



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



MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA



Ricerca di Sistema elettrico

Simulazione di un caso studio per un edificio residenziale in accordo con la UNITS 11300 e confronto con altre metodologie di calcolo

G. Barone, A. Buonomano, C. Forzano, G.F. Giuzio, A. Palombo

SIMULAZIONE DI UN CASO STUDIO PER UN EDIFICIO RESIDENZIALE IN ACCORDO CON LA UNITS 11300 E CONFRONTO CON ALTRE METODOLOGIE DI CALCOLO

G. Barone, A. Buonomano, C. Forzano, G.F. Giuzio, A. Palombo (Università degli Studi di Napoli Federico II - Dipartimento di Ingegneria Industriale)

Aprile 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 - II 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: *LA1.13 - Simulazione di un caso studio per un edificio residenziale in accordo con la UNITS 11300 e confronto con altre metodologie di calcolo*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Confronto delle nuove metodologie di calcolo rispetto a quelle previste dalle normative attuali (UNI TS 11300)*"

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Domenico Palladino

Responsabile scientifico Università degli Studi di Napoli Federico II - Dipartimento di Ingegneria Industriale: Prof.ssa Annamaria Buonomano

Indice

SOMMARIO.....	8
1 IL CASO STUDIO – EDIFICIO RESIDENZIALE	9
1.1 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO	9
1.2 CARATTERISTICHE DELL'INVOLUCRO EDILIZIO	11
2 MODELLAZIONE DELL'EDIFICIO PER IL CALCOLO DEI FABBISOGNI DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO	14
2.1 ZONIZZAZIONE	14
2.2 CONDIZIONI AL CONTORNO	15
2.3 DATI DI INPUT PER LA MODELLAZIONE E CONDIZIONI AL CONTORNO	16
2.3.1 <i>Periodo di utilizzo dell'edificio</i>	17
2.3.2 <i>Occupanti e profilo di occupazione</i>	17
2.3.3 <i>Apporti termici interni</i>	18
2.3.4 <i>Ventilazione</i>	19
2.3.5 <i>Condizioni termo-igrometriche di set-point</i>	20
2.3.6 <i>Durata giornaliera di accensione dell'impianto</i>	20
3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DELL'EDIFICIO IN AMBIENTE DI CALCOLO TERMOLOG	23
3.1 IMPLEMENTAZIONE DELL'EDIFICIO IN TERMOLOG	24
3.2 VERIFICA DEL MODELLO DELL'EDIFICIO	24
3.3 RISULTATI DELLA SIMULAZIONE	26
4 CONFRONTO DEI RISULTATI OTTENUTI SULLA BASE DELLE UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ED OPENBPS	32
4.1 RISULTATI DEL CONFRONTO PER MILANO	32
4.1.1 <i>Riferimento: OpenBPS (V1)</i>	33
4.1.2 <i>Riferimento: OpenBPS (V2)</i>	37
4.2 RISULTATI DEL CONFRONTO PER ROMA	44
4.2.1 <i>Riferimento: OpenBPS (V1)</i>	44
4.2.2 <i>Riferimento: OpenBPS (V2)</i>	49
4.3 RISULTATI DEL CONFRONTO PER PALERMO	55
4.3.1 <i>Riferimento: OpenBPS (V1)</i>	55
4.3.2 <i>Riferimento: OpenBPS (V2)</i>	60
5 ANALISI DEI RISULTATI AGGREGATI – CONFRONTO DELLE UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ED OPENBPS	66
5.1 CALCOLO STANDARD	66
5.2 CALCOLO TAILORED	70
6 CONCLUSIONI	75
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	77

Elenco Figure

- Figura 1. Vista aerea dell'edificio e della zona in cui è situato.
- Figura 2. Prospetti sud-est (A – Viale dello Scalo San Lorenzo), nord-est (B – Via dei Reti) e nord-ovest (C – Via degli Enotri).
- Figura 3. Piante dei piani terra (sinistra), primo (centro) e quinto (destra)
- Figura 4. Piante dei piani quinto (sinistra) e sesto (destra)
- Figura 5. Schema dell'edificio e zonizzazione.
- Figura 6. Valori orari della temperatura dell'aria esterna delle località indagate- dati CTI.
- Figura 7. Valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna - UNI 10349-1.
- Figura 8. Valori medi mensili dell'irradiazione solare globale sul piano orizzontale - UNI 10349-1.
- Figura 9. Profili di occupazione.
- Figura 10. Apporti interni orari per singola zona termica.
- Figura 11. Portata di ventilazione oraria per singola zona termica.
- Figura 12. Profili di accensione degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento e temperatura operativa di set point - Milano.
- Figura 13. Profili di accensione degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento e temperatura operativa di set point - Roma.
- Figura 14. Profili di accensione degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento e temperatura operativa di set point - Palermo.
- Figura 15. Valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna e dell'irradiazione solare globale sul piano orizzontale per le tre località indagate - UNI 10349-1.
- Figura 16. Profili Modello 3D dell'edificio. Prospetti SE e NE (sinistra) e SO e NO (destra).
- Figura 17. Andamento della temperatura interna invernale della Zona 3, per l'edificio situato a Roma – calcolo Standard.
- Figura 18. Andamento della temperatura interna invernale della Zona 3, per l'edificio situato a Roma – calcolo Standard.
- Figura 19. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Milano, UNI TS 11300.
- Figura 20. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Roma, UNI TS 11300.
- Figura 21. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Palermo, UNI TS 11300.
- Figura 22. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Milano
- Figura 23. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 24. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Milano
- Figura 25. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 26. Fabbisogno di riscaldamento, confronto UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Milano
- Figura 27. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 28. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Milano
- Figura 29. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 30. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Milano
- Figura 31. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Milano
- Figura 32. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 33. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 34. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Roma
- Figura 35. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 36. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Roma
- Figura 37. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 38. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Roma
- Figura 39. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 40. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Roma
- Figura 41. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 42. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Roma
- Figura 43. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Roma
- Figura 44. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Roma

- Figura 45. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 46. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Palermo.
- Figura 47. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 48. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Palermo.
- Figura 49. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 49. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 50. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Palermo.
- Figura 51. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 52. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Palermo.
- Figura 53. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 54. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Palermo.
- Figura 55. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Palermo.
- Figura 56. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 57. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 58. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard.
- Figura 59. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard.
- Figura 60. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored.
- Figura 61. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored.

Elenco Tabelle

- Tabella 1. Componenti opachi dell'involucro edilizio e caratteristiche termofisiche
- Tabella 2. Stratigrafia componenti verticali (da interno ad esterno)
- Tabella 3. Stratigrafia orizzontali (da esterno ad interno)
- Tabella 4. Componenti trasparenti dell'involucro edilizio e caratteristiche termofisiche
- Tabella 5. Caratteristiche delle singole zone termiche
- Tabella 6. Apporti termici interni e produzione di vapore per persona
- Tabella 7. Condizioni termo-igrometriche di set-point
- Tabella 8. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Standard, Milano.
- Tabella 9. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Tailored, Milano.
- Tabella 10. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Standard, Roma.
- Tabella 11. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Tailored, Roma.
- Tabella 12. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Standard, Palermo.
- Tabella 13. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 14. Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]
- Tabella 15. Fabbisogno annuo di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]
- Tabella 16. Fabbisogno specifico annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [kWh/m²]
- Tabella 17. Fabbisogno specifico annuo di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [kWh]
- Tabella 18. Caratteristiche climatiche del sito - Milano
- Tabella 19. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Milano.
- Tabella 20. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Milano.
- Tabella 21. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Milano.
- Tabella 22. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Milano.
- Tabella 23. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Milano.
- Tabella 24. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Milano.
- Tabella 25. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Milano.
- Tabella 26. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Milano.
- Tabella 27. Caratteristiche climatiche del sito - Roma
- Tabella 28. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Roma.
- Tabella 29. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Roma.
- Tabella 30. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Roma.
- Tabella 31. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Roma.
- Tabella 32. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Roma.
- Tabella 33. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Roma.

- Tabella 34. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Roma.
- Tabella 35. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Roma.
- Tabella 36. Caratteristiche climatiche del sito - Palermo
- Tabella 37. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Palermo.
- Tabella 38. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 39. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Palermo.
- Tabella 40. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 41. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Palermo.
- Tabella 42. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 43. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Palermo.
- Tabella 44. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 45. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.
- Tabella 46. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.
- Tabella 47. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.
- Tabella 48. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.
- Tabella 49. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.
- Tabella 50. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.
- Tabella 51. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.
- Tabella 52. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.

Sommario

L'attività descritta in questo report rientra nell'ambito della ricerca di sistema triennale volta all'analisi dell'applicabilità di modelli di calcolo dinamici del fabbisogno di energia degli edifici ai fini della redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE) e della verifica dei requisiti energetici degli edifici. L'attività di ricerca include: *i)* un'indagine bibliografica (oggetto di studio della prima annualità) effettuata per approfondire e caratterizzare i modelli fisico-matematici sui quali sono basate le metodologie disponibili per il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e raffrescamento degli edifici; *ii)* l'applicazione delle suddette metodologie a due casi studio – relativi a due edifici, uno residenziale (seconda annualità) ed uno non-residenziale (terza annualità) – ed il successivo confronto dei risultati. Nello specifico, le metodologie indagate ed applicate ai casi studio sviluppati sono relativi ai metodi stazionari e dinamici basati sulla UNI TS 11300-1, sulla UNI EN ISO 52016-1, e sul calcolo dinamico implementato nel codice OpenBPS.

L'attività di ricerca del primo semestre della seconda annualità – descritta in questo documento – è incentrata sull'applicazione del metodo stazionario basato sulla UNI TS 11300-1 (*Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*) che definisce le modalità di applicazione nazionali della norma internazionale EN ISO 13790:2008, con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Tale norma descrive il calcolo in condizioni di progetto, la valutazione del fabbisogno energetico di edifici in condizioni standard (Asset rating, in cui il funzionamento dell'impianto è ipotizzato continuo ed il cui approccio è attualmente utilizzato in Italia per la redazione dell'APE) e in particolari condizioni d'esercizio (Tailored rating, in cui il funzionamento dell'impianto è supposto intermittente in base ad uno specifico profilo di utilizzo). Tale metodologia di calcolo è stata applicata al caso studio relativo ad un immobile di tipo residenziale, individuato da ENEA, sito a Roma. L'edificio è stato opportunamente modellato in ambiente di calcolo per la stima dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento, valutati considerando 3 differenti località climatiche (Milano, Roma, Palermo) ed il funzionamento dell'impianto sia con profilo di utilizzo standard (Asset rating,) che adattato all'utenza (Tailored rating). I dati relativi all'involucro edilizio (proprietà termofisiche e geometrie della parte opaca e trasparente), i carichi endogeni (persone, illuminazione artificiale, macchinari), nonché il tasso di infiltrazione e gli scheduling di occupazione ed accensione dell'impianto, forniti da ENEA, sono stati opportunamente utilizzati per la corretta ed omogenea modellazione dell'edificio.

Il caso studio relativo all'edificio residenziale è stato adoperato per il confronto dei risultati ottenuti tramite metodi stazionari e dinamici: il metodo stazionario (UNI TS 11300-1) analizzato dall'unità di ricerca dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, ed i metodi dinamici, orario (UNI EN ISO 52016-1) e dinamico dettagliato (OpenBPS), analizzati rispettivamente dalle unità di ricerca del Politecnico di Torino e del Politecnico di Milano. I risultati conseguiti a valle delle simulazioni effettuate con il metodo stazionario basato sulle UNI TS 11300-1 sono stati opportunamente confrontati con i risultati ottenuti attraverso il calcolo dinamico orario, effettuato in accordo con la norma UNI EN ISO 52016, ed il calcolo dinamico effettuato con il codice OpenBPS. L'attività di confronto dei risultati ha avviato un processo iterativo di analisi e debugging (per la verifica dell'affidabilità dei modelli di simulazione utilizzati) finalizzato alla corretta individuazione delle cause di discrepanza tra gli output forniti. Il confronto dei risultati ha, inoltre, il fine di individuare potenziali condizioni di funzionamento dell'impianto e/o di utilizzo degli edifici per cui una determinata metodologia risulta più o meno idonea per la redazione dell'attestato di prestazione energetica.

1 Il caso studio – edificio residenziale

Al fine di valutare le differenze tra i risultati dei fabbisogni mensili ed annuali di riscaldamento e raffrescamento ottenuti attraverso l'applicazione delle metodologie di calcolo delle norme UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, e del codice dinamico OpenBPS, è stato individuato un opportuno caso studio relativo ad un edificio multipiano adibito ad uso residenziale. Di seguito si riportano le caratteristiche dell'edificio, e le ipotesi di modellazione e simulazione scelte in accordo con le altre unità di ricerca (Politecnico di Torino e Politecnico di Milano).

1.1 Descrizione dell'edificio

L'edificio oggetto dello studio è sito a Roma, nel quartiere San Lorenzo (Figura 1), presenta una forma trapezoidale, con tre lati che affacciano su Via degli Enotri (Nord-Ovest), su Via dei Reti (Nord-Est) e su Viale dello Scalo San Lorenzo (Sud-Est), ed un lato (Sud-Ovest) adiacente ad un altro edificio. L'edificio si trova in una zona residenziale con presenza di edifici commerciali, ed esso stesso ospita locali ad uso commerciale al piano terra e locali ad uso residenziale ai piani superiori (dal primo al sesto), come da Figura 2. L'edificio presenta un'estensione in altezza significativa, e non risulta particolarmente ombreggiato dagli edifici che lo circondano essendo questi più bassi o di pari altezza; inoltre, la facciata a Sud-Est affaccia su ampi spazi verdi e/o intersezioni stradali che quindi non costituiscono ombreggiamento alcuno.



Figura 1. Vista aerea dell'edificio e della zona in cui è situato.



Figura 2. Prospetti sud-est (A – Viale dello Scalo San Lorenzo), nord-est (B – Via dei Reti) e nord-ovest (C – Via degli Enotri).

L'edificio è costituito da sette piani fuori terra; il piano terra ospita locali commerciali, mentre i piani superiori (dal primo al sesto), ospitano ognuno tre appartamenti residenziali, per un totale di 18 appartamenti, ai quali si aggiunge il vano scala – si veda [Figura 2](#). Le principali caratteristiche geometriche dell'edificio sono: volume lordo pari a 6234 m³, superficie utile pari a 1200 m², superficie disperdente pari a 2365 m² e rapporto di forma (superficie disperdente su volume lordo) pari a 0.38. In [Figura 3](#) sono riportate le piante dei piani terra, primo e quinto; la pianta del primo piano è caratteristica dei piani che vanno dal primo al quarto (caratterizzati da piante sovrapponibili), la pianta del quinto è simile a quella del sesto, a meno del terrazzo / balcone, come si evince dalla [Figura 4](#). Ad esclusione del piano terra, i piani dal primo al sesto – tutti adibiti ad uso residenziale – sono oggetto del presente studio. I piani dal primo al quarto ospitano tre alloggi di diversa metratura, pari a 48, 57 e 87 m² (riportate rispettivamente dalle aree in azzurro, arancione e giallo di [Figura 3](#), al centro). Il quinto ed il sesto piano presentano una forma leggermente diversa (si noti la facciata su Via dei Reti, il terrazzo al quinto piano ed il balcone al sesto) e risultano leggermente più piccoli in metratura rispetto ai piani inferiori, ed infatti gli alloggi presenti sono pari a 39, 47 e 85 m² (le aree interessate sono riportate rispettivamente in verde, rosso e blu di [Figura 3](#), a destra).



Figura 3. Piante dei piani terra (sinistra), primo (centro) e quinto (destra)



Figura 4. Piante dei piani quinto (sinistra) e sesto (destra)

1.2 Caratteristiche dell'involucro edilizio

Gli elementi dell'involucro edilizio sono stati classificati in base alla documentazione fornita da ENEA, mentre le caratteristiche termofisiche dei materiali sono state ricavate dalla normativa tecnica. Nelle tabelle successive si riportano le caratteristiche dei componenti opachi, verticali e orizzontali (**Tabella 1**), le rispettive stratigrafie (**Tabella 2** e **Tabella 3**), e le caratteristiche degli elementi finestrati (**Tabella 4**). Dal punto di vista strutturale, l'edificio - edificato nel 1926 - presenta una struttura a setti portanti in laterizio e sembrerebbe essere stato completato in due momenti, **Figura 2**. I piani dal primo al quarto, infatti, presentano una muratura in laterizi pieni separati da uno strato di ciottoli e pietre frantumate, con pareti di spessore pari a 70 cm (componente M1, **Tabella 1** e **Tabella 2**). Il quinto e sesto piano (oggetto di una probabile successiva sopraelevazione) sono caratterizzati da una struttura più leggera; le pareti perimetrali sono infatti costituite da mattoni semipieni separati da un'intercapedine di aria non ventilata per uno spessore totale pari a 30 cm (componente M4, **Tabella 1** e **Tabella 2**). L'edificio risulta essere prevalentemente non isolato termicamente, con trasmittanze termiche elevate - **Tabella 1**.

Tabella 1. Componenti opachi dell'involucro edilizio e caratteristiche termofisiche

Cod	Componenti verticali	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sf [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	Ue [W/m ² K]
M1	MURO ESTERNO 70 cm	700	1188	0.02	-22.4	62.5	0.90	0.60	0.94
M2	TRAMEZZO 10 cm	100	112	1.71	-3.62	55.6	0.90	0.60	2.25
M3	TRAMEZZO 20 cm	200	252	0.63	-7.64	64.2	0.90	0.60	1.55
M4	MURO ESTERNO 33 cm	330	332	0.39	-9.43	59.7	0.90	0.60	1.25
M5	SOTTOFINESTRA 27 cm	270	379	0.65	-8.11	67.1	0.90	0.60	1.78
Cod	Componenti orizzontali	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sf [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	Ue [W/m ² K]
S1	SOLAIO PIANO TERRA/ PIANO TIPO 20 cm	200	300	1.07	-5.95	100	0.90	0.60	2.27
S2	SOLAIO COPERTURA 33 cm	330	470	0.57	-9.18	107	0.90	0.60	1.82
S3	SOLAIO INTERPIANO 20 cm (piani 1-4)	200	267	1.08	-5.83	92.1	0.90	0.60	1.94
S4	SOLAIO INTERPIANO 30 cm (piani 5-6)	300	397	0.61	-8.41	96.4	0.90	0.60	1.62

Legenda simboli

Sp	Spessore struttura	C_T	Capacità termica areica
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci	ε	Emissività
Y_{IE}	Trasmittanza termica periodica della struttura	α	Fattore di assorbimento
Sf	Sfasamento onda termica	Ue	Trasmittanza termica della struttura

Tabella 2. Stratigrafia componenti verticali (da interno ad esterno)

N.	Stratigrafia M1	s	λ _D	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	-	-	-
1	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
2	Mattone pieno	280.00	0.778	0.360	1800	0.84	9
3	Ciottoli e pietre frantumate (um. 2%)	120.00	0.700	0.171	1500	1.00	5
4	Mattone pieno	280.00	0.778	0.360	1800	0.84	9
5	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.064	-	-	-
N.	Stratigrafia M2	s	λ _D	R	M.V.	C.T.	R.V.
	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	-	-	-
	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	180.00	0.500	0.160	1400	1.00	7
	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.130	-	-	-
N.	Stratigrafia M3	s	λ _D	R	M.V.	C.T.	R.V.
	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	-	-	-

	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	80.00	0.500	0.160	1400	1.00	7
	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.130	-	-	-
N.	Stratigrafia M4	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	-	-	-
1	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
2	Mattone semipieno	120.00	0.500	0.240	1167	0.84	9
3	Intercapedine non ventilata $Av < 500 \text{ mm}^2/\text{m}$	50.00	0.278	0.180	-	-	-
4	Mattone semipieno	140.00	0.583	0.240	1371	0.84	9
5	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.064	-	-	-
N.	Stratigrafia M5	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	-	-	-
1	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
2	Mattone semipieno	250.00	0.676	0.370	1516	0.84	9
3	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.064	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ_D	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	$\text{m}^2\text{K/W}$
M.V.	Massa volumica	kg/m^3
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

I componenti orizzontali, interni ed esterni (si veda **Tabella 3**) sono costituiti da laterocemento con tavelloni portanti (S1, **Tabella 1** e **Tabella 3**) o da blocchi in laterizio e sottofondo in calcestruzzo (S2, S3 ed S4). Poiché oggetto dello studio sono i soli piani dell'edificio adibiti a residenze, il piano terra è escluso dall'analisi. Pertanto, il solaio che separa il piano terra dal primo piano (S1, **Tabella 1** e **Tabella 3**) ed il solaio di copertura (S2, **Tabella 1** e **Tabella 3**) sono considerati gli unici sue solai disperdenti, insieme alla porzione di solaio (rivestita da piastrelle in ceramica) tra il quarto ed il quinto piano che funge da terrazzo per il quinto piano.

Tabella 3. Stratigrafia orizzontali (da esterno ad interno)

N.	Stratigrafia S1	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.100	-	-	-
1	Piastrelle in marmo	20.00	3.000	0.007	2700	1.00	10000
2	Sottofondo di cemento magro	110.00	1.060	0.104	1900	1.00	96
3	Tavellone portante	60.00	0.429	0.140	617	0.84	9
4	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0.100	-	-	-
N.	Stratigrafia S2	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.064	-	-	-
1	Piastrelle in marmo	20.00	1.300	0.015	2300	0.84	999999 9
2	Impermeabilizzazione in asfalto	10.00	0.700	0.014	2100	1.00	188000
3	Sottofondo di cemento magro	70.00	0.900	0.078	1800	0.88	30
4	Blocco da solaio	220.00	0.688	0.320	1259	0.84	9
5	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0.100	-	-	-
N.	Stratigrafia S3	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.100	-	-	-
1	Piastrelle in marmo	20.00	3.000	0.007	2700	1.00	10000
2	Sottofondo di cemento magro	110.00	0.700	0.157	1600	0.88	20
3	Tavellone	60.00	0.429	0.140	617	0.84	9
4	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0.100	-	-	-
N.	Stratigrafia S4	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.100	-	-	-

1	Piastrelle in marmo	20.00	3.000	0.007	2700	1.00	10000
2	Sottofondo di cemento magro	90.00	0.900	0.100	1800	0.88	30
3	Blocco da solaio	180.00	0.600	0.300	1006	0.84	9
4	Intonaco di calce e sabbia	10.00	0.800	0.013	1600	1.00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0.100	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ_D	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

I dati relativi ai principali serramenti installati nell'edificio sono riportati in **Tabella 4**; i componenti trasparenti W1 e W2, installati ai piani dal primo al quarto, sono costituiti da vetri singoli e telaio metallico, mentre ai piani superiori (quinto e sesto) si ha la presenza di serramenti con telaio metallico in legno e vetri doppi, W3 e W4. Infine, tutte le aperture presentano chiusure oscuranti costituite da persiane in legno a doppia anta.

Tabella 4. Componenti trasparenti dell'involucro edilizio e caratteristiche termofisiche

Cod	Descrizione (L x H)	ϵ	ggI_n	f_{Cinv}	f_{Cest}	U_g [W/m ² K]	U_w [W/m ² K]	Agf [m ²]	Lgf [m]
W1	Finestra a due ante con vetro singolo 1.00 x 1.80	0.837	0.850	1.0	1.0	5.682	5.982	1.39	8.44
W2	Finestra a singola anta con vetro singolo 0.50 x 1.80	0.837	0.850	1.0	1.0	5.682	5.975	0.70	4.22
W3	Porta finestra a due ante con vetro doppio (aria) 1.20 x 2.80	0.837	0.750	1.0	1.0	2.817	2.814	2.75	12.84
W4	Finestra a singola anta con vetro doppio (aria) 1.20 x 1.80	0.837	0.750	1.0	1.0	2.817	2.814	1.73	8.84
W5	Porta finestra a due ante con vetro doppio 1.00 x 1.80	0.837	0.835	1.00	1.00	2.636	3.048	1.40	8.4
W6	Finestra a due ante con vetro doppio 0.50 x 1.80	0.837	0.835	1.00	1.00	2.636	3.049	0.68	4.2
W7	Finestra a due ante con vetro doppio 1.50 x 2.00	0.837	0.835	1.00	1.00	2.636	3.041	2.36	13.9

Legenda simboli

ϵ	Emissività	L	Larghezza
ggI_n	Fattore di trasmittanza solare	U_g	Trasmittanza vetro
f_{Cinv}	Fattore tendaggi (energia invernale)	U_w	Trasmittanza serramento
f_{Cest}	Fattore tendaggi (energia estiva)	Agf	Area del vetro
H	Altezza	Lgf	Perimetro del vetro

2 Modellazione dell'edificio per il calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento

La modellazione e la simulazione dell'edificio del caso studio sono state effettuate a valle della scelta di opportune semplificazioni ed ipotesi, anche necessarie a ridurre le cause di discrepanza nel calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento ottenuti attraverso i metodi stazionari e dinamici considerati (UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS).

2.1 Zonizzazione

L'edificio oggetto dello studio è stato suddiviso in 3 zone termiche, opportunamente scelte sulla base delle particolari condizioni al contorno relative allo scambio termico, [Figura 5](#). Nello specifico, le 3 zone termiche individuate – caratterizzate dalla stessa destinazione d'uso e profilo di utilizzo e servite dallo stesso impianto – differiscono sostanzialmente per le condizioni di scambio termico attraverso le superfici orizzontali, e sono così definite:

- **Zona 1**, costituita dall'intero primo piano. La zona termica disperde attraverso la superficie orizzontale del solaio di calpestio verso il piano terra adibito ad uso commerciale e attraverso la superficie orizzontale del solaio superiore verso il secondo piano adibito ad uso residenziale e caratterizzato dallo stesso profilo di utilizzo.
- **Zona 2**, costituita dai piani secondo, terzo e quarto, che presentano la stessa geometria e proprietà termofisiche, nonché la stessa destinazione d'uso e profilo di utilizzo. Tale zona termica disperde attraverso le superfici orizzontali di calpestio e superiore verso zone termiche (zona termica 1 e zona termica 3) dalle stesse condizioni operative. Si noti che la dispersione termica attraverso il solaio superiore avviene sia verso la zona termica 3 che verso l'ambiente esterno per la parte di solaio utilizzata come terrazzo.
- **Zona 3**, costituita dagli ultimi due piani, il quinto ed il sesto, caratterizzati dalla stessa geometria e proprietà termofisiche, nonché dalla stessa destinazione d'uso e profilo di utilizzo. La dispersione termica attraverso il solaio di calpestio avviene verso la zona termica inferiore 2, mentre quella attraverso il solaio di copertura avviene verso l'ambiente esterno.

Per tutte le 3 zone termiche, le pareti a Sud-Ovest adiacenti al fabbricato adiacente sono considerate adiabatiche, mentre le restanti pareti dell'involucro disperdono verso l'ambiente esterno (per gli orientamenti Sud-Est, Nord-Est, Nord-Ovest), come riportato in [Figura 2](#).

Le caratteristiche geometriche delle singole zone termiche sono riassunte in [Tabella 5](#):

Tabella 5. Caratteristiche delle singole zone termiche

Zona termica	Piani	Superficie utile calpestabile [m ²]	Altezza media netta per piano [m]	Volume netto [m ³]
Zona 1	<i>Primo</i>	203	4	811
Zona 2	<i>Secondo - Terzo - Quarto</i>	608		2432
Zona 3	<i>Quinti - Sesto</i>	389		1556

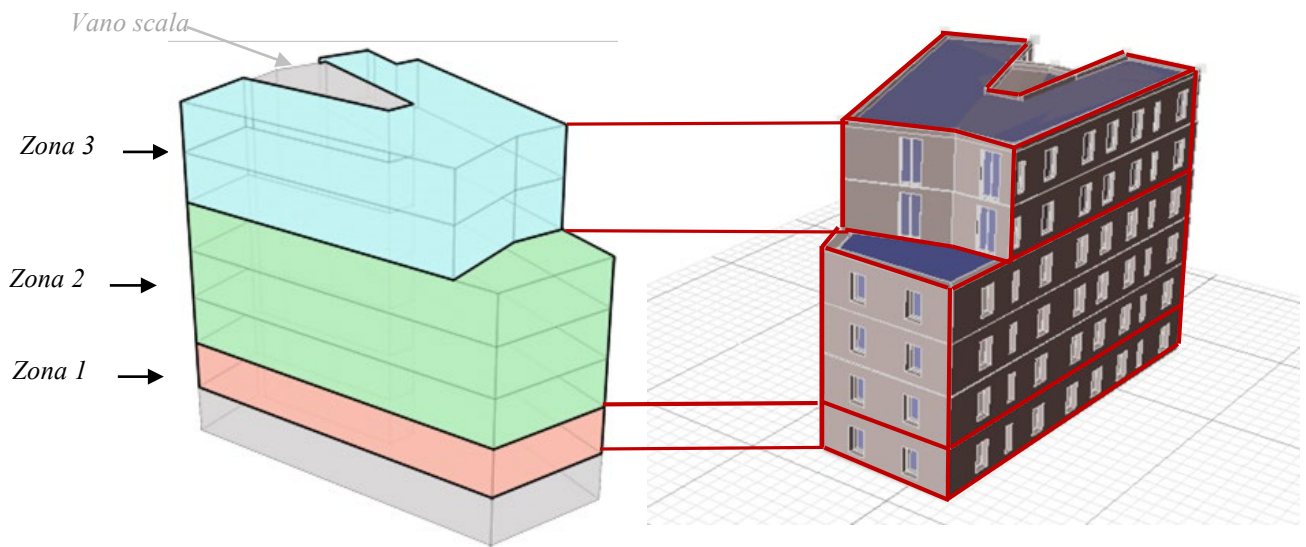


Figura 5. Schema dell'edificio e zonizzazione.

2.2 Condizioni al contorno

Il calcolo del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio è effettuato considerando tre zone climatiche, ossia Milano (zona climatica E), Roma (zona climatica D) e Palermo (zona climatica B). Per ciascuna località, i dati climatici – valori medi mensili – sono contenuti nella norma UNI 10349-1.

Per le tre località indagate, i profili della temperatura dell'aria esterna, ϑ_e , orari (dati CTI) e medi mensili (UNI 10349-1) sono riportati in Figura 6 e Figura 7, mentre i valori mensili dell'irradiazione globale sul piano orizzontale, $I_{sol,h}$, sono riportati in Figura 8.

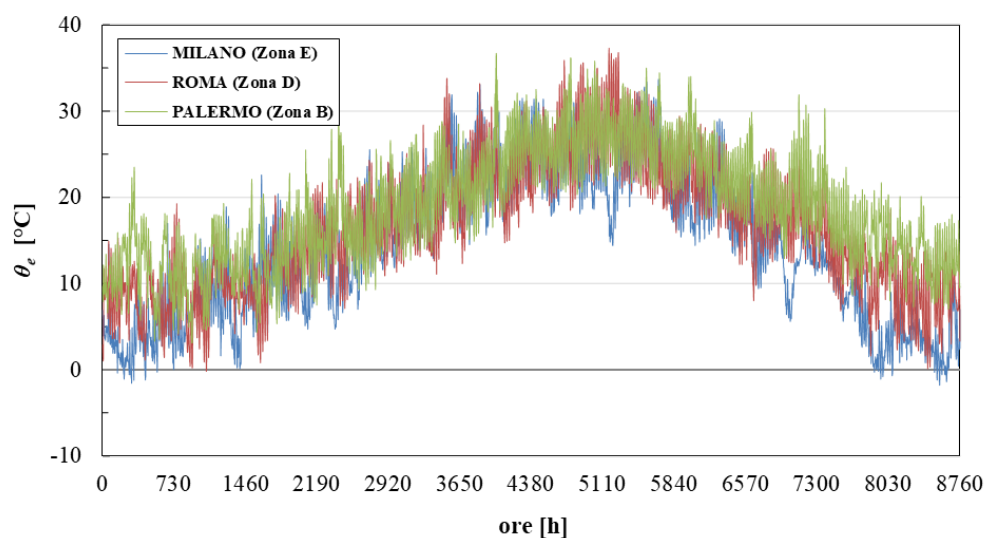


Figura 6. Valori orari della temperatura dell'aria esterna delle località indagate- dati CTI.

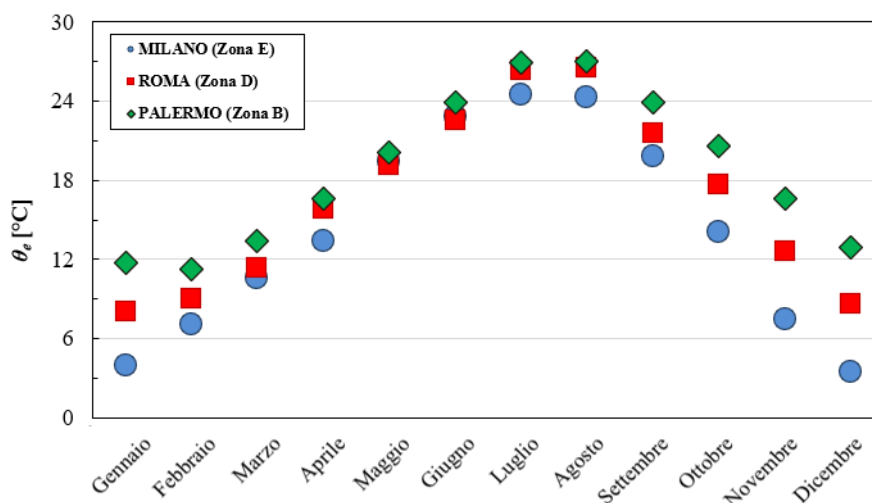


Figura 7. Valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna - UNI 10349-1.

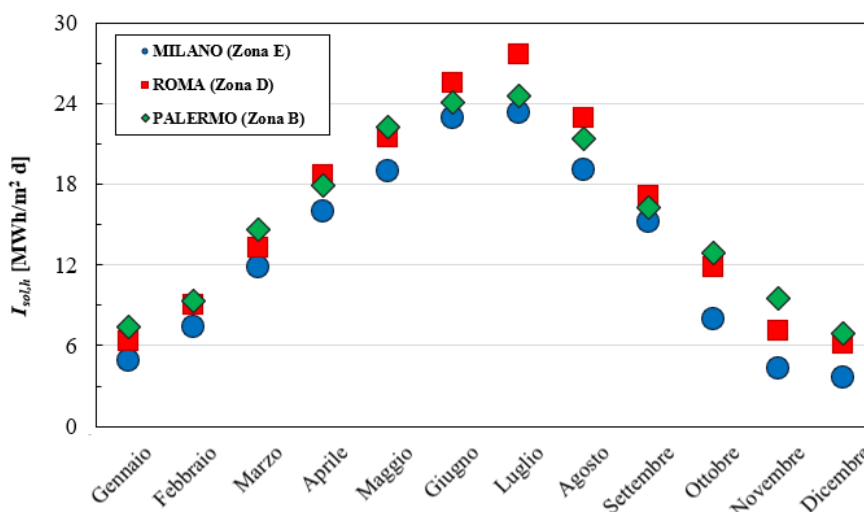


Figura 8. Valori medi mensili dell'irradiazione solare globale sul piano orizzontale - UNI 10349-1.

Lo scambio termico per trasmissione attraverso gli elementi dell'involucro esterni è effettuato considerando come condizioni al contorno la temperatura dell'aria esterna, la temperatura della volta celeste e la radiazione solare. In aggiunta, al fine di valutare lo scambio termico per trasmissione attraverso gli elementi dell'involucro che separano l'edificio dai locali adiacenti (es. solaio di calpestio tra il primo piano ed il piano terra, pareti di separazione tra edificio oggetto dello studio e edificio adiacente), le temperature di tali ambienti confinanti (non modellati né simulati) sono state considerate costanti e pari a:

- 20 °C nella la stagione invernale;
- 26 °C da giugno ad agosto;
- 23 °C nel restante periodo;

mentre il vano scala (Figura 5) è stato considerato come un ambiente con temperatura pari a quella dell'aria esterna. Le ostruzioni del contesto circostante sono, invece, state modellate geometricamente.

2.3 Dati di input per la modellazione e condizioni al contorno

Il calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento delle zone termiche dell'edificio è effettuato considerando profili d'utenza e carichi interni ricavati dalla bozza di Appendice Nazionale della norma UNI

EN 16798-1:2019, relativa ai *parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica in relazione alla qualità dell'aria, al benessere termo-igrometrico, all'illuminazione e all'acustica*.

2.3.1 Periodo di utilizzo dell'edificio

Il periodo di utilizzo dell'edificio, tratto dalla tabella B.26 della suddetta norma (bozza del mese di dicembre 2019), va dal 1° gennaio al 31 dicembre, senza interruzioni giornaliere o mensili (24h, 7/7).

2.3.2 Occupanti e profilo di occupazione

Per il calcolo degli apporti termici interni è stato necessario determinare il numero di occupanti (persone per appartamento) dell'edificio, e delle zone termiche. A tal fine, è stato utilizzato il criterio della numerosità e superficie dei locali adibiti a camera da letto. Secondo tale criterio, proposto dalla suddetta norma (Tabella A.19) per ogni abitazione con una sola camera da letto vanno considerate due persone alle quali si aggiungono, per ogni ulteriore camera da letto, 1 persona per superficie della camera inferiore a 14 m², e 2 persone per superfici uguale o superiore. Secondo tale criterio, per l'edificio oggetto dello studio, gli appartamenti di circa 50 m² (con 1 camera da letto) possono ospitare fino a 2 persone, mentre quelli di circa 70-80 m² (con camera da letto aggiuntiva) ne potranno ospitare 3, per un totale di 7 persone per piano. Il profilo di occupazione dell'edificio è stato desunto dalla tabella B.26, ed è riportato in [Figura 9](#).

h	Profilo di occupazione - Uso residenziale, appartamenti	
	Giorni feriali	Giorni festivi
1	1,0	1,0
2	1,0	1,0
3	1,0	1,0
4	1,0	1,0
5	1,0	1,0
6	1,0	1,0
7	0,5	0,8
8	0,5	0,8
9	0,5	0,8
10	0,1	0,8
11	0,1	0,8
12	0,1	0,8
13	0,1	0,8
14	0,2	0,8
15	0,2	0,8
16	0,2	0,8
17	0,5	0,8
18	0,5	0,8
19	0,5	0,8
20	0,8	0,8
21	0,8	0,8
22	0,8	0,8
23	1,0	1,0
24	1,0	1,0

Figura 9. Profili di occupazione.

2.3.3 Apporti termici interni

Gli apporti termici interni dovuti agli occupanti sono ottenuti a partire dagli apporti per persona, riportati in **Tabella 6** e ricavati dalla tabella A.20 della succitata norma, moltiplicati poi per il numero di persone per appartamento e per il profilo di occupazione.

Tabella 6. Apporti termici interni e produzione di vapore per persona

Apporti per persona	valore
Termici totali [W]	118
Termici sensibili (quota convettiva) [W]	41
Termici sensibili (quota radiativa) [W]	39
Termici latenti [W]	38
Produzione di vapore [g/h]	54,7

h	Apporti interni ZONA 1		Apporti interni ZONA 2		Apporti interni ZONA 3	
	Giorni feriali	Giorni festivi	Giorni feriali	Giorni festivi	Giorni feriali	Giorni festivi
1	1368	1368	4095	4095	2745	2745
2	1368	1368	4095	4095	2745	2745
3	1368	1368	4095	4095	2745	2745
4	1368	1368	4095	4095	2745	2745
5	1368	1368	4095	4095	2745	2745
6	1368	1368	4095	4095	2745	2745
7	684	1094,4	2047,5	3276	1372,5	2196
8	684	1094,4	2047,5	3276	1372,5	2196
9	684	1094,4	2047,5	3276	1372,5	2196
10	136,8	1094,4	409,5	3276	274,5	2196
11	136,8	1094,4	409,5	3276	274,5	2196
12	136,8	1094,4	409,5	3276	274,5	2196
13	136,8	1094,4	409,5	3276	274,5	2196
14	273,6	1094,4	819	3276	549	2196
15	273,6	1094,4	819	3276	549	2196
16	273,6	1094,4	819	3276	549	2196
17	684	1094,4	2047,5	3276	1372,5	2196
18	684	1094,4	2047,5	3276	1372,5	2196
19	684	1094,4	2047,5	3276	1372,5	2196
20	1094,4	1094,4	3276	3276	2196	2196
21	1094,4	1094,4	3276	3276	2196	2196
22	1094,4	1094,4	3276	3276	2196	2196
23	1368	1368	4095	4095	2745	2745
24	1368	1368	4095	4095	2745	2745

Figura 10. Apporti interni orari per singola zona termica.

Gli apporti interni dovuti alle apparecchiature sono stati calcolati con le equazioni A.5 e A.6 della norma, le quali prevedono un'aliquota fissa più un termine inversamente proporzionale alla superficie di pavimento climatizzata (A_{cf} [m²]). In particolare, gli apporti interni sensibili per le apparecchiature e l'illuminazione sono stati calcolati secondo la relazione:

$$q_{int,eq,sen} = 2,2 + \frac{136}{A_{cf}} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

mentre la produzione di vapore è ricavata dalla relazione:

$$G_{w,v,eq} = 0,32 + \frac{28,8}{A_{cf}} \text{ [g/(h} \cdot \text{m}^2\text{)]}$$

Considerando, quindi, la superficie di pavimento climatizzata per ogni singola zona [Tabella 5](#), il numero di persone e il profilo di occupazione, è possibile ottenere, zona per zona, gli apporti interni riportati in funzione delle ore di utilizzo dell'impianto in [Figura 10](#).

2.3.4 Ventilazione

La portata di ventilazione minima richiesta per soddisfare i requisiti di legge di qualità dell'aria negli ambienti interni è stata calcolata attraverso le tabelle A.11 e A.12 della norma UNI EN 16798-1, prendendo in considerazione la categoria II di qualità dell'ambiente interno (i.e. livello di qualità medio). I valori di portata di ventilazione minima, che seguono il profilo di occupazione, sono ottenuti dalla relazione:

$$q_{tot} = n \cdot q_p + A_{cf} \cdot q_b \left[\frac{l}{s} \right]$$

Considerando $q_p=7 \text{ l/(s persona)}$ e $q_b=0 \text{ l/(s m}^2\text{)}$.

Dalla conoscenza del numero di persone e del profilo di occupazione è ricavata, zona per zona, la portata di ventilazione totale, come da [Figura 11](#).

h	Ventilazione ZONA 1		Ventilazione ZONA 2		Ventilazione ZONA 3	
	Giorni feriali	Giorni festivi	Giorni feriali	Giorni festivi	Giorni feriali	Giorni festivi
1	0,049	0,049	0,147	0,147	0,098	0,098
2	0,049	0,049	0,147	0,147	0,098	0,098
3	0,049	0,049	0,147	0,147	0,098	0,098
4	0,049	0,049	0,147	0,147	0,098	0,098
5	0,049	0,049	0,147	0,147	0,098	0,098
6	0,049	0,049	0,147	0,147	0,098	0,098
7	0,0245	0,0392	0,0735	0,1176	0,049	0,0784
8	0,0245	0,0392	0,0735	0,1176	0,049	0,0784
9	0,0245	0,0392	0,0735	0,1176	0,049	0,0784
10	0,0049	0,0392	0,0147	0,1176	0,0098	0,0784
11	0,0049	0,0392	0,0147	0,1176	0,0098	0,0784
12	0,0049	0,0392	0,0147	0,1176	0,0098	0,0784
13	0,0049	0,0392	0,0147	0,1176	0,0098	0,0784
14	0,0098	0,0392	0,0294	0,1176	0,0196	0,0784
15	0,0098	0,0392	0,0294	0,1176	0,0196	0,0784
16	0,0098	0,0392	0,0294	0,1176	0,0196	0,0784
17	0,0245	0,0392	0,0735	0,1176	0,049	0,0784
18	0,0245	0,0392	0,0735	0,1176	0,049	0,0784
19	0,0245	0,0392	0,0735	0,1176	0,049	0,0784
20	0,0392	0,0392	0,1176	0,1176	0,0784	0,0784
21	0,0392	0,0392	0,1176	0,1176	0,0784	0,0784
22	0,0392	0,0392	0,1176	0,1176	0,0784	0,0784
23	0,049	0,049	0,147	0,147	0,098	0,098
24	0,049	0,049	0,147	0,147	0,098	0,098

Figura 11. Portata di ventilazione oraria per singola zona termica.

Le condizioni termo-igrometriche di set-point interne, sempre relative alla Categoria II di qualità dell'ambiente interno, sono state definite in funzione del periodo di riscaldamento e raffreddamento e del regime di attenuazione. In **Tabella 7** sono riportati i valori di set-point della minima temperatura operativa interna in regime di riscaldamento ($T_{op,min}$) e della massima temperatura operativa interna in raffreddamento ($T_{op,max}$), le relative temperature minime e massime in regime di attenuazione, ed i valori minimo e massimo di umidità relativa dell'aria interna (Φ_{min} e Φ_{max}). La tabella riporta, inoltre, il riferimento della norma UNI EN 16798-1 da cui tali valori sono stati desunti.

Tabella 7. Condizioni termo-igrometriche di set-point

Parametro	Valore	Fonte
$T_{op,min}$ - riscaldamento	20 °C	UNI EN 16798-1 Appendice Nazionale - Tabella A.2
$T_{op,max}$ - raffreddamento	26 °C	UNI EN 16798-1 Appendice Nazionale - Tabella A.2
$T_{op,min}$ in regime di attenuazione	16 °C	UNI EN 16798-1 Appendice Nazionale - Tabella 26b
$T_{op,max}$ in regime di attenuazione	32 °C	UNI EN 16798-1 Appendice Nazionale - Tabella 26b
Φ_{min}	40 %	UNI EN 16798-1 Appendice Nazionale - Tabella A.13
Φ_{max}	60 %	UNI EN 16798-1 Appendice Nazionale - Tabella A.13

2.3.6 Durata giornaliera di accensione dell'impianto

In accordo con la valutazione *Standard* del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio, la durata giornaliera di accensione dell'impianto segue un regime continuo, cioè 24 ore di funzionamento. Nel caso di valutazione *Tailored*, il funzionamento dell'impianto è intermittente e segue un particolare profilo di utilizzo. Nello specifico, in riscaldamento il regime di accensione segue i dettami del D.P.R. 74/2013, per cui i tempi di accensione dipendono dalla città / zona climatica considerata. Pertanto, in funzione delle località considerate, ossia Milano, Roma e Palermo, i profili di accensione dell'impianto scelti sono riportati, in regime di riscaldamento e raffrescamento, in [Figura 12](#), [Figura 13](#) e [Figura 14](#), in funzione delle temperature operative di set-point ($T_{op,min}$ e $T_{op,max}$). Nello specifico, per le tre località indagate si ottengono i seguenti profili di accensione giornaliera dell'impianto in modalità riscaldamento:

- Milano (zona E): 14 ore di accensione con attenuazione dalle 22:00 alle 06:00 e dalle 13:00 alle 15:00.
- Roma (zona D): 12 ore di accensione con attenuazione dalle 22:00 alle 06:00 e dalle 12:00 alle 16:00.
- Palermo (zona B): 8 ore di accensione con attenuazione dalle 22:00 alle 06:00 e dalle 10:00 alle 18:00.

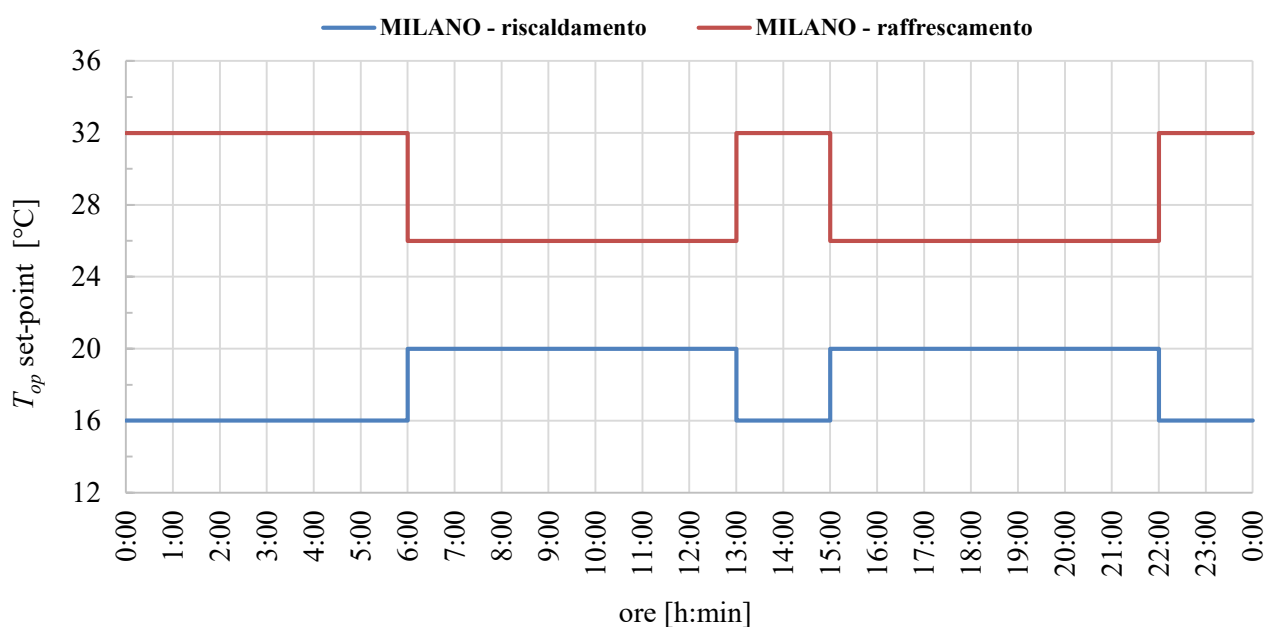


Figura 12. Profili di accensione degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento e temperatura operativa di set point - Milano.

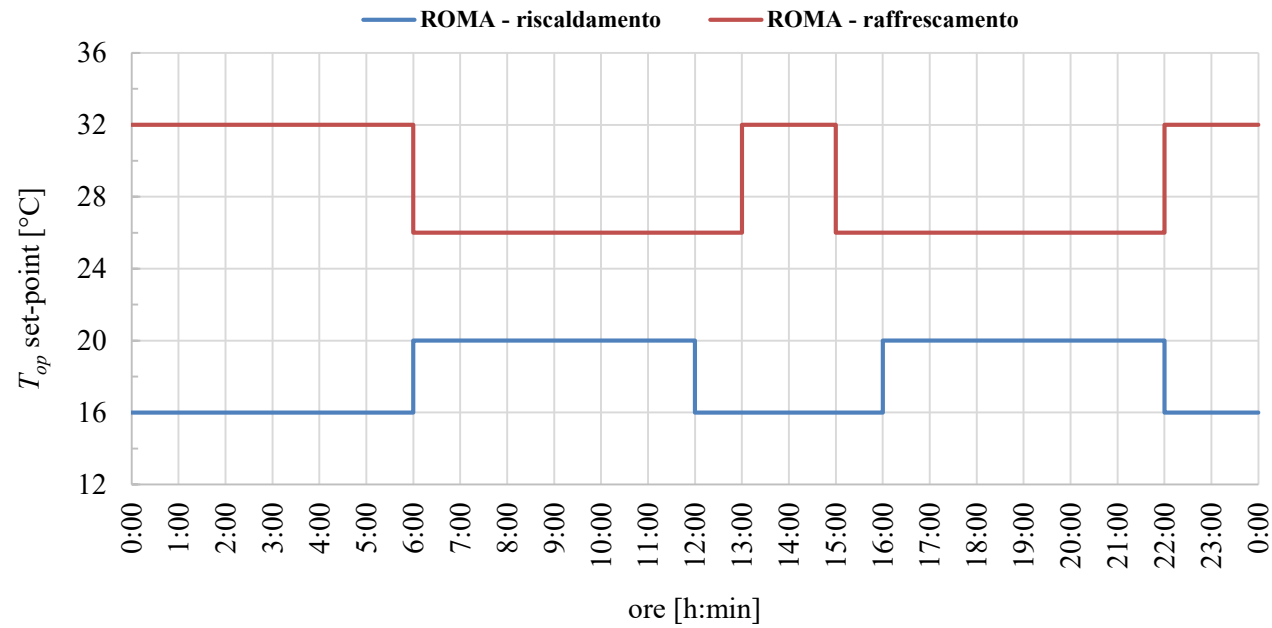


Figura 13. Profili di accensione degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento e temperatura operativa di set point - Roma.

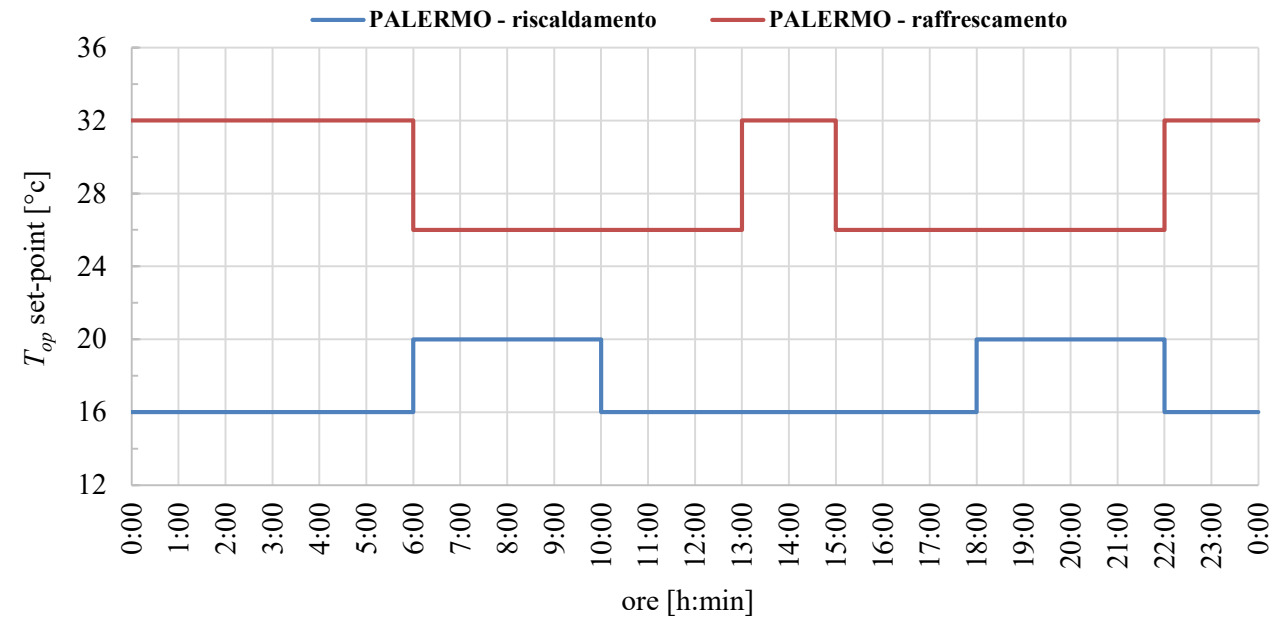


Figura 14. Profili di accensione degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento e temperatura operativa di set point - Palermo.

3 Implementazione del modello dell'edificio in ambiente di calcolo Termolog

Il calcolo del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento basato sul metodo stazionario e, quindi, sulla norma UNI TS 11300, è stato effettuato in ambiente di calcolo Termolog. Termolog è un software OPENBIM, sviluppato dalla software house italiana "Logical Soft", ed è basato sull'approccio BIM. Pertanto, il software prevede la costruzione di un modello geometrico 3D dell'edificio oggetto dell'analisi, a cui sono poi collegate tutte le informazioni riguardanti le proprietà termofisiche e di utilizzo dello stesso edificio. Il software ammette sia la costruzione del modello BIM ex novo, sia l'importazione di modelli IFC già elaborati in altri software BIM. Con riferimento alle normative adottate, Termolog implementa sia la norma UNI TS 11300-1 che la UNI EN ISO 52016-1, permettendo il calcolo del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento degli edifici secondo entrambi i metodi stazionario e dinamico orario, rispettando i criteri di validità proposti dal CTI. Il software, oltre ad essere certificato CTI è anche conforme allo standard ASHRAE 140-2017.

Termolog include differenti moduli di calcolo, tra i quali: *i)* il modulo per la certificazione energetica, utilizzato per valutare la classe energetica di un edificio, per redigere l'attestato di prestazione energetica e per la proposta di interventi migliorativi; *ii)* il modulo per il progetto di nuovi edifici e la ristrutturazione di quelli esistenti, denominato "progettista" e basato sulla Legge 10 (art. 28 della legge 9 gennaio 1991, n. 10); *iii)* il modulo per la diagnosi energetica degli edifici e l'analisi dei consumi e degli interventi di efficientamento energetico, basato sulle linee guida ENEA.

Il modello dell'edificio oggetto dello studio è stato implementato in ambiente Termolog al fine di effettuare il calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio secondo il metodo stazionario mensile (UNI TS 11300), sia secondo la valutazione *Standard* che *Tailored*. Tale modello è stato accuratamente implementato in ambiente di calcolo in accordo alle assunzioni e semplificazioni descritte nel capitolo precedente e già utilizzate dalle unità di ricerca del Politecnico di Milano e del Politecnico di Torino. Queste ultime, infatti, hanno eseguito il calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio secondo i metodi dinamici, orario e dettagliato, della UNI EN ISO 52016 e del codice OpenBPS; tali risultati insieme a quelli ottenuti tramite le UNI TS 11300 sono stati confrontati come descritto nei capitoli successivi, evidenziando similitudini e differenze.

L'edificio è stato simulato considerando le condizioni climatiche di Milano (zona climatica E), Roma (zona climatica D) e Palermo (zona climatica B), al fine di valutare al variare del clima l'affidabilità dei risultati e delle metodologie di calcolo a confronto. I valori medi mensili delle temperature dell'aria esterna, ϑ_e , e dell'irradiazione globale sul piano orizzontale, $I_{sol,h}$, sono riportati in [Figura 15](#) al fine di confrontare l'entità delle condizioni al contorno legate al clima.

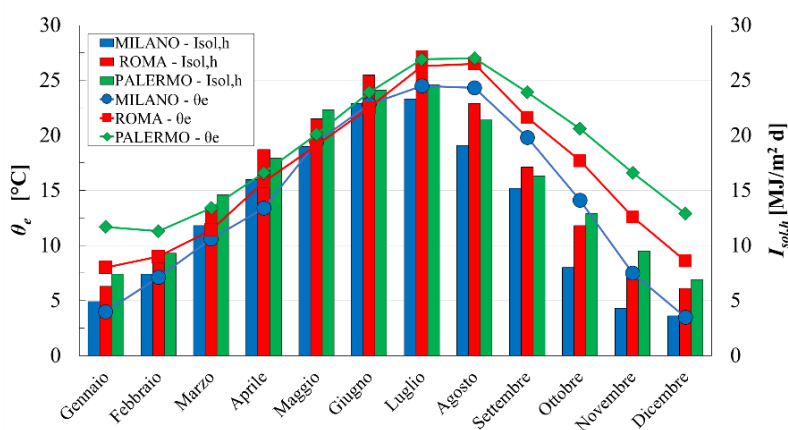


Figura 15. Valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna e dell'irradiazione solare globale sul piano orizzontale per le tre località indagate - UNI 10349-1.

3.1 Implementazione dell'edificio in Termolog

L'implementazione dell'edificio è stata effettuata a partire da un disegno in CAD, in formato .dwg, fornito da ENEA, in cui sono presenti le piantine dei singoli piani. Dal disegno CAD è possibile realizzare l'automatico inserimento di tutte le dimensioni dell'edificio e dei componenti dello stesso in modo semplificato. Un'immagine del modello 3D dell'edificio è riportata in [Figura 16](#).

Una volta completata l'implementazione del modello 3D, sono stati inseriti i dati generali dell'edificio e scelti i dati climatici delle località in cui l'edificio è situato. Sono state inoltre definite le zone termiche. A questo punto, si è passati all'implementazione dei carichi endogeni, del tasso di ventilazione e delle caratteristiche termofisiche dei componenti dell'involucro edilizio, opachi e trasparenti (da [Tabella 1](#) a [Tabella 4](#)). Nel caso di assetto *Tailored*, sono stati inoltre implementati i profili: di occupazione ([Figura 9](#)); degli apporti sensibili e latenti [Figura 10](#); delle portate d'aria di ventilazione ([Figura 11](#)); di utilizzo dell'impianto per ogni località indagata ([Figura 12](#), [Figura 13](#), e [Figura 14](#)). Inoltre, le chiusure oscuranti (persiane in legno a doppia anta) di cui è provvisto l'edificio sono state modellate considerando il loro funzionamento su 12 ore al giorno, dalle ore 20:00 alle ore 08:00.

Infine, poiché l'edificio in esame è adiacente, sul lato Ovest, ad un altro edificio, è stato necessario assegnare alle pareti di tale facciata un'opportuna giacitura, creando un edificio riscaldato confinante (riportato in giallo in [Figura 16](#)).

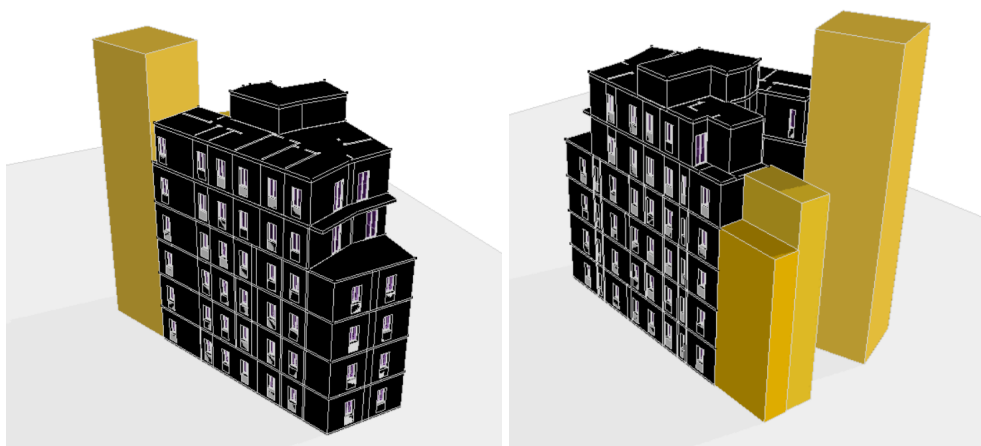


Figura 16. Profili Modello 3D dell'edificio. Prospetti SE e NE (sinistra) e SO e NO (destra).

In Termolog, eseguendo il semplice calcolo dei risultati secondo la UNI TS 11300 è possibile ottenere gli output in condizioni *Standard* e *Tailored*; la valutazione con funzionamento intermittente dell'impianto è effettuata utilizzando il modulo di diagnosi energetica, che richiede l'inserimento di un profilo d'uso dell'impianto, degli apporti sensibili e della portata di ventilazione.

Inoltre, Termolog – a partire dallo stesso modello di edificio – permette anche la valutazione con il calcolo dinamico orario (UNI EN ISO 52016), effettuato con carico termico con profilo ideale in assetto *Standard* e con profilo d'uso reale in assetto *Tailored*.

3.2 Verifica del modello dell'edificio

Al fine di accertare l'accuratezza del modello di calcolo realizzato col software Termolog si è deciso di effettuare una procedura comparativa di verifica. Nello specifico, il modello implementato in Termolog per il calcolo dei fabbisogni energetici secondo il metodo stazionario delle UNI TS 11300, è stato effettuato il

calcolo dei fabbisogni energetici secondo il metodo dinamico orario (UNI EN ISO 52016). I risultati ottenuti dal calcolo dinamico orario sono stati confrontati con quelli forniti dal Politecnico di Torino. Il confronto tra i risultati dei due codici dinamici orari ha mostrato un'ottima corrispondenza sia nelle condizioni *Standard* che *Tailored*. A scopo esemplificativo, in [Figura 17](#) e [Figura 18](#) sono riportati gli andamenti delle temperature interne, rispettivamente nel periodo invernale ed estivo, valutati per la zona termica 3, nel caso di edificio collocato a Roma, ottenuti mediante il metodo dinamico della UNI EN ISO 52016 nelle condizioni *Standard*.

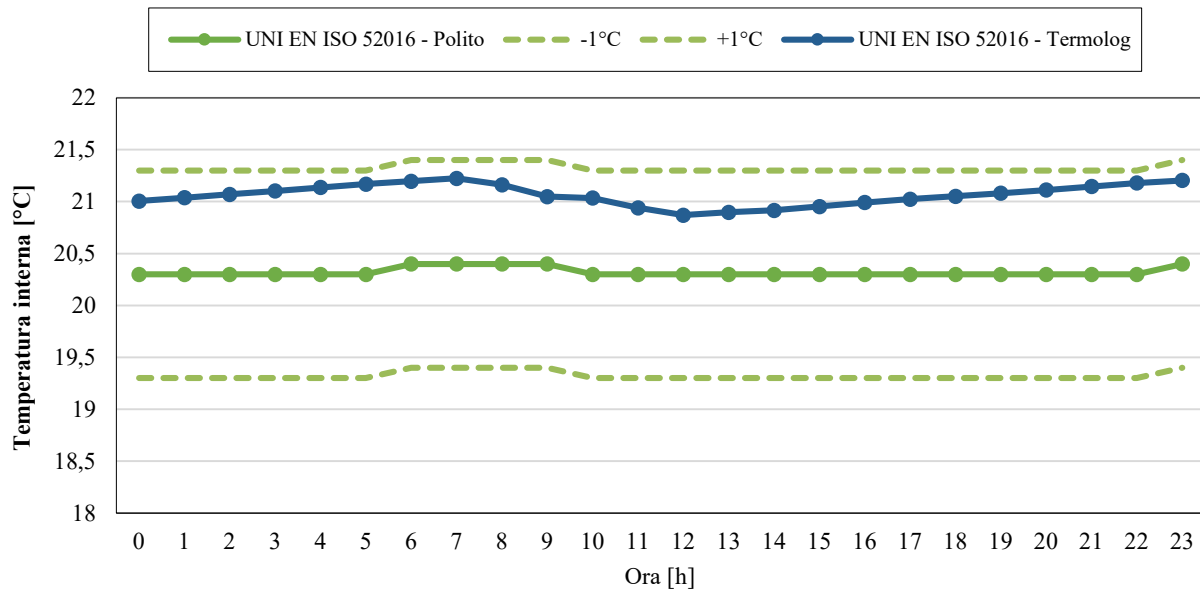


Figura 17. Andamento della temperatura interna invernale della Zona 3, per l'edificio situato a Roma – calcolo Standard.

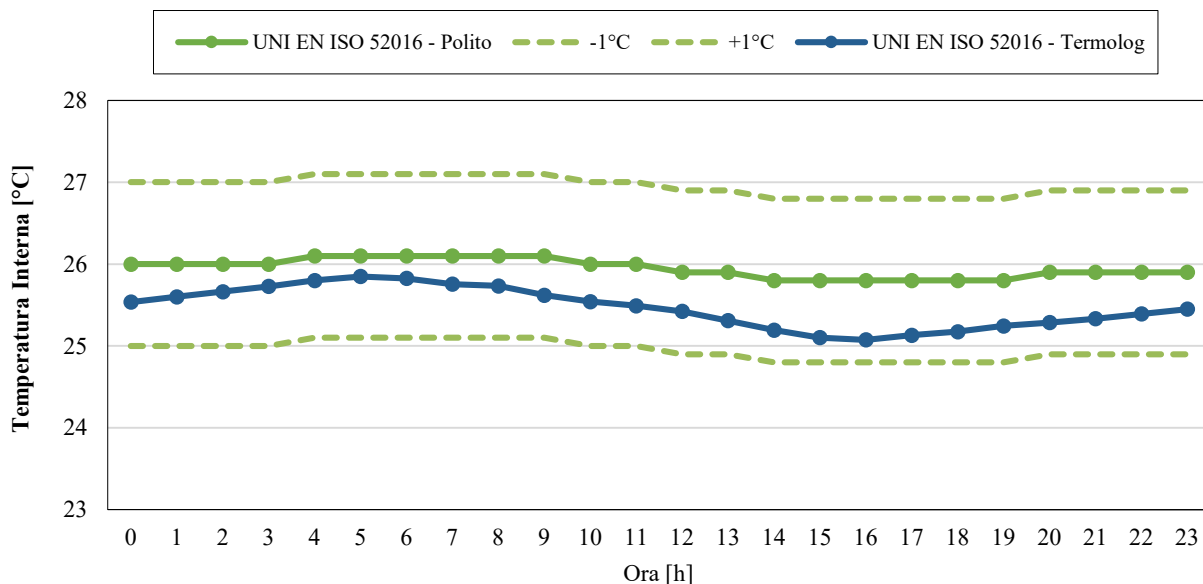


Figura 18. Andamento della temperatura interna invernale della Zona 3, per l'edificio situato a Roma – calcolo Standard.

Nello specifico, le linee verdi rappresentano i valori di temperatura ottenuti dall'unità di ricerca del Politecnico di Torino mentre le linee blu quelli ottenute mediante il software Termolog. Le linee tratteggiate sono rappresentative dei profili di temperatura interna calcolati dall'unità di ricerca del Politecnico di Torino (profili considerati come riferimento) a cui sono aggiunti +1°C e - 1°C. Come è possibile osservare, gli andamenti delle temperature ottenuti mediante i due distinti metodi di calcolo risultano essere simili, e

comunque i risultati ottenuti con Termolog sono sempre compresi nell'intervallo di confidenza considerato, suggerendo l'affidabilità del modello implementato per il calcolo effettuato con le UNI TS 11300.

3.3 Risultati della simulazione

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni condotte secondo il metodo stazionario della UNI TS 11300-1, per ognuna delle valutazioni energetiche (*Standard* e *Tailored*) e le tre località (Milano, Roma e Palermo) indagate.

I fabbisogni mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ dell'intero edificio e delle singole zone termiche sono riportati in [Tabella 8](#) e [Tabella 9](#) per Milano, in [Tabella 10](#) e [Tabella 11](#) per Roma, in [Tabella 12](#) e [Tabella 13](#) per Palermo. rispettivamente per la valutazione *Standard* e quella *Tailored*; Le tabelle includono anche i fabbisogni annuali, sia assoluti che specifici.

Tabella 8. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Standard, Milano.

Valutazione Standard	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[MWh]							
Gennaio	32.5	0.0	4.4	0.0	13.9	0.0	14.3	0.0
Febbraio	21.5	0.0	2.8	0.0	9.0	0.0	9.7	0.0
Marzo	13.7	0.0	1.6	0.0	5.4	0.0	6.6	0.0
Aprile	3.1	0.0	0.3	0.0	1.1	0.0	1.7	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	8.5	0.0	1.5	0.0	4.5	0.0	2.4
Luglio	0.0	13.0	0.0	2.2	0.0	6.6	0.0	4.2
Agosto	0.0	9.8	0.0	1.7	0.0	5.1	0.0	2.9
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	6.0	0.0	0.7	0.0	2.4	0.0	2.9	0.0
Novembre	24.1	0.0	3.2	0.0	10.2	0.0	10.7	0.0
Dicembre	34.6	0.0	4.7	0.0	14.8	0.0	15.2	0.0
TOTALE	135.5	31.2	17.7	5.5	56.7	16.2	61.1	9.6
	[kWh/m ²]							
TOTALE	125.3	28.9	98.3	30.4	105.2	30.1	168.4	26.3

Tabella 9. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Tailored, Milano.

Valutazione Tailored	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[MWh]							
Gennaio	26.5	0.0	3.5	0.0	11.1	0.0	11.9	0.0
Febbraio	16.6	0.0	2.1	0.0	6.8	0.0	7.7	0.0
Marzo	9.0	0.0	1.0	0.0	3.4	0.0	4.7	0.0
Aprile	1.4	0.0	0.1	0.0	0.4	0.0	0.9	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	4.2	0.0	0.9	0.0	2.6	0.0	0.7
Luglio	0.0	8.0	0.0	1.5	0.0	4.4	0.0	2.1
Agosto	0.0	4.8	0.0	1.0	0.0	3.0	0.0	0.8
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	18.9	0.0	2.4	0.0	7.8	0.0	8.7	0.0
Dicembre	28.5	0.0	3.8	0.0	12.0	0.0	12.8	0.0
TOTALE	100.9	16.9	12.8	3.4	41.4	9.9	46.7	3.6
[kWh/m²]								
TOTALE	93.3	15.7	71.0	19.1	76.9	18.4	128.7	3.3

Tabella 10. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Standard, Roma.

Valutazione Standard	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
[MWh]								
Gennaio	21.9	0.0	2.9	0.0	9.2	0.0	9.8	0.0
Febbraio	16.8	0.0	2.1	0.0	6.9	0.0	7.8	0.0
Marzo	9.3	0.0	1.1	0.0	3.1	0.0	5.1	0.0
Aprile	1.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.8	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	9.7	0.0	1.7	0.0	5.1	0.0	2.9
Luglio	0.0	19.1	0.0	3.1	0.0	9.4	0.0	6.6
Agosto	0.0	17.1	0.0	2.8	0.0	8.3	0.0	6.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	11.5	0.0	1.4	0.0	4.6	0.0	5.5	0.0
Dicembre	20.9	0.0	2.7	0.0	8.8	0.0	9.4	0.0
TOTALE	81.4	45.9	10.3	7.6	32.8	22.8	38.3	15.5
[kWh/m²]								
TOTALE	75.2	42.4	57.3	42.2	60.9	42.3	105.4	42.7

Tabella 11. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Tailored, Roma.

Valutazione Tailored	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
[MWh]								
Gennaio	15.8	0.0	2.0	0.0	6.5	0.0	7.3	0.0
Febbraio	11.6	0.0	1.4	0.0	4.6	0.0	5.6	0.0
Marzo	5.9	0.0	0.6	0.0	2.2	0.0	3.1	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	5.5	0.0	1.1	0.0	3.2	0.0	1.2
Luglio	0.0	13.8	0.0	2.3	0.0	7.0	0.0	4.4
Agosto	0.0	11.7	0.0	2.0	0.0	6.0	0.0	3.7
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	6.6	0.0	0.7	0.0	2.5	0.0	3.4	0.0
Dicembre	14.9	0.0	1.9	0.0	6.1	0.0	7.0	0.0

TOTALE	54.8	31.0	6.6	5.4	21.7	16.2	26.5	9.4
[kWh/m²]								
TOTALE	50.6	28.6	36.6	30.2	40.3	30.0	72.9	8.6

Tabella 12. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Standard, Palermo.

Valutazione Standard	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[MWh]							
Gennaio	13.3	0.0	1.6	0.0	5.4	0.0	6.3	0.0
Febbraio	11.4	0.0	1.4	0.0	4.5	0.0	5.5	0.0
Marzo	1.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.9	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	11.4	0.0	2.0	0.0	5.9	0.0	3.6
Luglio	0.0	18.9	0.0	3.0	0.0	9.2	0.0	6.6
Agosto	0.0	17.4	0.0	2.8	0.0	8.4	0.0	6.1
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	13.7	0.0	1.7	0.0	5.5	0.0	6.5	0.0
TOTALE	39.7	47.7	4.7	7.8	15.7	23.5	19.3	16.3
[kWh/m²]								
TOTALE	36.7	44.0	26.1	43.5	29.1	43.6	53.2	45.0

Tabella 13. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Tailored, Palermo.

Valutazione Tailored	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[MWh]							
Gennaio	6.9	0.0	0.7	0.0	2.5	0.0	3.7	0.0
Febbraio	5.7	0.0	0.5	0.0	2.0	0.0	3.2	0.0
Marzo	0.8	0.0	0.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	6.7	0.0	1.3	0.0	3.8	0.0	1.6
Luglio	0.0	13.3	0.0	2.3	0.0	6.7	0.0	4.3
Agosto	0.0	11.8	0.0	2.0	0.0	6.0	0.0	3.8
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	7.2	0.0	0.7	0.0	2.6	0.0	3.8	0.0
TOTALE	20.6	31.9	2.2	5.6	7.7	16.6	10.7	9.7
[kWh/m²]								

TOTALE	19.0	29.4	12.0	31.0	14.3	30.7	29.5	9.0
---------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------------

I prospetti riassuntivi dei fabbisogni annui di energia termica utile per il riscaldamento e per il raffrescamento, con valutazione *Standard* e *Tailored*, sono riportati in [Tabella 14](#) e [Tabella 15](#). Le tabelle riportano i valori calcolati per la valutazione *Standard* e *Tailored*, per ogni zona termica e per tutto l'edificio. Dal confronto tra i valori ottenuti si nota un risultato atteso, ossia che il calcolo *Tailored* restituisce fabbisogni inferiori rispetto al caso *Standard*.

Tabella 14. Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]

UNI EN ISO 11300	MILANO		ROMA		PALERMO	
	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza
Zona termica 1	17.7	12.8	10.3	6.6	4.7	2.2
Zona termica 2	56.7	41.4	32.8	21.7	15.7	7.7
Zona termica 3	61.1	46.7	38.3	26.5	19.3	10.7
Totale edificio	135.5	100.9	81.4	54.8	39.7	20.6

Tabella 15. Fabbisogno annuo di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]

UNI EN ISO 52016	MILANO		ROMA		PALERMO	
	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza
Zona termica 1	5.5	3.4	7.6	5.4	7.8	5.6
Zona termica 2	16.2	9.9	22.8	16.2	23.5	16.6
Zona termica 3	9.6	3.6	15.5	9.4	16.3	9.7
Totale edificio	31.2	16.9	45.9	31.0	47.7	31.9

I prospetti riassuntivi dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento e raffrescamento riferiti alla superficie di calpestio climatizzata sono mostrati in [Tabella 16](#) e [Tabella 17](#).

Tabella 16. Fabbisogno specifico annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [kWh/m²]

UNI EN ISO 11300	MILANO		ROMA		PALERMO	
	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza
Zona termica 1	98.3	71.0	57.3	36.6	26.1	12.0
Zona termica 2	105.2	76.9	60.9	40.3	29.1	14.3
Zona termica 3	168.4	128.7	105.4	72.9	53.2	29.5
Totale edificio	125.3	93.3	75.2	50.6	36.7	19.0

Tabella 17. Fabbisogno specifico annuo di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [kWh]

UNI EN ISO 52016	MILANO		ROMA		PALERMO	
	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza	Valutazione standard	Valutazione adattata all'utenza
Zona termica 1	30.4	19.1	42.2	30.2	43.5	31.0
Zona termica 2	30.1	18.4	42.3	30.0	43.6	30.7
Zona termica 3	26.3	9.8	42.7	25.8	45.0	26.8

Totale edificio	28.9	15.7	42.4	28.6	44.0	29.4
------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Gli istogrammi riportati in [Figura 19](#), [Figura 20](#) e [Figura 21](#) mostrano, invece, per ogni singola zona termica e per tutto l'edificio i valori dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento annui, calcolati in modalità *Standard* e *Tailored*, rispettivamente per Milano, Roma e Palermo. Coerentemente con i risultati attesi, le principali considerazione dell'analisi svolta sono:

- la Zona 3 risulta sempre essere quella con maggiore richiesta di energia per riscaldamento (quasi il doppio della Zona 1), vista la presenza del solaio di copertura che disperde verso l'esterno, ed un più alto S/V (rapporto superficie / volume);
- i fabbisogni di energia (specialmente per raffrescamento) valutati in modalità *Tailored* sono significativamente più bassi di quelli calcolati in modalità *Standard*;
- il fabbisogno di riscaldamento dell'edificio aumenta significativamente passando da Milano a Palermo (i.e. da 37 a 125 kWh/m²), a differenza di quello di raffrescamento che mostra un decremento, passando da Palermo a Milano, più contenuto (i.e. da 44 a 29 kWh/m²).

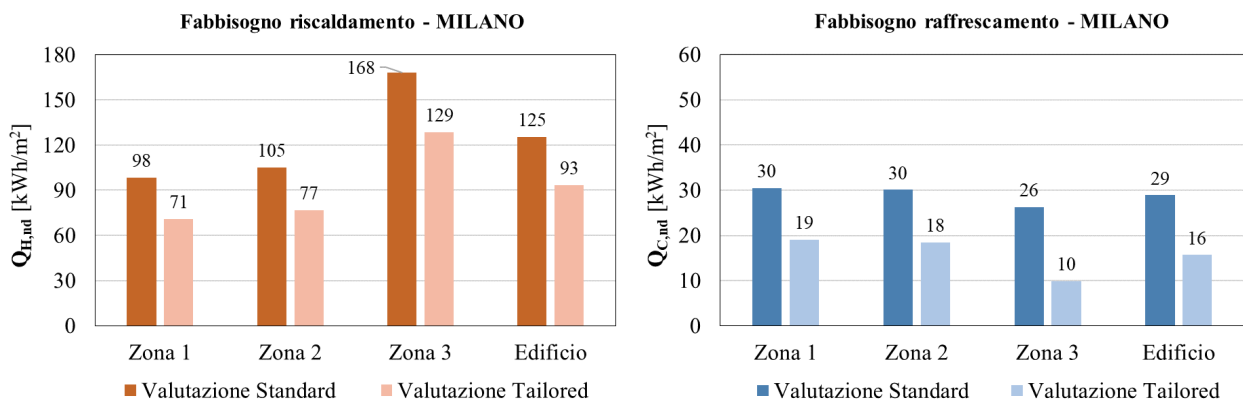


Figura 19. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Milano, UNI TS 11300.

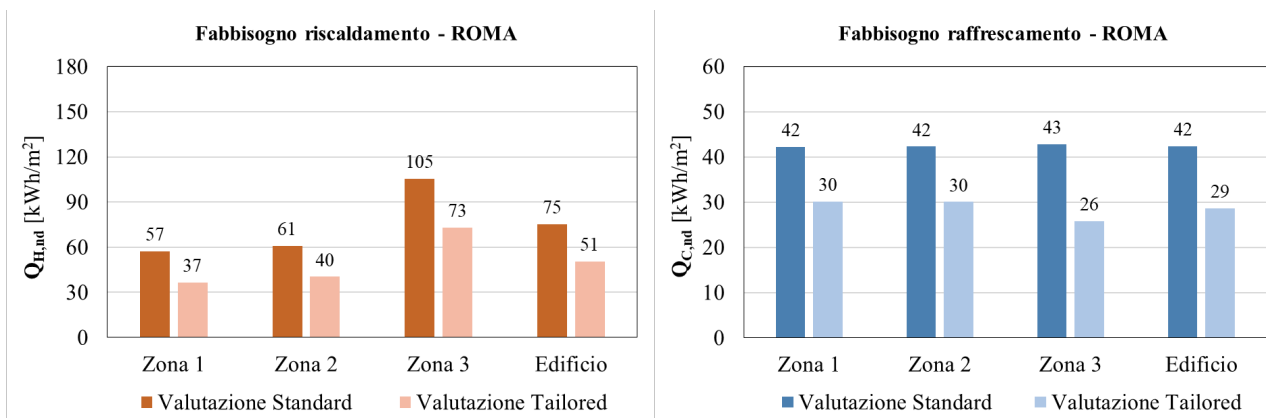


Figura 20. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Roma, UNI TS 11300.

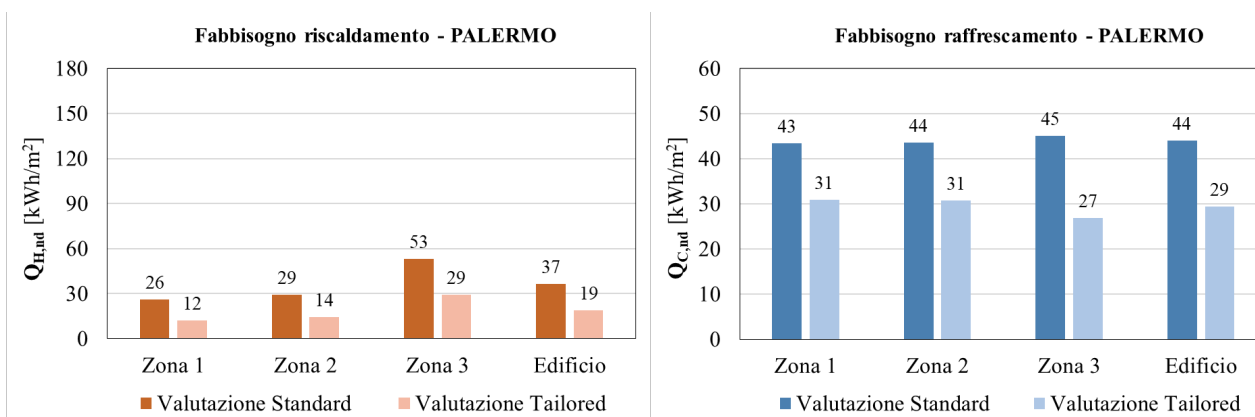


Figura 21. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Palermo, UNI TS 11300.

4 Confronto dei risultati ottenuti sulla base delle UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS

Il caso studio relativo all'edificio residenziale è stato adottato per il calcolo del fabbisogno energetico di riscaldamento e raffrescamento ottenuti secondo:

- il metodo stazionario della UNI TS 11300-1; l'analisi è stata condotta dall'unità di ricerca dell'Università degli Studi di Napoli Federico II;
- il metodo dinamico orario della UNI EN ISO 52016-1, a cura dell'unità del Politecnico di Torino;
- il metodo dinamico dettagliato implementato nel software OpenBPS, a cura dell'unità di ricerca del Politecnico di Milano.

I risultati conseguiti a valle delle simulazioni effettuate con i tre suddetti metodi sono stati confrontati al fine di individuare eventuali discrepanze e/o similitudini tra la prestazione del metodo stazionario (UNI TS 11300-1) e quello dinamico orario (UNI EN ISO 52016-1) rispetto al metodo dinamico dettagliato (OpenBPS), considerato come riferimento. Il confronto dei risultati è finalizzato all'individuazione delle potenziali condizioni di funzionamento dell'impianto e/o di utilizzo degli edifici per cui una determinata metodologia potrebbe risultare più o meno idonea per la redazione dell'attestato di prestazione energetica.

È utile sottolineare che l'attività di confronto dei risultati ha avviato un processo iterativo di analisi e debugging per la verifica dell'affidabilità dei modelli di simulazione utilizzati e per la corretta individuazione delle cause di discrepanza tra gli output.

Di seguito si riportano i risultati del confronto, forniti per le località di Milano (zona climatica E), Roma (zona climatica D) e Palermo (zona climatica B). Per ogni condizione climatica / città, i risultati ottenuti con il metodo stazionario (UNI TS 11300) e dinamico orario (UNI EN ISO 52016) sono confrontati con gli output prodotti da OpenBPS (considerato come riferimento) considerando due opzioni:

1. coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali *variabili nel tempo*: OpenBPS (V1);
2. coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali *come da norma UNI EN ISO 52016-1, ossia invarianti nel tempo*: OpenBPS (V2).

4.1 Risultati del confronto per Milano

In **Tabella 18** si riportano le principali caratteristiche climatiche dell'area di Milano. Quest'ultima ricade nella zona climatica E ($2101 \leq GG \leq 3000$), per cui in base al D.P.R. n.412 del 26 agosto 1993, l'accensione degli impianti di riscaldamento è consentita dal 15 ottobre al 15 aprile, per un numero massimo di ore giornaliere pari a 14.

Tabella 18. Caratteristiche climatiche del sito - Milano

Gradi giorno (GG): 2793 Kd Zona climatica: E Temperatura massima: 33,7 °C Temperatura minima: -1,8 °C Latitudine: 45°27'40.68" N Longitudine: 9°09'34.20" E ISR (radiazione solare incidente sull'orizzontale): 1316 kWh/m²	
--	--

4.1.1 Riferimento: OpenBPS (V1)

In **Tabella 19** e **Tabella 20** sono riportati i fabbisogno mensili e totali di energia termica utile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) dell'intero edificio, calcolati sulla base delle UNI EN ISO 52016, delle UNI TS 11300 e di Open BPS (V1), secondo le valutazioni *Standard* e *Tailored*.

Tabella 19. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Milano.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	31.0	32.5	23.7	7.3	30.9	8.9	37.4
Febbraio	20.1	21.5	14.3	5.8	40.4	7.2	50.2
Marzo	12.3	13.7	7.9	4.4	56.1	5.8	73.6
Aprile	3.8	3.1	1.7	2.1	122.8	1.4	81.4
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Luglio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	6.0	6.0	4.2	1.8	42.1	1.8	41.8
Novembre	22.0	24.1	16.4	5.6	34.3	7.7	46.7
Dicembre	32.7	34.6	25.5	7.3	28.5	9.2	36.0
TOTALE	128.0	135.5	93.7	34.3	36.6	41.9	44.7

Tabella 20. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Milano.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	29.5	26.5	21.4	8.1	37.8	5.1	24.1
Febbraio	19.0	16.6	12.7	6.2	48.9	3.8	29.9
Marzo	11.8	9.0	6.9	4.9	70.3	2.1	30.3
Aprile	3.6	1.4	1.4	2.2	151.4	0.0	0.1
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Luglio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	5.7	0.0	3.7	2.0	53.7	-3.7	-100.0
Novembre	20.8	18.9	14.6	6.2	42.8	4.3	29.3
Dicembre	31.2	28.5	23.0	8.2	35.4	5.5	23.8
TOTALE	121.5	100.9	83.8	37.7	45.0	17.1	20.4

I dati mensili di **Tabella 19** e **Tabella 20** sono riportati, rispettivamente, anche in **Figura 22** e **Figura 23**, per una più immediata visualizzazione dei risultati.

Dall'analisi di **Tabella 19** e **Figura 22** - valutazione Standard, è possibile evidenziare che:

- i fabbisogni mensili di energia termica utile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) ottenuti con le UNI TS 11300 e le UNI EN ISO 52016 sono comparabili, tuttavia le UNI TS 11300 sembrano sovrastimare il calcolo di $Q_{H,nd}$ rispetto alle UNI EN ISO 52016;
- i valori mensili di $Q_{H,nd}$ calcolati sulle base delle norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 sovrastimano sempre il valore di $Q_{H,nd}$ calcolato con OpenBPS. Su base annua, l'incremento percentuale di energia termica – rispetto al dato di riferimento di OpenBPS – è pari a 36,6% per la UNI EN ISO 52016-1 e 44,7% per la UNI TS 11300-1;
- le UNI EN ISO 52016, rispetto alle UNI TS 11300, si avvicinano maggiormente al dato di OpenBPS considerato come riferimento.

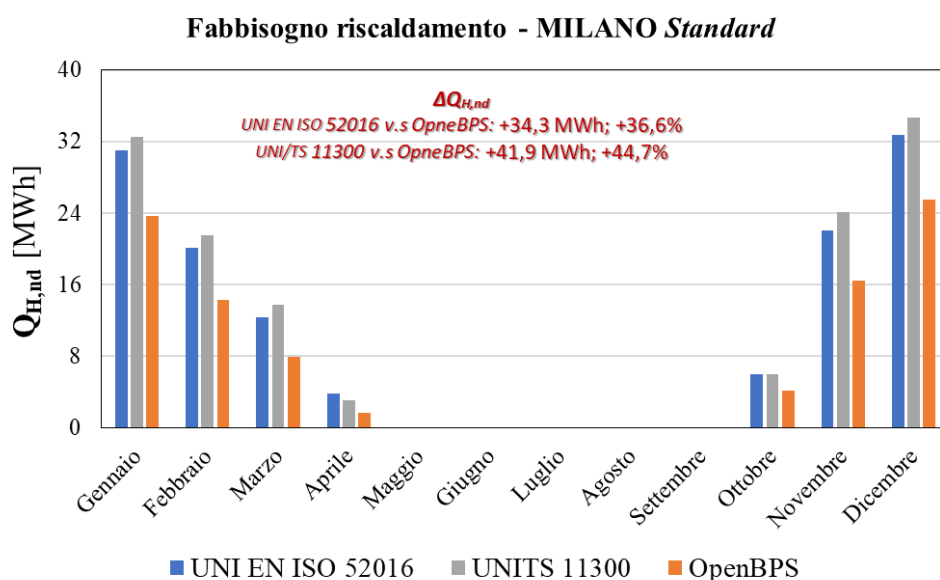


Figura 22. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Milano

Dall'analisi di **Tabella 20** e **Figura 23** - valutazione *Tailored*, è possibile invece notare che:

- i fabbisogni mensili di energia termica utile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) ottenuti con le UNI TS 11300 sottostimano i valori delle UNI EN ISO 52016 e sovrastimano quelli di Open BPS. Escludendo i mesi di aprile ed ottobre, le UNI TS 11300 producono risultati baricentrici tra i due metodi dinamici;
- su base annua, l'incremento percentuale del fabbisogno di energia termica calcolato dalle norme rispetto al dato di riferimento di OpenBPS è pari a 45,0% per la UNI EN ISO 52016-1 e 20,4% per la UNI TS 11300-1;
- le UNI TS 11300, rispetto alle UNI EN ISO 52016, si avvicinano maggiormente al dato di OpenBPS considerato come riferimento.

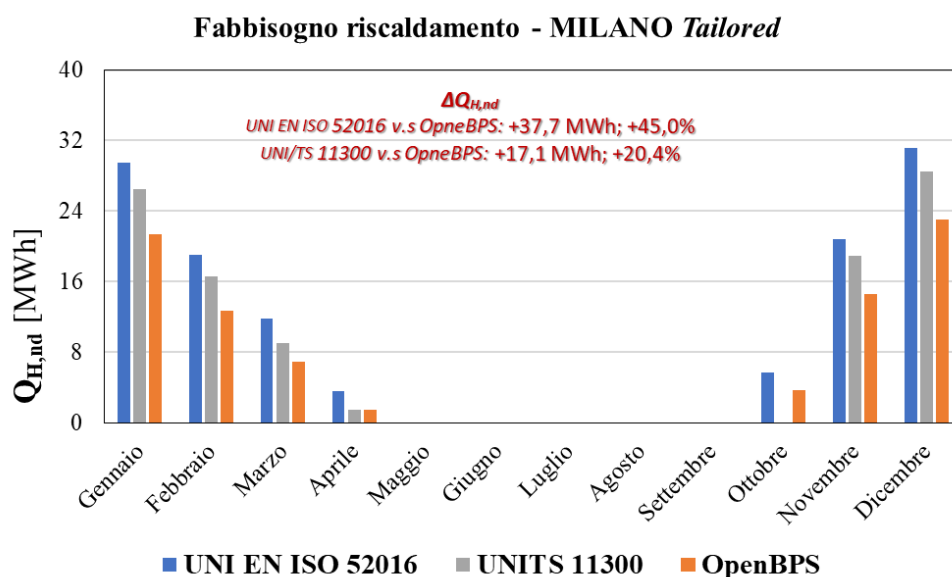


Figura 23. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Milano

Passando al caso estivo, le **Tabella 21** e **Tabella 22** riportano i fabbisogno mensili e totali di energia termica utile per il raffrescamento ($Q_{c,nd}$) dell'intero edificio, calcolati sulla base delle UNI EN ISO 52016, delle UNI TS 11300 e di Open BPS (V1), secondo la valutazione *Standard* e *Tailored*.

Tabella 21. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{c,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Milano.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	9.3	8.5	12.6	-3.4	-26.6	-4.1	-32.6
Luglio	12.1	13.0	14.8	-2.7	-18.2	-1.8	-12.4
Agosto	10.1	9.8	12.1	-1.9	-15.9	-2.3	-19.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	31.5	31.2	39.5	-8.0	-20.2	-8.2	-20.9

Tabella 22. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Milano.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	8.9	4.2	11.7	-2.7	-23.5	-7.5	-64.2
Luglio	11.8	8.0	13.9	-2.1	-15.0	-5.9	-42.5
Agosto	9.8	4.8	11.2	-1.4	-12.6	-6.4	-57.3
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	30.5	16.9	36.8	-6.2	-17.0	-19.8	-53.9

Come per il caso invernale, per una migliore lettura dei risultati, [Figura 24](#) e [Figura 25](#) riportano i dati di [Tabella 21](#) e [Tabella 22](#) in forma grafica. L'analisi dei fabbisogni di raffrescamento $Q_{C,nd}$ possono essere riassunti come di seguito:

- sia le UNI TS 11300 che le UNI EN ISO 52016 sottostimano sempre i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati con OpenBPS, sia mensilmente che annualmente;
- nel caso di valutazione Standard, i risultati ottenuti con le norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 mostrano lo stesso scostamento rispetto ai dati di OpenBPS: -20,2% per le UNI EN ISO 52016 e -20,9% per le UNI TS 11300;

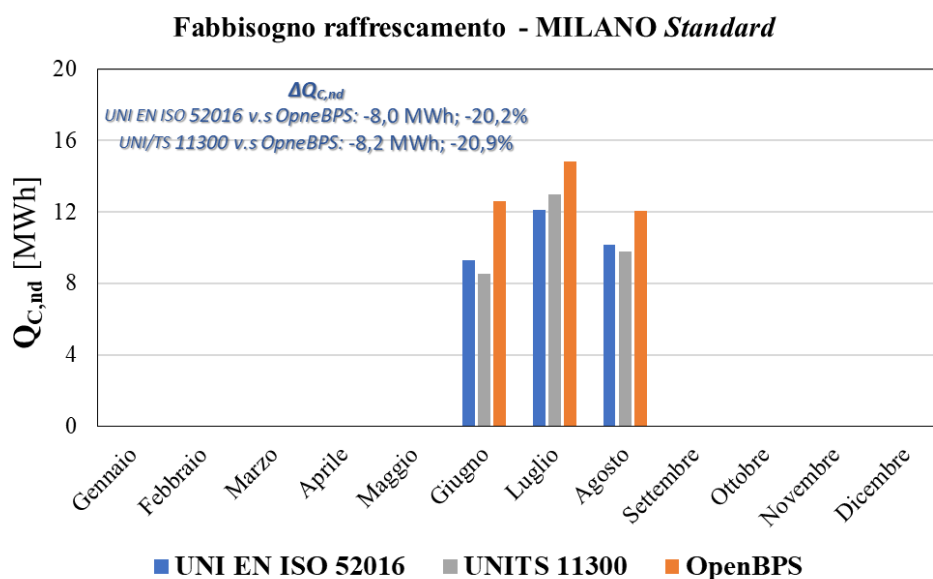


Figura 24. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Milano

- nel caso di valutazione *Tailored*, i risultati prodotti sulla base delle UNI TS 11300 sottostimano significativamente i dati prodotti da OpenBPS, mentre le UNI EN ISO 52016 mostrano uno scarto percentuale simile a quanto riscontrato nel caso di valutazione *Standard*: -17,0% per le UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS e -53,9% per le UNI TS 11300 vs. OpenBPS;
- le UNI EN ISO 52016, rispetto alle UNI TS 11300, nel confronto con i dati di OpenBPS risultano – come atteso - essere meno influenzate dai profili di attivazione dell'impianto e d'uso dell'edificio.

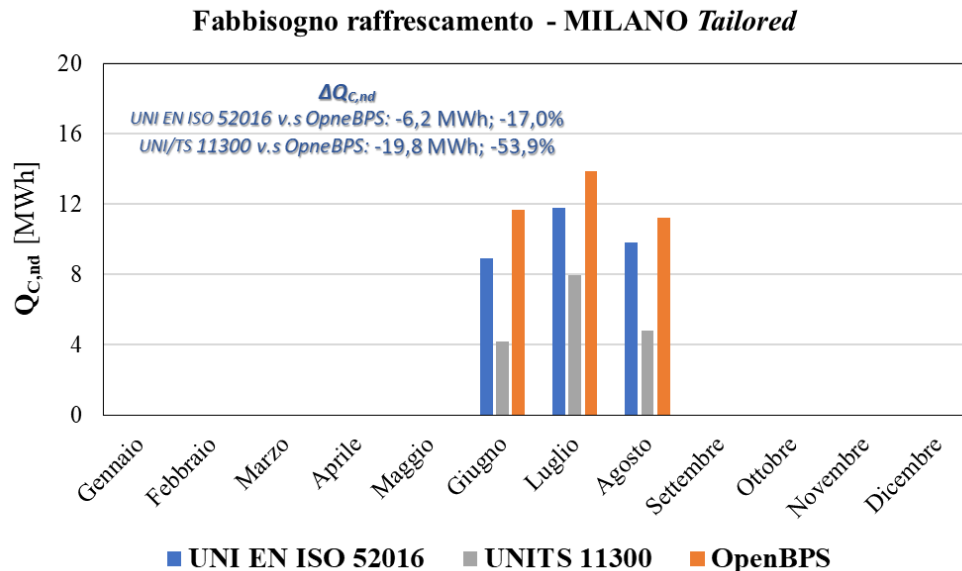


Figura 25. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Milano

4.1.2 Riferimento: OpenBPS (V2)

Passando all'opzione V2 di OpenBPS (i.e. coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali *come da norma UNI EN ISO 52016 – 1, ossia invarianti nel tempo*), le differenze tra i metodi orari si riducono sensibilmente, evidenziando la notevole influenza dei coefficienti di scambio radiativo-convettivo sul calcolo del fabbisogno di energia per riscaldamento e raffrescamento degli edifici. In [Tabella 23](#) e [Tabella 24](#) sono riportati i fabbisogni mensili e totali di energia termica utile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) dell'intero edificio, calcolati sulla base delle UNI EN ISO 52016, delle UNI TS 11300 e di Open BPS (V2), secondo le valutazioni *Standard* e *Tailored*.

Per una più efficace analisi dei dati di [Tabella 23](#) e [Tabella 24](#), [Figura 26](#) e [Figura 27](#) riportano gli stessi risultati in forma grafica. Rispetto ai risultati ottenuti con l'opzione V1 (i.e. coefficienti di scambio convettivo – radiativo superficiali *variabili*), i valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con OpenBPS con opzione V2 sono molto più vicini ai valori ottenuti con le UNI TS 11300 e le UNI EN ISO 52016. Infatti, i valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con OpenBPS (V2) sono significativamente più elevati dei valori ottenuti con OpenBPS (V1): $Q_{H,nd}$ annuo passa da 93,7 MWh a 124,5 MWh in asset rating, e da 83,3 MWh a 111,1 MWh in tailored rating. Di conseguenza, è possibile evidenziare che:

- nel caso di valutazione *Standard*, le UNI TS 11300 e le UNI EN ISO 52016 continuano a sovrastimare i valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con OpenBPS, tuttavia lo scostamento percentuale si riduce significativamente a +2,8% (UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS) e 8,9% (UNI TS 11300 vs. OpenBPS);

- nel caso di valutazione *Tailored*, le UNI TS 11300 sottostimano i valori ottenuti con OpenBPS, a differenza delle UNI EN ISO 52016. Rispetto al caso V1, Lo scostamento percentuale si riduce +9,3% per le UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS, e a -9,2% per le UNI TS 11300 vs. OpenBPS (cambiando segno).

Tabella 23. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Milano.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	31.0	32.5	30.1	0.9	3.1	2.5	8.3
Febbraio	20.1	21.5	19.3	0.8	4.1	2.2	11.4
Marzo	12.3	13.7	12.4	-0.1	-0.9	1.3	10.2
Aprile	3.8	3.1	3.7	0.1	2.6	-0.6	-16.5
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Luglio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	6.0	6.0	6.1	-0.1	-1.4	-0.1	-1.6
Novembre	22.0	24.1	21.2	0.9	4.1	2.9	13.7
Dicembre	32.7	34.6	31.8	1.0	3.0	2.9	9.1
TOTALE	128.0	135.5	124.5	3.4	2.8	11.0	8.9

Tabella 24. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Milano.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	29.5	26.5	27.0	2.4	8.9	-0.5	-1.9
Febbraio	19.0	16.6	17.2	1.8	10.5	-0.6	-3.6
Marzo	11.8	9.0	11.0	0.8	7.0	-2.0	-18.1
Aprile	3.6	1.4	3.2	0.4	12.0	-1.8	-55.4
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Luglio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	5.7	0.0	5.3	0.3	6.2	-5.3	-100.0
Novembre	20.8	18.9	18.8	2.1	10.9	0.1	0.4
Dicembre	31.2	28.5	28.6	2.6	9.1	-0.1	-0.2
TOTALE	121.5	100.9	111.2	10.3	9.3	-10.2	-9.2

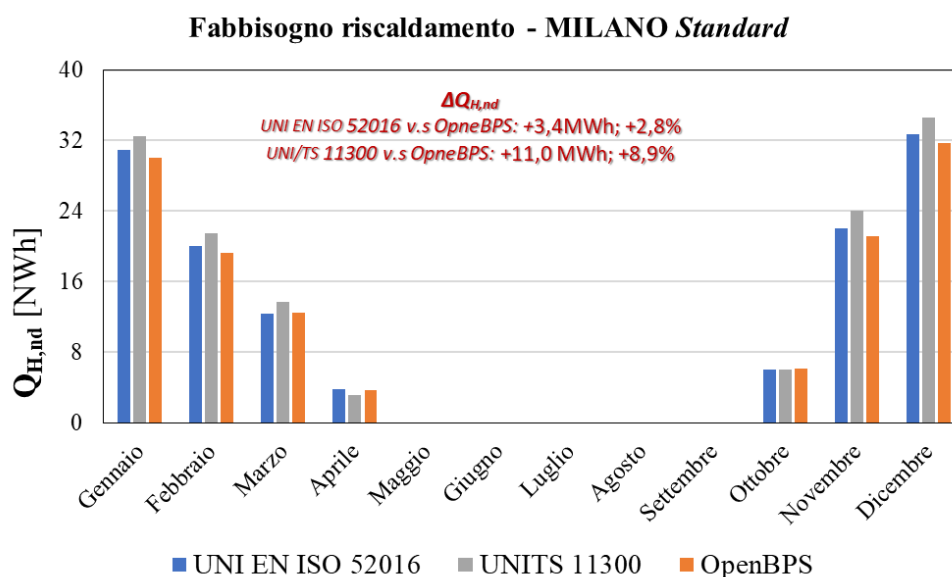


Figura 26. Fabbisogno di riscaldamento, confronto UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Milano

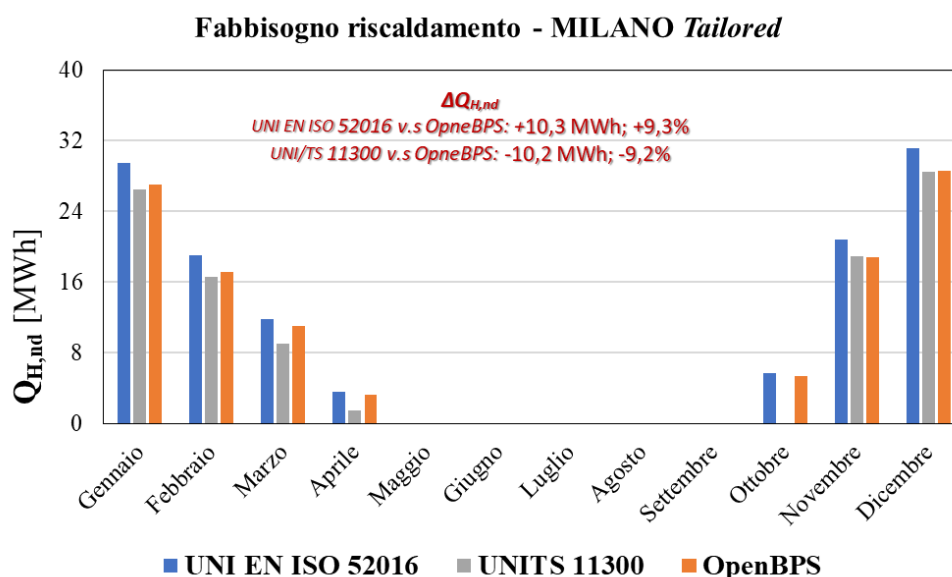


Figura 27. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Milano

Anche nel caso estivo, come mostrato dalla [Tabella 25](#) e [Tabella 26](#), e dalle rispettive [Figura 28](#) e [Figura 29](#), i risultati relativi al fabbisogno di raffrescamento, $Q_{C,nd}$, migliorano. Nello specifico, si ha che:

- nel caso di valutazione *Standard*, sia le UNI TS 11300 che le UNI EN ISO 52016 forniscono risultati molto simili a quelli ottenuti con OpenBPS. Le differenze percentuali sono infatti pari a -0,7% per le UNI EN ISO 52016 e a -1,6% per le UNI TS 11300;
- nel caso di valutazione *Tailored*, i risultati delle UNI EN ISO 52016 mostrano un'ottima corrispondenza con i valori forniti da OpenBPS, per una differenza percentuale annua pari al +2,4%. La differenza percentuale riscontrata tra il valore di $Q_{C,nd}$ fornito dalle UNI TS 11300 e quello prodotto da OpenBPS si riduce di dieci punti percentuali, passando da -53,9% (opzione V1) a -43,2% (opzione V2).

Tabella 25. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Milano.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	9.3	8.5	9.3	0.0	0.2	-0.7	-8.0
Luglio	12.1	13.0	12.3	-0.2	-1.6	0.7	5.4
Agosto	10.1	9.8	10.2	-0.1	-0.5	-0.4	-4.2
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	31.5	31.2	31.8	-0.2	-0.7	-0.5	-1.6

Tabella 26. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Milano.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	8.9	4.2	8.6	0.3	3.8	-4.4	-51.4
Luglio	11.8	8.0	11.6	0.1	1.2	-3.7	-31.6
Agosto	9.8	4.8	9.6	0.3	2.6	-4.8	-49.9
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	30.5	16.9	29.8	0.7	2.4	-12.9	-43.2

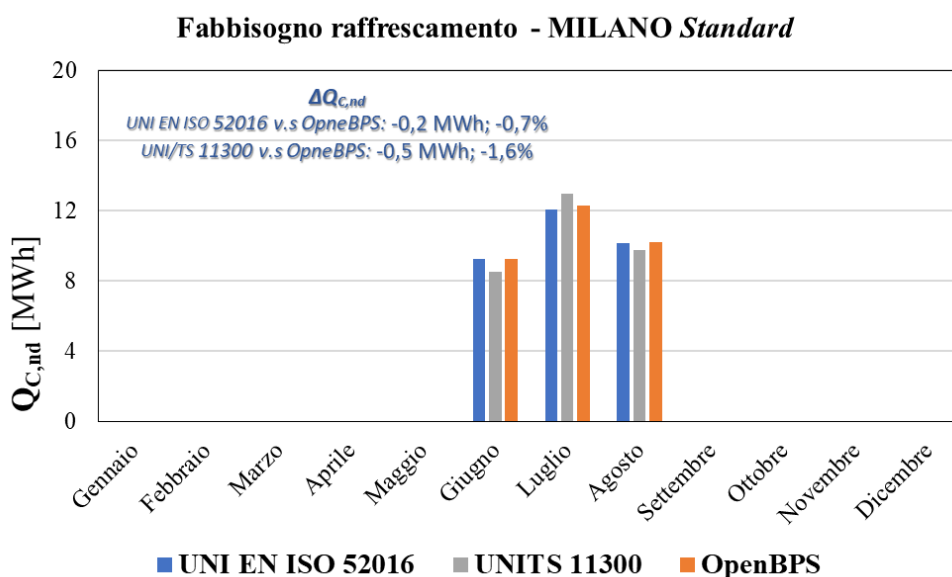


Figura 28. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Milano

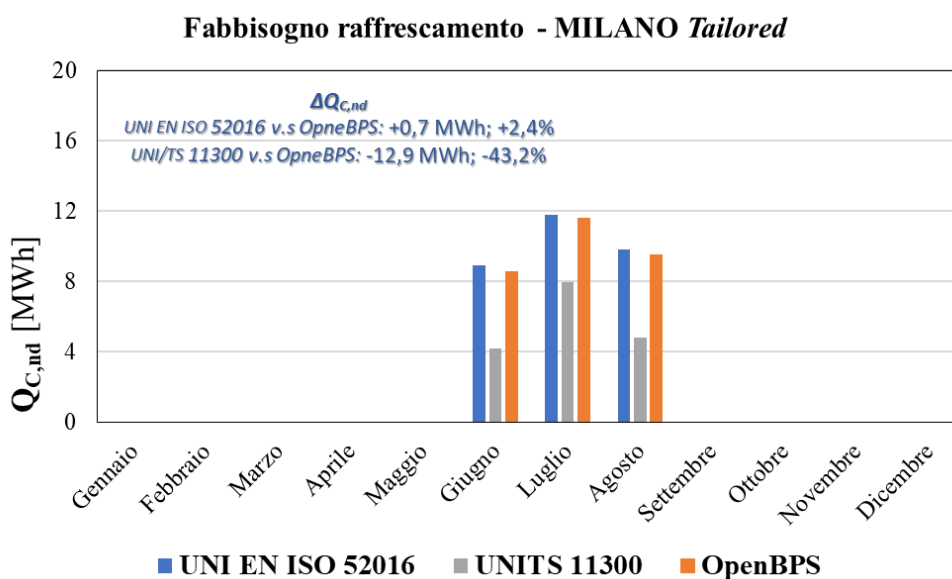


Figura 29. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Milano

Come prevedibile, quindi, implementando in OpenBPS i coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali come da norma UNI EN ISO 52016 – 1, si ha un importante avvicinamento dei valori di $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$ calcolati con i metodi dinamici indagati (UNI EN ISO 52016 e OpenBPS), con una netta riduzione delle differenze percentuali, sia su base mensile che annuale.

Quanto notato in merito alle discrepanze tra i valori di $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$ calcolati con i diversi metodi, sono state analizzate le differenze tra i valori dei principali contributi che determinano i fabbisogni di energia termica,

ossia lo scambio termico per trasmissione, per ventilazione e i gli apporti solari. Nello specifico, sono stati confrontati i valori mensili di energia termica:

- scambiata per trasmissione (con l'ambiente esterno (Q_d), con gli ambienti climatizzati (Q_u), con il terreno (Q_g), e con zone climatizzate a temperatura diversa (Q_a)),
- scambiata per ventilazione/infiltrazione sensibile,
- dovuta agli apporti solari.

È utile sottolineare che per quanto concerne l'extra flusso dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste, la procedura utilizzata dalla UNI TS 11300-1 è assimilabile a quella della UNI EN ISO 52016: l'extra flusso è infatti inglobato nel calcolo delle dispersioni termiche dell'involucro, nelle UNI TS 11300 è un termine aggiuntivo per il calcolo di $Q_{H,tr}$, nelle UNI EN ISO 52016 è un flusso termico che incide sull'equazione di bilancio dei nodi esterni dei componenti esterni. Per entrambe le norme, inoltre, la formulazione è analoga, ed il calcolo è simile in OpenBPS, motivo per cui non è riportato di seguito. Per quanto concerne gli apporti interni, essendo input della simulazione – ed uguali per i tre modelli di calcolo – non sono riportati.

Le figure successive, pertanto, riportano i contributi mensili scelti, e calcolati con le UNI EN ISO 52016, le UNI TS 11300 ed OpenBPS, nel caso di:

- valutazione Standard ed opzione V1 - *OpenBPS(V1)* - [Figura 30](#);
- valutazione Standard ed opzione V2 - *OpenBPS(V2)* - [Figura 31](#);
- valutazione Tailored ed opzione V1 - *OpenBPS(V1)* - [Figura 32](#);
- valutazione Tailored ed opzione V2 - *OpenBPS(V2)* - [Figura 33](#).

Dal confronto tra il grafico relativo a “Energia termica scambiata per trasmissione” riportato in [Figura 30](#) (V1) e [Figura 31](#) (V2) – valutazione Standard – si nota che l'energia scambiata per trasmissione da OpenBPS è mediamente inferiore, seppur di poco, rispetto a quelle calcolate dalle due norme, presentando un segno negativo durante la stagione estiva. Tale andamento – con un ordine di grandezza superiore agli altri due contributi (“Energia termica scambiata per ventilazione / infiltrazione (sensibile)” e “Energia termica dovuta agli apporti solari”) - di fatto comporta che durante la stagione invernale il valore di $Q_{H,nd}$ calcolato da OpenBPS sia inferiore a quelli calcolati dalle norme UNI TS 11300 ed UNI EN ISO 52016, viceversa durante la stagione estiva relativamente a $Q_{C,nd}$. Inoltre, passando dall'opzione V1 ([Figura 30](#)) all'opzione V2 ([Figura 31](#)), i valori dell'energia termica scambiata per trasmissione con i tre metodi si avvicinano sensibilmente, giustificando le piccole discrepanze notate sui fabbisogni di riscaldamento e raffreddamento dell'edificio (es. [Figura 26](#) e [Figura 28](#)). Pertanto, mediamente i valori di $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$ calcolati con OpenBPS (V2) si avvicinano ai valori calcolati con la UNI EN ISO 52016-1. Analoghe considerazioni possono essere fatte per il caso *Tailored* ([Figura 32](#) e [Figura 33](#)), per il quale vale la pena sottolineare una maggiore discrepanza tra i dati della UNI TS 11300-1 ed i metodi dinamici per quanto concerne lo scambio termico per trasmissione e gli apporti solari durante la stagione estiva. Ciò comporta una discrepanza tra i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati (es. [Figura 29](#)).

Come atteso, infine, non si evince sostanziale differenza nel calcolo dello scambio termico per ventilazione / infiltrazione tra le tre metodologie di calcolo investigatee

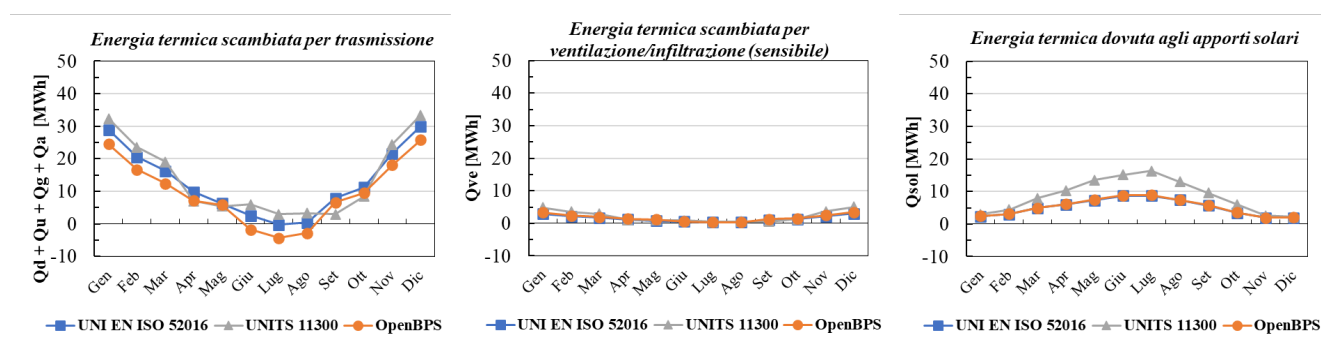


Figura 30. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Milano

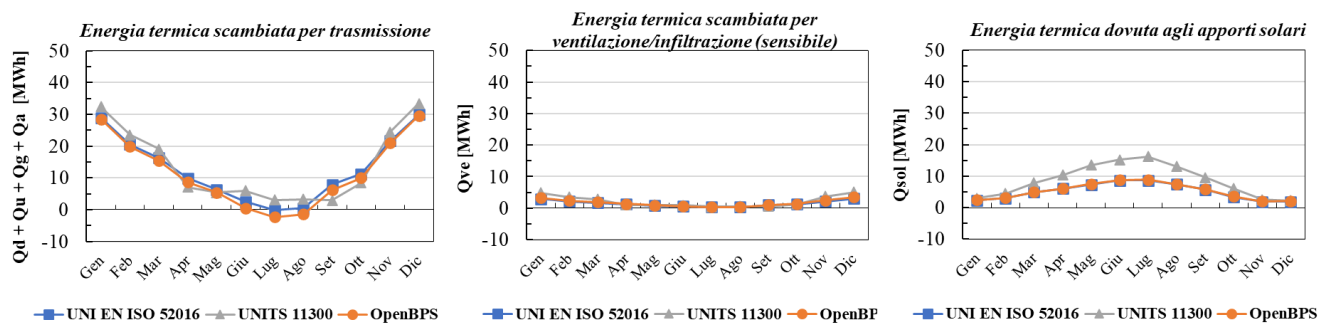


Figura 31. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Milano

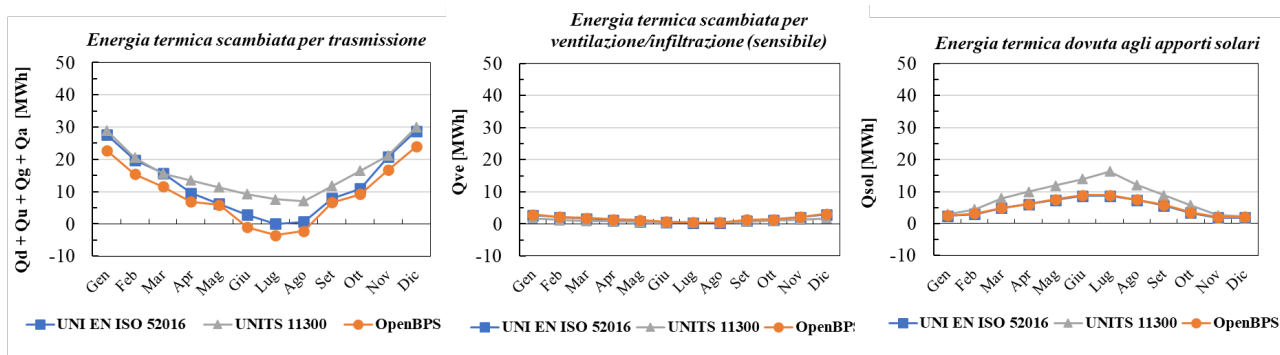


Figura 32. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Milano

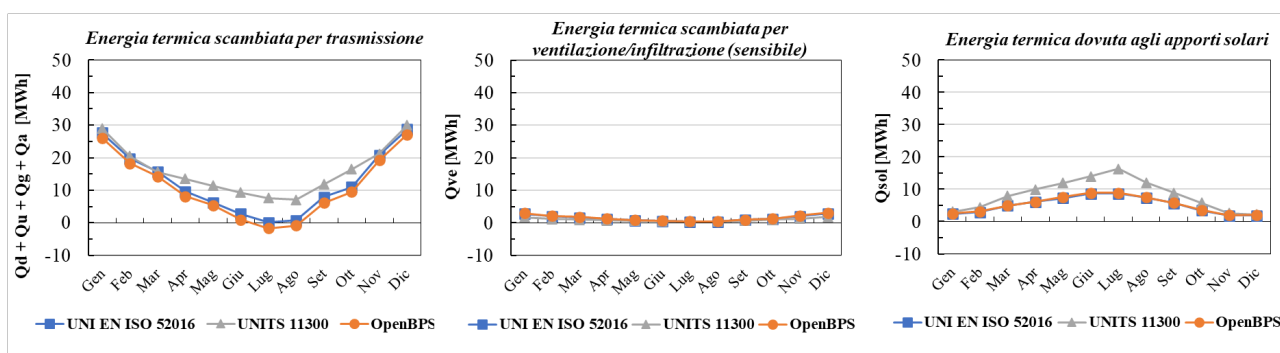


Figura 33. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Milano

4.2 Risultati del confronto per Roma

In **Tabella 18** si riportano le principali caratteristiche climatiche dell'area di Roma. Quest'ultima ricade nella zona climatica D ($1401 \leq GG \leq 2100$), per cui in base al D.P.R. n.412 del 26 agosto 1993, l'accensione degli impianti di riscaldamento è consentita dal 1° novembre al 15 aprile, per un numero massimo di ore giornaliere pari a 12.

Tabella 27. Caratteristiche climatiche del sito - Roma

Gradi giorno (GG): 1817 Kd Zona climatica: D Temperatura massima: 37,3 °C Temperatura minima: -0,2 °C Latitudine: 41°54'39"24 N Longitudine: 12°28'54"48 E ISR (radiazione solare incidente sull'orizzontale): 1584 kWh/m²	
--	--

4.2.1 Riferimento: OpenBPS (V1)

In **Tabella 28** e **Tabella 29** sono riportati i fabbisogno mensili e totali di energia termica utile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) dell'intero edificio, calcolati sulla base delle UNI EN ISO 52016, delle UNI TS 11300 e di Open BPS (V1), secondo le valutazioni *Standard* e *Tailored*.

Tabella 28. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Roma.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
<i>Gennaio</i>	19.6	21.9	14.6	5.1	34.8	7.3	50.1
<i>Febbraio</i>	14.2	16.8	10.1	4.1	40.1	6.7	66.3
<i>Marzo</i>	8.4	9.3	5.2	3.2	61.8	4.1	79.9
<i>Aprile</i>	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	100
<i>Maggio</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Giugno</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Luglio</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Agosto</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Settembre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Ottobre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Novembre</i>	8.3	11.5	5.2	3.1	60.1	6.3	121.6
<i>Dicembre</i>	18.1	20.9	12.6	5.5	43.4	8.3	65.4
TOTALE	68.6	81.4	47.7	20.9	43.8	33.7	70.6

Tabella 29. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Roma.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	18.4	15.8	12.6	5.8	46.1	3.2	25.2
Febbraio	13.2	11.6	8.6	4.6	52.8	2.9	33.8
Marzo	7.7	5.9	4.4	3.4	77.0	1.5	33.8
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Luglio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	7.6	6.6	4.3	3.3	77.4	2.3	53.3
Dicembre	16.9	14.9	10.8	6.1	56.1	4.1	37.9
TOTALE	63.9	54.8	40.8	23.1	56.8	14.0	34.4

I dati mensili di [Tabella 28](#) e [Tabella 29](#) sono riportati, rispettivamente, anche in [Figura 34](#) e [Figura 35](#) per una più immediata visualizzazione dei risultati, così come già fatto per Milano. Anche per Roma i fabbisogni di energia termica utile mensile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$), calcolati con le UNI TS 11300, le UNI EN ISO 52016, risultano sovrastimare i dati calcolati con OpenBPS. Nello specifico, si ha che:

- nel caso di valutazione *Standard*, i valori mensili di $Q_{H,nd}$ calcolati sulle base delle norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 sovrastimano significativamente i valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con OpenBPS. Su base annua, l'incremento percentuale di energia termica – rispetto al dato di riferimento di OpenBPS – è pari a 43,8% per la UNI EN ISO 52016-1, mentre è pari a 70,6% per la UNI TS 11300-1.
- nel caso di valutazione *Tailored*, si ha una riduzione notevole dei valori mensili di $Q_{H,nd}$ calcolati con la UNI TS 11300-1 a dispetto della riduzione dei valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con gli altri metodi, con il risultato di una riduzione delle differenze percentuali di energia termica calcolate. Nello specifico, su base annua, l'incremento percentuale di energia termica – rispetto al dato di riferimento di OpenBPS – è pari a 56,8% per la UNI EN ISO 52016-1 e pari a 34,3% per la UNI TS 11300-1.

Pertanto, per il calcolo di $Q_{H,nd}$, si ha che:

- nel caso di valutazione *Standard*, le UNI EN ISO 52016, rispetto alle UNI TS 11300, si avvicinano maggiormente ai valori calcolati con OpenBPS (così come accade per Milano);
- nel caso di valutazione *Tailored*, le UNI TS 11300 producono valori più simili a quelli di OpenBPS;
- in generale, gli scostamenti percentuali calcolati per il dato climatico relativo a Roma sono maggiori di quelli riscontrati nel caso di Milano dove la richiesta di energia termica per il riscaldamento è superiore.

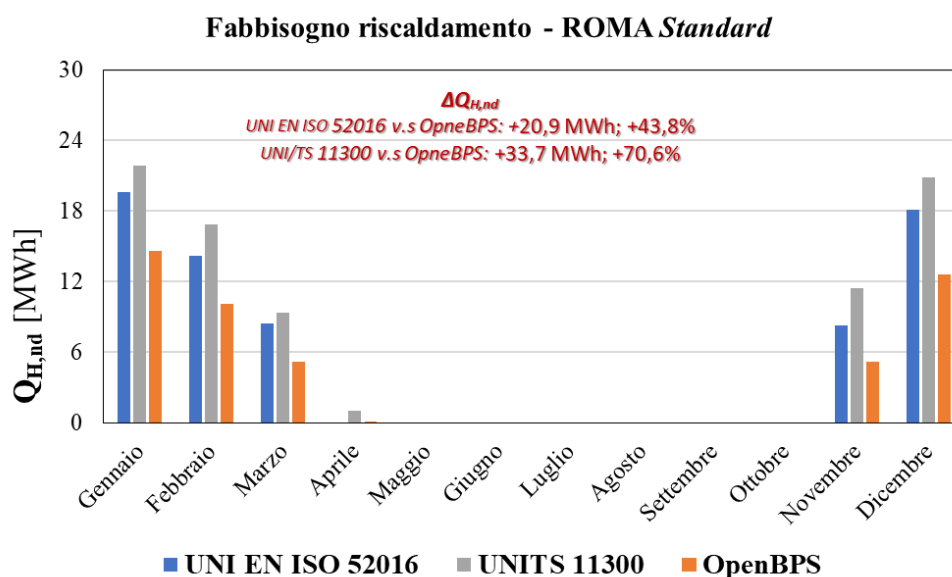


Figura 34. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Roma

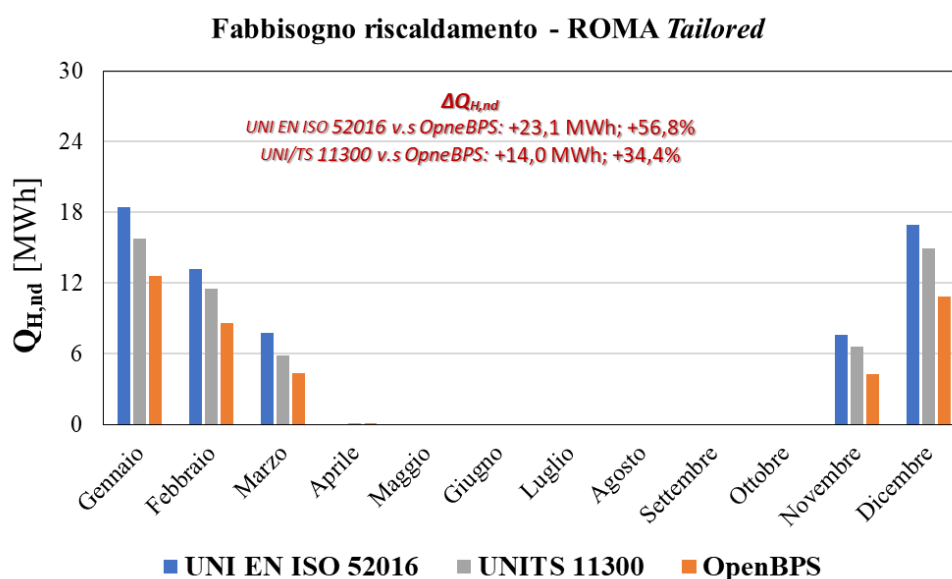


Figura 35. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Roma

Passando al caso estivo, [Tabella 30](#) e [Tabella 31](#) mostrano i fabbisogni mensili e totali di energia termica utile per il raffrescamento ($Q_{C,nd}$) dell'intero edificio, calcolati sulla base delle UNI EN ISO 52016, delle UNI TS 11300 e di Open BPS (V1), secondo la valutazione *Standard* e *Tailored*. La [Figura 36](#) e [Figura 37](#), relative rispettivamente alla [Tabella 30](#) e [Tabella 31](#), riportano in forma grafica gli stessi risultati per una più semplice analisi.

Tabella 30. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Roma.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	10.0	9.7	14.2	-4.2	-29.5	-4.5	-31.7
Luglio	19.4	19.1	22.5	-3.1	-13.6	-3.4	-15.0
Agosto	17.7	17.1	20.3	-2.6	-12.9	-3.2	-15.9
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	47.1	45.9	57.0	-9.9	-17.3	-11.1	-19.5

Tabella 31. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Roma.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	9.8	5.5	13.3	-3.4	-26.0	-7.8	-58.7
Luglio	18.9	13.8	21.0	-2.2	-10.3	-7.2	-34.4
Agosto	17.2	11.7	19.1	-1.8	-9.6	-7.4	-38.7
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	45.9	31.0	53.4	-7.5	-14.0	-22.4	-42.0

Quanto notato per Milano può essere esteso ai confronti relativi ai risultati ottenuti per il clima di Roma. Nello specifico, analizzando i valori di $Q_{C,nd}$ è possibile riportare le seguenti osservazioni:

- sia le UNI TS 11300 che le UNI EN ISO 52016 sottostimano i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati con OpenBPS, sia mensilmente che annualmente;
- nel caso di valutazione *Standard*, i risultati ottenuti con le norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 mostrano lo stesso scostamento rispetto ai dati di OpenBPS: -17,3% per le UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS e -19,5% per le UNI TS 11300 vs. OpenBPS;

- nel caso di valutazione *Tailored*, i risultati prodotti sulla base delle UNI TS 11300 sottostimano significativamente i dati prodotti da OpenBPS, mentre le UNI EN ISO 52016 mostrano uno scarto percentuale simile a quanto riscontrato nel caso di valutazione *Standard*: -14,0% per le UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS e -42,0% per le UNI TS 11300 vs. OpenBPS.

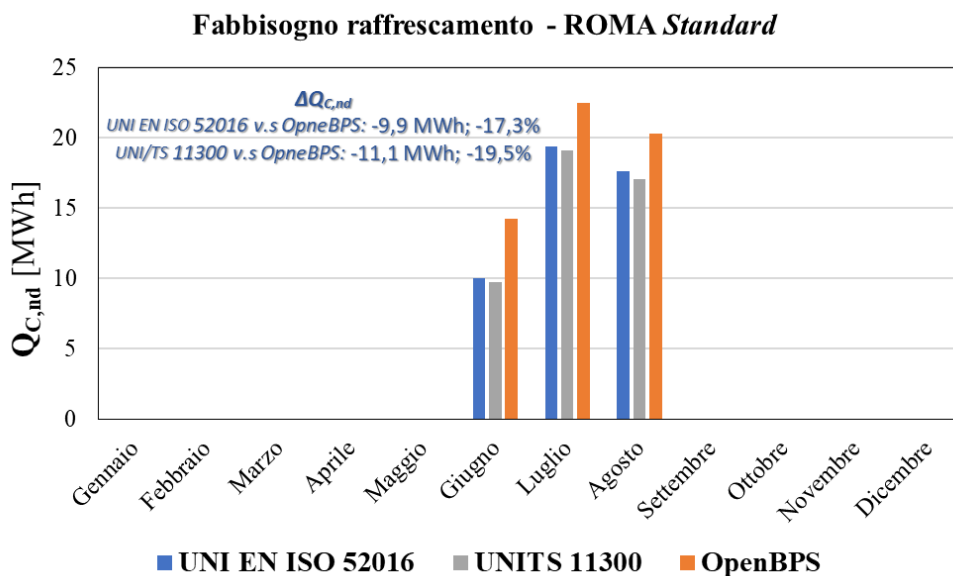


Figura 36. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Roma

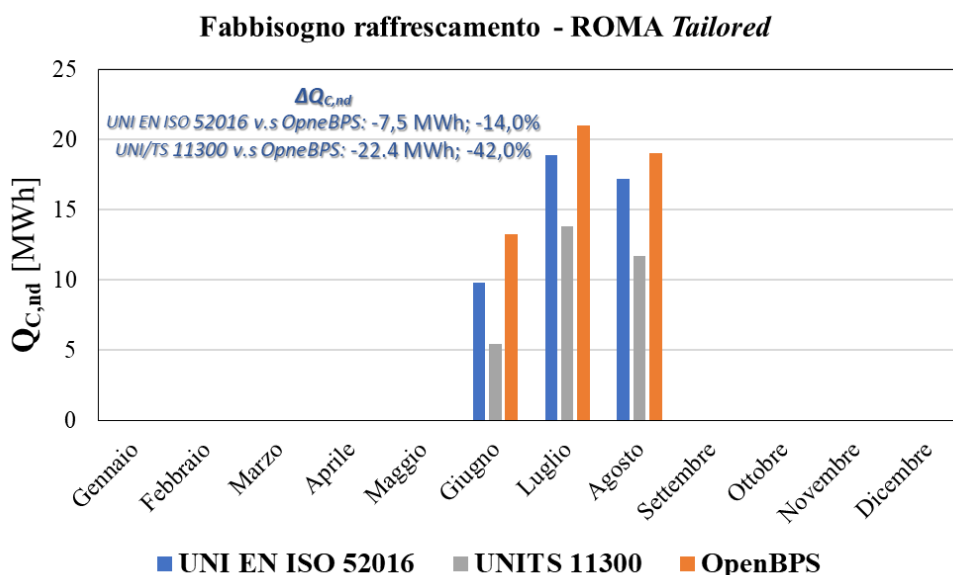


Figura 37. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Roma

4.2.2 Riferimento: OpenBPS (V2)

Le differenze percentuali tra i valori di $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$ calcolati con i diversi metodi si riducono significativamente passando all'opzione V2 di OpenBPS (i.e. coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali *come da norma UNI EN ISO 52016 – 1, ossia invarianti nel tempo*), così come riscontrato nel caso di Milano.

La **Tabella 32** e **Tabella 33** includono i fabbisogni mensili e totali di energia termica utile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) dell'intero edificio, calcolati sulla base delle UNI EN ISO 52016, delle UNI TS 11300 e di Open BPS (V2), secondo le valutazioni *Standard* e *Tailored*. I valori di tali tabelle sono riportati in forma grafica in **Figura 38** e **Figura 39**.

Come già riscontrato per Milano, rispetto ai risultati ottenuti con l'opzione V1 (i.e. coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali *variabili*), i valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con OpenBPS con opzione V2 aumentano e tendono maggiormente ai risultati ottenuti con le UNI TS 11300 e le UNI EN ISO 52016. Nello specifico, si è passati da:

- da un +43,8% ad un -1,5% per la UNI EN ISO 52016-1 vs. OpenBPS e da un +70,6% ad un +16,9% per la UNI TS 11300-1 vs. OpenBPS – valutazione *Standard*;
- un +56,8% ad un +7,3% per la UNI EN ISO 52016-1 vs. OpenBPS e da +34,3% ad un -7,9% per la UNI TS 11300-1 vs. OpenBPS – valutazione *Tailored*.

Tabella 32. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Roma.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	19.6	21.9	19.8	-0.1	-0.6	2.1	10.7
Febbraio	14.2	16.8	14.4	-0.3	-1.8	2.4	16.5
Marzo	8.4	9.3	8.9	-0.5	-5.9	0.4	4.7
Aprile	0.0	1.0	0.3	-0.3	-100.0	0.7	294.3
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Luglio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	8.3	11.5	8.4	-0.1	-1.6	3.1	36.3
Dicembre	18.1	20.9	17.9	0.2	1.4	3.0	16.9
TOTALE	68.6	81.4	69.7	-1.1	-1.5	11.7	16.9

Tabella 33. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Roma.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	18.4	15.8	17.1	1.4	7.9	-1.3	-7.5
Febbraio	13.2	11.6	12.4	0.8	6.6	-0.8	-6.7
Marzo	7.7	5.9	7.5	0.2	2.9	-1.7	-22.2
Aprile	0.0	0.0	0.2	-0.2	-100.0	-0.1	-74.3

Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Luglio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	7.6	6.6	7.0	0.6	8.5	-0.4	-6.3
Dicembre	16.9	14.9	15.3	1.6	10.4	-0.4	-2.5
TOTALE	63.9	54.8	59.5	4.4	7.4	-4.7	-7.9

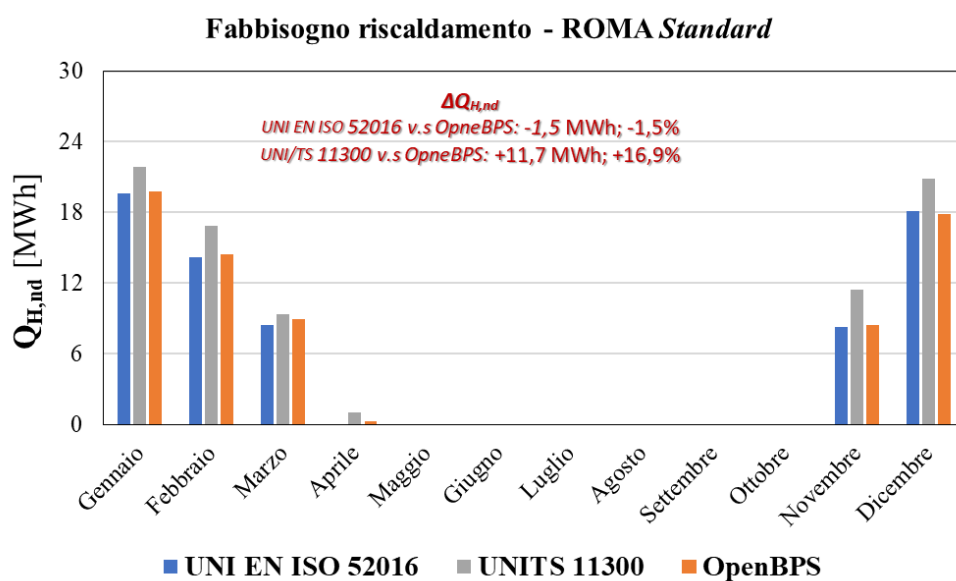


Figura 38. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Roma

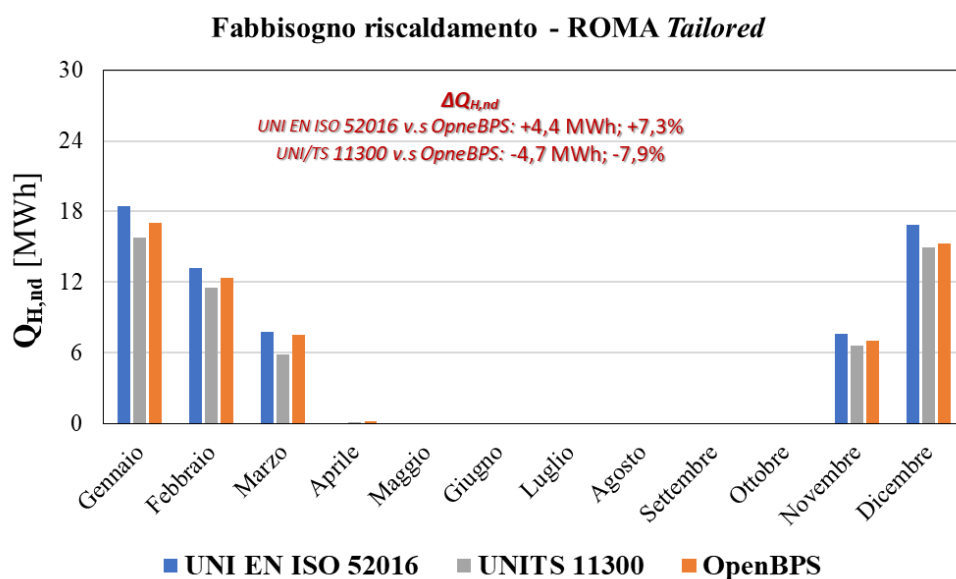


Figura 39. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Roma

Per il caso estivo, facendo riferimento a **Tabella 34** e **Tabella 35** e ai grafici corrispondenti di **Figura 40** e **Figura 41** - relativi ai fabbisogno di raffrescamento, $Q_{C,nd}$, calcolati con i vari metodi - è possibile notare che:

- nel caso di valutazione *Standard*, grazie alla modifica dei coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali, le differenze di calcolo tra le UNI TS 11300, le UNI EN ISO 52016, ed il metodo dinamico di OpenBPS si riducono significativamente;
- nel caso *Standard*, la differenza percentuale tra i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati con le UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS è pari a -2,6%, mentre quella riscontrata tra il dato delle UNI TS 11300 ed OpenBPS arriva a -5,2%;
- nel caso di valutazione *Tailored*, i risultati delle UNI EN ISO 52016 sono corrispondenti ai valori forniti da OpenBPS, ed infatti la differenza percentuale annua si annulla quasi (+0,6%), mentre la differenza tra le UNI TS 11300 ed OpenBPS si riduce rispetto al caso V1 (-42%) ma resta comunque elevata, pari a -32,1%.

Tabella 34. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Roma.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNI TS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	10.0	9.7	10.1	-0.1	-0.6	-0.4	-3.8
Luglio	19.4	19.1	20.0	-0.6	-2.9	-0.9	-4.5
Agosto	17.7	17.1	18.3	-0.6	-3.2	-1.2	-6.6
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	47.1	45.9	48.4	-1.2	-2.6	-2.5	-5.1

Tabella 35. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Roma.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNI TS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	9.8	5.5	9.5	0.3	3.2	-4.0	-42.4
Luglio	18.9	13.8	18.8	0.0	0.2	-5.0	-26.7
Agosto	17.2	11.7	17.3	-0.1	-0.4	-5.6	-32.4

Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	45.9	31.0	45.6	0.3	0.6	-14.7	-32.1

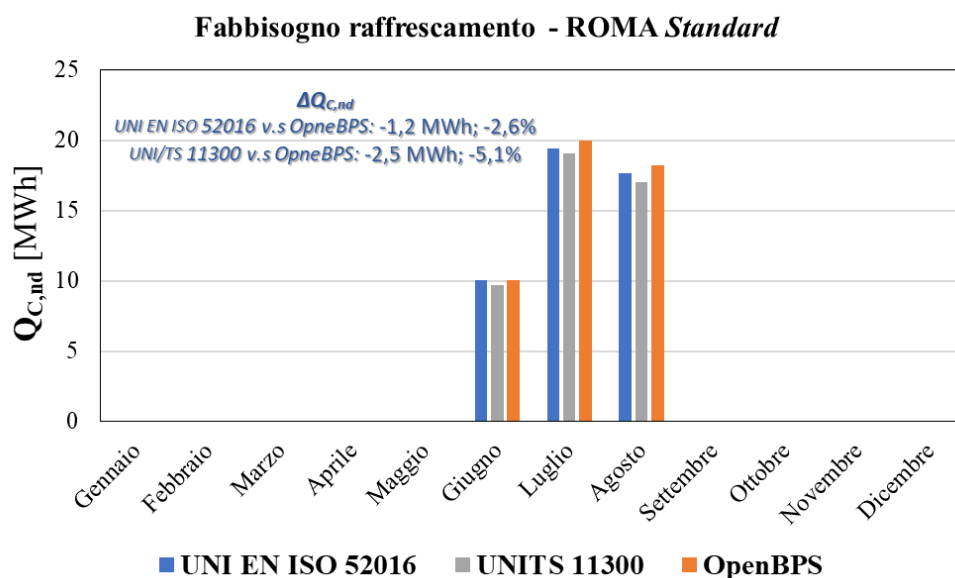


Figura 40. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Roma

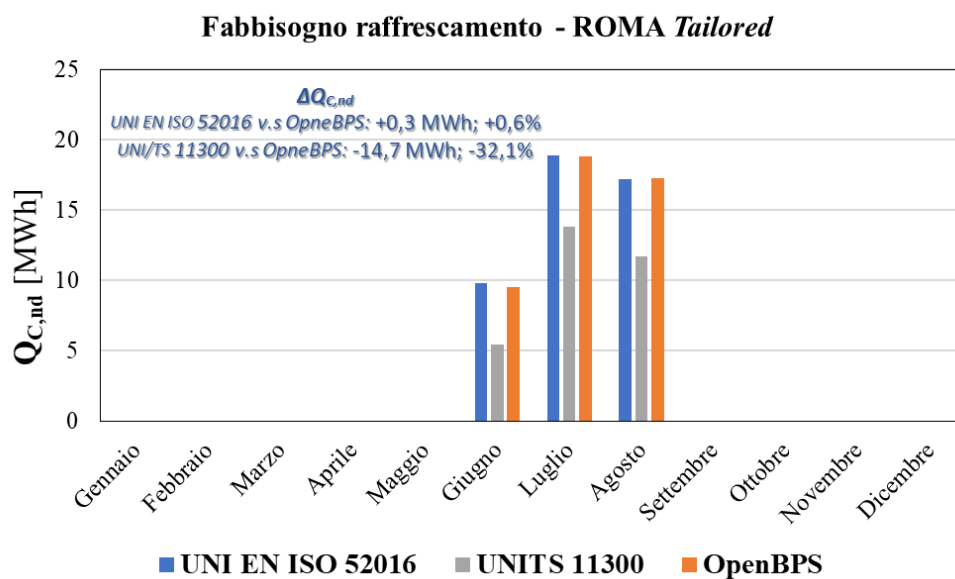


Figura 41. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Roma

I valori mensili dell'energia termica scambiata per trasmissione, ventilazione/infiltrazione sensibile, ed il contributo di energia termica dovuta agli apporti solari, sono stati utilizzati per individuare le cause di discrepanza tra i risultati di $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$ calcolati con i diversi metodi. Come per il caso di Milano, i valori mensili dei suddetti contributi, calcolati con le UNI EN ISO 52016, le UNI TS 11300 ed OpenBPS, sono riportati nelle seguenti figure nel caso di:

- valutazione Standard e l'opzione V1 - OpenBPS(V1) - [Figura 42](#);
- valutazione Standard e l'opzione V2 - OpenBPS(V2) - [Figura 43](#);
- valutazione Tailored e l'opzione V1 - OpenBPS(V1) - [Figura 44](#);
- valutazione Tailored e l'opzione V2 - OpenBPS(V2) - [Figura 45](#).

Gli andamenti delle suddette figure richiamano quelli già analizzati nel caso di Milano. Anche per Roma è interessante notare come passando dall'opzione V1 (i.e. coefficienti variabili) a V2 (i.e. coefficienti convettivo-radiativi fissi come da UNI EN 52016-1), le differenze tra le aliquote di energia richieste da OpenBPS e le UNI EN ISO 52016 si riducono sensibilmente (si confronti [Figura 42](#) (V1) con [Figura 43](#) (V2) – valutazione *Standard*). Con opzione V1, OpenBPS restituisce valori dell'aliquota relativa alla trasmissione attraverso l'involucro sempre minori dei valori calcolati con le norme, specialmente per la valutazione *Standard*. Il contributo dovuto alla ventilazione / infiltrazione non varia al variare del metodo di calcolo, come previsto. Infine, a causa della diversa e meno accurata modellazione dell'inerzia termica dell'edificio, il fabbisogno di raffrescamento ($Q_{C,nd}$) calcolato con la UNI TS 11300-1 - nonostante i maggiori apporti solari riscontrati - risulta essere minore di quelli ottenuti tramite i metodi dinamici.

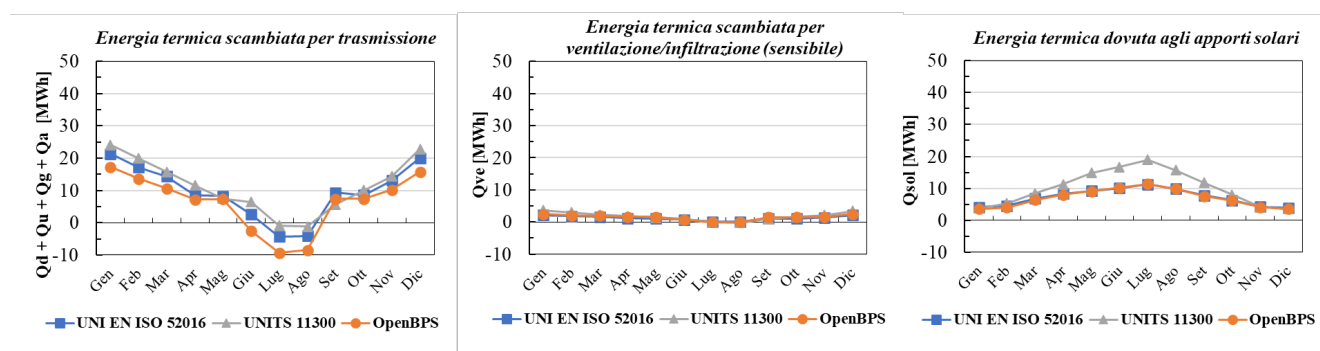


Figura 42. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Roma

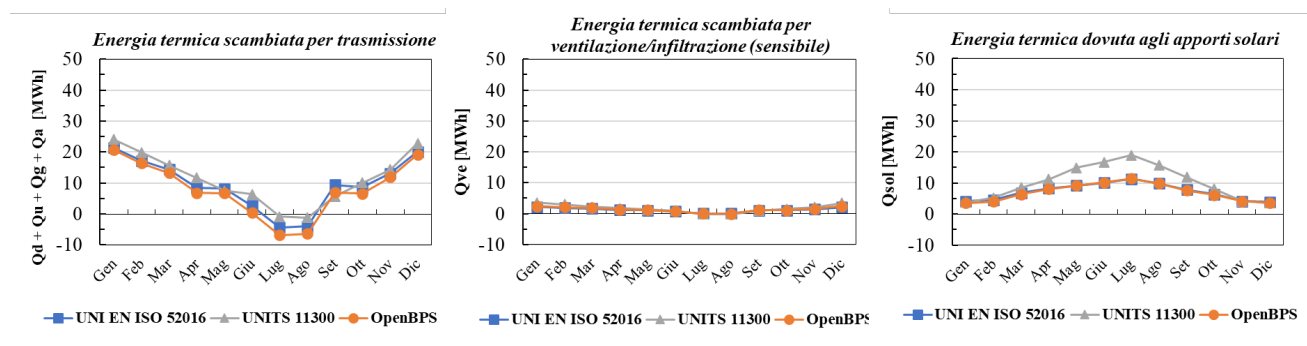


Figura 43. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Roma

Gli stessi commenti possono essere estesi alle figure relative alla valutazione *Tailored*. Infatti, anche in questo caso, passando dall'opzione V1 (Figura 44) a V2 (Figura 45) le differenze tra le aliquote di energia richieste da OpenBPS e le UNI EN ISO 52016 si riducono sensibilmente. A tal proposito, è utile soffermarsi sull'istogramma relativo all' "Energia termica scambiata per trasmissione". Si noti che l'energia termica dovuta agli apporti interni (pari a circa 4 MWh al mese) non varia tra i modelli utilizzati essendo un input necessario per il confronto tra i metodi di calcolo.

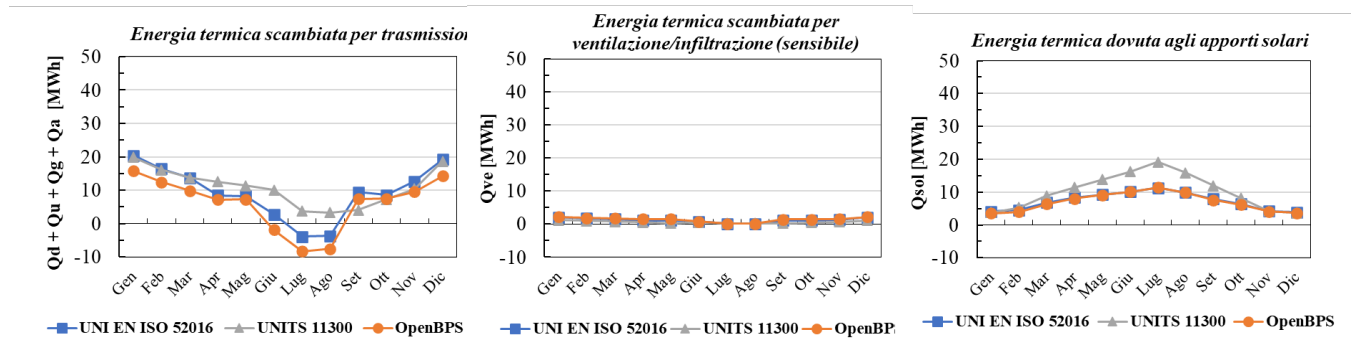


Figura 44. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Roma

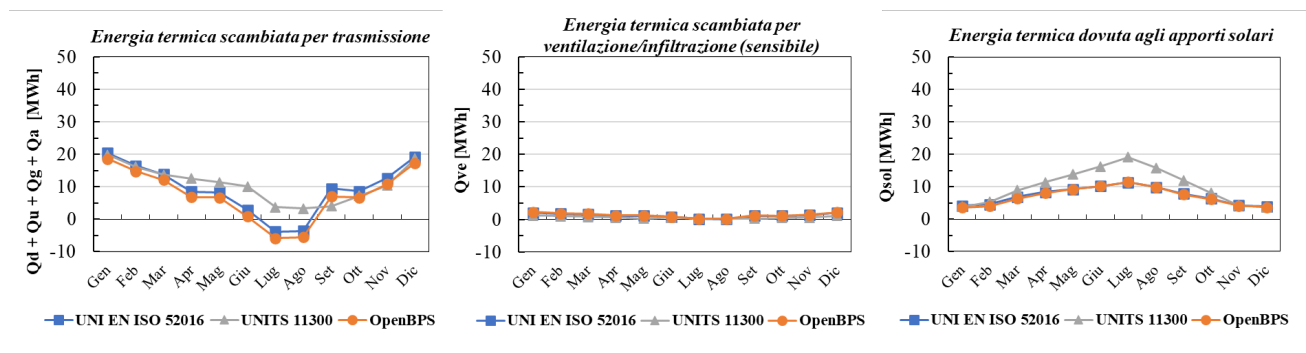


Figura 45. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Roma

4.3 Risultati del confronto per Palermo

In **Tabella 18** si riportano le principali caratteristiche climatiche dell'area di Palermo. Quest'ultima ricade nella zona climatica B ($600 \leq GG \leq 900$), per cui in base al D.P.R. n.412 del 26 agosto 1993, l'accensione degli impianti di riscaldamento è consentita dal 1 dicembre al 31 marzo, per un numero massimo di ore giornaliere pari a 8.

Tabella 36. Caratteristiche climatiche del sito - Palermo

Gradi giorno (GG): 1090 Kd Zona climatica: B Temperatura massima: 36,7 °C Temperatura minima: 3,1 °C Latitudine: 38°6'43"56 N Longitudine: 13°20'11"76 E ISR (radiazione solare incidente sull'orizzontale): 1586 kWh/m²	
---	---

I confronti tra i risultati riportati nei paragrafi precedenti per Milano e Roma sono stati effettuati anche per Palermo. Dall'analisi dei risultati, Sono stati riscontrati andamenti simili, di seguito descritti, che confermano in linea generale le differenze tra le modalità di calcolo.

4.3.1 Riferimento: OpenBPS (V1)

I fabbisogni mensili e totali di energia termica utile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) dell'edificio, calcolati sulla base delle UNI EN ISO 52016, delle UNI TS 11300 e di Open BPS (V1), sono riportati in **Tabella 37** nel caso di valutazione *Standard* ed in **Tabella 38** nel caso di valutazione *Tailored*. Alle due tabelle corrispondono gli istogrammi di **Figura 46** e **Figura 47**, in cui sono confrontati i valori mensili e annuali di $Q_{H,nd}$ nonché gli scarti percentuali tra i dati calcolati con le UNI EN ISO 52016 e le UNI TS 11300 rispetto a quelli di OpenBPS (V1). Dall'analisi delle suddette figure e tabelle, anche per Palermo, si evince che:

- nel caso di valutazione *Standard*, i valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con le norme UNI EN ISO 52016 ed UNI TS 11300 sovrastimano sempre i valori di OpenBPS. I risultati annuali presentano una differenza percentuale pari a +56,6% nel caso della UNI EN ISO 52016 e pari ad 86,2% nel caso della UNI TS 11300;
- nel caso di valutazione *Tailored*, i valori della UNI TS 11300-1 risultano intermedi rispetto a quelli calcolati con la UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS. Nello specifico, la differenza percentuale rispetto al valore annuo di $Q_{H,nd}$ di OpenBPS è pari ad 80,3% per la UNI EN ISO 52016-1, e pari a 25,4% per la UNI TS 11300-1.

Per il calcolo di $Q_{H,nd}$, nel caso di valutazione *Standard*, le UNI EN ISO 52016 risultano più accurate delle UNI TS 11300; il contrario accade nel caso di valutazione *Tailored*, per cui le UNI TS 11300 presentano un minore scarto percentuale rispetto ai risultati ottenuti con OpenBPS, considerati come riferimento.

Tabella 37. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Palermo.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs.OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
<i>Gennaio</i>	10.7	13.3	7.5	3.2	42.4	5.8	77.3
<i>Febbraio</i>	9.6	11.4	5.9	3.7	61.5	5.5	92.4
<i>Marzo</i>	5.1	1.3	2.5	2.6	101.5	-1.3	-50.3
<i>Aprile</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Maggio</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Giugno</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Luglio</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Agosto</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Settembre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Ottobre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Novembre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Dicembre</i>	8.0	13.7	5.3	2.6	49.6	8.4	157.0
TOTALE	33.4	39.7	21.3	12.1	56.6	18.4	86.2

Tabella 38. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Palermo.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs.OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
<i>Gennaio</i>	9.6	6.9	5.8	3.8	64.3	1.0	17.7
<i>Febbraio</i>	8.5	5.7	4.6	3.9	83.5	1.1	22.7
<i>Marzo</i>	4.5	0.8	1.9	2.6	133.6	-1.2	-60.4
<i>Aprile</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Maggio</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Giugno</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Luglio</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Agosto</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Settembre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Ottobre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Novembre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Dicembre</i>	7.0	7.2	4.0	3.0	74.6	3.2	80.8
TOTALE	29.6	20.6	16.4	13.2	80.3	4.2	25.4

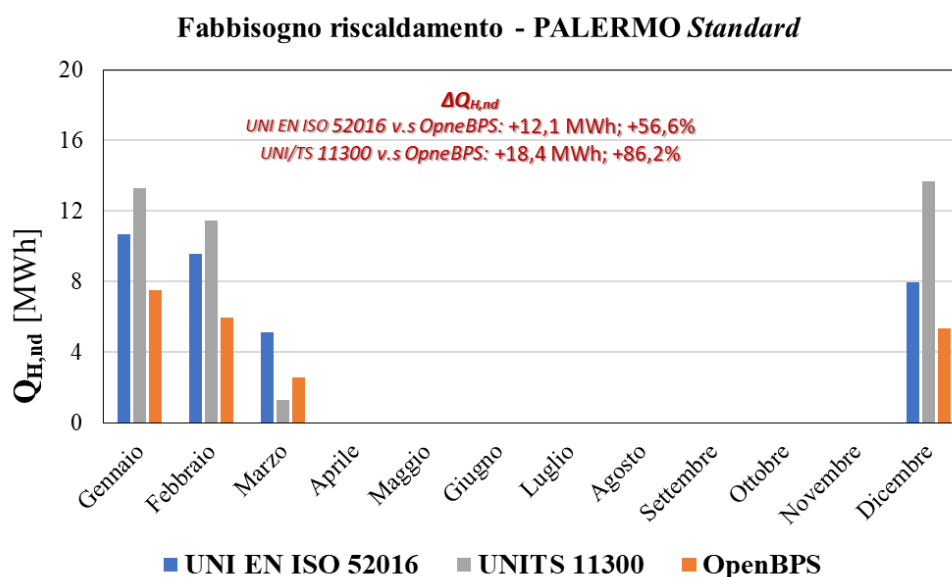


Figura 46. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Palermo.

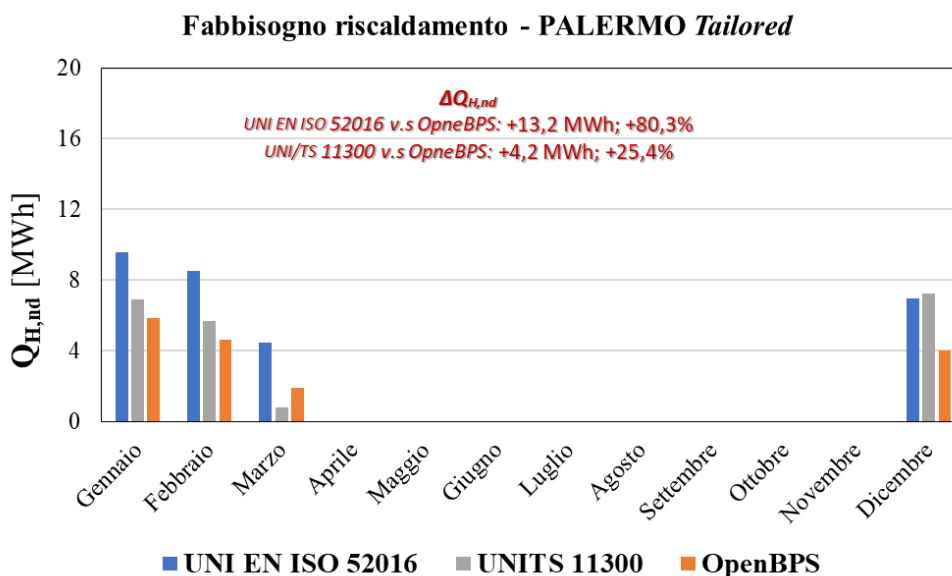


Figura 47. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Palermo.

Nel caso estivo, anche per Palermo si verifica quanto già notato per Milano e Roma: i valori di OpenBPS sottostimano sempre i risultati ottenuti con le norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016. Nelle tabelle e grafici successivi sono riportati i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme UNI EN ISO 52016 ed UNI TS ed OpenBPS, nonché le differenze percentuali rispetto al dato di OpenBPS considerato come riferimento. In [Tabella 39](#) e [Figura 48](#) sono riportati i dati relativi alla valutazione *Standard*, mentre in [Tabella 40](#) e [Figura 49](#), i valori relativi alla valutazione *Tailored*.

Tabella 39. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Palermo.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	10.9	11.4	14.6	-3.7	-25.5	-3.2	-21.9
Luglio	18.1	18.9	20.5	-2.4	-11.6	-1.6	-7.9
Agosto	17.2	17.4	19.3	-2.1	-10.9	-2.0	-10.3
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	46.2	47.7	54.5	-8.2	-15.1	-6.8	-12.5

Tabella 40. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Palermo.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	10.6	6.7	13.6	-3.0	-22.3	-6.9	-51.0
Luglio	17.7	13.3	19.1	-1.5	-7.7	-5.8	-30.3
Agosto	16.8	11.8	18.1	-1.3	-7.3	-6.3	-34.6
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	45.1	31.9	50.9	-5.8	-11.5	-19.0	-37.4

I principali risultati possono essere così riassunti:

- sia le UNI TS 11300 che le UNI EN ISO 52016 sottostimano i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati con OpenBPS, sia mensilmente che annualmente;
- nel caso di valutazione *Standard*, i risultati ottenuti con le norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 mostrano uno scostamento abbastanza simile rispetto ai dati prodotti da OpenBPS: -15,1% per le UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS e -12,5% per le UNI TS 11300 vs. OpenBPS;

- nel caso di valutazione *Tailored*, i risultati ottenuti sulla base delle UNI TS 11300 sottostimano significativamente sia i dati prodotti da OpenBPS, che quelli ottenuti secondo la UNI EN ISO 52016; inoltre, le UNI EN ISO 52016 mostrano uno scarto percentuale rispetto ad OpenBPS simile a quanto riscontrato nel caso di valutazione *Standard*. Le differenze percentuali dei valori di $Q_{C,nd}$ calcolati su base annua dalle due norme rispetto al dato di OpenBPS sono pari a -11,5% per le UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS e -37,4% per le UNI TS 11300 vs. OpenBPS;
- i risultati calcolati con la UNI TS 11300-1, nel confronto con i dati di OpenBPS, risultano, pertanto, essere particolarmente influenzati dai profili di attivazione dell'impianto e d'uso dell'edificio.

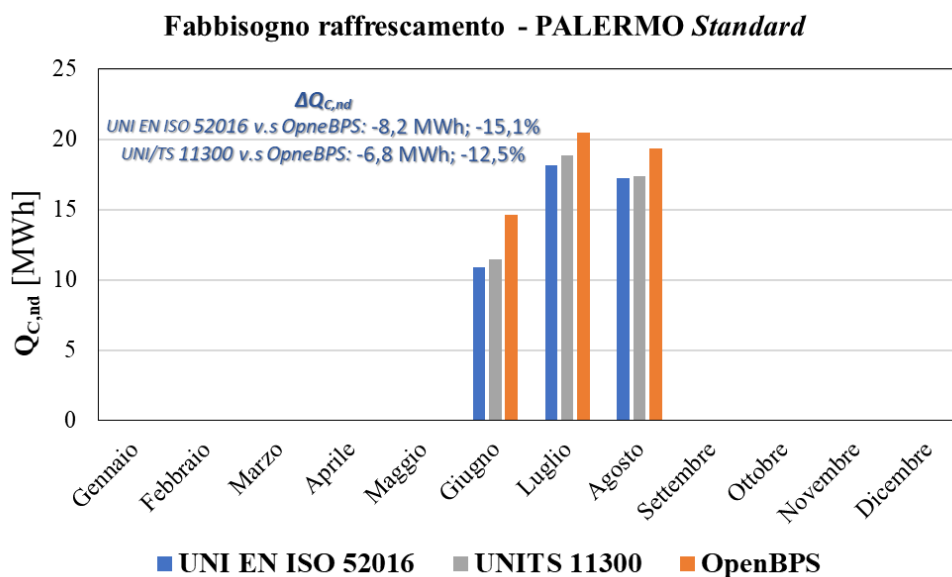


Figura 48. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Standard*, Palermo.

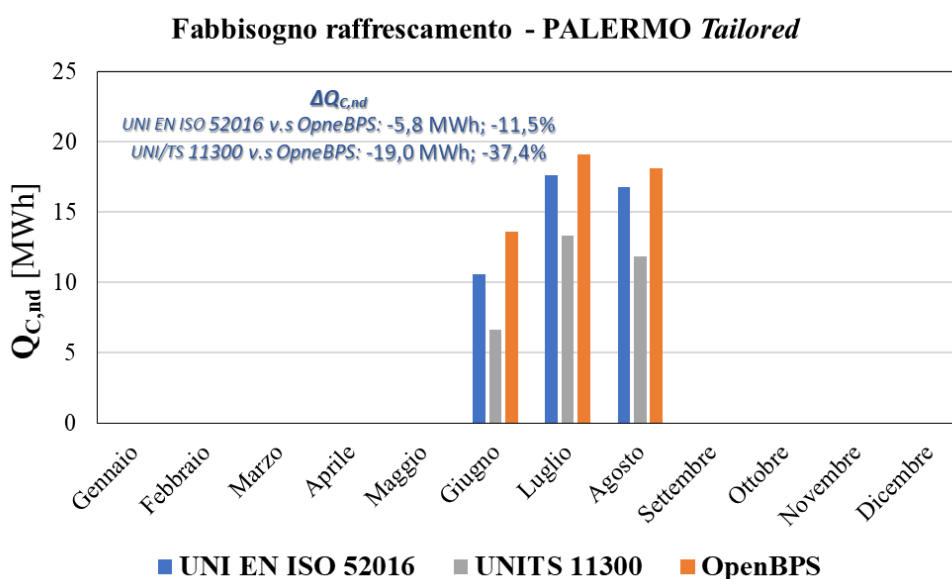


Figura 49. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Tailored*, Palermo.

4.3.2 Riferimento: OpenBPS (V2)

L'opzione V2 di OpenBPS, in cui i coefficienti di scambio convettivo – radiativo superficiali sono invariati nel tempo (come da norma UNI EN ISO 52016 – 1), comporta un incremento dei valori di $Q_{H,nd}$ ed un decremento di quelli di $Q_{C,nd}$, con effetti positivi sulla riduzione delle differenze percentuali tra i valori dei risultati calcolati con le norme UNI EN ISO 52016 ed UNI TS 11300.

In **Tabella 41** e **Tabella 42** sono riportati i fabbisogni mensili e totali di energia termica utile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) dell'intero edificio, calcolati sulla base delle UNI EN ISO 52016, delle UNI TS 11300 e di Open BPS (V2), secondo le valutazioni *Standard* e *Tailored*.

Tabella 41. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Palermo.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	10.7	13.3	11.4	-0.7	-6.4	1.9	16.5
Febbraio	9.6	11.4	10.3	-0.7	-6.8	1.1	11.0
Marzo	5.1	1.3	5.6	-0.5	-8.6	-4.3	-77.5
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Luglio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	8.0	13.7	9.2	-1.2	-13.4	4.5	48.7
TOTALE	33.4	39.7	36.5	-3.2	-8.6	3.2	8.6

Tabella 42. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Palermo.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	9.6	6.9	8.9	0.7	8.2	-2.0	-22.4
Febbraio	8.5	5.7	8.0	0.5	5.8	-2.4	-29.2
Marzo	4.5	0.8	4.4	0.1	2.6	-3.6	-82.6
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Luglio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	7.0	7.2	7.0	0.0	-0.1	0.2	3.4
TOTALE	29.6	20.6	28.3	1.3	4.6	-7.7	-27.3

La **Figura 50** e **Figura 51** riportano i dati di **Tabella 41** e **Tabella 42** in forma grafica. Rispetto ai risultati ottenuti con l'opzione V1, si ha che:

- nel caso di valutazione *Standard*, le UNI TS 11300 sovrastimano i dati di OpenBPS, sottostimati invece dai dati della UNI EN ISO 52016-1. Lo scostamento percentuale dei risultati di $Q_{H,nd}$, ottenuti con le norme rispetto ai valori forniti da OpenBPS, sono: -8,6% per la UNI EN ISO 52016-1 e +8,6% per la UNI TS 11300-1;
- nel caso di valutazione *Tailored*, le UNI TS 11300 sottostimano i valori ottenuti con OpenBPS, a differenza delle UNI EN ISO 52016. Rispetto al caso V1, lo scostamento percentuale si riduce +1,3% per le UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS, e a -7,7% per le UNI TS 11300 vs. OpenBPS (cambiando segno).

Gli scarti percentuali si riducono anche nel caso estivo, come riportato in **Tabella 43** e **Tabella 44**, ed in **Figura 52** e **Figura 53**, le quali riportano il confronto tra i risultati del fabbisogno di raffreddamento, $Q_{C,nd}$. Come per il caso invernale, anche nel caso estivo, i valori delle due norme si avvicinano ai dati forniti da OpenBPS, nello specifico si ha che:

- nel caso di valutazione *Standard*, sia le UNI TS 11300 che le UNI EN ISO 52016 forniscono risultati molto simili a quelli ottenuti con OpenBPS. Le differenze percentuali sono infatti pari a -1,1% (UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS) e +1,9% (UNI TS 11300 vs. OpenBPS);
- nel caso di valutazione *Tailored*, i risultati delle UNI EN ISO 52016 mostrano un'ottima corrispondenza con i valori forniti da OpenBPS, con una differenza percentuale annua pari al +2,3%. La differenza percentuale riscontrata tra il valore di $Q_{C,nd}$ fornito dalle UNI TS 11300 e quello prodotto da OpenBPS si riduce ancora di dieci punti percentuali, passando da -37,4% (opzione V1) a -27,6% (opzione V2).

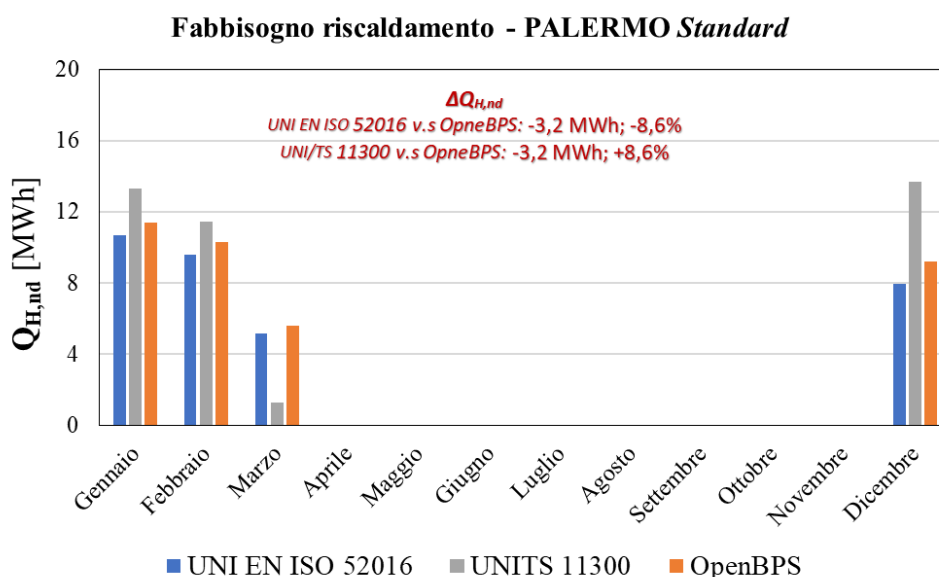


Figura 50. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Standard*, Palermo.

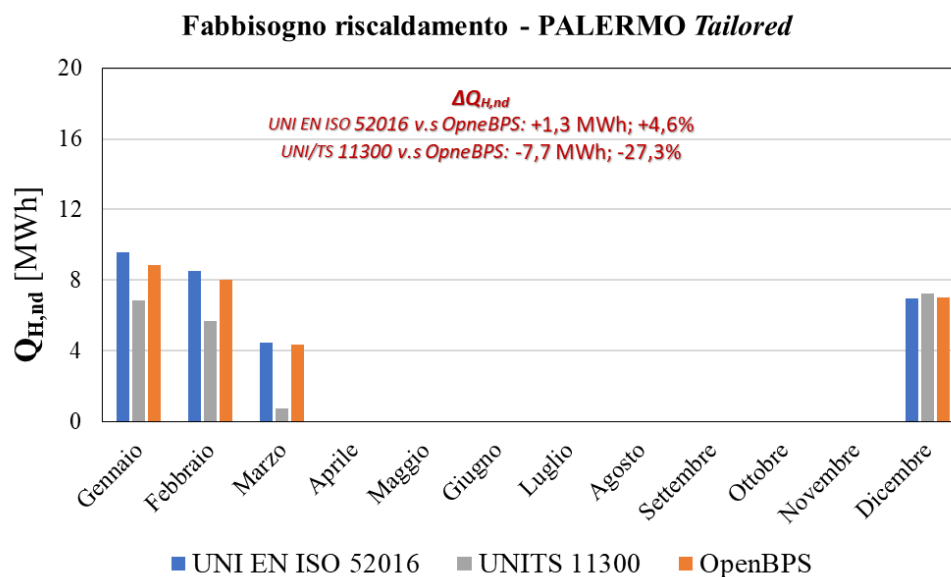


Figura 51. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Palermo.

Tabella 43. Fabbisogno di energia termica utile per il raffreddamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Palermo.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	10.9	11.4	10.6	0.3	3.0	0.9	8.1
Luglio	18.1	18.9	18.4	-0.3	-1.8	0.4	2.3
Agosto	17.2	17.4	17.7	-0.5	-2.9	-0.4	-2.2
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	46.2	47.7	46.8	-0.5	-1.1	0.9	1.9

Tabella 44. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Palermo.

	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febbraio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maggio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	10.6	6.7	9.9	0.6	6.5	-3.3	-32.9
Luglio	17.7	13.3	17.3	0.3	1.9	-4.0	-23.1
Agosto	16.8	11.8	16.7	0.1	0.3	-4.9	-29.2
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ottobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTALE	45.1	31.9	44.0	1.0	2.3	-12.2	-27.6

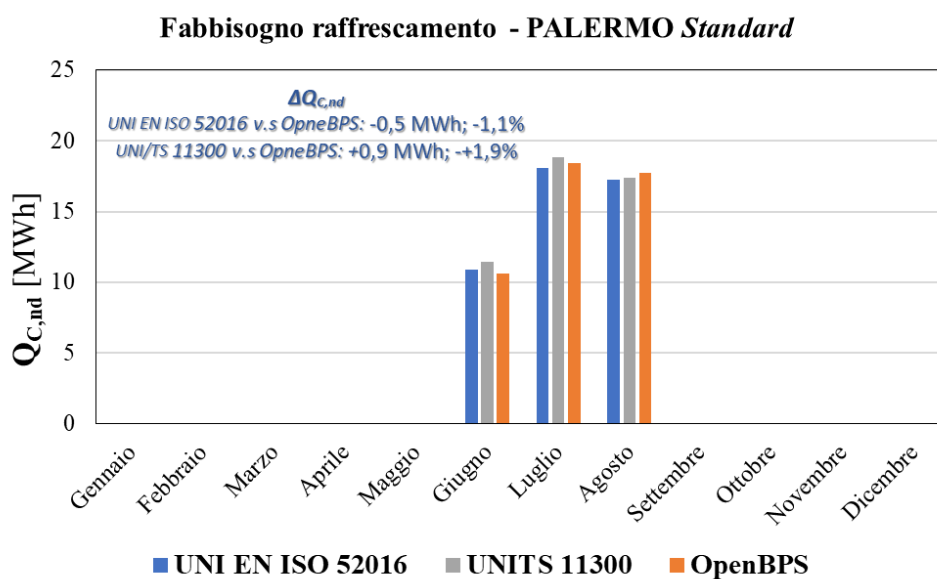


Figura 52. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Palermo.

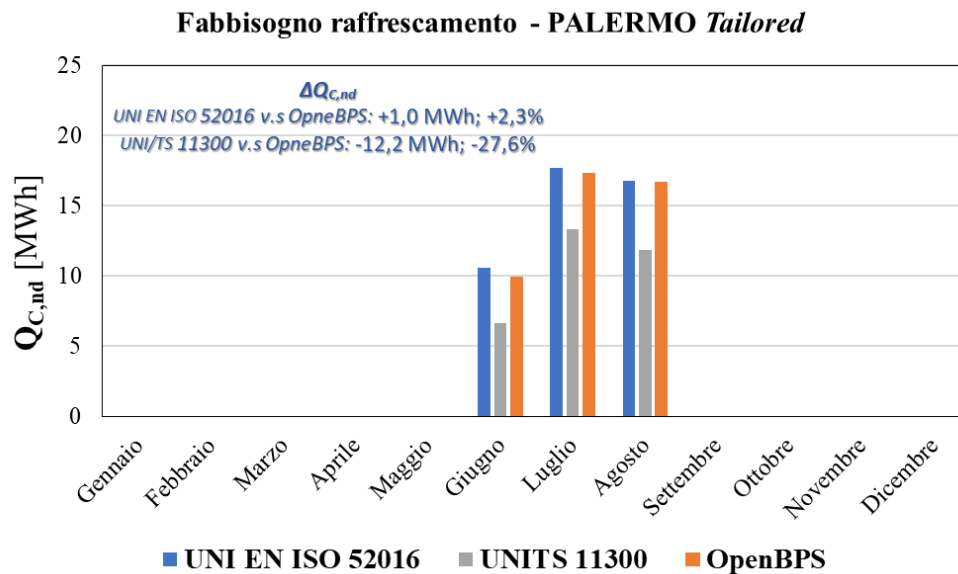


Figura 53. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Palermo.

Nelle figure successive si riportano le differenze tra i valori cumulati mensili dei suddetti contributi ottenuti tramite le norme UNI EN ISO 52016 e UNI TS 11300, ed il software OpenBPS, nel caso di:

- valutazione Standard ed opzione V1 - OpenBPS(V1) - [Figura 54](#);
- valutazione Standard ed opzione V2 - OpenBPS(V2) - [Figura 55](#);
- valutazione Tailored ed opzione V1 - OpenBPS(V1) - [Figura 56](#);
- valutazione Tailored ed opzione V2 - OpenBPS(V2) - [Figura 57](#).

Anche per Palermo, l'analisi delle aliquote mensili relative all'energia termica scambiata per trasmissione (con l'ambiente esterno - Qd, con ambienti climatizzati - Qu, con il terreno - Qg, e con zone climatizzate a temperatura diversa - Qa), per ventilazione/infiltrazione sensibile, e il contributo dovuto agli apporti solari, è effettuata per individuare le cause di discrepanza tra i valori di $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$ calcolati con i diversi metodi.

Dal confronto tra il grafico relativo a "Energia termica scambiata per trasmissione" riportato in [Figura 54](#) (V1) e [Figura 55](#) (V2) – valutazione Standard – si riscontra ancora una volta che le differenze tra l'energia scambiata per trasmissione calcolata attraverso OpenBPS rispetto alla UNI EN ISO 52016-1 si riducono sensibilmente passando dall'opzione V1 all'opzione V2.

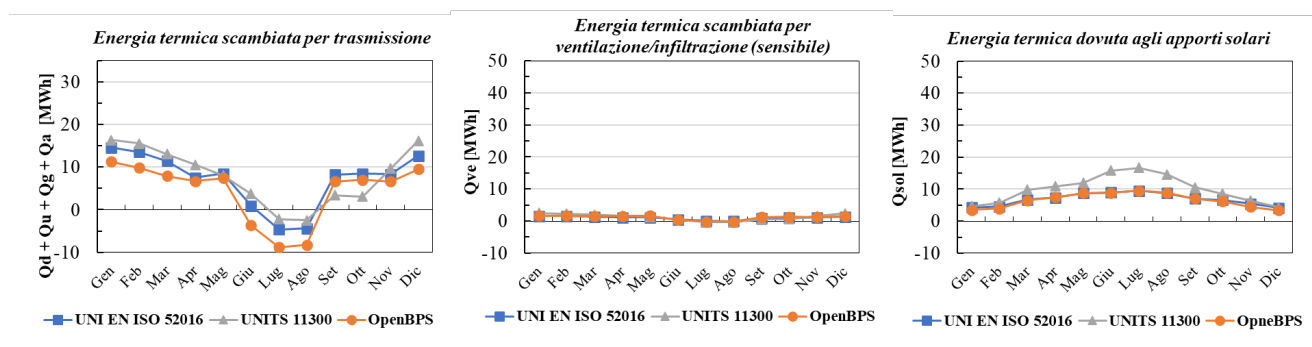


Figura 54. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Palermo.

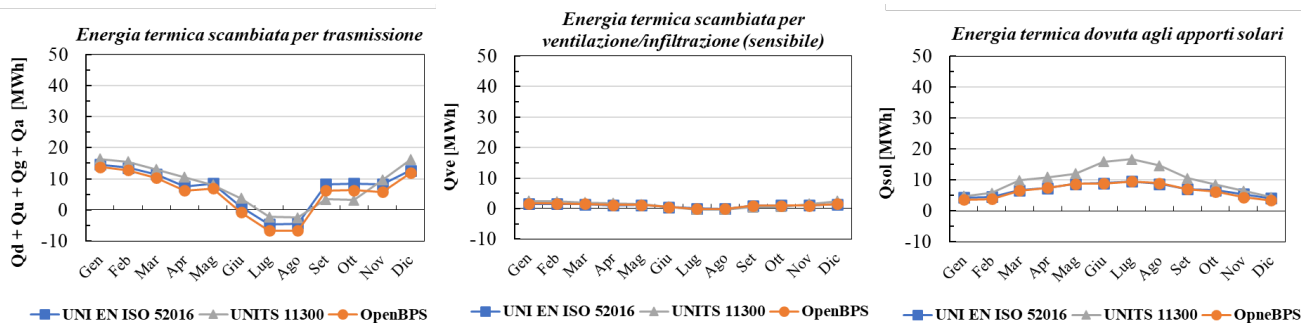


Figura 55. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Palermo.

In generale, le differenze tra gli apporti solari calcolati secondo la UNI TS 11300-1 ed i metodi dinamici, così come le inversioni di segno relative ai contributi di scambio termico per trasmissione (riscontrabili principalmente in estate) sono invece dovute: i) alle intrinseche differenze tra i valori di temperatura esterna e radiazione solare – valori medi mensili per le UNI TS 11300 ed orari nel caso dei metodi dinamici; ii) all'effetto della diversa modellazione dell'inerzia termica dell'edificio che nel caso di metodi dinamici permette, inoltre, di calcolare gli scambi termici e la temperatura della massa dell'edificio in modo più accurato. Simili considerazioni possono essere estese ai risultati riportati in [Figura 56](#) e [Figura 57](#).

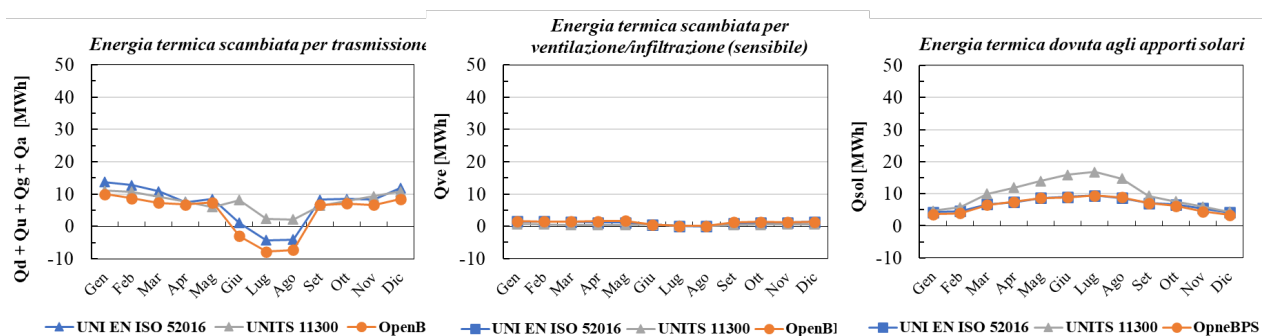


Figura 56. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Palermo.

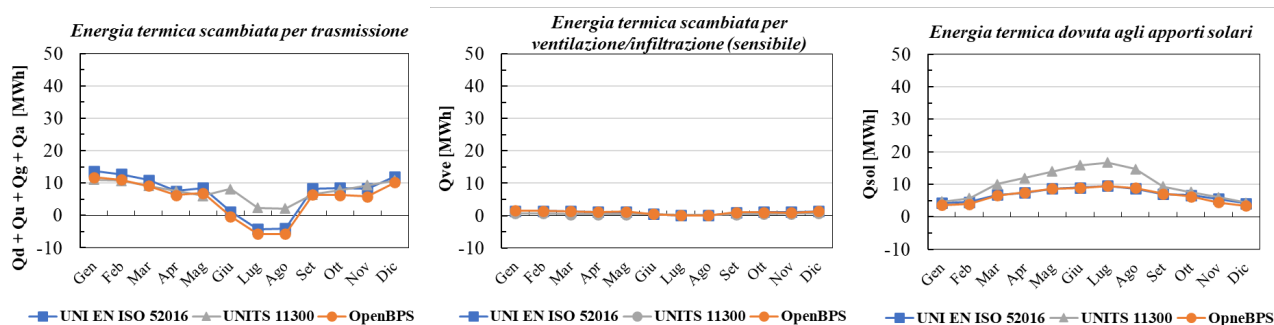


Figura 57. Confronto singole aliquote UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Palermo.

5 Analisi dei risultati aggregati – confronto delle UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS

Di seguito si riportano i confronti tra i fabbisogni annuali per riscaldamento e raffrescamento ottenuti con UNI EN ISO 52016, UNI/TS 11300 e OpenBPS, per tutte le località indagate, per zona termica ed intero edificio. Le tabelle successive riportano, inoltre, gli scarti percentuali dei fabbisogni calcolati con le UNI EN ISO 52016 e UNI/TS 11300 rispetto ai dati forniti da OpenBPS, considerati come riferimento.

5.1 Calcolo Standard

La **Tabella 45** e **Tabella 46** riportano i valori di fabbisogno annuale per riscaldamento $Q_{H,nd}$ calcolati con le norme UNI EN ISO 52016, ed UNI TS 11300, e con OpenBPS – con opzione V1 (**Tabella 45**) ed opzione V2 (**Tabella 46**), entrambe relative al caso *Standard*; ogni tabella riporta, inoltre, le differenze percentuali, $\Delta Q_{H,nd}$, ottenute confrontando i valori delle norme rispetto ai dati di riferimento (i.e. OpenBPS). Come già riscontrato dai confronti relativi alle singole località (i.e. Milano, Roma, Palermo) effettuati nel capitolo precedente, analizzando i dati in **Tabella 45** – opzione V1 – è possibile notare che:

- la UNI TS 11300-1 al diminuire del fabbisogno di riscaldamento (e quindi dei gradi giorno) restituisce risultati sempre più distanti dai dati ottenuti con il metodo dinamico dettagliato di OpenBPS. In particolare, al diminuire del grado giorno, i valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con le UNI TS 11300 diminuiscono sensibilmente, e molto più di quanto riscontrato con OpenBPS. Di conseguenza le differenze percentuali, $\Delta Q_{H,nd}$, passano dal 45% (Milano), al 71% (Roma), fino all'86% (Palermo).
- i risultati ottenuti attraverso la UNI EN ISO 52016-1, invece, presentano scostamenti percentuali rispetto a quelli ottenuti con OpenBPS che, pur aumentando al diminuire dei gradi giorno (Milano +37%, Roma +44%, Palermo +56%), sono più contenuti di quelli relativi alle UNI TS 11300, evidenziando una migliore capacità di predizione del comportamento energetico dell'edificio.

La UNI EN ISO 52016-1, grazie alla possibilità di considerare gli andamenti orari dell'irradiazione e gli affetti di attenuazione e sfasamento associati all'inerzia termica dei componenti dell'edificio permette la migliore simulazione degli effetti climatici delle località più esposte alla radiazione solare (i.e. Palermo) rispetto alla UNI TS 11300-1. Per tale motivo, mentre la differenza percentuale tra i dati delle UNI TS 11300 e quelli di OpenBPS cresce considerevolmente passando da Milano a Palermo (da +45% a +86%), l'incremento che si riscontra con le UNI EN ISO 52016 è contenuto (da +37% a +56 %). All'aumentare dei gradi giorno, le due norme tendono a comportarsi similmente, producendo scostamenti percentuali rispetto ai dati di OpenBPS confrontabili.

Tabella 45. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.

Calcolo STANDARD			MILANO			ROMA			PALERMO		
<i>Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]</i>			UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)
Zona 1	$Q_{H,nd}$	[MWh]	18.3	17.7	12.6	9.6	10.3	6.3	4.5	4.7	2.7
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	45	41	-	52	63	-	69	76	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	56.7	56.7	41.8	29.3	32.8	21.0	13.8	15.7	8.9
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	36	36	-	40	57	-	56	77	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	52.9	61.1	39.3	29.6	38.3	20.4	14.9	19.3	9.8
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	35	56	-	45	87	-	53	98	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	127.9	135.5	93.7	68.5	81.4	47.7	33.3	39.7	21.3
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	37	45	-	44	71	-	56	86	-

Nel caso in cui OpenBPS è utilizzato con l'opzione V2 (coefficienti fissi come per la UNI EN ISO 52016), **Tabella 46**, è possibile notare che il fabbisogno di riscaldamento $Q_{H,nd}$ calcolato da OpenBPS aumenta fino a ridurre al minimo le differenze tra i dati calcolati con le UNI TS 11300 e le UNI EN ISO 52016. Nello specifico:

- I risultati ottenuti attraverso la UNI TS 11300-1 presentano scostamenti percentuali inferiori al 10%, e sovrastimano i valori di OpenBPS del 9% a Milano, del 17% a Roma e del 9% a Palermo. In particolare, non si nota più un incremento monotono di $\Delta Q_{H,nd}$ al diminuire dei gradi giorno;
- I risultati ottenuti attraverso la UNI EN ISO 52016-1 presentano minimi scostamenti percentuali rispetto a quelli conseguiti attraverso OpenBPS, ed inoltre al diminuire dei gradi giorno i valori di $\Delta Q_{H,nd}$ crescono, presentando inoltre un'inversione di segno a Roma e Palermo (sottostima dei dati di OpenBPS). In particolare, le differenze percentuali riscontrate sono pari a +3% a Milano, -2% a Roma e -9% a Palermo.

Ad ogni modo, i risultati sul fabbisogno di riscaldamento ottenuti attraverso le UNI EN ISO 52016 mostrano una migliore capacità di predizione del comportamento energetico dell'edificio in riscaldamento rispetto a quelli ottenuti dalle UNI TS 11300.

Tabella 46. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.

Calcolo STANDARD			MILANO			ROMA			PALERMO		
<i>Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]</i>			UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)
Zona 1	$Q_{H,nd}$	[MWh]	18.3	17.7	18.3	9.6	10.3	10.2	4.5	4.7	5.3
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	0	-3	-	-6	1	-	-15	-12	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	56.7	56.7	58.2	29.3	32.8	32.3	13.8	15.7	16.9
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-3	-3	-	-9	2	-	-18	-7	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	52.9	61.1	48.0	29.6	38.3	27.1	14.9	19.3	14.3
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	10	27	-	9	41	-	4	35	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	127.9	135.5	124.5	68.5	81.4	69.7	33.3	39.7	36.5
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	3	9	-	-2	17	-	-9	9	-

In **Figura 58** sono plottati i valori dei fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ calcolati con le norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) in corrispondenza dei valori calcolati da OpenBPS (con opzione V1 e V2). La bisettrice rappresenta il luogo dei punti in cui i valori calcolati dalle norme (asse delle ordinate) coincidono con quelli di OpenBPS (asse delle ascisse). La figura, relativa al calcolo *Standard*, mostra chiaramente che le due norme sovrastimano i risultati prodotti con il metodo dinamico dettagliato di OpenBPS nel caso V1 (**Figura 58**, top); infatti, i risultati relativi a tutte le zone termiche e tutte le località sono sempre al di fuori e al di sopra della bisettrice e della linea che rappresenta un incremento del +20%. Utilizzando l'opzione V2, invece, i risultati di OpenBPS tendono a quelli calcolati dalle norme, ed infatti i valori plottati ricadono quasi tutti nell'intorno della bisettrice (**Figura 58**, bottom), e quasi sempre entro la banda di differenza percentuale di $\pm 20\%$.

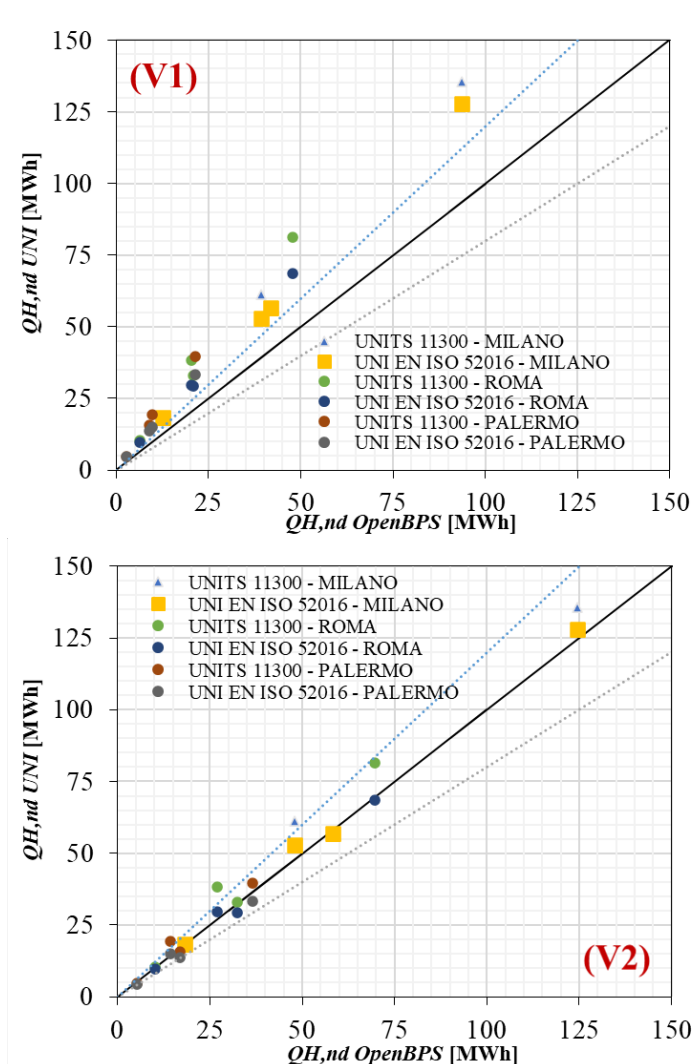


Figura 58. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard.

La **Tabella 46** e la **Tabella 47** riportano i valori di fabbisogno annuale per raffreddamento $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme UNI EN ISO 52016, ed UNI TS 11300, e con OpenBPS – con opzione V1 (**Tabella 46**) ed opzione V2 (**Tabella 47**), entrambe relative al caso Standard. Come nel caso precedente relativo al riscaldamento, la tabella riporta anche le differenze percentuali, $\Delta Q_{C,nd}$, ottenute confrontando i valori delle norme rispetto ai dati di riferimento (i.e. OpenBPS). Similmente a quanto riscontrato nel capitolo precedente, dall'analisi delle due tabelle, è possibile evincere che:

- non vi è sostanziale differenza nel calcolo del fabbisogno di raffreddamento per l'intero edificio tra i valori forniti dalle norme e quelli forniti dal codice dinamico dettagliato OpenBPS;
- considerando l'opzione V1, le due norme (UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016) mostrano una simile prestazione, infatti, i valori di $\Delta Q_{C,nd}$ sono confrontabili sia in termini assoluti che di segno (i.e. le norme sottostimano sempre il dato di OpenBPS). I valori di $\Delta Q_{C,nd}$ relativi al confronto tra la UNI TS 11300 e OpenBPS sono pari a: -20% a Milano, -17% a Roma, -15% a Palermo; i valori di $\Delta Q_{C,nd}$ relativi al confronto tra la UNI EN ISO 52016 e OpenBPS sono pari a: -21% a Milano, -19% a Roma, -13% a Palermo. Le differenze percentuali mostrano, comunque, una leggera tendenza in discesa al diminuire dei gradi giorno;
- considerando l'opzione V2, le differenze percentuali tra i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme (UNI TS 11300-1 ed EN ISO 52016-1) e quelli calcolati con il metodo dinamico dettagliato di OpenBPS

risultano essere quasi trascurabili (considerando l'accuratezza della modellazione). Infatti, i valori di $\Delta Q_{C,nd}$ relativi al confronto tra le UNI TS 11300 e OpenBPS sono pari a: -1% a Milano, -3% a Roma, -1% a Palermo; i valori di $\Delta Q_{C,nd}$ relativi al confronto tra le UNI EN ISO 52016 e OpenBPS sono pari a: -2% a Milano, -2% a Roma, +2% a Palermo.

Tabella 47. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.

Calcolo STANDARD			MILANO			ROMA			PALERMO		
<i>Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]</i>			UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)
Zona 1	$Q_{H,nd}$	[MWh]	4.3	5.5	5.2	6.6	7.6	7.7	6.4	7.8	7.3
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-18	4	-	-15	-2	-	-12	7	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	14.3	16.2	18.5	21.6	22.8	26.8	21.2	23.5	25.5
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-23	-12	-	-19	-15	-	-17	-8	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	13.0	9.6	15.7	19.0	15.5	22.5	18.5	16.3	21.7
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-17	-39	-	-15	-31	-	-14	-25	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	31.5	31.2	39.5	47.1	45.9	57.0	46.1	47.7	54.5
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-20	-21	-	-17	-19	-	-15	-13	-

Tabella 48. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.

Calcolo STANDARD			MILANO			ROMA			PALERMO		
<i>Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]</i>			UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)
Zona 1	$Q_{H,nd}$	[MWh]	4.3	5.5	4.3	6.6	7.6	6.7	6.4	7.8	6.5
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-1	26	-	-3	12	-	-2	20	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	14.3	16.2	14.9	21.6	22.8	23.0	21.2	23.5	22.2
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-4	9	-	-6	-1	-	-4	6	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	13.0	9.6	12.5	19.0	15.5	18.7	18.5	16.3	18.1
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	4	-24	-	2	-17	-	3	-9	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	31.5	31.2	31.8	47.1	45.9	48.4	46.1	47.7	46.8
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-1	-2	-	-3	-5	-	-1	2	-

La notevole similitudine tra i risultati di $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme e con il modello dettagliato è evidenziata in [Figura 59](#). Questa riporta i valori dei fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) in corrispondenza dei valori calcolati da OpenBPS (con opzione V1 e V2). La figura, relativa al calcolo Standard, mostra chiaramente che le due norme sottostimano i risultati prodotti con il metodo dinamico dettagliato di OpenBPS nel caso V1 ([Figura 59](#), top), e che le differenze sono sempre inferiori al -20%. Con l'opzione V2, invece, i risultati delle due norme ricadono quasi sempre sulla bisettrice, e quindi sono coerenti con quelli calcolati da OpenBPS ([Figura 58](#), bottom).

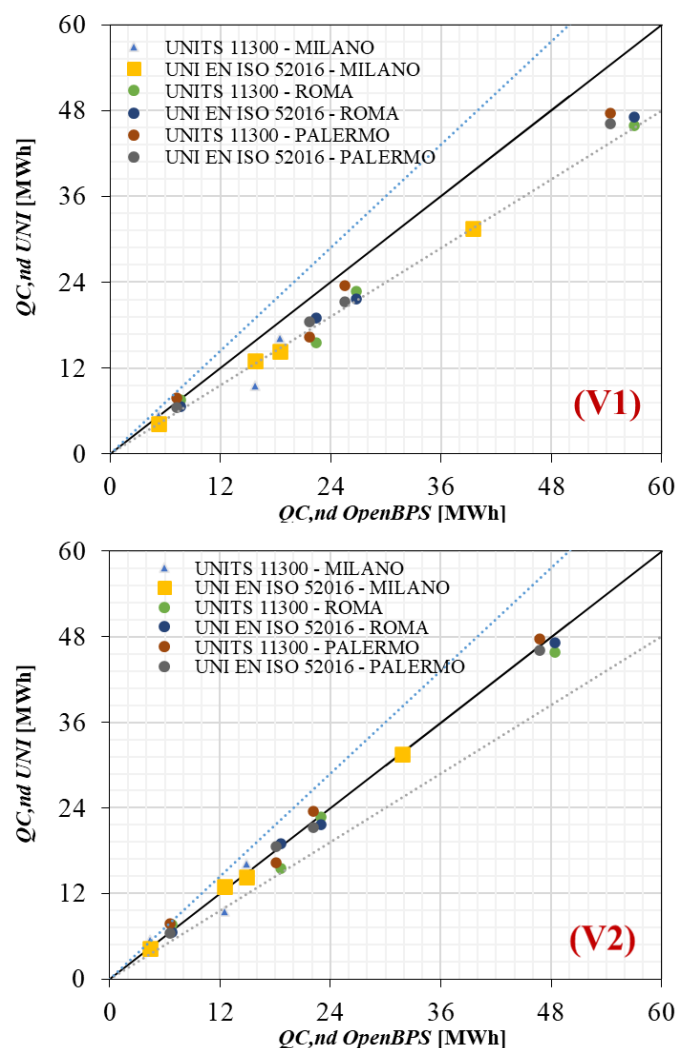


Figura 59. Fabbisogni di energia termica utile per il raffreddamento $Q_{c,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard.

5.2 Calcolo Tailored

Analoghe considerazioni possono essere fornite per i risultati ottenuti con la valutazione *Tailored*. In particolare, [Tabella 49](#) e la [Tabella 50](#) riportano i valori del fabbisogno annuale per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e le differenze percentuali, $\Delta Q_{H,nd}$, tra i dati ottenuti con le norme UNI EN ISO 52016, ed UNI TS 11300, e con OpenBPS – in modalità V1 ([Tabella 49](#)) e V2 ([Tabella 50](#)). Entrambe le tabelle sono relative al caso *Standard* e riportano i dati aggregati per tutte le località indagate. Come per il caso *Standard*, in [Figura 60](#) sono plottati i valori di $Q_{H,nd}$ riportati in [Tabella 49](#) (caso V1 - [Figura 60](#), top) e in [Tabella 50](#) (caso V2 - [Figura 60](#), bottom). Nelle suddette figure sono plottati i valori ottenuti con le norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) in corrispondenza dei valori calcolati da OpenBPS. L'analisi combinata delle tabelle e della figura evidenzia un'analogia con la valutazione *Standard*, e nello specifico si può riassumere che nel caso V1:

- la UNI TS 11300-1, al diminuire del fabbisogno di riscaldamento (e quindi dei gradi giorno), produce risultati sempre più differenti da quelli prodotti con OpenBPS. Al diminuire del grado giorno, i valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con le UNI TS 11300 diminuiscono sensibilmente; le differenze percentuali, $\Delta Q_{H,nd}$ -

minori di quelle riscontrate nel caso *Standard* - sono: +20% a Milano, +34% a Roma, e +25% a Palermo.

- la UNI EN ISO 52016-1, invece, presenta significativi scostamenti percentuali rispetto ai dati di OpenBPS, pari a: Milano +45%, Roma +56%, Palermo +81%; tali differenze percentuali sono meno contenute di quelle relative alla UNI TS 11300-1, evidenziando una peggiore capacità di predizione del comportamento energetico dell'edificio;
- le due norme sovrastimano i risultati prodotti con il metodo dinamico dettagliato di OpenBPS nel caso V1 (Figura 60, top), e le differenze percentuali riscontrate sono spesso superiori al +20%.

Tabella 49. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.

Calcolo TAILORED			MILANO			ROMA			PALERMO		
<i>Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]</i>			UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)
Zona 1	$Q_{H,nd}$	[MWh]	16.7	12.8	10.7	8.5	6.6	5.1	3.7	2.2	1.9
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	56	19	-	67	30	-	97	14	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	54.4	41.4	37.7	27.7	21.7	18.2	12.6	7.7	7.0
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	44	10	-	52	20	-	79	10	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	50.4	46.7	35.3	27.6	26.5	17.5	13.4	10.7	7.5
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	43	32	-	57	51	-	78	43	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	121.5	100.9	83.8	63.8	54.8	40.8	29.6	20.6	16.4
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	45	20	-	56	34	-	81	25	-

Nel caso V2 (coefficienti costanti come per la UNI EN ISO 52016), si nota che:

- la UNI TS 11300-1 presenta scostamenti percentuali, $\Delta Q_{H,nd}$, inferiori al +10%, tranne che per Palermo (discrepanze maggiori sono facilmente riscontrabili per valori ridotti dei fabbisogni), e sottostima i valori di OpenBPS. In particolare, si ha: -9% a Milano, -8% a Roma e -27% a Palermo.
- I risultati ottenuti attraverso la UNI EN ISO 52016-1 presentano minimi scostamenti percentuali $\Delta Q_{H,nd}$ rispetto ai dati conseguiti attraverso OpenBPS, sovrastimandone sempre i valori. Le differenze percentuali riscontrate sono pari a +9% a Milano, +7% a Roma e +5% a Palermo;
- le due norme mostrano una buona capacità di predizione del comportamento energetico dell'edificio in riscaldamento; infatti, è possibile notare una buona sovrapposizione dei dati prodotti con OpenBPS e quelli calcolati con le norme UNI TS 11300 ed UNI EN ISO 52016, come da Figura 60 (bottom) che evidenzia come le differenze percentuali sono quasi sempre al di sotto del +20%.

Tabella 50. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.

Calcolo TAILORED			MILANO			ROMA			PALERMO		
<i>Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]</i>			UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)
Zona 1	$Q_{H,nd}$	[MWh]	16.7	12.8	15.7	8.5	6.6	8.3	3.7	2.2	3.8
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	7	-18	-	2	-21	-	-3	-44	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	54.4	41.4	52.6	27.7	21.7	28.1	12.6	7.7	13.5
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	4	-21	-	-2	-23	-	-7	-43	-

Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	50.4	46.7	42.9	27.6	26.5	23.1	13.4	10.7	10.9
	$\Delta Q_{H,nd}$	$\Delta[\%]$	17	9	-	19	14	-	22	-2	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	121.5	100.9	111.2	63.8	54.8	59.5	29.6	20.6	28.3
	$\Delta Q_{H,nd}$	$\Delta[\%]$	9	-9	-	7	-8	-	5	-27	-

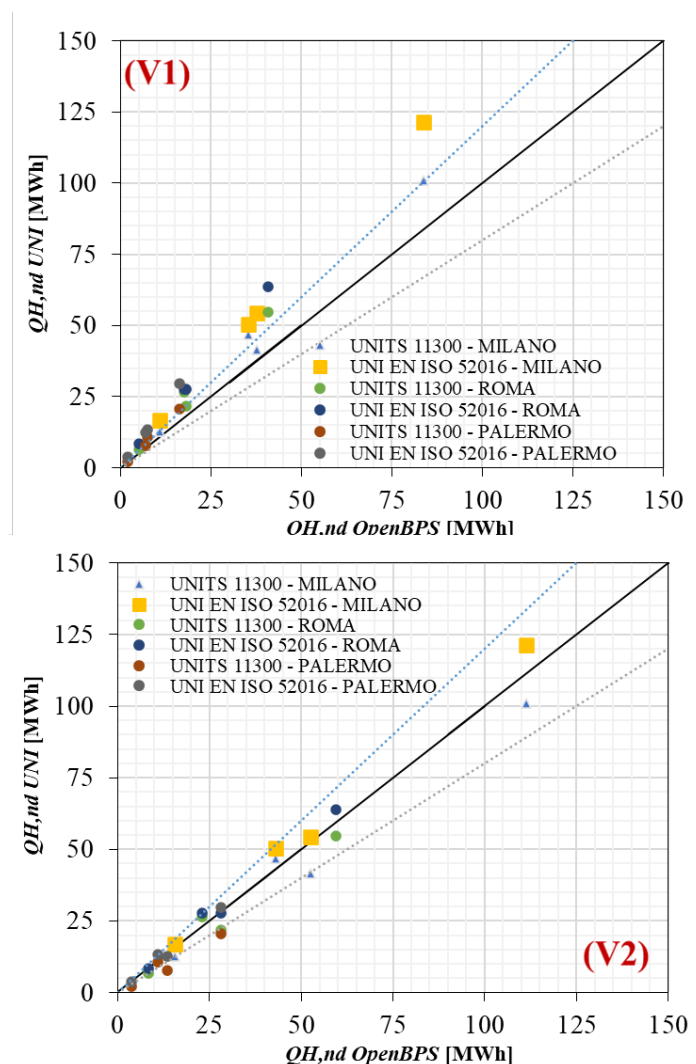


Figura 60. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored.

Infine, **Tabella 51** e la **Tabella 52** mostrano i valori di fabbisogno annuale per raffrescamento $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme (UNI EN ISO 52016 e UNI TS 11300) e con OpenBPS – con opzione V1 (**Tabella 46**) ed opzione V2 (**Tabella 47**), entrambe relative al caso *Tailored*. I risultati riportati in tali tabelle sono anche rappresentati in **Figura 61** in cui i fabbisogni di energia per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) sono plottati in corrispondenza dei valori calcolati da OpenBPS (con opzione V1 e V2).

Dall'analisi dei risultati, relativamente all'intero edificio, è possibile evincere che:

- la UNI TS 11300-1 sottostima sempre il calcolo di $Q_{C,nd}$, sia quando OpenBPS è utilizzato con opzione V1 che V2. I valori di $\Delta Q_{C,nd}$ sono confrontabili nei casi V1 e V2 e sono superiori al -30%, aumentando al diminuire del fabbisogno di raffrescamento.
- la UNI EN ISO 52016 sottostima il calcolo di $Q_{C,nd}$ rispetto ad OpenBPS con opzione V1, riportando differenze percentuali pari a -17% a Milano, -14% a Roma e -12% a Palermo. Confrontando i risultati ottenuti tramite la norma con quelli prodotti da OpenBPS con opzione V2 si nota invece una riduzione netta delle differenze tra i risultati ottenuti attraverso i due metodi, con differenze percentuali al di sotto del 2%;
- la notevole differenza dei risultati (inclusi quelli relativi alle singole zone termiche) nel caso Tailored, sottolineato nei punti precedenti, è evidente in [Figura 61](#). Quest'ultima, tuttavia, mostra come la differenza dei risultati delle norme rispetto al metodo dinamico dettagliato si riduce notevolmente considerando i dati di OpenBPS con opzione V2.

Tabella 51. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.

Calcolo TAILORED			MILANO			ROMA			PALERMO		
<i>Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]</i>			UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V1)
Zona 1	$Q_{H,nd}$	[MWh]	4.1	3.4	4.8	6.3	5.4	7.1	6.2	5.6	6.7
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-16	-29	-	-12	-24	-	-9	-17	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	14.0	9.9	17.5	21.2	16.2	25.5	20.7	16.6	24.2
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-20	-43	-	-17	-36	-	-14	-31	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	12.5	3.6	14.4	18.5	9.4	20.8	18.1	9.7	20.0
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-14	-75	-	-11	-55	-	-10	-51	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	30.5	16.9	36.8	45.9	31.0	53.4	44.9	31.9	50.9
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-17	-54	-	-14	-42	-	-12	-37	-

Tabella 52. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.

Calcolo TAILORED			MILANO			ROMA			PALERMO		
<i>Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]</i>			UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)	UNI EN ISO 52016	UNI TS 11300	OpenBPS (V2)
Zona 1	$Q_{H,nd}$	[MWh]	4.1	3.4	4.0	6.3	5.4	6.3	6.2	5.6	6.1
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	1	-15	-	0	-14	-	2	-8	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	14.0	9.9	14.2	21.2	16.2	22.0	20.7	16.6	21.2
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-2	-30	-	-4	-26	-	-2	-22	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	12.5	3.6	11.6	18.5	9.4	17.4	18.1	9.7	16.8
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	8	-69	-	6	-46	-	7	-42	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	30.5	16.9	29.8	45.9	31.0	45.6	44.9	31.9	44.0
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	2	-43	-	1	-32	-	2	-28	-

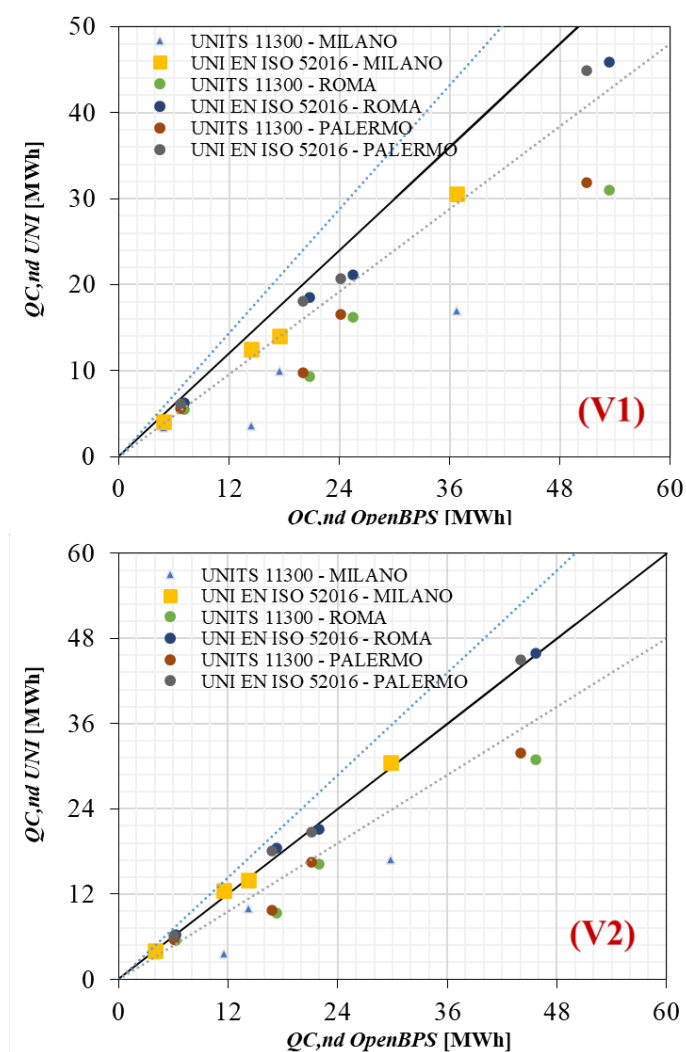


Figura 61. Fabbisogni di energia termica utile per il raffreddamento $Q_{C,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52015) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored.

6 Conclusioni

Il calcolo della prestazione energetica degli edifici è una procedura indispensabile per promuovere l'efficienza energetica degli edifici, nonché per la progettazione di nuovi edifici e/o la riqualificazione di quelli esistenti. Per il calcolo della prestazione energetica di un edificio è oggi possibile utilizzare diverse metodologie, basate sul calcolo stazionario mensile (metodo mensile - UNI/TS 11300-1), sulla simulazione dinamica oraria semplificata (metodo orario - UNI EN ISO 52016-1), e su dettagliati modelli di calcolo per la simulazione dinamica del sistema (metodo dinamico). Il confronto tra risultati forniti con le diverse metodologie, ottenuti da opportuni casi studio, è un'attività di ricerca necessaria ad individuare le condizioni di funzionamento dell'impianto (e/o di utilizzo degli edifici) per cui una specifica metodologia di calcolo risulta più o meno idonea rispetto alle altre ai fini del calcolo dei fabbisogni energetici degli edifici, e quindi per la redazione dell'attestato di prestazione energetica.

A tal fine, in questo studio sono riportati i risultati del confronto tra le prestazioni di metodi stazionari e dinamici per il fabbisogno energetico degli edifici. Nello specifico, i risultati di calcolo ottenuti con le procedure di calcolo implementate nella norma UNI TS 11300-1 (metodo stazionario mensile), nella norma UNI EN ISO 52016-1 (metodo dinamico orario) e nel software OpenBPS (metodo dinamico dettagliato) sono stati opportunamente confrontati tra di loro. Per tale obiettivo di ricerca, è stato sviluppato un caso studio relativo ad un edificio residenziale, simulato attraverso le suddette metodologie di calcolo in tre diverse condizioni climatiche italiane. L'edificio, opportunamente individuato da ENEA e sito a Roma, è stato modellato in ambiente di calcolo al fine di stimarne i fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento, considerando le condizioni climatiche relative a Milano, Roma e Palermo, nonché il funzionamento dell'impianto sia con profilo di utilizzo standard (Asset rating) che adattato all'utenza (Tailored rating).

Il caso studio è stato sviluppato utilizzando il metodo stazionario mensile (UNI TS 11300-1) dall'unità di ricerca dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, ed i metodi dinamici, orario (UNI EN ISO 52016-1) e dettagliato (codice OpenBPS), dalle unità di ricerca del Politecnico di Torino e del Politecnico di Milano. L'indagine è stata effettuata confrontando dettagliatamente i risultati dei fabbisogni di energia utile per il riscaldamento ed il raffrescamento calcolati attraverso le norme UNI TS 11300-1 ed UNI EN ISO 52016-1 con quelli prodotti da OpenBPS. I risultati di OpenBPS sono stati calcolati con due differenti opzioni di calcolo, ossia considerando i coefficienti di scambio termico convettivo-radiativo superficiali variabili nell'opzione V1 e costanti (come da norma UNI EN ISO 52016), nell'opzione V2. Il confronto tra i risultati ha evidenziato che rispetto al metodo stazionario (UNI TS 11300), il metodo dinamico orario (UNI EN ISO 52016) - riuscendo a riprodurre meglio la dinamica termica dell'edificio - fornisce risultati mediamente più prossimi a quelli ottenuti col modello dinamico dettagliato (OpenBPS).

Dall'analisi dei risultati si evince che per il calcolo del fabbisogno di riscaldamento effettuato nelle condizioni Standard (asset rating), entrambe le norme sovrastimano significativamente i valori di calcolo ottenuti con Open BPS; gli scostamenti percentuali valutati tra i risultati di calcoli della norma UNI EN ISO 52016-1 ed il codice OpenBPS risultano comunque più contenuti rispetto a quelli riscontrati nel caso della UNI TS 11300-1. Tali scostamenti si riducono notevolmente quando il codice OpenBPS utilizza l'opzione V2 (coefficienti di scambio termico convettivo-radiativo superficiali costanti come da norma UNI EN ISO 52016-1): il metodo dinamico orario e quello dettagliato generano risultati dei fabbisogni molto simili. Considerando, inoltre, sia le singole zone termiche che l'intero edificio, si riscontrano differenze percentuali tra i dati calcolati con le norme e quelli di Open BPS sempre oltre il +20% con opzione V1, e sempre contenute tra $\pm 20\%$ con opzione V2. Simili considerazioni possono essere estese al caso di valutazione Tailored, per cui sono evidenti una migliore prestazione della UNI TS 11300-1 rispetto alla UNI EN ISO 52016-1 nel calcolo del fabbisogno di riscaldamento e, in generale, minori discrepanze tra i metodi basati sulle norme ed il metodo dinamico dettagliato, soprattutto con opzione V2.

Per quanto concerne il calcolo del fabbisogno di raffrescamento non vi sono sostanziali differenze, sempre in valutazione Standard, tra il calcolo effettuato con le due norme e quello con OpenBPS: le due norme

sottostimano i risultati del fabbisogno, presentando differenze percentuali simili su base annua ed intorno al -20%; tali differenze tendono ad annullarsi quando il confronto è effettuato utilizzando i risultati dell'opzione V2 di OpenBPS, per cui sia per l'intero edificio che per le singole zone termiche entrambe le norme producono risultati sovrapponibili a quelli ottenuti attraverso il metodo dinamico dettagliato. Differenze percentuali maggiori si ottengono con la valutazione Tailored: le differenze percentuali tra la UNI TS 11300-1 ed il metodo dinamico dettagliato OpenBPS si accentuano significativamente (oltre -20%).

In ogni caso, quando il software OpenBPS è utilizzato con opzione V2, i risultati riguardanti i fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento calcolati con i metodi dinamici si avvicinano significativamente.

In linea generale, la UNI EN ISO 52016-1 assicura un calcolo più accurato dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento degli edifici rispetto alla UNI TS 11300-1 – valutati rispetto al calcolo dinamico dettagliato di OpenBPS – grazie alla capacità di valutare opportunamente gli effetti delle condizioni climatiche sulla dinamica termica dell'involucro edilizio.

Riferimenti bibliografici

1. Decreto 26 giugno 2015, Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici
2. Decreto del Presidente della Repubblica 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
3. Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59, Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia
4. Decreto-Legge 4 giugno 2013, n. 63, Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale
5. Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia
6. Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311, Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia
7. Decreto Legislativo 10 giugno 2020, n. 48, Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica
8. Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia
9. Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia
10. Legge 30 marzo 1976, n. 373, Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici
11. Legge 9 gennaio 1991, n. 10, 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
12. Legge 3 agosto 2013, n. 90, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, recante disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale
13. UNI 10349-1, Ente Italiano di Normazione. 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, marzo 2016.
14. European Commission (2018) A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy
15. UNI/TS 11300-1:2014, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
16. UNI/TS 11300-2:2019, 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.
17. UNI/TS 11300-3:2010, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
18. UNI/TS 11300-4:2012, 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.
19. UNI EN ISO 13789:2018, Prestazione termica degli edifici - Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione - Metodo di calcolo.
20. UNI EN 16798-1:2019, Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.
21. UNI EN ISO 13790:2008, Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.
22. UNI EN ISO 52016-1:2018, Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo.

23. UNI EN ISO 52017-1:2018, Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 1: Generic calculation procedures.
24. UNI EN ISO 6946; Ente Italiano di Normazione. Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo, marzo 2018.
25. UNI EN 16798-1, Ente Italiano di Normazione. Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica - Modulo M1-6, giugno 2019.
26. UNI EN ISO 13790, Ente Italiano di Normazione. Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento, giugno 2008.
27. G. Barone, A. Buonomano, C. Forzano, G.F. Giuzio, A. Palombo. Indagine bibliografica riguardante le diverse metodologie per la valutazione del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Report Ricerca di Sistema Elettrico / PTR2019.
28. V. Corrado, I. Ballarini, G. De Luca, M. P. Tootkaboni. Approfondimento teorico del modello di calcolo orario semplificato (UNI EN ISO 52016-1:2018) e applicazione al settore residenziale. Report Ricerca di Sistema Elettrico / PTR2019.
29. Mazzearella L., Alongi A., Angelotti A., Filippini G., Gandelli A., Pasini M.. Metodologie di calcolo del Fabbisogno energetico degli edifici: metodi dinamici. Sviluppo e applicazione di un codice di calcolo I. Report Ricerca di Sistema Elettrico / PTR2019.
30. Ballarini, A. Costantino, E. Fabrizio, V. Corrado, "The Dynamic Model of EN ISO 52016-1 for the Energy Assessment of Buildings Compared to Simplified and Detailed Simulation Methods", Proceedings of 16th IBPSA Building Simulation Conference BS2019, 2-4 settembre 2019, Roma (Italia),
31. Angelotti, M. Ballabio, L. Mazzearella, C. Cornaro, G. Parente, F. Frasca, A. Prada, P. Baggio, I. Ballarini, G. De Luca, V. Corrado, "Dynamic Simulation of existing buildings: considerations on the Model Calibration", Proceedings of 16th IBPSA Building Simulation Conference BS2019, 2-4 settembre 2019, Roma (Italia).