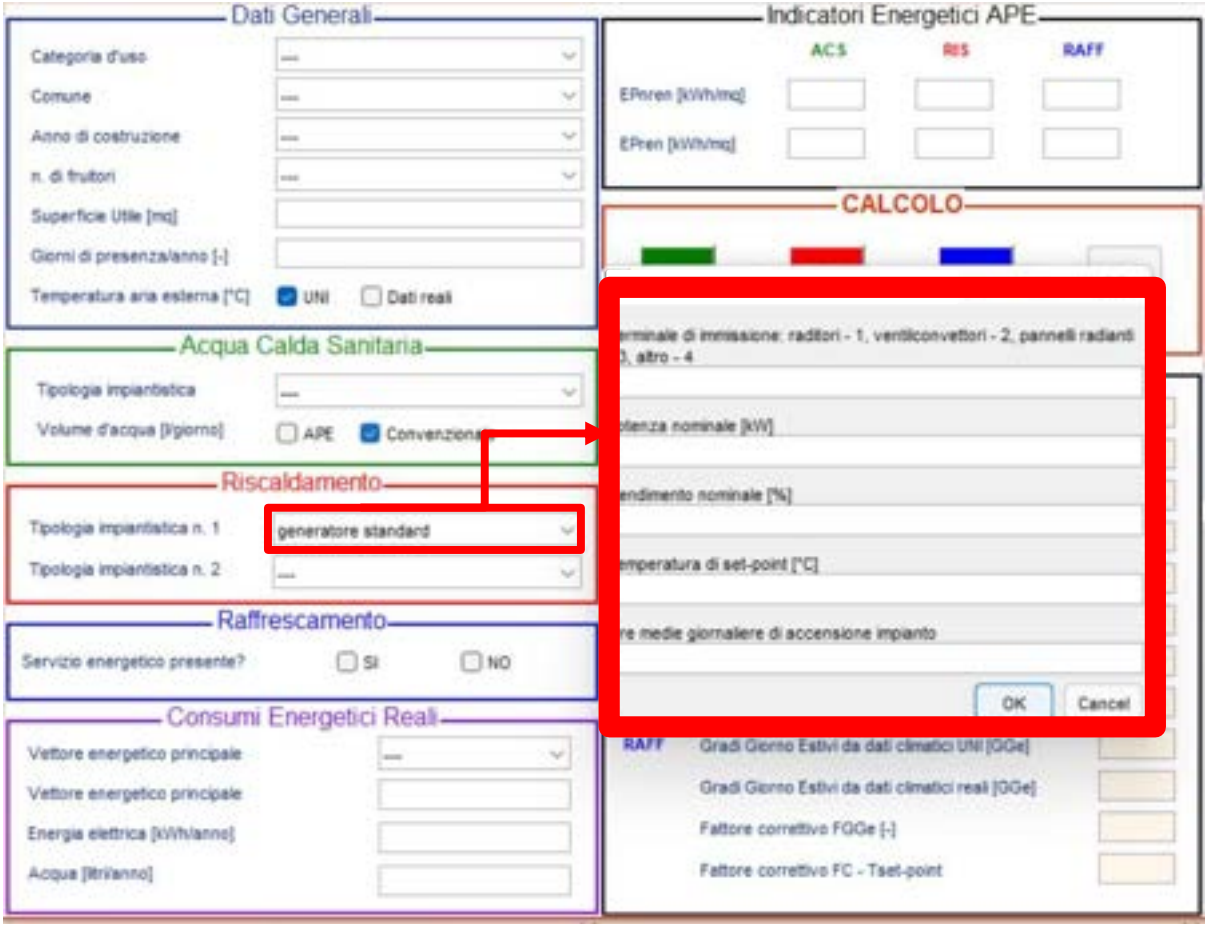


Figura 212. Tabella di input per il servizio di riscaldamento: definizione dei terminali di emissione, delle caratteristiche del generatore di calore, della temperatura di set-point e delle ore di accensione medie giornaliere dell'impianto.

5. Tabella Consumi Energetici: una volta definite le caratteristiche dei sistemi impiantistici presenti, l'utente deve indicare attraverso il menù a tendina, il vettore energetico principale. Questo, infatti, risulta essere indispensabile per l'applicazione della metodologia stessa. In aggiunta, può decidere se inserire anche i consumi energetici reali riportando i valori annuali di bolletta di ciascun servizio energetico (vettore principale, energia elettrica e acqua) nei rispettivi campi editabili. In particolare, per una corretta analisi energetica, si raccomanda di inserire il consumo del principale vettore energetico (ad esempio metano) nell'unità di misura che appare nell'interfaccia grafica solo a seguito della selezione del vettore principale stesso (Figura 214);
6. Tabella Indicatori Energetici APE: infine, è richiesto l'inserimento degli indicatori EPnren e EPren per i tre servizi energetici investigabili con la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ riportati a pagina 3 dell'Attestato di Prestazione Energetica all'interno della tabella "dati di dettaglio degli impianti".

Una volta inseriti i parametri di input, l'utente può decidere la tipologia di analisi da effettuare, cioè decidere se analizzare un unico servizio energetico (cliccando semplicemente su ACS per la produzione di acqua calda sanitaria, RIS per il riscaldamento o RAFF per il raffrescamento) o se effettuare un'analisi globale (cliccando su GLO); nel primo caso il tool riporterà i risultati relativi al solo servizio energetico analizzato, nel secondo, invece, si effettuerà un calcolo completo.
Tutti i parametri di calcolo utili per l'applicazione della metodologia stessa saranno riportati all'interno della tabella "Parametri di Calcolo $MC_{APE\text{-}DE}$", al contrario i risultati di calcolo saranno disponibili in formato numerico all'interno della tabella "Output $MC_{APE\text{-}DE}$" e per via grafica nella parte alta del tool all'interno della zona "Grafico".

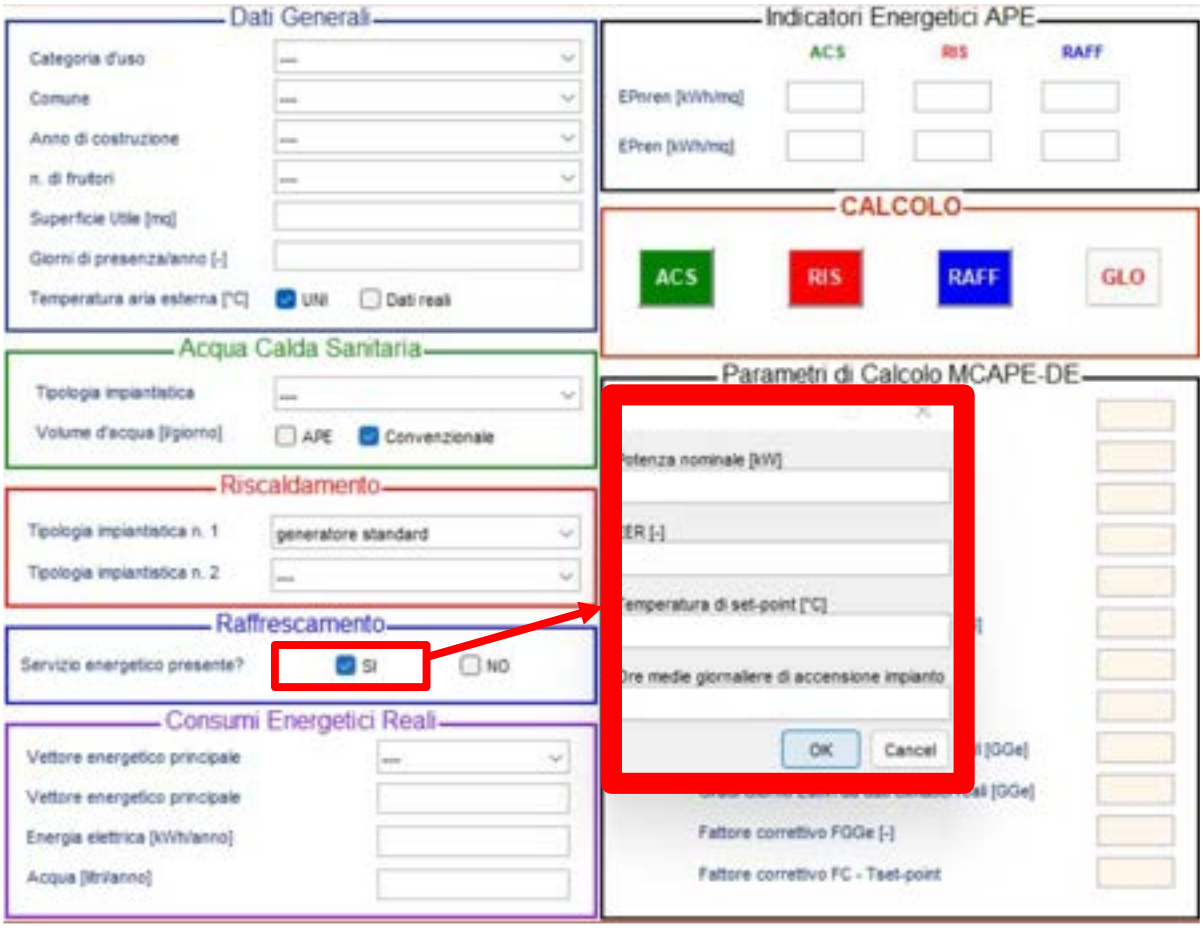


Figura 213. Tabella di input per il servizio di raffrescamento: definizione delle caratteristiche della macchina frigorifera, della temperatura di set-point e delle ore di accensione medie giornaliere dell'impianto.

Nel caso di inserimento anche dei consumi di bolletta, il tool riporterà anche un ulteriore analisi sempre nella tabella "Output MC_{APE-DE}" relativa ad una teorica ripartizione del principale vettore energetico; questa rappresenta un primo inventario energetico esemplificativo che prende in esame i consumi stimati dalla metodologia per i tre servizi esaminati.

Con l'obiettivo di evidenziare la facilità di utilizzo ma anche le potenziali del tool sviluppato, l'applicativo è stato impiegato per l'analisi del primo caso studio esaminato in questo lavoro (E.1-1) ipotizzando però di non disporre di tutte le informazioni raccolte in fase di diagnosi. In particolare, il tool è stato applicato nell'ipotesi di accendere l'impianto di riscaldamento in media un'ora al giorno, valore che, come descritto in precedenza, è vicino al reale valore identificato in fase di diagnosi. I risultati sono riportati in Figura 215 e in Figura 216 rispettivamente per l'anno 2019 e 2020, dalla cui analisi si evince quanto segue:

1. Anno di analisi 2019: il consumo energetico restituito dalla procedura è sensibilmente inferiore rispetto quello dell'APE (EP_{gltot} pari a 17.79 kWh/m^2 contro i 182.7 kWh/m^2 dell'APE) individuando il servizio di riscaldamento come quello più energivoro (incidenza del quasi 94%). Inoltre, dall'analisi dei risultati si può evince che il valore di accensione dell'impianto ipotizzato è in realtà troppo elevato (come dimostrato in fase di diagnosi) in quanto il consumo totale ottenuto risulta maggiore di quello di bolletta (93.9 Nm^3 contro 87 Nm^3 di bolletta);
2. Anno di analisi 2020: il consumo energetico restituito dalla procedura si conferma sensibilmente inferiore rispetto quello dell'APE (EP_{gltot} pari a 23.70 kWh/m^2 contro i 182.7 kWh/m^2 dell'APE) individuando anche in questo anno di analisi il servizio di riscaldamento come quello più energivoro (incidenza del 57.7%). La metodologia restituisce un consumo complessivo di metano di circa 125.5 Nm^3 corrispondente a circa il 90% del consumo totale registrato. Questo risultato potrebbe indicare

che il rimanente consumo è destinato al solo uso cucina oppure che l'orario di accensione adottato potrebbe essere sottostimato (si ricorda infatti che l'orario medio giornaliero desunto in fase di diagnosi era di poco superiore all'ora di accensione).

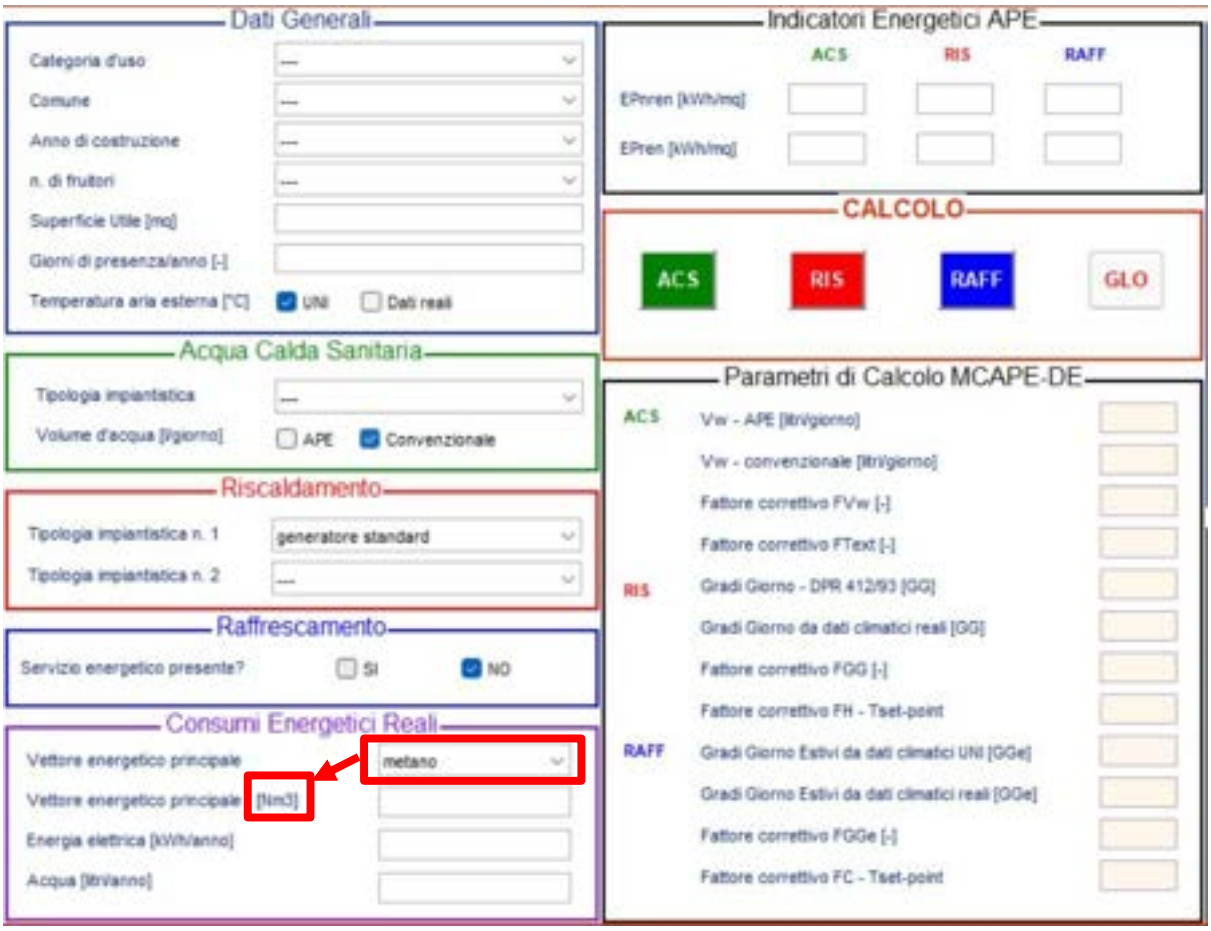


Figura 214. Tabella di input per i consumi energetici reali: definizione dei consumi annuali di bolletta per il principale vettore energetico, l'energia elettrica e l'acqua.

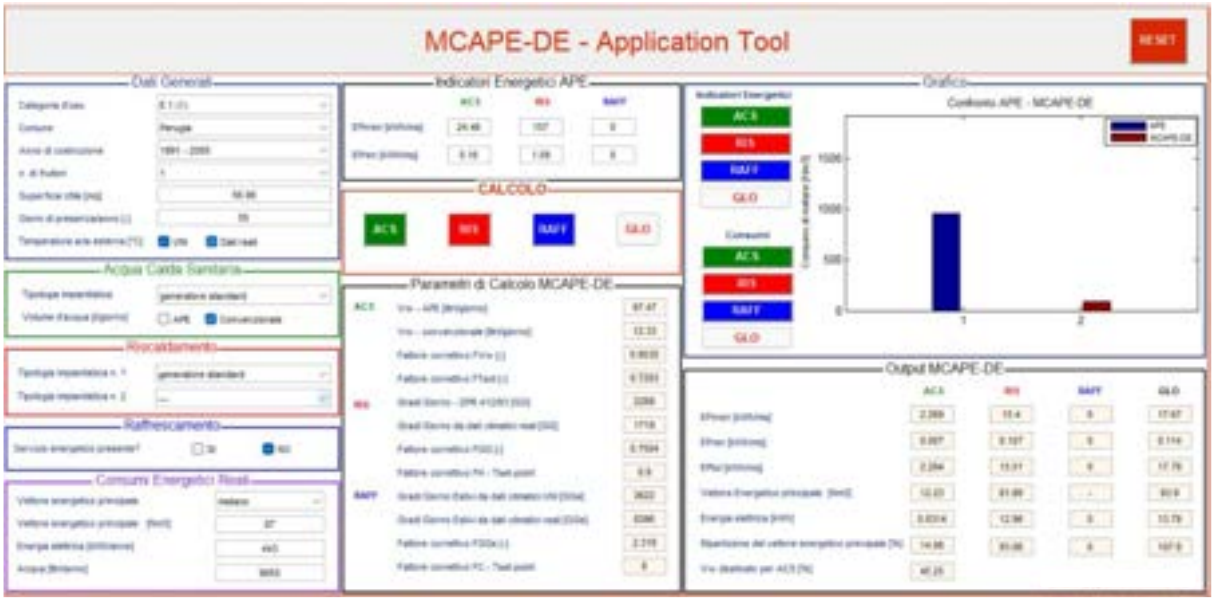


Figura 215. Applicazione del tool MC$_{APE-DE}$ al primo caso studio: anno di analisi 2019.

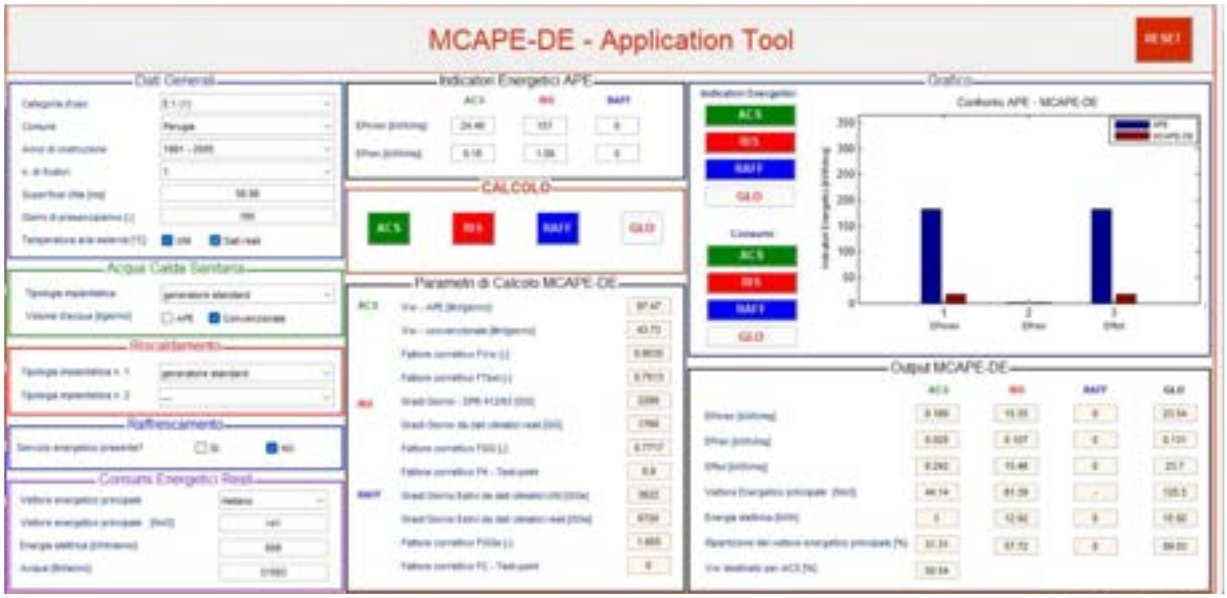


Figura 216. Applicazione del tool MC_{APE-DE} al primo caso studio: anno di analisi 2020.

In accordo con quanto descritto, si conferma quindi l'enorme semplicità di applicazione della metodologia attraverso il tool nonché la facile interpretazione dei risultati restituiti dalla procedura MC_{APE-DE} grazie alla visualizzazione degli indicatori sia in formato numerico che grafico.
L'applicativo descritto rappresenta solo una mera e potenziale applicazione della metodologia sviluppata; in ottica di maggiore fruibilità dello strumento si potrebbe ipotizzare di:

1. integrare lo strumento con ulteriori tabelle e risultati (quali ad esempio messaggi di testo con riportata una prima interpretazione dei risultati riportati);
2. aggiungere una tabella di output contenente i consumi associati al servizio di riscaldamento del principale vettore energetico e di energia elettrica al variare dell'orario di accensione dell'impianto;
3. integrare la metodologia MC_{APE-DE} all'interno del calcolo standard (APE) al fine di restituire un consumo energetico variabile sia con il numero dei fruitori (per l'acqua calda sanitaria) che del numero di ore di accensione dell'impianto (per i servizi di riscaldamento e di raffrescamento);
4. sviluppo e implementazione dell'applicativo su piattaforme web per renderlo maggiormente fruibile a tutti gli utenti.

2.8 Risultati

L'attività condotta nel presente lavoro ha riguardato lo studio critico dell'applicazione della metodologia sviluppata e denominata *M*etodologia di *C*orrelazione tra *A*ttestato di *P*restazione *E*nergetica e *D*iagnosi *E*nergetica (MC_{APE-DE}); a tal fine, il metodo sviluppato nel secondo anno di attività [1] è stato applicato e testato su numerosi casi studio di cui è stato possibile non solo conoscere in maniera dettagliata la caratterizzazione termofisica del sistema edificio-impianto ma anche ricostruire il reale profilo di utilizzo e occupazionale a partire dalle informazioni fornite dagli utenti mediante questionario.
Lo studio ha interessato anche l'analisi critica dell'affidabilità della metodologia MC_{APE-DE} al variare della qualità dei parametri di input (in termini di precisione dei dati) diversificati in funzione del servizio energetico considerato.
Per il servizio di acqua calda sanitaria, si è considerata la variazione dei seguenti parametri di input:

1. Dati climatici: in questo caso si è fatto riferimento sia a dati climatici forniti da normativa (UNI 10349 [3]) che a quelli realmente monitorati negli anni oggetto di indagine;
2. Volume di acqua calda sanitaria (V_{W-acs}): questo rappresenta il parametro di maggior rilievo ma è anche quello di più difficile valutazione. In questo caso, la variazione è stata ottenuta considerando diversi approcci metodologici:
    a. Standard (V_{W-APE}): il volume medio giornaliero per persona è stato determinato secondo l'approccio asset rating (APE), ossia in funzione della superficie utile dell'immobile, rapportandolo ai giorni effettivi di utilizzo dell'immobile;
    b. Diagnosi (V_{W-DE}): il volume medio giornaliero per persona è stato calcolato a seguito di una diagnosi energetica per ciascun anno di analisi in cui è stato effettuato un duplice controllo sul valore determinato in ogni mese dell'anno (in termini di consumo di acqua e vettore energetico);
    c. Convenzionale (V_{W-conv}): il volume medio giornaliero per persona è stato stimato assumendo delle percentuali di utilizzo e delle portate d'acqua calda di tipo convenzionale [12] per gli apparecchi sanitari installati all'interno dell'immobile esaminato;
    d. Semplificato ($V_{W-bol-50\%}$): il volume medio giornaliero per persona è stato arbitrariamente calcolato assumendo e partendo da un volume complessivo pari al 50% del consumo annuo di acqua risultante in bolletta.

Per la climatizzazione invernale, invece, la metodologia MC_{APE-DE} è stata applicata considerando la variazione dei seguenti parametri di input:

1. Dati climatici: sono state variate le condizioni climatiche esterne medie mensili facendo riferimento sia ai dati climatici forniti da normativa (UNI 10349 [3]) che a quelli realmente monitorati. Nel caso di utilizzo dei dati climatici di normativa, si è poi fatto uso del valore dei Gradi Giorno forniti dal D.P.R. n. 412/93 [10], mentre in caso contrario si è ricalcolato il corrispettivo valore partendo dalle temperature medio mensili monitorate nella località in esame;
2. Orario medio giornaliero di accensione dell'impianto: questo è uno dei parametri di input più variabili la cui stima è particolarmente articolata e non sempre possibile specialmente nel settore residenziale. In questo caso, quindi, si è deciso di condurre delle analisi variando l'orario medio di accensione da un minimo di 1 ora/giorno ad un massimo corrispondente al valore limite previsto da normativa in funzione della zona climatica.

La stessa variazione di input descritta per il servizio di riscaldamento è stata applicata anche al periodo estivo con le seguenti modifiche:

1. Dati climatici: a partire dalle condizioni climatiche esterne fornite da normativa e da quelle reali, sono stati calcolati degli equivalenti Gradi Giorno Estivi assumendo una temperatura interna di set-point di 26°C [1];
2. Orario medio giornaliero di accensione dell'impianto: non essendo previsto da normativa un orario di accensione massimo, si è fatto riferimento agli stessi profili definiti nel precedente report [1] al variare della zona climatica.

A valle delle prime valutazioni energetiche secondo l'approccio APE, DE e MC_{APE-DE}, è stato effettuato un primo confronto tra queste tre metodologie finalizzato ad individuare eventuali criticità; questa analisi preliminare ha permesso di evidenziare la necessità di introdurre alcuni coefficienti correttivi da applicare alle equazioni della procedura MC_{APE-DE} in considerazione anche delle assunzioni fatte per la loro definizione [1]. In particolare, sono stati introdotti due coefficienti correttivi per ciascun servizio energetico esaminato:

1. produzione di acqua calda sanitaria: il primo parametro correttivo è stato associato alla differenza percentuale tra la temperatura media annuale dei dati di normativa e il corrispettivo valore desunto dai reali dati climatici. Il secondo, invece, è stato associato alla differenza percentuale tra due volumi di acqua calda per usi sanitari stimati mediante l'approccio standard e convenzionale (approcci scelti nell'eventualità in cui non fosse disponibile una diagnosi energetica);
2. riscaldamento: il primo parametro correttivo è stato associato alla differenza percentuale tra il valore dei Gradi Giorno del D.P.R. n. 412/93 [10] e il corrispettivo valore ricalcolato dai dati climatici reali, il secondo, invece, è stato associato alla differenza percentuale tra la temperatura di set-point prevista da normativa e da quella realmente impostata all'interno dei locali;
3. raffrescamento: il primo parametro correttivo è stato associato alla differenza percentuale tra il valore dei Gradi Giorno Estivi calcolati a partire dai dati di normativa (UNI 10349 [3]) e il corrispettivo valore ricalcolato dai dati climatici reali, il secondo, invece, è stato associato alla differenza percentuale tra la temperatura di set-point realmente impostata all'interno dei locali e quella prevista da normativa.

I confronti condotti per ciascun servizio energetico hanno permesso di delineare i punti di forza e le criticità della metodologia MC_{APE-DE} al variare dell'approccio metodologico o degli input adottati.
In merito al servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria i consumi maggiori sono stati riscontrati per la categoria E.1, come era anche lecito attendersi, mostrando una importante differenza di precisione della metodologia MC_{APE-DE} a seconda della metodologia adottata per la stima del volume di acqua calda per usi sanitari (Tabella 466). In particolare, il confronto ha permesso di evincere come tra la DE e l'approccio APE vi sia sempre una significativa divergenza evidenziando una grande criticità del calcolo "*asset rating*" nella stima dell'effettivo fabbisogno di questo servizio energetico. Al contrario, la metodologia MC_{APE-DE} riesce a restituire un risultato più aderente con quello DE indicando la metodologia Diagnosi come l'approccio migliore per la stima del volume di acqua calda sanitaria (V_{W-acs}). In caso di assenza di una diagnosi energetica, inoltre, i risultati indicano l'approccio "convenzionale" e "semplificato" come valide alternative per la stima di V_{W-acs} mentre la stima che si basa sul calcolo standard (V_{W-APE}), sebbene sia più accurato dell'APE stessa, tende a restituire dei valori comunque sovrastimati.
Lo stesso risultato risulta ben visibile in Figura 217 in cui il valore di $V_{W-acs,}$ stimato con i diversi approcci di calcolo, è messo a confronto con quello assunto come "vero", ossia la DE, il cui valore è riportato nelle ascisse. Nel grafico, inoltre, è stata evidenziata una zona blu rappresentante uno scostamento del ±20% dal valore di DE. Il confronto evidenzia come il metodo convenzionale (linea di tendenza in verse) e il metodo semplificato (linea in giallo) riescano ad approssimare con un minore margine di errore il risultato della DE con divergenze che variano con l'entità del volume stesso. In particolare, sembrerebbe che per valori inferiori a 120 l/giorno o maggiori di 180 l/giorno, il calcolo convenzionale è quello che permetta una migliore approssimazione con la DE, per valori intermedi, invece, sembrerebbe più accurato l'approccio semplificato. Gli altri metodi di calcolo, invece, non sembrano restituire valori attendibili sebbene siano quelli che richiedono una minor conoscenza del profilo occupazionale degli immobili.
Analogo risultato si riscontra anche confrontando il V_{W-acs} rispetto il principale parametro adoperato nella valutazione standard (ossia la superficie utile - Figura 218); anche in questo caso, infatti, si riscontra una migliore attendibilità dell'approccio convenzionale per superfici utili fino a circa 90 m^2, mentre per aree superiori potrebbe essere raccomandabile adoperare il calcolo semplificato sebbene la differenza tra i due potrebbe essere molto piccola.

Tabella 466. Servizio di produzione di acqua calda sanitaria: confronto tra volumi di acqua calda per usi sanitari stimati con calcolo APE, standard ($V_{W\text{-}APE}$), convenzionale ($V_{W\text{-}conv}$), semplificato ($V_{W\text{-}bol\text{-}50\%}$) e Diagnosi Energetica ($V_{W\text{-}DE}$).

caso studio n.	*anno di analisi*	*Volume di acqua calda [l/(giorno·persona)]*					*variazione percentuale rispetto DE [%]*			
		APE	*$V_{W\text{-}APE}$*	*$V_{W\text{-}conv}$*	*$V_{W\text{-}bol\text{-}50\%}$*	*$V_{W\text{-}DE}$*	*APE*	*$V_{W\text{-}APE}$*	*$V_{W\text{-}conv}$*	*$V_{W\text{-}bol\text{-}50\%}$*
1	2019	97.5	14.7	15.4	13.6	13.7	-612.0	-7.3	-12.3	0.4
1	2020	97.5	51.9	54.3	43.1	30.8	-216.8	-68.8	-76.6	-40.2
2	2019	157.6	147.7	105.9	68.3	66.5	-136.9	-121.9	-59.1	-2.6
2	2020	157.6	146.8	105.3	68.4	64.7	-143.5	-126.9	-62.7	-5.7
3	2019	135.8	133.6	85.6	61.5	52.8	-157.1	-152.9	-62.0	-16.4
3	2020	97.5	51.9	54.3	43.1	30.8	-216.8	-68.8	-76.6	-40.2
4	2019	118.6	111.5	94.2	96.2	74.2	-59.9	-50.3	-27.0	-29.7
4	2020	118.6	115.1	97.2	76.4	77.1	-53.8	-49.2	-26.1	0.9
5	2019	192.3	182.3	120.4	88.4	80.3	-139.4	-126.9	-49.8	-10.0
5	2020	192.3	192.3	127.0	84.9	80.2	-139.8	-139.8	-58.3	-5.8
6	2019	119.7	117.4	57.1	50.7	39.6	-202.5	-196.7	-44.3	-28.1
6	2020	119.7	105.0	53.9	0.0	40.1	-198.8	-162.0	-34.4	100.0
7	2019	148.4	130.9	34.4	157.5	32.7	-353.2	-299.8	-5.1	-381.3
7	2020	148.4	135.8	31.1	129.8	31.1	-376.7	-336.3	0.0	-317.0
8	2020	134.7	134.7	102.0	79.8	70.5	-91.2	-91.2	-44.7	-13.2
9	2020	134.3	134.3	78.7	53.2	72.5	-85.2	-85.2	-8.5	26.6
10	2020	149.0	140.1	81.8	71.2	81.9	-82.1	-71.1	0.1	13.0
11	2020	149.0	138.4	97.1	108.9	97.2	-53.3	-42.4	0.1	-12.1

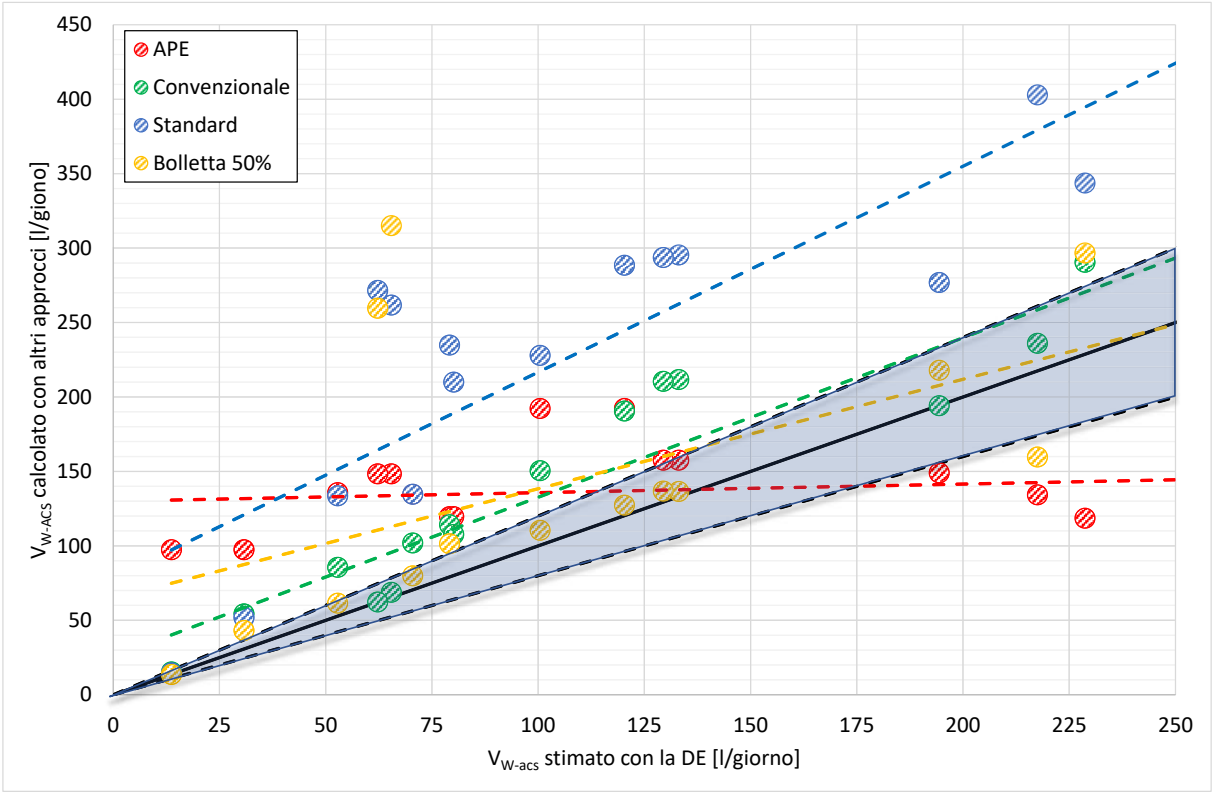


Figura 217. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto del volume $V_{W\text{-}acs}$ stimato con la diagnosi energetica (DE), il calcolo APE, l'approccio standard ($V_{W\text{-}APE}$), quello convenzionale ($V_{W\text{-}conv}$) e il metodo semplificato ($V_{W\text{-}bol\text{-}50\%}$).

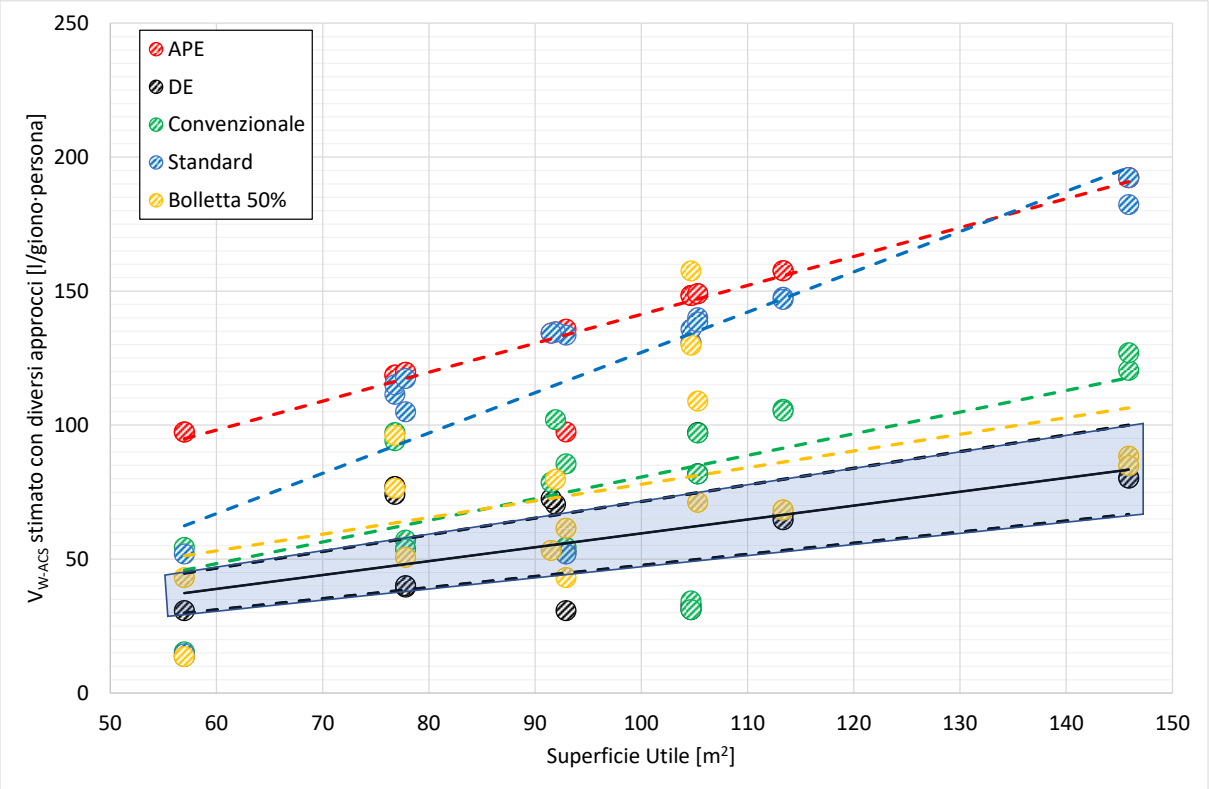


Figura 218. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto del volume $V_{W\text{-}acs}$ stimato con le diverse metodologie di calcolo in funzione della superficie utile dei casi studio.

L'attendibilità della metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ varia quindi significativamente con l'approccio impiegato per il calcolo di $V_{W\text{-}acs}$; in termini di fabbisogno energetico (Figura 219) nel caso si disponesse di una DE, il risultato restituito dalla metodologia (linea gialla) ricade perfettamente all'interno del range ±20% (triangolo evidenziato in blu) e tendente alla perfetta correlazione (linea nera – risultati della DE). L'utilizzo degli altri approcci, invece, tende a restituire fabbisogni molto variabili; in particolare, sembrerebbe raccomandabile adottare il metodo convenzionale o quello semplificato, sebbene quest'ultimo risulti non sempre applicabile. In accordo con i risultati conseguiti per il servizio di acqua calda sanitaria, quindi, la procedura ha restituito dei risultati variabili ma attendibili quando si fornisce un $V_{W\text{-}acs}$ stimato o a partire da una DE o applicando un approccio convenzionale o semplificato. L'utilizzo dell'approccio standard invece, tende a restituire un valore sovrastimato sebbene questo risulta essere l'unico metodo applicabile quando non si dispongono informazioni riguardo i reali consumi di acqua o sul numero di fruitori.

Il secondo servizio esaminato è stato quello del riscaldamento; anche in questo caso il confronto ha confermato l'attendibilità della procedura $MC_{APE\text{-}DE}$ sia se si considerano i dati climatici di normativa sia se si considerano i dati climatici reali. In quest'ultimo caso, però, si raccomanda l'impiego dei due fattori correttivi che permettono una migliore convergenza con la DE.

Entrando più nel dettaglio, il confronto dell'indicatore energetico non rinnovabile (Figura 220) conferma come la metodologia $MC_{APE\text{-}DE}$ permetta sempre una netta e chiara approssimazione dei risultati della DE con discrepanza percentuali che rientrano all'interno del ±20% (zona evidenziata in blu). L'impiago di dati climatici di normativa ($MC_{APE\text{-}DE}$ - dati UNI) restituirebbe un errore mediamente maggiore rispetto la corrispondete casistica con i dati climatici reali ($MC_{APE\text{-}DE}$ - dati reali) ma permetterebbe una maggiore fruibilità della metodologia stessa non richiedendo alcun dato aggiuntivo.

In termini di consumo del principale vettore energetico riscontrato nei casi studio esaminati (metano) per unità di volume riscaldato, il confronto conferma una migliore convergenza con i risultati della DE applicando i dati climatici reali (Figura 221), specialmente per quelle località caratterizzate da bassi valori dei Gradi Giorno. Al contrario, nei climi più freddi, le divergenze con la DE tendono a decrescere adottando sia i dati climatici di normativa che quelli reali.

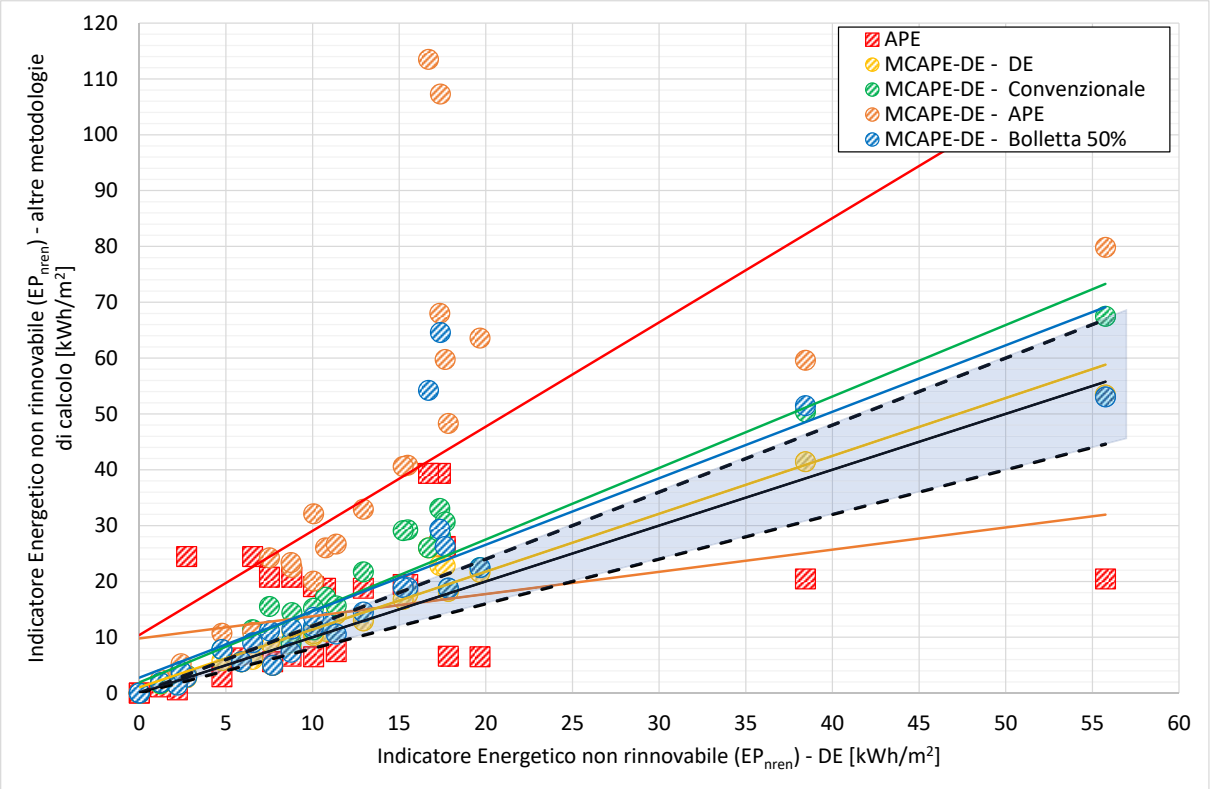


Figura 219. Servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria: confronto tra l'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{nren}) restituito dalla DE con quello determinato con le altre metodologie di calcolo (APE e MC_{APE-DE}).

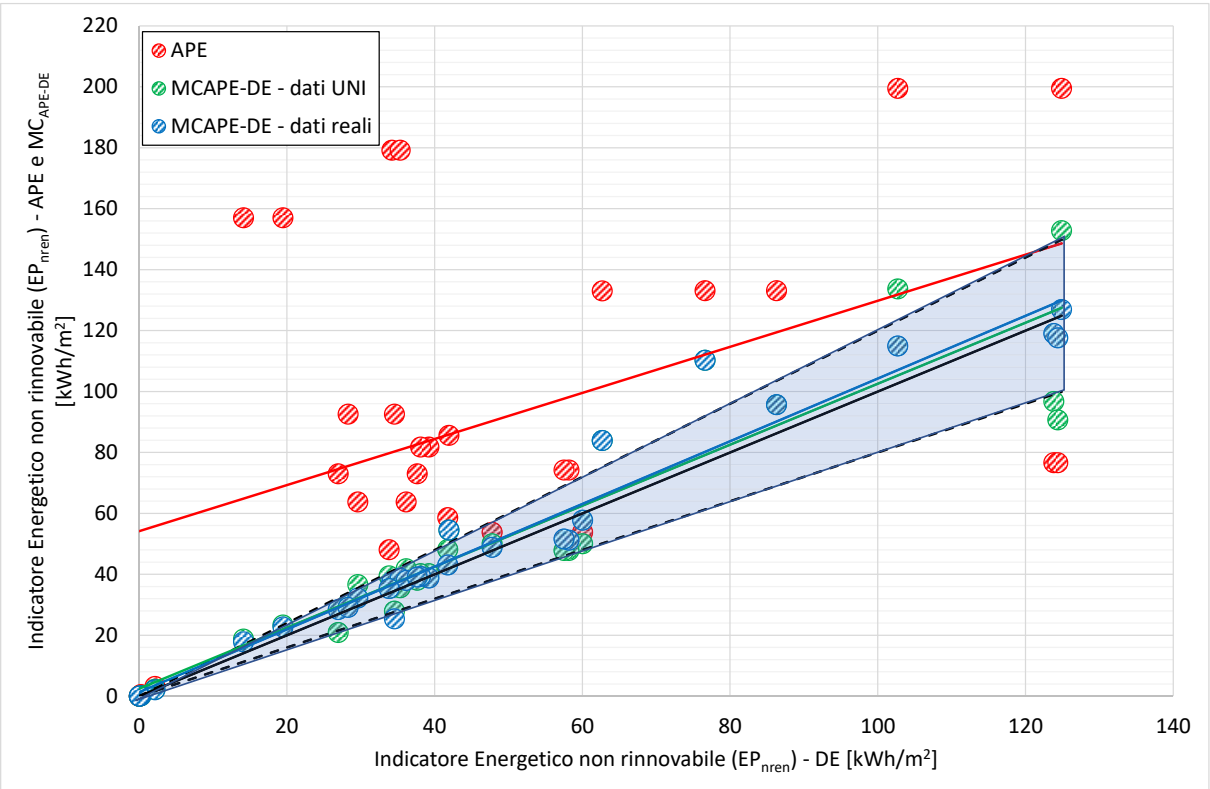


Figura 220. Servizio di riscaldamento: confronto tra l'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{nren}) restituito dalla DE con quello determinato con le altre metodologie di calcolo (APE e MC_{APE-DE}).

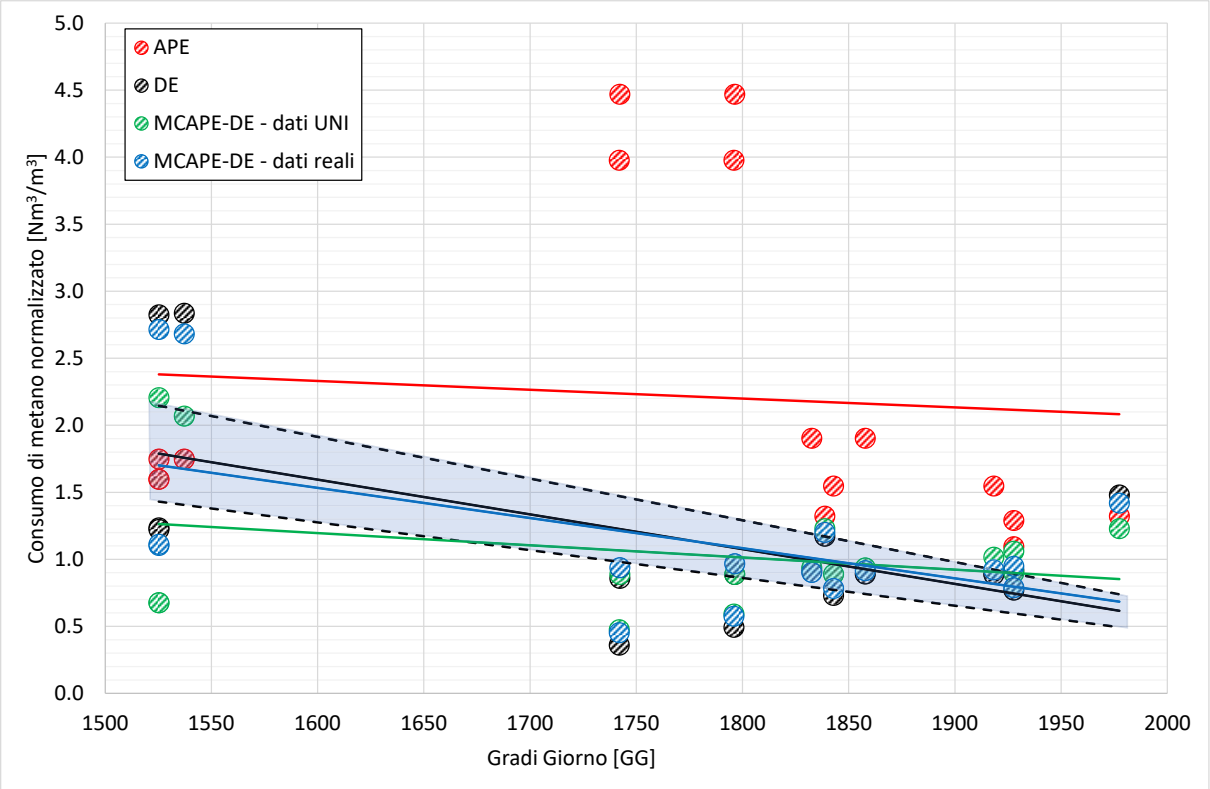


Figura 221. Servizio di riscaldamento: confronto dei consumi di metano per unità di volume riscaldato restituiti dalle diverse metodologie di calcolo (DE, APE e MC_{APE-DE}) rispetto i Gradi Giorno della località.

Il confronto, inoltre, ha evidenziato la grande criticità del calcolo APE nell'approssimare i reali fabbisogni energetici degli edifici; in particolare, le divergenze maggiori si sono ottenute per quei casi nei quali si è riscontrato un profilo di utilizzo ben distante da quello previsto da normativa.
Infine, è stato analizzato il trend dei consumi di metano al variare dell'orario di accensione dell'impianto; per il confronto (mostrato in Figura 222) si è deciso di fare riferimento all'approccio MC_{APE-DE} – dati UNI ipotizzando di adoperare un tale approccio solo nel caso in cui non si disponga di una DE e quindi dei dati climatici reali. Inoltre, sono stati riportati i risultati relativi a quattro orari di accensione dell'impianto (Min, Med e Max) che rappresentano i valori minimo, medio e massimo assunti in [1] al variare della zona climatica.
Il confronto conferma l'importante sovrastima del calcolo APE; infatti, anche nell'ipotesi di accendere l'impianto con un orario medio giornaliero pari al valore massimo previsto da normativa, non si raggiungerebbero mai i consumi stimati dal calcolo APE (zona evidenziata in blu). All'aumentare dell'orario di accensione dell'impianto, si osserva un comportamento del tipo asintotico dei risultati della metodologia al calcolo APE, i cui valori, quindi, potrebbero essere considerati come dei valori limiti superiori teorici.
L'ultimo servizio energetico esaminato è stato quello del raffrescamento, il quale, a differenza del riscaldamento e della produzione d'acqua calda sanitaria, ha restituito dei risultati meno accurati. Anche per questo servizio, tuttavia, il confronto dell'indicatore non rinnovabile (Figura 223) ha confermato una minore differenza tra MC_{APE-DE} con la DE rispetto il calcolo APE, sebbene l'utilizzo delle reali temperature esterne e dei conseguenti fattori correttivi, permetta di approssimare con un minor errore i risultati della DE rispetto la corrispondente casistica con dati climatici di normativa (MC_{APE-DE} - dati UNI).
L'errore medio tra DE e MC_{APE-DE} per il servizio raffrescamento è risultato maggiore rispetto a quello trovato per il riscaldamento, errore in parte dovuto alla minore precisione delle equazioni stesse [1]; ciononostante l'applicazione della metodologia sviluppata permetterebbe di colmare almeno in parte l'errore restituito dal calcolo APE.
In termini di consumo di energia elettrica per unità di volume (Figura 224) si osserva una leggera sottostima della MC_{APE-DE} rispetto al calcolo DE e si conferma la piccola varietà tra l'impiego di dati climatici di normativa e reali. Entrambi i confronti, invece, evidenziano la piccola affidabilità del calcolo APE.

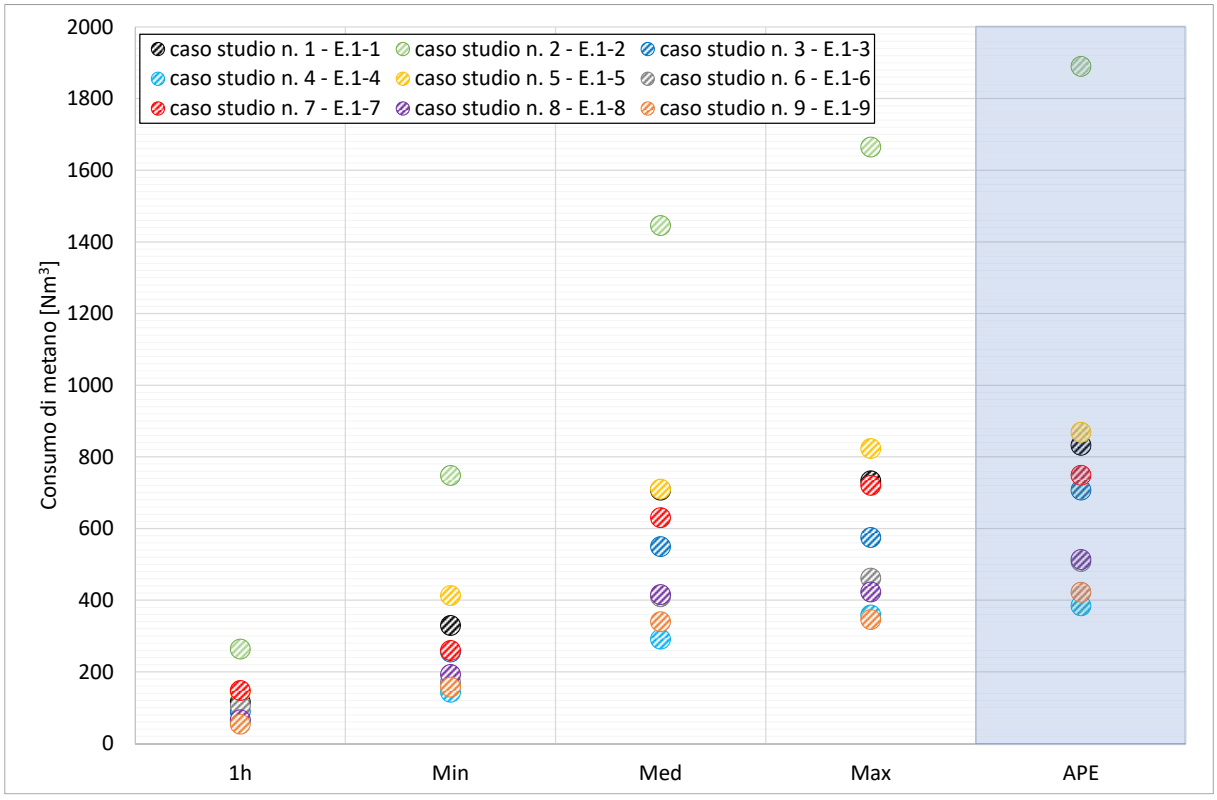


Figura 222. Servizio di riscaldamento: confronto dei consumi di metano restituiti dal calcolo APE e dalla metodologia MC_{APE-DE} per specifici orari di accensione dell'impianto.

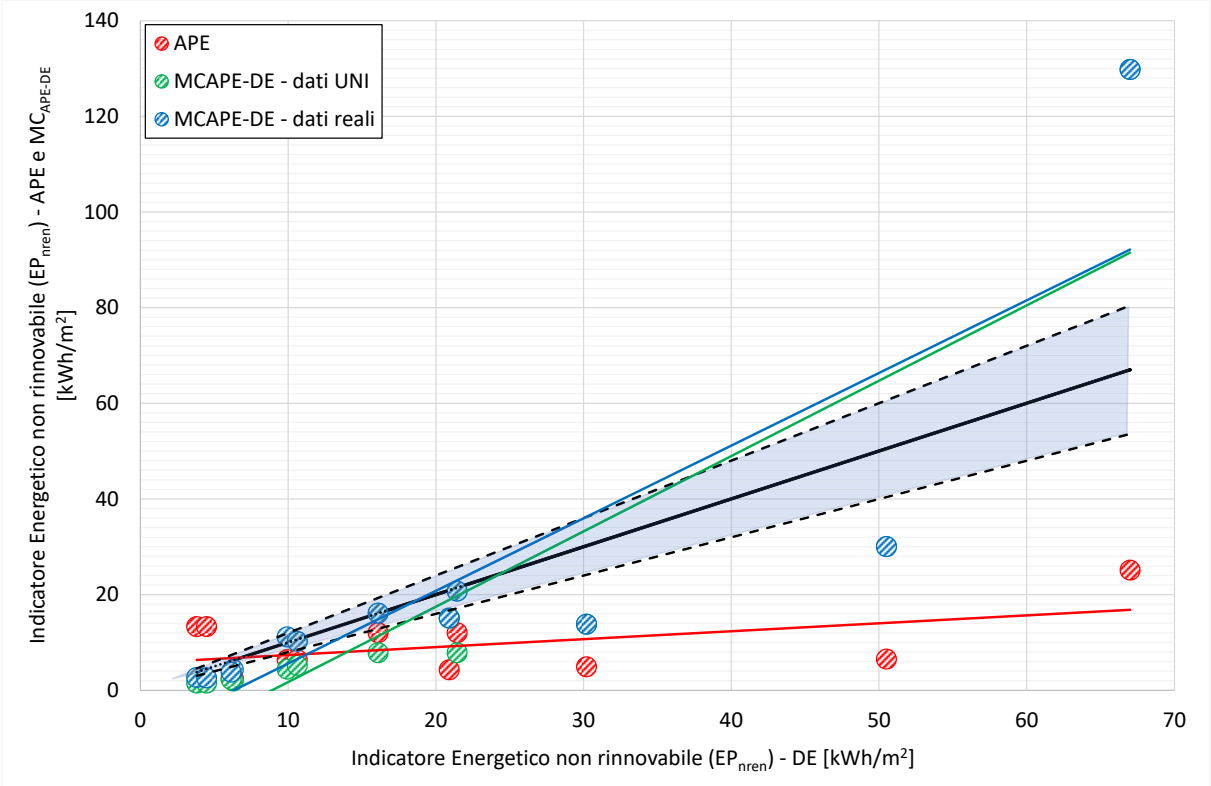


Figura 223. Servizio di raffrescamento: confronto tra l'indicatore energetico non rinnovabile (EP_{nren}) restituito dalla DE con quello determinato con le altre metodologie di calcolo (APE e MC_{APE-DE}).

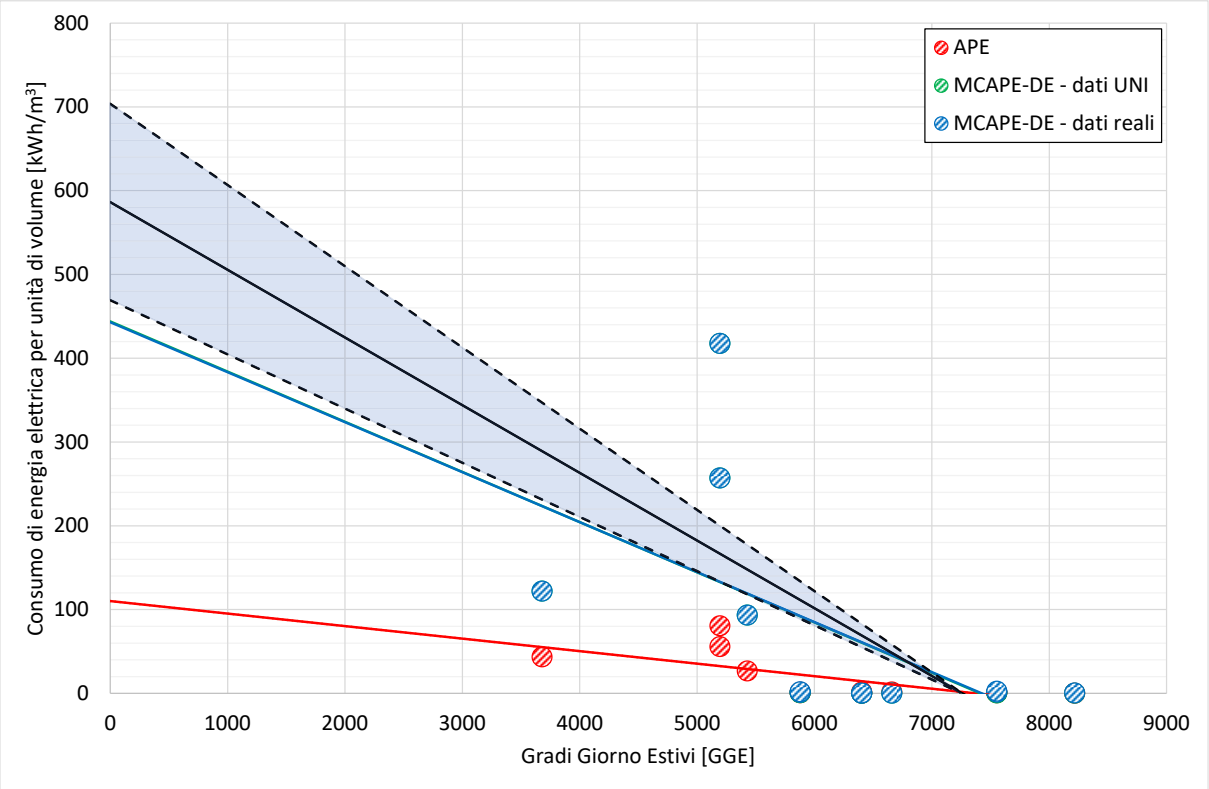


Figura 224. Servizio di raffrescamento: confronto dei consumi di energia elettrica per unità di volume raffrescato restituiti dalle diverse metodologie di calcolo (DE, APE e MC_{APE-DE}) rispetto i Gradi Giorno Estivi della località.

Infine, analogamente a quanto fatto per il riscaldamento, è stato analizzato il trend dei consumi di energia elettrica al variare dell'orario di accensione dell'impianto; il confronto è mostrato in Figura 225 e in Figura 226 in virtù della grande differenza riscontrata per i diversi casi studio. Anche in questo caso si è deciso di fare riferimento all'approccio MC_{APE-DE} – dati UNI ipotizzando di adoperare un tale approccio solo nel caso in cui non si disponga di una DE e quindi dei dati climatici reali. Inoltre, sono stati riportati i risultati relativi a quattro orari di accensione dell'impianto (Min, Med e Max) che rappresentano i valori minimo, medio e massimo assunti in [1] al variare della zona climatica.

Il confronto evidenzia la poca attendibilità del calcolo APE per questo servizio energetico; in particolare, mentre la procedura permette di simulare un fabbisogno e un consumo crescente con l'orario di accensione dell'impianto, il calcolo APE tende a restituire un valore sempre inferiore al valore "Max" il quale a sua volta può essere anche significativamente inferiore al valore della DE.

In accordo con i risultati ottenuti, quindi, è confermata una buona affidabilità della procedura per i principali servizi energetici con un'attendibilità nettamente maggiore per il servizio di riscaldamento (Tabella 467). In particolare, per la categoria E.1 si è riscontrato uno scostamento medio del -1.4% (leggera sovrastima), valore che tende a crescere per la categoria E.2 (fino al -12%) se si considerano tutti i casi studio esaminati, comprendendo quindi anche quelli di cui il dettaglio dei parametri di input era minore. La minor affidabilità riscontrata per il servizio di produzione di acqua calda sanitaria (-15.9% per la categoria E.1, -1.8% per la E.2 e complessivamente pari a -11.2%) è principalmente legata alla difficoltà nello stimare il corretto volume di acqua destinato ai soli usi sanitari, mentre la sottostima relativa al servizio di raffrescamento è probabilmente dovuta all'impossibilità di approssimare il reale comportamento del sistema edificio-impianto nel periodo estivo con un calcolo medio mensile (discrepanze del +35.9% per la categoria E.1, +9.8% per la E.2 e complessivamente del 13.7%).

Il confronto conferma comunque la miglior aderenza della procedura MC_{APE-DE} ai risultati della DE rispetto al tradizionale calcolo APE, con discrepanze comprese complessivamente nel ±10% contro i ±115% dell'APE.

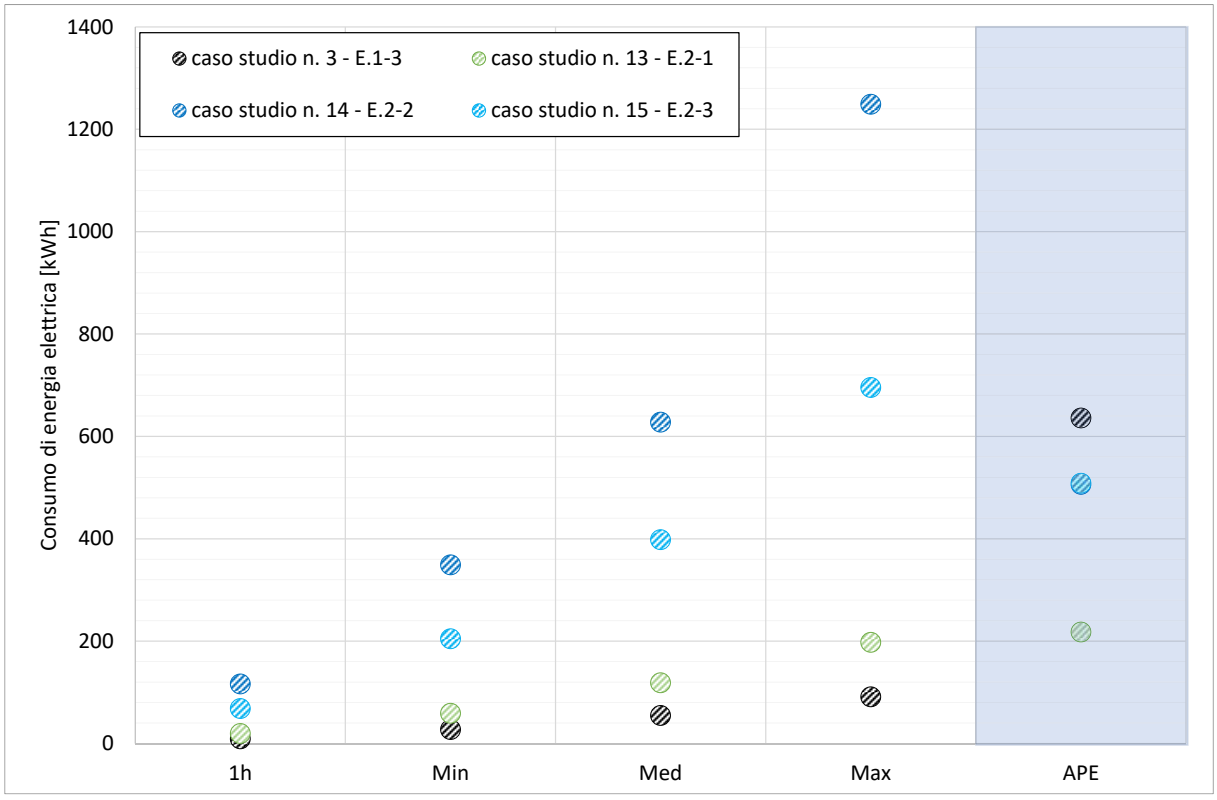


Figura 225. Servizio di raffrescamento: confronto dei consumi di energia elettrica restituiti dal calcolo APE e dalla metodologia MC_{APE-DE} per specifici orari di accensione dell'impianto per casi studio di piccole dimensioni (superficie utile inferiore a 200 m^2).

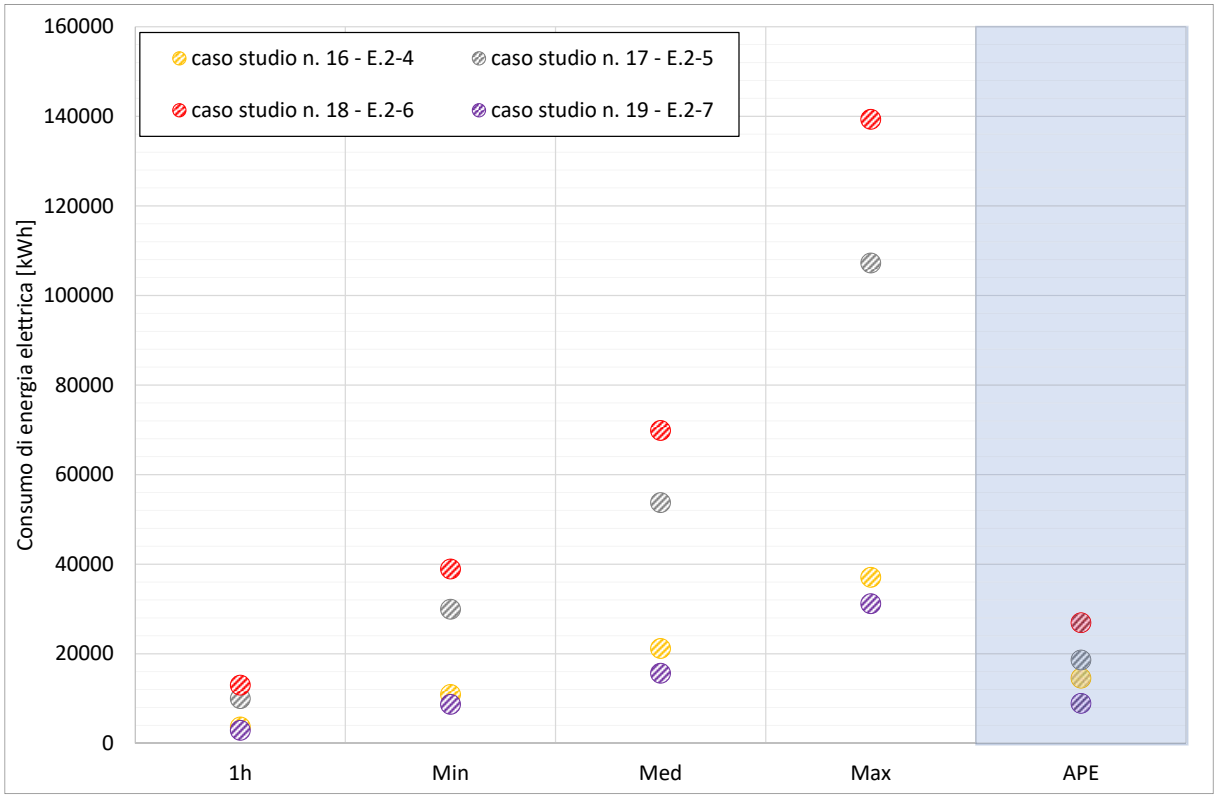


Figura 226. Servizio di raffrescamento: confronto dei consumi di energia elettrica restituiti dal calcolo APE e dalla metodologia MC_{APE-DE} per specifici orari di accensione dell'impianto per casi studio di grandi dimensioni (superficie utile superiori a 200 m^2).

Tabella 467. Errore relativo per servizio energetico restituito dalle differenti metodologie di calcolo (APE e MCAPE-DE) rispetto al valore "vero" (DE).

Categoria	*ACS*		*RIS*		*RAFF*		*TOT*	
	APE	MC_{APE-DE}	APE	MC_{APE-DE}	APE	MC_{APE-DE}	APE	MC_{APE-DE}
E.1	-98.7%	-15.4%	-178.9%	-1.4%	-224.3%	35.9%	-145.8%	-3.8%
*E.2**	34.8%	-9.1%	-135.7%	0.1%	43.9%	10.6%	-68.4%	-0.1%
*E.2***	28.6%	-1.8%	-115.8%	-11.8%	57.7%	9.2%	-49.0%	-8.2%
media	-59.5%	-11.2%	-156.4%	-5.1%	10.7%	13.7%	-111.2%	-5.4%

** valore medio calcolato considerando solo i casi studio di cui è stata possibile una dettagliata ricostruzione del reale profilo di utilizzo degli immobili*
***valore medio calcolato considerando tutti i casi studio (comprensivi quindi di quelli con una accuratezza dei dati di input minore*

Al fine di mostrare più in dettaglio le potenzialità della metodologia MC_{APE-DE}, a titolo di esempio si riportano in Tabella 468 gli output di due casi studio (n. 1 e n. 5) analizzati nel 2020 in cui i risultati sono messi a confronto con quelli del calcolo APE e della DE. I due casi sono caratterizzati dai seguenti fattori:

1. Caso studio n. 1: F_{Text} pari a -24.9%, F_{Vw} di -4.7%, F_{GG} corrispondente a 78.5%, F_{H-Tset} di 90% e orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento pari a circa 1 h/giorno;
2. Caso studio n. 5: F_{Text} pari a -24.2%, F_{Vw} di +34.0%, F_{GG} corrispondente a 79.0%, F_{H-Tset} di 100% e orario medio giornaliero di accensione dell'impianto di riscaldamento pari a 4 h/giorno.

In aggiunta, a partire dai consumi di combustibile desunti, è stata calcolata anche una possibile spesa energetica assumendo dei costi di riferimento pari a 0.91 €/Sm^3 per il metano e di 0.293 €/kWh per l'energia elettrica. L'esempio applicativo riportato permette di evidenziare: i) la netta divergenza del calcolo APE rispetto la DE con discrepanze percentuali che superano anche il 500% quindi con una spesa energetica relativa al solo costo della materia prima significativamente diversa, ii) una netta convergenza dell'approccio MC_{APE-DE} con la DE con una variazione della spesa energetica stimata del 4-10% corrispondente a circa 15-30€/anno, iii) le grandi potenzialità della metodologia MC_{APE-DE} che permette anche ad utenti non del settore di condurre delle valutazioni comparative non solo di tipo estetico e sulla classe energetica dell'immobile ma su un reale consumo energetico e quindi una plausibile spesa energetica proprio sulla base delle proprie abitudini.
In virtù dei risultati ottenuti, si è quindi deciso di applicare la metodologia sviluppata anche agli APE contenuti nel *S*istema *I*nformativo sugli *A*ttestati di *P*restazione *E*nergetica (SIAPE) al fine di evidenziare altre potenzialità della metodologia stessa.
A titolo di esempio, si riportano da Figura 227 a Figura 229 i risultati ottenibili per il servizio ACS per edifici di categoria E.1 nel comune di Roma di diversa superficie utile e che presentano un boiler elettrico (Figura 227), un generatore standard (Figura 228) o un generatore a condensazione (Figura 229) come tipologia impiantistica. In questo caso la procedura MC_{APE-DE} è stata applicata adottando un V_W di tipo convenzionale costante per persona e variando il numero di utenti all'interno degli immobili. Come si evince il fabbisogno energetico dell'APE (serie in blu) è sempre inferiore a quello restituito da MC_{APE-DE}; discrepanze maggiori si riscontrano per piccole superfici utili (grafico in alto a sinistra - Su < 50 m^2) e nell'ipotesi di un numero di fruenti maggiore di 1 (serie in rosso e arancio), solo nel caso di un solo fruente e per superfici utili comprese tra 100 e 200 m^2 il risultato dell'APE tende a coincidere con il metodo MC_{APE-DE}.
Altri esempi applicativi sono mostrati in Figura 230 (generatore a condensazione) e in Figura 231 (generatore a standard) in cui i risultati restituiti dalla procedura per il servizio di riscaldamento sono messi a confronto con quelli dell'APE. Anche in questo caso si è fatto riferimento agli immobili di categoria E.1 ubicati nel comune di Roma e che presentano un livello di isolamento (desunto sulla base dell'epoca di costruzione) variabile.
Per l'analisi si è deciso di assumere i quattro profili di utilizzo: i primi tre sono quelli desunti nel secondo anno di attività, di cui quello medio rappresenta il profilo più comune, mentre il quarto è rappresentato da una accensione di un'ora al giorno (casistica riscontrata in alcuni casi studio esaminati).

Tabella 468. Esempio applicativo e confronto degli output restituiti dal calcolo APE, DE e dalla metodologia MC_{APE-DE} su due casi studio (n. 1 e n. 5), stima della presunta spesa energetica e calcolo della differenza percentuale (Δ) degli indicatori e consumi totali rispetto la DE.

caso studio	*calcolo*	*servizio*	*EPnren [kWh/m²]*	*EPren [kWh/m²]*	*EPtot [kWh/m²]*	*Metano [Nm³]*	*Energia elettrica [kWh]*	*Spesa media annua [€]*
n. 1	APE	ACS	24.46	0.16	24.62	129.99	19.15	130.39
		RIS	157.00	1.09	158.09	832.50	131.91	837.81
		TOT	181.47	1.25	182.71	962.48	151.06	968.21
	MC_{APE-DE}	ACS	6.03	0.04	6.07	32.04	4.74	32.15
		RIS	22.73	0.16	22.89	120.55	19.10	121.32
		TOT	28.77	0.20	28.96	152.59	23.84	153.47
	DE	ACS	6.55	0.05	6.60	34.55	6.38	35.03
		RIS	19.45	0.14	19.59	102.98	17.02	103.84
		TOT	25.99	0.19	26.18	137.53	23.40	138.88
	Δ	APE-DE	-598.2%	-545.5%	-597.8%	-599.9%	-545.5%	-597.2%
		MC_{APE-DE}-DE	-10.7%	-1.9%	-10.6%	-11.0%	-1.9%	-10.5%
n. 5	APE	ACS	18.76	0.05	18.81	259.50	14.90	253.48
		RIS	63.74	0.38	64.13	868.70	119.10	868.81
		TOT	82.51	0.43	82.94	1128.20	134.00	1122.29
	MC_{APE-DE}	ACS	12.92	0.03	12.96	178.73	10.30	174.59
		RIS	37.99	0.23	38.22	517.69	71.01	517.77
		TOT	50.91	0.26	51.17	696.42	81.30	692.36
	DE	ACS	12.94	0.03	12.97	178.80	10.60	174.75
		RIS	36.13	0.12	36.24	498.20	36.20	488.86
		TOT	49.06	0.15	49.21	677.00	46.80	663.60
	Δ	APE-DE	-68.2%	-186.4%	-68.5%	-66.6%	-186.3%	-69.1%
		MC_{APE-DE}-DE	-3.8%	-73.7%	-4.0%	-2.9%	-73.7%	-4.3%

I risultati mostrano una significativa sovrastima del calcolo APE rispetto ai quattro profili con discrepanze che tendono ad aumentare al migliorare delle prestazioni termiche dell'involucro edilizio (ossia passando da Liv-Iso 0 a Liv-Iso-3). Di notevole interesse è osservare come nel caso di edifici precedenti al 1990 (Liv-Iso 0), il calcolo MC_{APE-DE} applicato con il profilo di utilizzo più comune (quello medio) e nel caso di generatore a condensazione restituisca un fabbisogno energetico pari a quasi il 50% di quello APE.
L'esempio mostrato dell'applicazione della procedura MC_{APE-DE} sugli APE del SIAPE rappresenta solo un potenziale utilizzo della stessa; tuttavia, il risultato evidenziato può essere di notevole importanza in quanto può essere adoperato per molteplici finalità, quali ad esempio la possibilità di studiare nuovi sistemi incentivanti basati su consumi più realistici, o adottare un database come quello del SIAPE per guidare le policy energetiche nazionali.

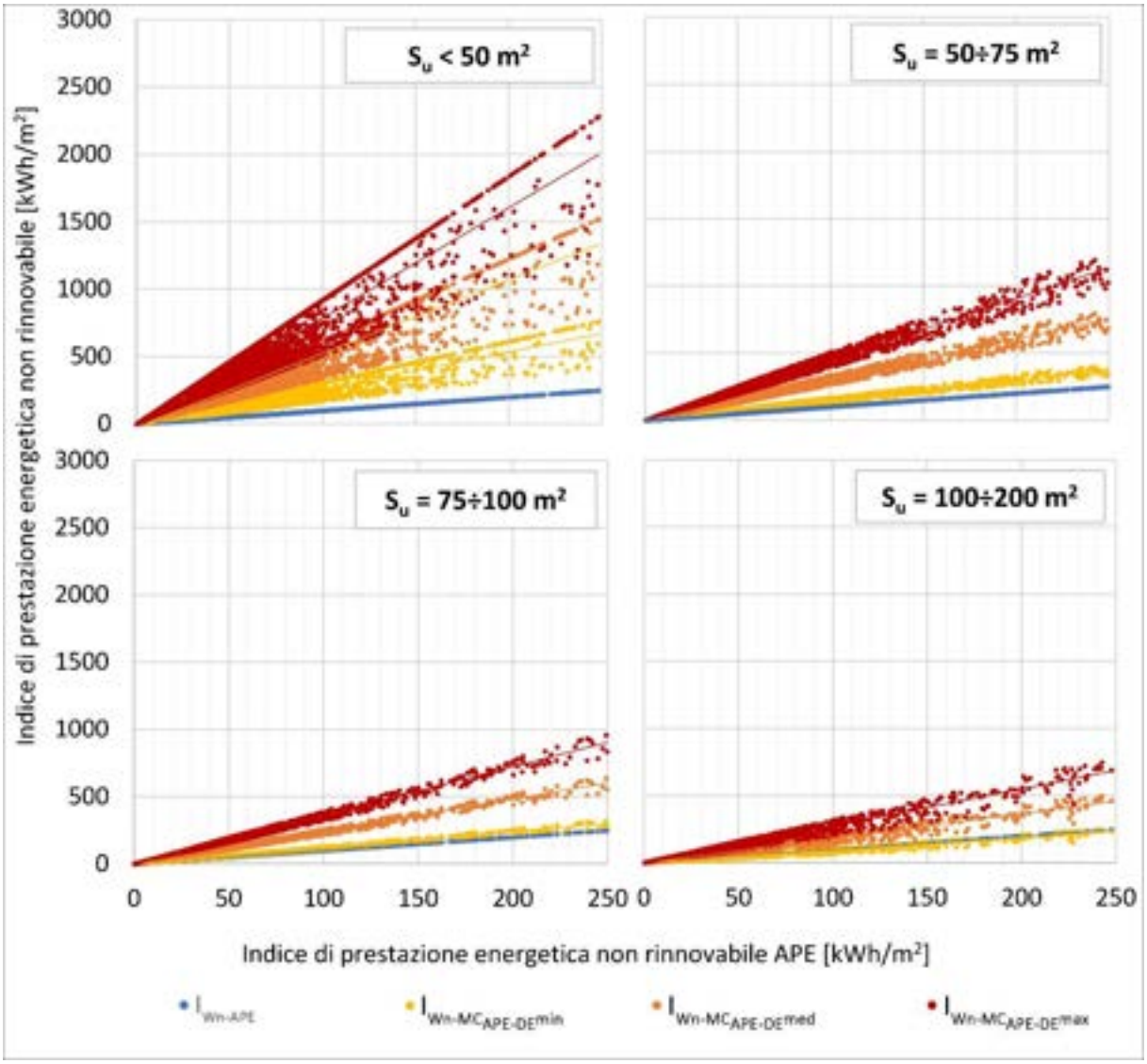


Figura 227. Analisi del SIAPE: confronto dell'indicatore di energia primaria non rinnovabile restituito dal calcolo APE e $MC_{APE\text{-}DE}$ nel caso di unità immobiliari di categoria E.1 ubicate nel comune di Roma, boiler elettrico e superficie utile variabile da <50m² a 200 m².

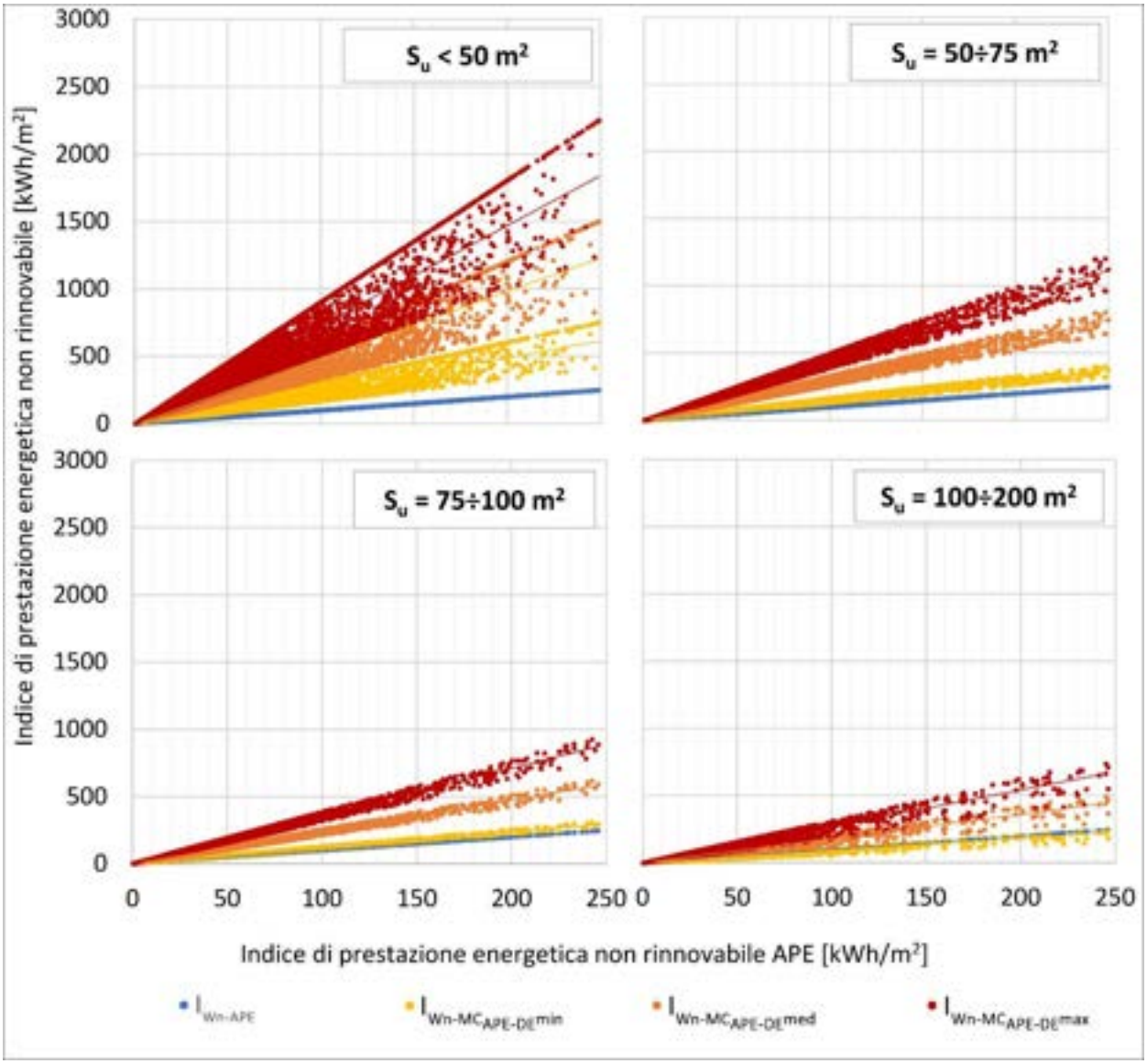


Figura 228. Analisi del SIAPE: confronto dell'indicatore di energia primaria non rinnovabile restituito dal calcolo APE e MC_{APE-DE} nel caso di unità immobiliari di categoria E.1 ubicate nel comune di Roma, generatore di calore standard e superficie utile variabile da <50m² a 200 m².

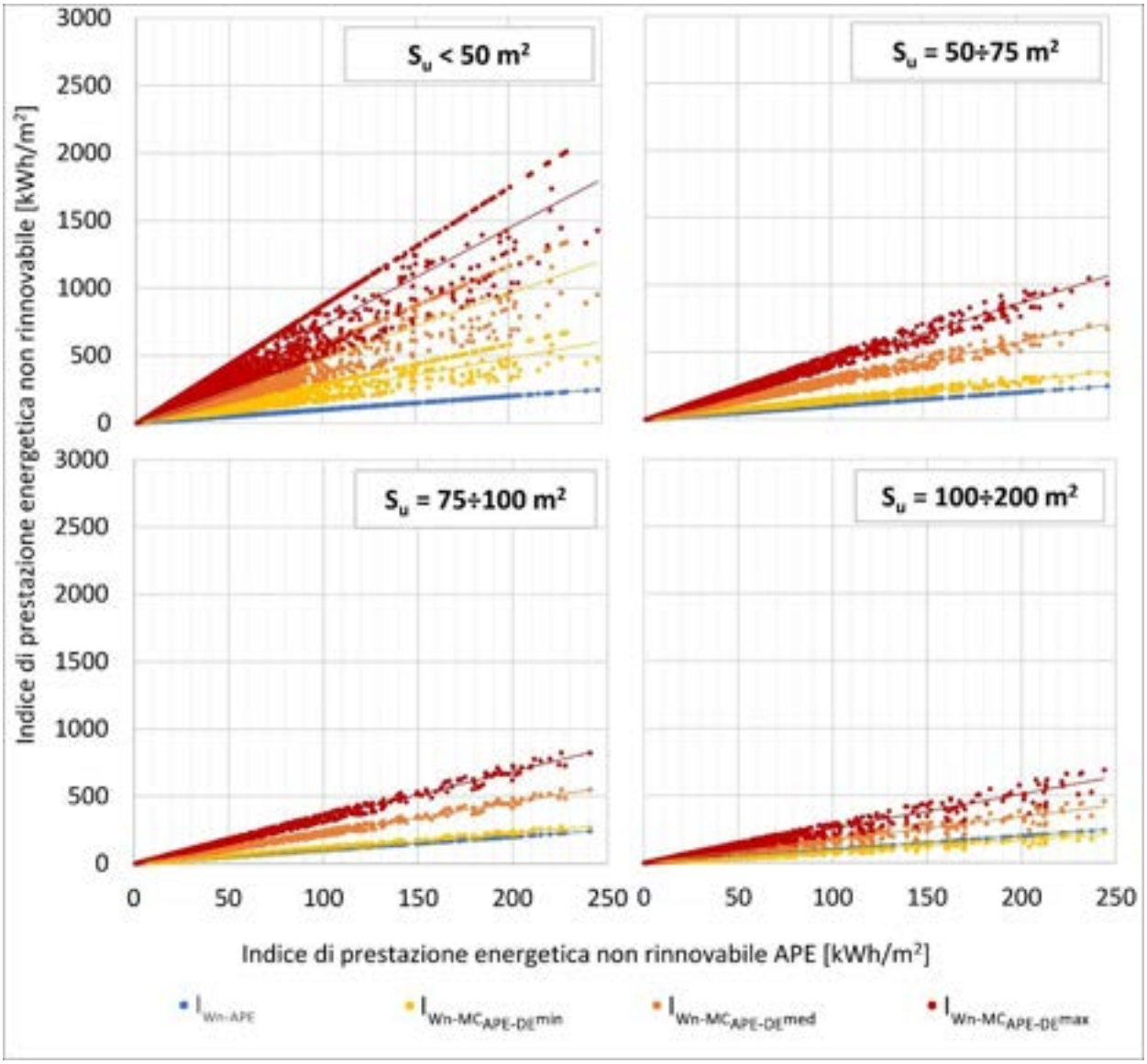


Figura 229. Analisi del SIAPE: confronto dell'indicatore di energia primaria non rinnovabile restituito dal calcolo APE e $MC_{APE\text{-}DE}$ nel caso di unità immobiliari di categoria E.1 ubicate nel comune di Roma, generatore di calore a condensazione e superficie utile variabile da <50m² a 200 m².

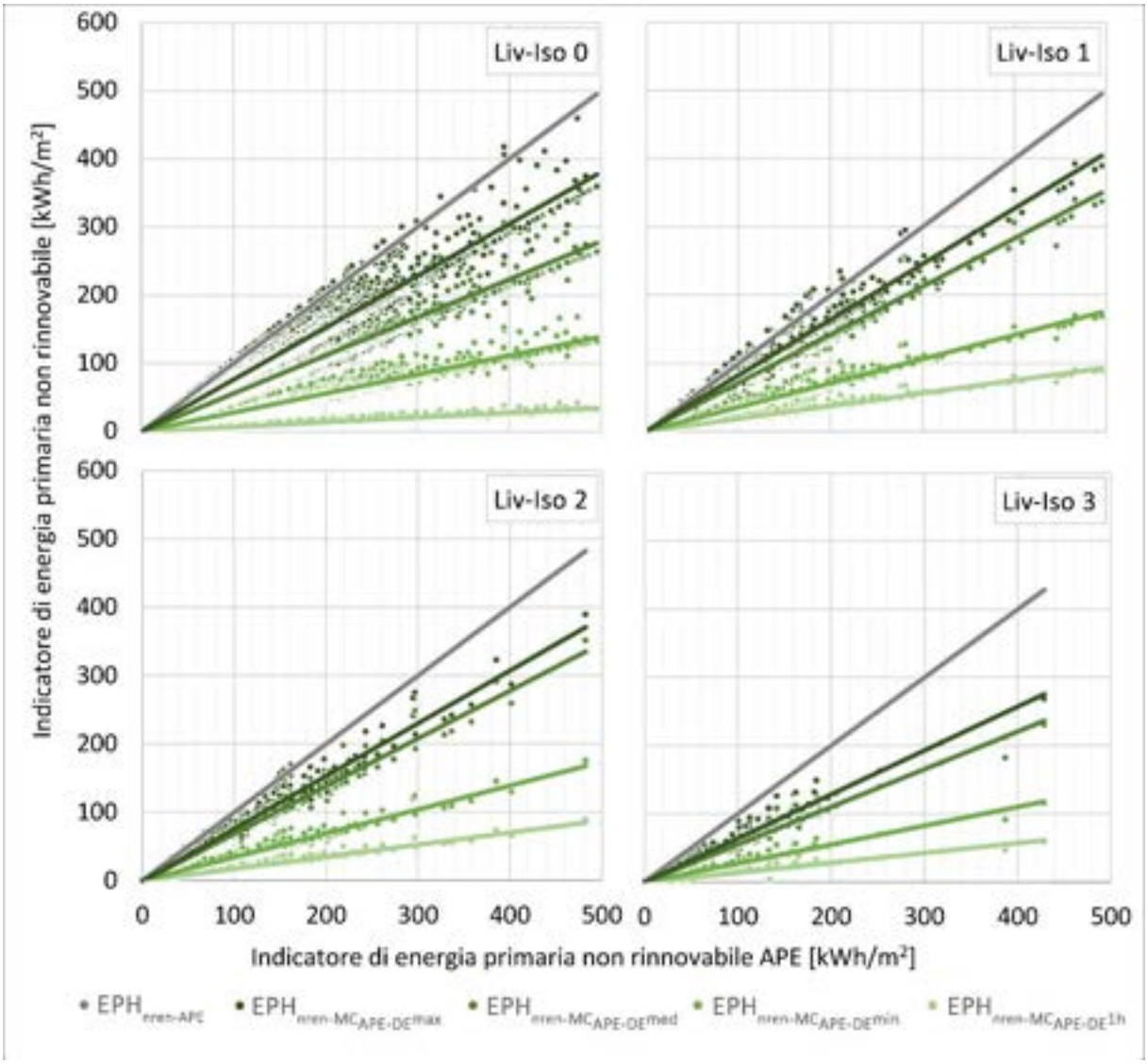


Figura 230. Analisi del SIAPE: confronto dell'indicatore di energia primaria non rinnovabile restituito dal calcolo APE e MC_{APE-DE} nel caso di unità immobiliari di categoria E.1 ubicate nel comune di Roma, generatore di calore a condensazione al variare del livello di isolamento (epoca di costruzione).

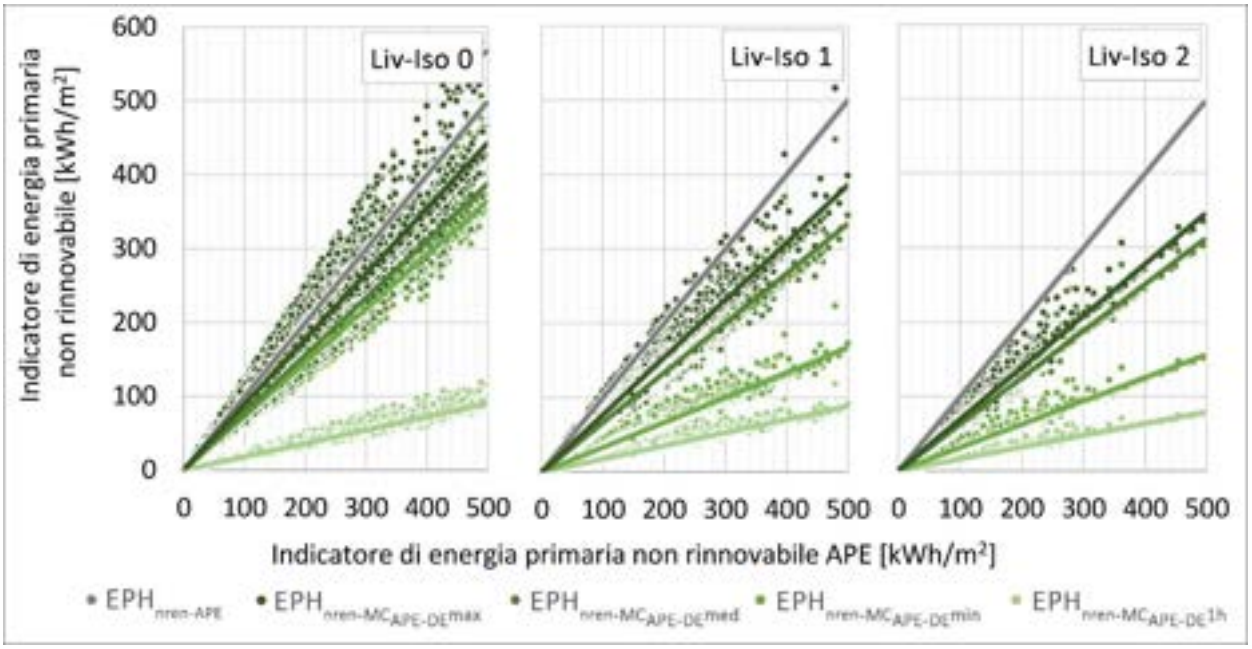


Figura 231. Analisi del SIAPE: confronto dell'indicatore di energia primaria non rinnovabile restituito dal calcolo APE e MC_{APE-DE} nel caso di unità immobiliari di categoria E.1 ubicate nel comune di Roma, generatore di calore standard al variare del livello di isolamento (epoca di costruzione).

Infine, con l'obiettivo di rendere facilmente fruibile e applicabile la metodologia MC_{APE-DE}, essa è stata implementata all'interno di un programma eseguibili su pc avente l'interfaccia mostrata in Figura 232. L'applicativo proposto è puramente esemplificativo ed è caratterizzato da un'interfaccia user-friendly in cui è necessario inserire, attraverso dei menù a tendina o dei campi editabili, poche informazioni derivanti principalmente dall'APE. L'applicativo, ancora in fase di ultimazione, rappresenta solo un potenziale strumento di come si potrebbe rendere fruibile la metodologia MC_{APE-DE}; al fine di diffonderne ancora più l'utilizzo, si potrebbe valutare di implementare la stessa metodologia all'interno di una piattaforma web, ad esempio nella stessa in cui gli utenti possono consultare gli APE del SIAPE.
Il lavoro condotto nel terzo anno di ricerca ha quindi portano a conclusione l'ambizioso obiettivo di determinare una correlazione matematica tra l'asset rating e il tailored rating; questo ha portato allo sviluppo di una metodologia di calcolo che può integrare i risultati degli Attestati di Prestazione Energetica (APE), permettendo di restituire un consumo più aderente al reale funzionamento del sistema edificio impianto. La peculiarità e il punto di forza della metodologia sviluppata è sicuramente quello di non modificare l'attuale calcolo standard, l'attuale metodologia di certificazione energetica, permettendo, quindi, di non incrementare i costi per l'utente finale.
L'applicazione della metodologia MC_{APE-DE} agli APE contenuti nel Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE), ossia il database nazionale degli APE gestito da ENEA, ha mostrato le enormi potenzialità dello strumento sviluppato; esso è infatti capace di valutare come potrebbero cambiare i consumi energetici degli edifici certificati al variare di alcuni fattori nonché condizioni di utilizzo degli immobili stessi, quali ad esempio il numero di fruitori e le ore di accensione dell'impianto.
La metodologia MC_{APE-DE} sviluppata sembrerebbe quindi un interessante applicativo che se banalmente integrato al calcolo standard permette di restituire dei fabbisogni energetici più coerenti con il reale profilo di utilizzo degli utenti. La buona affidabilità della metodologia MC_{APE-DE}, inoltre, apre anche ad altri ed interessanti scenari di applicazione quale ad esempio quello di strumento di supporto alla policy energetica nazionale ma anche strumento decisionale e di controllo per l'erogazione di nuovi sistemi incentivanti.
In quest'ottica, è però plausibile ipotizzare un ulteriore affinamento della procedura stessa al fine di renderla ancora più accurata ed efficace incrementando sia i contesti climatici esaminati (necessari per la definizione degli appositi coefficienti correttivi) ma anche i profili occupazionali e utilizzo degli immobili prendendo in esame anche quelli meno comuni.

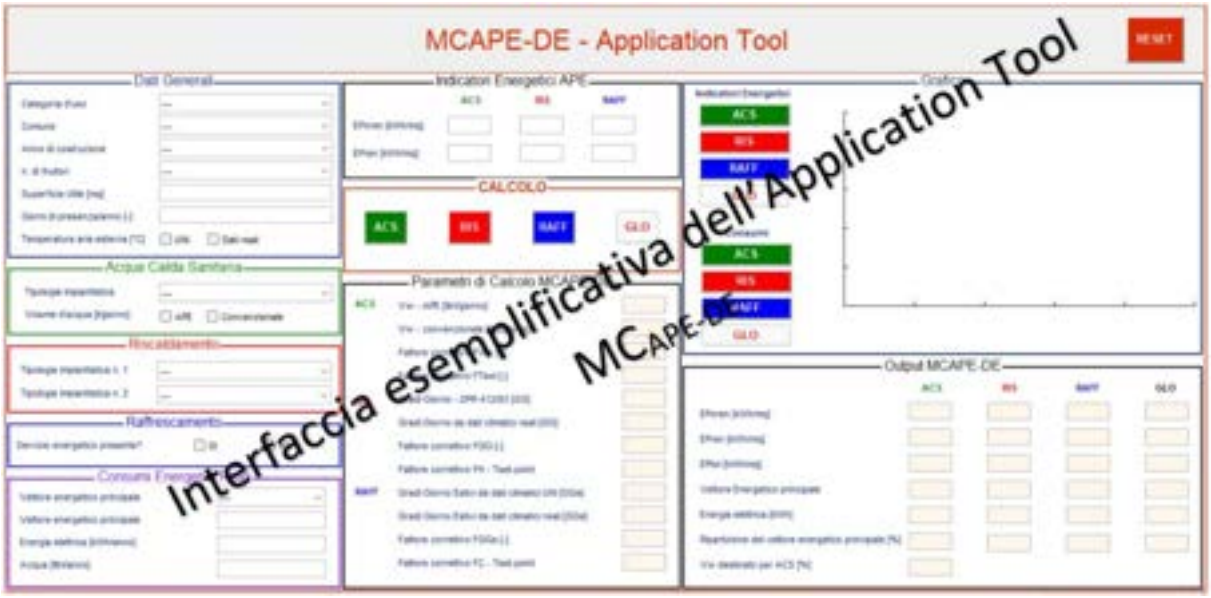


Figura 232. Interfaccia del programma di calcolo che implementa la metodologia MC$_{APE-DE}$.

3 Conclusioni

Il lavoro condotto nel terzo anno di ricerca ha portano a conclusione l'ambizioso obiettivo di determinare una correlazione matematica tra l'asset rating e il tailored rating, con lo scopo di integrare i risultati riportati negli Attestati di Prestazione Energetica (APE) con un approccio di calcolo o con dei benchmark che permettano di restituire un consumo più aderente al reale funzionamento del sistema edificio impianto, senza modificare, però, l'attuale metodologia di certificazione energetica e, quindi, senza costi aggiuntivi per l'utente finale.

La pianificazione e il processo delle attività svolte durante la terza annualità di ricerca possono essere sinteticamente suddivise come segue: i) selezione dei casi studio su cui applicare le equazioni di correlazione, identificate durante il secondo anno di ricerca; ii) campagna di raccolta dati dei casi studio selezionati; iii) calcolo delle caratteristiche energetiche dei casi studio attraverso calcolo standard (APE,) diagnosi energetica (DE) e mediante la nuova metodologia di correlazione sviluppata (MC_{APE-DE}); iv) confronto dei risultati ottenuti dalle tre metodologie e valutazione dell'attendibilità della procedura MC_{APE-DE}, con eventuale revisione e raffinamento delle equazioni di correlazione attraverso dei fattori correttivi.

Nel processo precedentemente descritto, una delle fasi maggiormente onerose è stata quella della campagna di raccolta delle informazioni necessarie alla redazione dell'APE e della DE. Infatti, questa è stata volta non solo alla caratterizzazione del sistema edificio-impianto (dimensioni, involucro, impianti, ecc) e dei suoi consumi attraverso le bollette di uno o più anni, ma anche a definire in maniera più precisa possibile il profilo occupazionale dell'utenza. A tal fine, è stato predisposto un questionario, somministrato agli occupanti dei casi studio identificati.

Una volta raccolte le informazioni necessarie, è stato possibile valutare i casi studio attraverso l'APE e le DE e procedere con una prima applicazione della MC_{APE-DE}. In questa fase è stata presa in considerazione la modifica e l'implementazione delle equazioni della metodologia di correlazione, identificando specifici fattori correttivi, in modo tale da renderla più affidabile anche in casistiche diverse da quelle finora considerate.

Come nella teorizzazione delle equazioni di correlazione, la MC_{APE-DE} è stata applicata per singolo servizio energetico presente nell'immobile indagato (produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento). Nel caso della produzione di acqua calda sanitaria, i risultati della metodologia MC_{APE-DE} sono stati investigati al variare della precisione di alcuni parametri di input, quali i dati climatici (da normativa UNI 10349 [3] e reali) e l'approccio di calcolo per la stima del volume di acqua calda sanitaria effettivamente consumato (assunti rispettivamente quello derivante dall'APE, dalla bolletta, dall'inventario energetico o dal calcolo convenzionale già utilizzato nel secondo anno di attività). In questo caso, per raffinare i risultati della metodologia MC_{APE-DE} è stato necessario definire due fattori correttivi: il primo associato alla temperatura media annuale dell'aria esterna, il secondo associato alla differenza percentuale tra il volume di acqua stimato dal calcolo standard e dal calcolo convenzionale.

Per questo servizio energetico, è stato notato come la precisione dei dati di input sia estremamente importante nella variabilità dei risultati ottenuti con l'applicazione della MC_{APE-DE}. Nella maggior parte dei casi indagati, infatti, l'impiego di un volume di acqua calda sanitaria derivante dal calcolo APE comporta dei risultati molto divergenti da quelli della DE. Invece, l'utilizzo di un volume ricavato dall'inventario energetico o dalla metodologia convenzionale permette di restituire consumi molto più realistici (correlazione quasi perfetta nel caso di utilizzo del volume derivante dall'inventario energetico). Questo risultato è di estrema importanza in quanto evidenzia come anche in assenza di una diagnosi energetica, e quindi della possibilità di definire un inventario energetico, è possibile applicare la metodologia MC_{APE-DE} e ottenere dei consumi più affidabili rispetto a quelli dell'APE.

I servizi energetici di riscaldamento e raffrescamento sono stati analizzati, invece, variando sia i dati climatici (da normativa UNI 10349 [3] e reali) che l'orario di accensione medio giornaliero dell'impianto, orario desunto in fase di diagnosi a partire dalle risposte degli utenti ad un questionario. In questo caso, al fine di tenere conto dell'influenza dei Gradi Giorno reali e della temperatura di set point effettivamente impostata, è stato necessario introdurre altri due fattori correttivi volti a correggere i risultati considerando i Gradi Giorno previsti dal D.P.R. n. 412/93 e quelli reali, nel primo caso, e una temperatura di set-point diversa da quella prevista da normativa, nel secondo. Anche in questo caso, i risultati hanno mostrato una buona

affidabilità della metodologia di correlazione, quasi sempre migliore rispetto all'APE, e una variabilità dettata dalla precisione e dalla disponibilità delle informazioni iniziali.
In conclusione, la MC_{APE-DE} è stata considerata attendibile in quanto il calcolo dei principali indicatori energetici e dei relativi consumi attraverso alcune delle configurazioni analizzate ha sempre restituito dei risultati più vicini a quelli della DE, ossia più realistici, rispetto a quelli dell'APE.
Terminata questa fase, è stato possibile mostrare alcune possibili potenziali utilizzi della metodologia MC_{APE-DE}; la prima applicazione tentata è stata quella di integrare il calcolo APE con la metodologia sviluppata mostrando come questa potrebbe aiutare l'utente finale nella scelta dell'edificio o dell'unità immobiliare da acquistare o da affittare mediante non solo l'indicatore di classe energetica e dei consumi standard, ma soprattutto attraverso una stima più realistica della spesa energetica dell'immobile in considerazione anche delle proprie abitudini.
Altro potenziale utilizzo è rappresentato dall'impiego della nuova metodologia come strumento di supporto allo sviluppo di nuovi sistemi incentivanti basati su consumi più realistici, o di policy strategiche ed energetiche nazionali. In entrambi i casi la metodologia è stata pensata ed applicata agli APE contenuti nel Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE) per un'analisi più dettagliata dei principali indicatori energetici sfruttando un campione di dati molto esteso. Questa analisi ha permesso di mostrare le effettive potenzialità dello strumento sviluppato potendolo applicare con notevole facilità a qualsiasi APE caricato nel portale. Questa applicazione, inoltre, ha permesso anche di valutare come potrebbero variare gli effettivi consumi energetici degli edifici che sono stati oggetto di certificazione energetica al variare di specifiche condizioni occupazionali e di utilizzo.
Infine, l'ultima fase del lavoro è stata quella di proporre soluzioni per render più fruibile lo strumento MC_{APE-DE}; in particolare, è stato proposto un possibile applicativo eseguibile su pc che permette sia di semplificare l'inserimento dei dati che l'applicazione della procedura stessa, permettendone l'utilizzo a qualsiasi classe di utenza. L'applicativo proposto è infatti caratterizzato da un'interfaccia user-friendly in cui è necessario inserire, attraverso dei menù a tendina o dei campi editabili, poche informazioni derivanti principalmente dall'APE. L'applicativo, ancora in fase di ultimazione, rappresenta solo un potenziale strumento di come si potrebbe rendere fruibile la metodologia MC_{APE-DE}; al fine di renderlo ancora più fruibile agli utenti finali, si potrebbe valutare di implementare la stessa all'interno di una piattaforma web, ad esempio nella stessa in cui gli utenti possono consultare gli APE del SIAPE.
Il lavoro condotto nel terzo anno di ricerca ha quindi portano a conclusione l'ambizioso obiettivo di determinare una correlazione matematica tra l'asset rating e il tailored rating; questo ha portato allo sviluppo di una metodologia di calcolo che può integrare i risultati degli Attestati di Prestazione Energetica (APE), permettendo di restituire un consumo più aderente al reale funzionamento del sistema edificio impianto. Il punto di forza della metodologia sviluppata è sicuramente quello di non modificare l'attuale calcolo standard e l'attuale metodologia di certificazione energetica, permettendo, quindi, di non incrementare i costi per l'utente finale.
L'applicazione della metodologia MC_{APE-DE} agli APE contenuti nel Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE), ossia il database nazionale degli APE gestito da ENEA, ha mostrato le enormi potenzialità dello strumento sviluppato; esso è infatti capace di valutare come potrebbero cambiare i consumi energetici degli edifici certificati al variare di alcuni fattori nonché condizioni di utilizzo degli immobili stessi, quali ad esempio il numero di fruitori e le ore di accensione dell'impianto.
La metodologia MC_{APE-DE} sviluppata sembrerebbe quindi un interessante applicativo che, se banalmente integrato al calcolo standard, permetterebbe di restituire dei fabbisogni energetici più coerenti con il reale profilo di utilizzo degli utenti. La buona affidabilità della metodologia MC_{APE-DE}, inoltre, apre anche ad altri ed interessanti scenari di applicazione quale ad esempio quello di strumento di supporto alla policy energetica nazionale ma anche decisionale e di controllo per l'erogazione di nuovi sistemi incentivanti.
In quest'ottica, è però plausibile ipotizzare un ulteriore affinamento della procedura stessa al fine di renderla ancora più accurata ed efficace incrementando sia i contesti climatici esaminati (necessari per la definizione degli appositi coefficienti correttivi) ma anche i profili occupazionali e utilizzo degli immobili prendendo in esame anche quelli meno comuni.

4 Riferimenti bibliografici

1. D. Palladino, C. Lavinia, F. Margiotta, F. Pagliaro. Definizione di modelli di simulazione per il calcolo dei consumi in condizioni standard (asset rating) e adattate all'utenza (tailored rating), RdS/PTR2020/115. 2020.
2. D. Palladino, F. Pagliaro, V. Del Fatto, C. Lavinia, F. Margiotta, L. Colasuonno. Ricerca di Sistema Elettrico. Stato dell'arte del patrimonio edilizio nazionale e analisi degli Attestati di Prestazione Energetica (APE). Report RSE/PTR2019/164. 2020.
3. UNI 10349–1/2016: Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici – Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo–energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata.
4. UNI TS 11300/2014 –1: Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
5. UNI TS 11300/2014 –2: Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 2: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali.
6. UNI TS 11300/2010 –3: Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 3: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
7. UNI TS 11300/2016 –4: Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 4: utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
8. UNI TS 11300/2016 –5: Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili.
9. UNI TS 11300/2016 –6: Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 6: determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili.
10. D.P.R. 26 agosto 1993 n. 412: Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10, G.U. 14 ottobre 1993, n. 242.
11. Caleffi. Produzione di acqua calda ad accumulo. Idraulica – pubblicazione periodica di informazione tecnico–professionale. 1991.
12. Caleffi. Il dimensionamento degli impianti idrosanitari. Vasi di espansione e accumulo. Focus Tecnico. 2015.
13. UNI 16247-1/2012: Diagnosi Energetiche. Parte 1: requisiti generali.
14. UNI 16247-2/2014: Diagnosi Energetiche. Parte 2: edifici.
15. UNI/TR 11775:2020: Diagnosi Energetiche – Linee guida per le diagnosi energetiche degli edifici.
16. https://annali.regione.umbria.it/# disponibile online.
17. Legge dello Stato 30/04/1976 n. 373. "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici". G.U. 7 giugno 1976 n. 148.
18. http://www.scia.isprambiente.it/wwwrootscia/Home_new.html#
19. https://www.espa.enea.it/ disponibile online.
20. Legge 10/91: Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia, G.U. 16 gennaio 1991, n. 13.
21. https://ec.europa.eu/eurostat/data/database (aggiornamento 24 febbraio 2022)
22. https://www.indicators.odyssee-mure.eu/online-indicators.html (aggiornamento 24 febbraio 2022)
23. https://www.efficienzaenergetica.enea.it/glossario-efficienza-energetica/lettera-c/conversione-fattori-di.html (aggiornamento 24 febbraio 2022)
24. Rapporto Monografico ENEA/Assoimmobiliare. Benchmark di consumo energetico degli edifici per uffici in Italia. Maggio 2019
25. D. Antonucci. Key Performance Indicators (KPIs) and needed data. Progetto ExcEED - European Energy Efficient building district Database: from data to information to knowledge (ExcEED)

26. F. Pagliaro, G. Murano, F. Hugony, R. Nidasio, F. Zanghirella, L. Colasuonno, M. Misceo, R. Basili, A. Martino, M. Marani, A. Panvini, M. Matera, B. Di Pietra, M. Morini, G. Azzolini, S. Di Turi, D. Prisinzano. La certificazione energetica degli edifici. Rapporto Annuale 2021. ISBN: 978-88-8286- 421-7.

5 Abbreviazioni ed acronimi

ACS	Acqua calda sanitaria
APE	Attestato di Prestazione Energetica
COP	Coefficiente di prestazione
DE	Diagnosi Energetica
E.1	Edifici adibiti a residenza con carattere continuativo […]
E.2	Edifici adibiti a uffici e assimilabili
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili
ENEA	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
EP	Energia primaria
ES–PA	Energia e Sostenibilità per la Pubblica Amministrazione
GG	Gradi Giorno
GGE	Gradi Giorno estivi
h_{imp}	ore di accensione dell'impianto
η_{imp}	rendimento dell'impianto termico
IEN	Indicatore Energetico Normalizzato
MC	Metodologia di correlazione
PC	parametro climatico
P_n	potenza nominale dell'impianto
PST	producibilità del solare termico
RdS	Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale
ST	solare termico
V_W	Volume di acqua per usi sanitari
pedici	
APE	Calcolato secondo approccio standard (Attestato di Prestazione Energetica)
DE	Calcolato secondo approccio tailored (Diagnosi Energetica)
APE-DE	Correlazione tra APE e DE
max	profilo di utilizzo massimo
med	profilo di utilizzo medio
min	profilo di utilizzo minimo

.

Appendice A

Caso Studio n. 1

Tempo medio speso a cucinare in una "*giornata tipo*" per ciascuna tipologia di pasto.

Anno	*Tipologia di pasto*	*Tempo medio speso per cucinare [min]*											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
2019	Colazione		×										
	Pranzo				×								
	Cena					×							
2020	Colazione		×										
	Pranzo				×								
	Cena					×							

Percentuale di pasti cucinati e consumati in casa in una "*settimana tipo*".

Anno	*Tipologia di pasto*	*Giorni della settimana "tipo"*							*Media settimanale [%]*	*Tempo per cucinare [h /giorno]*
		Lunedì	*Martedì*	*Mercoledì*	*Giovedì*	*Venerdì*	*Sabato*	*Domenica*		
2019	Colazione	0	0	0	0	0	100	50	21.4	0.02
	Pranzo	0	0	0	0	0	75	0	10.7	0.03
	Cena	0	0	0	0	75	0	0	10.7	0.04
2020	Colazione	100	100	100	100	100	0	0	71.4	0.06
	Pranzo	75	75	75	75	75	50	0	60.7	0.15
	Cena	50	50	50	50	50	0	0	35.7	0.12

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	1	16	1	12
Febbraio	1	6	1	9
Marzo	1	7	1	2
Aprile	1	0	1	0
Maggio	1	6	1	22
Giugno	1	0	1	30
Luglio	1	0	1	27
Agosto	1	0	1	26
Settembre	1	5	1	16
Ottobre	1	0	1	8
Novembre	1	7	1	18
Dicembre	1	8	1	25

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Tipologia dell'apparecchio sanitario presente	*Numero di apparecchi sanitari [-]*	*Percentuale di utilizzo in una giornata "tipo" [%]*
Doccia	1	100
Lavabo	2	50
Bidet	1	100
Vasca da bagno	1	0
Lavello da cucina	1	100
Totale	6	-

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2019).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1	×	da 0 a 2	×
2	×	da 2 a 4	×
3	×	da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso		da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del secondo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1	×	da 0 a 2	×
2	×	da 2 a 4	×
3	×	da 4 a 6	
4	×	da 6 a 8	
5	×	da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso		da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	*Anno 2019*			*Anno 2020*		
	Consumo di acqua [m³/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm³ o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*	*Consumo di acqua [m³/giorno o altra u.m.]*	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm³ o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio	2.673	45	35	2.012	22	39
Febbraio	1.002	3	23	1.509	14	30
Marzo	1.169	9	49	0.335	4	28
Aprile	0.000	0	33	0.000	0	28
Maggio	1.002	1	29	3.689	5	29
Giugno	0.000	0	36	5.030	3	89
Luglio	0.000	0	45	4.277	2	81
Agosto	0.000	0	50	4.118	2	50
Settembre	1.026	1	35	2.534	2	35
Ottobre	0.000	0	32	1.267	3	62
Novembre	1.436	6	29	2.851	26	60
Dicembre	1.641	27	47	3.960	66	78
Totale	9.950	92	443	31.583	149	609

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2019	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

Anno	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 2

Tempo medio speso a cucinare in una "*giornata tipo*" per ciascuna tipologia di pasto.

Anno	*Tipologia di pasto*	*Tempo medio speso per cucinare [min]*											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
2019	Colazione	×											
	Pranzo							×					
	Cena					×							
2020	Colazione	×											
	Pranzo							×					
	Cena					×							

Percentuale di pasti cucinati e consumati in casa in una "*settimana tipo*".

Anno	*Tipologia di pasto*	*Giorni della settimana "tipo"*							*Media settimanale [%]*	*Tempo per cucinare [h /giorno]*
		Lunedì	*Martedì*	*Mercoledì*	*Giovedì*	*Venerdì*	*Sabato*	*Domenica*		
2019	Colazione	100	100	100	100	100	100	100	100.0	0.00
	Pranzo	75	100	75	100	75	100	100	89.3	0.45
	Cena	100	100	100	100	100	100	100	100.0	0.33
2020	Colazione	100	100	100	100	100	100	100	100.0	0.00
	Pranzo	75	100	75	100	75	100	100	89.3	0.45
	Cena	100	100	100	100	100	100	100	100.0	0.33

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	2	31	2	31
Febbraio	2	28	2	29
Marzo	2	31	2	31
Aprile	2	30	2	30
Maggio	2	31	2	31
Giugno	2	26	2	25
Luglio	2	28	2	26
Agosto	2	15	2	26
Settembre	2	30	2	20
Ottobre	2	31	2	31
Novembre	2	30	2	30
Dicembre	2	31	2	31

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*	
		Utente n. 1	Utente n. 2
Doccia	1	85	70
Lavabo	2	50	50
Bidet	1	100	100
Vasca da bagno	1	15	30
Lavello da cucina	1	50	50
Totale	6	-	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2019).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2	×	da 2 a 4	×
3	×	da 4 a 6	
4	×	da 6 a 8	
5	×	da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso		da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del secondo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2	×	da 2 a 4	×
3	×	da 4 a 6	
4	×	da 6 a 8	
5	×	da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso		da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	*Anno 2019*			*Anno 2020*		
	Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*	*Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]*	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio	9027	166	177	9,657	132	161
Febbraio	8154	122	160	8,773	76	161
Marzo	9027	65	161	9,378	91	176
Aprile	8736	22	161	9,075	17	176
Maggio	8808	14	135	9,378	11	150
Giugno	7387	6	135	7,001	7	150
Luglio	7955	6	138	7,282	5	149
Agosto	4262	4	138	7,282	5	149
Settembre	8523	7	131	5,601	5	210
Ottobre	8808	12	131	8,682	16	210
Novembre	9345	45	164	8,402	87	190
Dicembre	9657	125	164	9,657	149	190
Totale	99688	594	1796	100165	601	2071

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 3

Tempo medio speso a cucinare in una "*giornata tipo*" per ciascuna tipologia di pasto.

Anno	*Tipologia di pasto*	*Tempo medio speso per cucinare [min]*											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
2019	Colazione	×											
	Pranzo							×					
	Cena						×						
2020	Colazione	×											
	Pranzo							×					
	Cena						×						

Percentuale di pasti cucinati e consumati in casa in una "*settimana tipo*".

Anno	*Tipologia di pasto*	*Giorni della settimana "tipo"*							*Media settimanale [%]*	*Tempo per cucinare [h /giorno]*
		Lunedì	*Martedì*	*Mercoledì*	*Giovedì*	*Venerdì*	*Sabato*	*Domenica*		
2019	Colazione	100	100	100	100	100	100	100	100.0	0.00
	Pranzo	50	50	50	50	50	50	0	42.9	0.21
	Cena	100	75	75	50	50	0	25	53.6	0.22
2020	Colazione	100	100	100	100	100	100	100	100.0	0.00
	Pranzo	75	75	75	75	75	75	0	64.3	0.32
	Cena	100	100	100	50	50	0	25	60.7	0.25

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	1	31	1	31
Febbraio	1	28	1	29
Marzo	1	31	1	31
Aprile	1	30	1	30
Maggio	1	31	1	31
Giugno	1	30	1	20
Luglio	1	31	1	26
Agosto	1	25	1	26
Settembre	1	30	1	18
Ottobre	1	31	1	31
Novembre	1	30	1	30
Dicembre	1	31	1	31

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Tipologia dell'apparecchio sanitario presente	*Numero di apparecchi sanitari [-]*	*Percentuale di utilizzo in una giornata "tipo" [%]*
Doccia	1	100
Lavabo	2	50
Bidet	2	50
Vasca da bagno	1	0
Lavello da cucina	1	25
Totale	7	-

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2019).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	×
2		da 2 a 4	×
3		da 4 a 6	×
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del secondo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	×
2		da 2 a 4	×
3		da 4 a 6	×
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	*Anno 2019*			*Anno 2020*		
	Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*	*Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]*	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio	3906	148	106	3674	147	117
Febbraio	3528	45	84	3437	60	109
Marzo	4006	50	94	4445	35	116
Aprile	3876	47	89	4302	15	114
Maggio	4006	4	91	4445	10	117
Giugno	3876	3	130	2868	4	130
Luglio	4006	3	134	3728	4	134
Agosto	3230	4	122	3728	4	122
Settembre	3555	4	118	2817	4	118
Ottobre	3674	4	101	4851	12	101
Novembre	3555	60	97	3930	32	97
Dicembre	3674	77	117	4061	124	117
Totale	44891	449	1283	46284	451	1392

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☑	
2020	☐	☑	

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☑	
2020	☐	☑	

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Impianto non utilizzato per riscaldare.

	Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☐	☐	☐	

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

Anno	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 4

Tempo medio speso a cucinare in una "*giornata tipo*" per ciascuna tipologia di pasto.

Anno	*Tipologia di pasto*	*Tempo medio speso per cucinare [min]*											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
2019	Colazione		×										
	Pranzo					×							
	Cena						×						
2020	Colazione		×										
	Pranzo					×							
	Cena						×						

Percentuale di pasti cucinati e consumati in casa in una "*settimana tipo*".

Anno	*Tipologia di pasto*	*Giorni della settimana "tipo"*							*Media settimanale [%]*	*Tempo per cucinare [h /giorno]*
		Lunedì	*Martedì*	*Mercoledì*	*Giovedì*	*Venerdì*	*Sabato*	*Domenica*		
2019	Colazione	100	100	100	100	100	100	50	92.9	0.08
	Pranzo	50	50	50	50	50	50	0	42.9	0.14
	Cena	100	100	100	100	100	50	100	92.9	0.39
2020	Colazione	100	100	100	100	100	100	50	92.9	0.08
	Pranzo	50	50	50	50	50	50	0	42.9	0.14
	Cena	100	100	100	100	100	50	100	92.9	0.39

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	3	31	4	31
Febbraio	3	28	4	29
Marzo	3	31	4	31
Aprile	3	30	4	30
Maggio	3	31	4	31
Giugno	3	28	4	28
Luglio	3	22	4	22
Agosto	3	22	4	31
Settembre	3	28	4	30
Ottobre	3	31	4	31
Novembre	3	30	4	30
Dicembre	4	31	4	31

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*			
		Utente n. 1	Utente n. 2	Utente n. 3	Utente n. 4
Doccia	1	100	100	0	0
Lavabo	2	50	50	50	0
Bidet	1	100	100	50	0
Vasca da bagno	1	0	0	50	50
Lavello da cucina	1	50	50	0	0
Totale	6	-	-	-	-

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2019).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	×
altro		non saprei	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del secondo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	×
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	*Anno 2019*			*Anno 2020*		
	Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*	*Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]*	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio	18823	132	160	19316	165	153
Febbraio	17002	117	149	18070	142	141
Marzo	18823	77	132	19316	127	154
Aprile	19682	55	128	18693	95	132
Maggio	20338	28	139	19899	34	157
Giugno	18370	15	137	17973	28	175
Luglio	14434	11	111	14122	19	190
Agosto	14434	12	115	19899	21	131
Settembre	18370	23	105	19257	32	127
Ottobre	18981	47	138	19899	72	231
Novembre	18369	75	135	18369	102	327
Dicembre	18981	109	168	18981	119	425
Totale	216607	701	1617	223794	956	2343

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 5

Tempo medio speso a cucinare in una "*giornata tipo*" per ciascuna tipologia di pasto.

Anno	*Tipologia di pasto*	*Tempo medio speso per cucinare [min]*											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
2019	Colazione		×										
	Pranzo								×				
	Cena				×								
2020	Colazione		×										
	Pranzo								×				
	Cena				×								

Percentuale di pasti cucinati e consumati in casa in una "*settimana tipo*".

Anno	*Tipologia di pasto*	*Giorni della settimana "tipo"*							*Media settimanale [%]*	*Tempo per cucinare [h /giorno]*
		Lunedì	*Martedì*	*Mercoledì*	*Giovedì*	*Venerdì*	*Sabato*	*Domenica*		
2019	Colazione	100	100	100	100	100	50	100	92.9	0.08
	Pranzo	100	100	100	100	100	100	50	92.9	0.54
	Cena	100	100	100	100	100	25	100	89.3	0.22
2020	Colazione	100	100	100	100	100	50	100	92.9	0.08
	Pranzo	100	100	100	100	100	100	50	92.9	0.54
	Cena	100	100	100	100	100	25	100	89.3	0.22

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	2	31	2	31
Febbraio	1	28	1	29
Marzo	1	31	2	31
Aprile	1	30	2	30
Maggio	1	31	2	31
Giugno	1	30	1	30
Luglio	1	25	1	31
Agosto	2	20	2	31
Settembre	1	28	1	30
Ottobre	1	31	1	31
Novembre	1	30	1	30
Dicembre	2	31	2	31

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*	
		Utente n. 1	Utente n. 2
Doccia	1	50	100
Lavabo	2	50	50
Bidet	2	50	50
Vasca da bagno	1	50	0
Lavello da cucina	1	100	0
Totale	7	-	-

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2019).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	×
2		da 2 a 4	×
3		da 4 a 6	×
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del secondo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	×
2		da 2 a 4	×
3		da 4 a 6	×
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	*Anno 2019*			*Anno 2020*		
	Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*	*Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]*	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio	7564	133	141	8464	135	116
Febbraio	6286	87	138	6826	108	114
Marzo	6959	71	137	8464	115	124
Aprile	7030	51	158	8191	97	115
Maggio	7263	10	168	8419	13	115
Giugno	7030	7	138	7024	11	139
Luglio	5858	5	168	7258	6	166
Agosto	5501	4	184	8419	5	177
Settembre	6561	8	127	7024	8	131
Ottobre	6745	16	155	7258	16	143
Novembre	6527	83	92	7211	73	145
Dicembre	7331	128	135	8643	138	183
Totale	80655	603	1741	93199	725	1668

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 6

Tempo medio speso a cucinare in una "*giornata tipo*" per ciascuna tipologia di pasto.

Anno	*Tipologia di pasto*	*Tempo medio speso per cucinare [min]*											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
2019	Colazione	x											
	Pranzo					x							
	Cena				x								
2020	Colazione	x											
	Pranzo					x							
	Cena				x								

Percentuale di pasti cucinati e consumati in casa in una "*settimana tipo*".

Anno	*Tipologia di pasto*	*Giorni della settimana "tipo"*							*Media settimanale [%]*	*Tempo per cucinare [h /giorno]*
		Lunedì	*Martedì*	*Mercoledì*	*Giovedì*	*Venerdì*	*Sabato*	*Domenica*		
2019	Colazione	100	100	100	100	100	100	100	100.0	0.00
	Pranzo	25	25	25	25	25	25	0	21.4	0.07
	Cena	0	0	0	0	0	50	50	14.3	0.04
2020	Colazione	100	100	100	100	100	100	100	100.0	0.00
	Pranzo	75	75	75	75	75	100	100	82.1	0.27
	Cena	50	50	50	50	50	100	100	64.3	0.16

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	2	31	2	31
Febbraio	2	28	2	29
Marzo	2	31	2	31
Aprile	2	30	2	30
Maggio	2	31	2	31
Giugno	2	30	2	30
Luglio	2	31	1	24
Agosto	1	31	1	0
Settembre	2	30	1	23
Ottobre	2	24	2	31
Novembre	2	30	2	30
Dicembre	2	31	2	31

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*	
		Utente n. 1	*Utente n. 2*
Doccia	1	90	90
Lavabo	2	5	10
Bidet	2	5	10
Vasca da bagno	0	0	0
Lavello da cucina	1	10	15
Totale	6	-	-

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2019).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	×
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del secondo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	×
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	*Anno 2019*			*Anno 2020*		
	Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*	*Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]*	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio	n.d	160.9	79	n.d	106.5	99
Febbraio	n.d	100.8	58	n.d	88.9	80
Marzo	n.d	75.9	71	n.d	66.8	162
Aprile	n.d	37.6	68	n.d	38.7	175
Maggio	n.d	16.0	74	n.d	10.0	175
Giugno	n.d	6.0	72	n.d	7.0	163
Luglio	n.d	4.0	70	n.d	3.0	101
Agosto	n.d	2.0	70	n.d	0.0	41
Settembre	n.d	6.0	72	n.d	9.0	99
Ottobre	n.d	11.0	79	n.d	10.0	124
Novembre	n.d	60.2	97	n.d	91.0	139
Dicembre	n.d	97.2	102	n.d	146.0	139
Totale	n.d	577.6	912	n.d	576.9	1497

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 7

Tempo medio speso a cucinare in una "*giornata tipo*" per ciascuna tipologia di pasto.

Anno	*Tipologia di pasto*	*Tempo medio speso per cucinare [min]*											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
2019	Colazione	x											
	Pranzo									x			
	Cena	x											
2020	Colazione	x											
	Pranzo									x			
	Cena	x											

Percentuale di pasti cucinati e consumati in casa in una "*settimana tipo*".

Anno	*Tipologia di pasto*	*Giorni della settimana "tipo"*							*Media settimanale [%]*	*Tempo per cucinare [h /giorno]*
		Lunedì	*Martedì*	*Mercoledì*	*Giovedì*	*Venerdì*	*Sabato*	*Domenica*		
2019	Colazione	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00
	Pranzo	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	25	100	26.8	0.18
	Cena	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00
2020	Colazione	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00
	Pranzo	0	0	0	0	0	0	100	14.3	0.10
	Cena	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	1	31	2	31
Febbraio	2	28	2	29
Marzo	2	31	2	31
Aprile	2	30	2	30
Maggio	2	31	2	31
Giugno	2	24	2	30
Luglio	2	31	2	31
Agosto	2	0	2	0
Settembre	2	24	2	30
Ottobre	2	31	2	31
Novembre	2	30	2	30
Dicembre	2	31	2	31

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo [%]*	
		Utente n. 1	*Utente n. 2*
Doccia	1	15	15
Lavabo	2	50	50
Bidet	2	50	50
Vasca da bagno	1	0	0
Lavello da cucina	1	40	20
Totale	7	-	-

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2019).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	×
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del secondo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	×
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	*Anno 2019*			*Anno 2020*		
	Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*	*Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]*	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio	0.357	337	447.5	0.284	278	460
Febbraio	0.357	235	447.5	0.284	204	439
Marzo	0.357	125	446	0.284	146	368
Aprile	0.357	113	376	0.284	127	350
Maggio	0.357	60	401	0.284	1	338
Giugno	0.286	2	312	0.284	1	305
Luglio	0.357	0	312	0.284	0	277
Agosto	0.000	1	178	0.000	1	85
Settembre	0.286	1	314	0.284	7	309
Ottobre	0.357	19	409	0.284	76	358
Novembre	0.357	165	403	0.284	157	389
Dicembre	0.357	251	427	0.284	324	410
Totale	3.768	1309	4473	3.119	1322	4088

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	23
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	23

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

Anno	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 8

Tempo medio speso a cucinare in una "*giornata tipo*" per ciascuna tipologia di pasto.

Anno	*Tipologia di pasto*	*Tempo medio speso per cucinare [min]*											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
2020	Colazione		×										
	Pranzo												×
	Cena						×						

Percentuale di pasti cucinati e consumati in casa in una "*settimana tipo*".

Anno	*Tipologia di pasto*	*Giorni della settimana "tipo"*							*Media settimanale [%]*	*Tempo per cucinare [h /giorno]*
		Lunedì	*Martedì*	*Mercoledì*	*Giovedì*	*Venerdì*	*Sabato*	*Domenica*		
2020	Colazione	100	100	100	100	100	50	100	92.9	0.08
	Pranzo	100	100	100	100	100	100	100	100.0	0.92
	Cena	100	100	100	100	100	100	100	100.0	0.42

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	1	31
Febbraio	1	29
Marzo	1	31
Aprile	1	30
Maggio	1	31
Giugno	1	30
Luglio	1	31
Agosto	1	31
Settembre	1	30
Ottobre	1	31
Novembre	1	30
Dicembre	1	31

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Tipologia dell'apparecchio sanitario presente	*Numero di apparecchi sanitari [-]*	*Percentuale di utilizzo in una giornata "tipo" [%]*
Doccia	1	50
Lavabo	2	50
Bidet	2	50
Vasca da bagno	1	15
Lavello da cucina	1	100
Totale	7	-

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	×
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	*Anno 2020*		
	Consumo di acqua [m³/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm³ o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio	4805	95	145
Febbraio	4495	83	123
Marzo	5245	71	117
Aprile	5076	43	103
Maggio	5245	12	116
Giugno	5076	8	112
Luglio	5245	6	124
Agosto	5245	5	135
Settembre	4425	5	118
Ottobre	4573	45	101
Novembre	4419	63	107
Dicembre	4566	89	117
Totale	58415	525	1418

– **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	

– **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

– **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2020	☐	☐	n.d.

– **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2020	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]												
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 9

Tempo medio speso a cucinare in una "*giornata tipo*" per ciascuna tipologia di pasto.

Anno	Tipologia di pasto	Tempo medio speso per cucinare [min]											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
2020	Colazione	×											
	Pranzo							×					
	Cena					×							

Percentuale di pasti cucinati e consumati in casa in una "*settimana tipo*".

Anno	Tipologia di pasto	Giorni della settimana "tipo"							Media settimanale [%]	Tempo per cucinare [h /giorno]
		Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato	Domenica		
2020	Colazione	100	100	100	100	100	100	50	92.9	0.00
	Pranzo	25	25	25	25	25	0	0	17.9	0.09
	Cena	100	100	100	50	25	25	0	57.1	0.19

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	Anno 2020	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	3	31
Febbraio	3	29
Marzo	3	31
Aprile	3	30
Maggio	3	31
Giugno	3	30
Luglio	3	31
Agosto	3	31
Settembre	3	30
Ottobre	3	31
Novembre	3	30
Dicembre	3	31

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Apparecchio sanitario	Numero [-]	Percentuale di utilizzo per utente [%]		
		n. 1	n. 2	n. 3
Doccia	1	100	100	50
Lavabo	2	50	50	50
Bidet	2	50	50	50
Vasca da bagno	1	0	0	0
Lavello da cucina	1	50	50	0
Totale	7	-	-	-

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	×
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	*Anno 2020*			
	Consumo di acqua [m³/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm³ o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*	*Energia prodotta e immessa nella rete [kWh]*
Gennaio	10091	89	196	63
Febbraio	9440	78	175	150
Marzo	9802	68	184	197
Aprile	9486	20	168	306
Maggio	9802	6	159	377
Giugno	9486	3	172	341
Luglio	9802	2	169	438
Agosto	9802	2	171	425
Settembre	9743	4	185	283
Ottobre	10067	27	177	200
Novembre	9519	57	196	83
Dicembre	9836	87	215	53
Totale	116876	443	2167	2916

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2020	☐	☐	n.d.

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2020	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]								
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]												
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]								
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 10

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	4	31
Febbraio	4	29
Marzo	4	31
Aprile	4	30
Maggio	4	31
Giugno	4	30
Luglio	4	20
Agosto	4	20
Settembre	4	30
Ottobre	4	31
Novembre	4	30
Dicembre	4	31

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo per utente [%]*			
		n. 1	*n. 2*	*n. 3*	*n. 4*
Doccia	1	100	100	100	100
Lavabo	2	50	50	50	50
Bidet	2	50	50	50	50
Vasca da bagno	1	0	0	0	0
Lavello da cucina	1	50	50	0	0
Totale	7	-	-	-	-

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	×
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

mese	*Consumo di acqua [m³/giorno o altra u.m.]*	*Energia prelevata da rete [kWh]*
Gennaio	18352	235
Febbraio	17168	217
Marzo	19463	215
Aprile	18835	196
Maggio	19463	155
Giugno	18835	162
Luglio	12557	157
Agosto	12557	152
Settembre	17334	176
Ottobre	17912	186
Novembre	17688	211
Dicembre	18278	227
Totale	208442	2289

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2020	☐	☐	n.d.

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2020	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

Anno	Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 11

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	2	31
Febbraio	2	29
Marzo	2	31
Aprile	2	30
Maggio	2	31
Giugno	2	30
Luglio	2	31
Agosto	2	5
Settembre	2	30
Ottobre	2	31
Novembre	2	30
Dicembre	2	31

Numero di apparecchiature installate e loro percentuale di utilizzo in una "*giornata tipo*".

Apparecchio sanitario	*Numero [-]*	*Percentuale di utilizzo per utente [%]*	
		n. 1	*n. 2*
Doccia	1	75	100
Lavabo	2	50	50
Bidet	2	50	50
Vasca da bagno	1	25	0
Lavello da cucina	1	50	0
Totale	7	-	-

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	×
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

mese	*Consumo di acqua [m³/giorno o altra u.m.]*	*Energia prelevata da rete [kWh]*
Gennaio	13392	300
Febbraio	12528	298
Marzo	15444	342
Aprile	14946	351
Maggio	15444	346
Giugno	14946	377
Luglio	15444	402
Agosto	2491	400
Settembre	13734	376
Ottobre	14192	356
Novembre	13248	333
Dicembre	13690	306
Totale	159499	4187

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2020	☐	☐	n.d.

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2020	☐	☐	n.d.

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Anno di analisi	Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	n.d.

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

	Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento																							
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 13

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	8	20	10	18
Febbraio	8	20	10	20
Marzo	9	21	5/6	14
Aprile	9	22	5	12
Maggio	10	21	5/6	10
Giugno	9	20	5/6	12
Luglio	9	23	6/7	20
Agosto	9	15	6/7	18
Settembre	10	21	7/8	20
Ottobre	10	22	7/8	22
Novembre	10	20	8/9	21
Dicembre	10	18	8/9	18

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2019).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	×
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del secondo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	×
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	Anno 2019		Anno 2020	
	Consumo di acqua [m³/giorno o altra u.m.]	Consumo di energia elettrica [kWh]	Consumo di acqua [m³/giorno o altra u.m.]	Consumo di energia elettrica [kWh]
Gennaio	4674	1263	4460	1148
Febbraio	4089	924	4088	852
Marzo	4674	537	3460	580
Aprile	4479	485	2230	273
Maggio	3895	423	1858	195
Giugno	4931	491	1719	274
Luglio	5146	699	2438	511
Agosto	3146	514	2398	442
Settembre	4503	497	2865	315
Ottobre	4503	440	3438	451
Novembre	4931	690	3294	886
Dicembre	4460	809	3081	1326
Totale	53431	7772	35329	7253

- **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	23

- **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	

- **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☑	☐	
2020	☑	☐	

- **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☐	Unico impianto
2020	☐	☐	Unico impianto

- **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Unico impianto
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Unico impianto

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?**

Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]

Anno di analisi	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2019	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Ore di accensione dell'impianto [ore]

Anno di analisi	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]

Anno di analisi	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?** Tipologia di impianto assente.

Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 14

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	7	19	7	24
Febbraio	7	21	7	22
Marzo	7	21	4	16
Aprile	7	23	4	12
Maggio	7	22	4	10
Giugno	7	23	4	12
Luglio	7	24	4	15
Agosto	7	24	4	24
Settembre	7	21	4	20
Ottobre	7	21	4	24
Novembre	7	23	4	23
Dicembre	7	24	4	24

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2019).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	×
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del secondo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	×
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	Anno 2019			Anno 2020		
	Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*	*Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]*	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio	2123	0	769	1741	86	480
Febbraio	2347	0	748	1595	39	476
Marzo	2347	0	689	1160	49	380
Aprile	2570	0	553	870	14	319
Maggio	2459	0	489	725	0	170
Giugno	2607	0	475	975	0	256
Luglio	2721	0	761	1219	0	648
Agosto	2721	0	694	1950	0	586
Settembre	2381	0	474	1625	0	311
Ottobre	2381	0	465	1950	0	375
Novembre	2607	0	643	1869	5	452
Dicembre	2794	40	748	1779	146	488
Totale	30058	40	7508	17458	339	4941

– **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	

– **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	

– **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☑	☐	
2020	☑	☐	

– **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☑	☐	
2020	☑	☐	

– **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?**

Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]

Anno di analisi	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Ore di accensione dell'impianto [ore]

Anno di analisi	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]

Anno di analisi	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	28
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	28

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?**

Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐

Caso Studio n. 15

Numero abituale di fruitori e numero di giorni di effettivo utilizzo dell'immobile nei vari mesi dell'anno.

Mese dell'anno	*Anno 2019*		*Anno 2020*	
	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]	Numero di fruitori [-]	Numero di giorni di presenza [giorni]
Gennaio	5	20	5	18
Febbraio	5	20	5	20
Marzo	5	21	3	14
Aprile	5	22	3	6
Maggio	5	21	3	10
Giugno	5	20	3	12
Luglio	5	23	3	20
Agosto	5	15	3	18
Settembre	5	21	4	20
Ottobre	5	22	4	22
Novembre	5	20	4	21
Dicembre	5	18	4	18

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del primo anno di analisi (2019).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	×
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Numero di giorni e range di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento in una "*giornata tipo*" del secondo anno di analisi (2020).

Range di accensione [giorni a settimana]	*Numero di giorni in una settimana "tipo" [giorni a settimana]*	*Range di accensione [ore/giorno]*	*Numero di ore in una giornata "tipo" [ore/giorno]*
sempre spento		sempre spento	
1		da 0 a 2	
2		da 2 a 4	
3		da 4 a 6	
4		da 6 a 8	
5		da 8 a 10	×
6		da 10 a 12	
sempre acceso	×	da 12 a 14	
non saprei		sempre acceso	
altro		non saprei	

Consumi di bolletta registrati per ogni anno analizzato.

Mese dell'anno	Anno 2019			Anno 2020		
	Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*	*Consumo di acqua [m^3/giorno o altra u.m.]*	*Consumo di metano o altro combustibile [Sm^3 o altra u.m.]*	*Consumo di energia elettrica [kWh]*
Gennaio	2461	226	147	1750	162	115
Febbraio	2344	206	136	1843	157	122
Marzo	2344	181	127	737	138	82
Aprile	2461	93	137	369	69	35
Maggio	2696	33	249	1198	1	74
Giugno	2500	3	265	936	1	113
Luglio	1477	1	371	936	1	268
Agosto	2614	1	307	1435	1	459
Settembre	2500	1	312	1373	2	241
Ottobre	2728	57	142	1435	23	139
Novembre	2500	125	131	1248	112	125
Dicembre	2119	147	123	1376	164	118
Totale	28744	1074	2447	14636	831	1891

– **qual è la temperatura di set point nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sul cronotermostato di casa.**

Anno di analisi	Temperatura di set point [°C]									
	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	23
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	23

– **quante ore al giorno accendi l'impianto a pompa di calore? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

– **rispetto al generatore di calore, sei solito accendere la pompa di calore nel periodo invernale?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☑	
2020	☐	☑	

– **sei solito accendere la pompa di calore come integrazione del generatore di calore?**

Anno di analisi	SI	NO	altro
2019	☐	☑	
2020	☐	☑	

– **rispetto al generatore di calore, quante ore accendi la pompa di calore nel periodo invernale? È possibile indicare uno o più range.**

Anno di analisi	Ore di accensione dell'impianto [ore]									
	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione della pompa di calore all'interno di una "giornata tipo"?**

Orario di accensione dell'impianto a pompa di calore

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- **qual è la temperatura che imposti sulla pompa di calore nel periodo invernale? Indicare la temperatura settata sull'impianto a pompa di calore.**

Temperatura impostata sull'impianto a pompa di calore [°C]

Anno di analisi	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

- **quante ore al giorno accendi l'impianto di raffrescamento? È possibile indicare uno o più range.**

Ore di accensione dell'impianto [ore]

Anno di analisi	Sempre spento	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	>14	altro
2019	☐	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	
2020	☐	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	

- **qual è la temperatura che imposti sul condizionatore nel periodo estivo? Indicare la temperatura settata sull'impianto di raffrescamento.**

Temperatura impostata sull'impianto di raffrescamento [°C]

Anno di analisi	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	altro
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	

- **puoi indicare una o più fasce orarie preferenziali di accensione dell'impianto di raffrescamento all'interno di una "giornata tipo"?**

Orario di accensione dell'impianto di raffrescamento

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2019	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2020	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐