



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



Ministero della Transizione Ecologica



Ricerca di Sistema elettrico

Confronto tra le UNI TS 11300 e altre metodologie di calcolo per il fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Simulazione di un caso studio relativo ad un edificio non-residenziale

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



Report RdS/PTR2021/109

CONFRONTO TRA LE UNI TS 11300 E ALTRE METODOLOGIE DI CALCOLO PER IL FABBISOGNO DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO DEGLI EDIFICI. SIMULAZIONE DI UN CASO STUDIO RELATIVO AD UN EDIFICIO NON-RESIDENZIALE

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

Con il contributo di: C. Maselli (Università degli Studi di Napoli Federico II)

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*

Linea di attività: *LA1.14 - Simulazione di un caso studio per un edificio commerciale 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.....	9
1 IL CASO STUDIO – EDIFICIO NON-RESIDENZIALE.....	10
1.1 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO UFFICI.....	10
1.2 CARATTERISTICHE DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.....	12
2 MODELLAZIONE DELL'EDIFICIO PER IL CALCOLO DEI FABBISOGNI DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO.....	15
2.1 ZONIZZAZIONE.....	15
2.2 CONDIZIONI AL CONTORNO.....	16
2.3 DATI DI INPUT PER LA MODELLAZIONE E CONDIZIONI AL CONTORNO.....	17
2.3.1 <i>Profilo di occupazione</i>	18
2.3.2 <i>Apporti termici interni</i>	18
2.3.3 <i>Ventilazione</i>	19
2.3.4 <i>Condizioni termo-igrometriche di set-point</i>	20
2.3.5 <i>Durata giornaliera di accensione dell'impianto</i>	20
2.4 SISTEMI IMPIANTISTICI.....	21
3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DELL'EDIFICIO UFFICI IN AMBIENTE DI CALCOLO TERMOLOG.....	23
3.1 IMPLEMENTAZIONE DELL'EDIFICIO IN TERMOLOG.....	24
3.1.1 <i>Verifica del modello dell'edificio</i>	24
3.2 RISULTATI DELLA SIMULAZIONE.....	25
4 METODI DI CALCOLO A CONFRONTO: RISULTATI DELLE SIMULAZIONI EFFETTUATI SECONDO I METODI ALLA BASE DELLE NORME UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 E DEL SOFTWARE OPENBPS.....	32
4.1 RISULTATI DEL CONFRONTO - MILANO.....	33
4.1.1 <i>Riferimento: OpenBPS (V1)</i>	33
4.1.2 <i>Riferimento: OpenBPS (V2)</i>	38
4.2 RISULTATI DEL CONFRONTO - ROMA.....	47
4.2.1 <i>Riferimento: OpenBPS (V1)</i>	47
4.2.2 <i>Riferimento: OpenBPS (V2)</i>	52
4.3 RISULTATI DEL CONFRONTO - PALERMO.....	60
4.3.1 <i>Riferimento: OpenBPS (V1)</i>	60
4.3.2 <i>Riferimento: OpenBPS (V2)</i>	65
4.4 ENERGIA PRIMARIA.....	72
5 ANALISI DEI RISULTATI AGGREGATI – CONFRONTO DELLE UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ED OPENBPS.....	77
5.1 CALCOLO STANDARD.....	77
5.2 CALCOLO TAILORED.....	82
6 CONCLUSIONI.....	87
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	89

Elenco Figure

- Figura 1. Vista aerea dell'edificio oggetto dello studio e della zona in cui è situato.
- Figura 2. Prospetti sud (A – via Carlo Spegazzini) e sud-ovest (B - via Gaetano Licopoli).
- Figura 3. Piante dei piani terra e rendering dell'edificio e dei piani fuori terra.
- Figura 4. Schema dell'edificio e zonizzazione.
- Figura 5. Valori orari della temperatura dell'aria esterna delle località indagate- dati CTI.
- Figura 6. Valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna - UNI 10349-1.
- Figura 7. Valori medi mensili dell'irradiazione solare globale sul piano orizzontale - UNI 10349-1.
- Figura 8. Profili di occupazione.
- Figura 9. Profili orari del tasso di ventilazione – Zona 1.
- Figura 10. Profilo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento.
- Figura 11. Profilo di funzionamento dell'impianto di raffrescamento.
- Figura 12. Dati della pompa di calore/gruppo frigorifero
- Figura 13. Dati della caldaia
- Figura 14. 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 15. Modello 3D dell'edificio – modello Revit (A) e Termolog (B).
- Figura 16. Trend dei fabbisogni di energia termica e frigorifera in funzione del grado giorno (HDD) – calcolo Standard e Tailored.
- Figura 17. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Milano, UNI TS 11300.
- Figura 18. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Roma, UNI TS 11300.
- Figura 19. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Palermo, UNI TS 11300.
- Figura 20. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Milano
- Figura 21. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 22. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Milano
- Figura 23. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 24. Fabbisogno di riscaldamento, confronto UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Milano
- Figura 25. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 26. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Milano
- Figura 27. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 28. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Standard, Milano
- Figura 29. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard, Milano
- Figura 30. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Tailored, Milano
- Figura 31. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored, Milano

- Figura 32. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Roma
- Figura 33. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 34. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Roma
- Figura 35. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 36. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Roma
- Figura 37. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 38. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Roma
- Figura 39. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 40. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Standard, Roma
- Figura 41. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard, Roma
- Figura 42. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 43. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored, Roma
- Figura 44. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Palermo.
- Figura 45. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 46. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Standard, Palermo.
- Figura 47. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 48. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Palermo.
- Figura 49. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 50. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Palermo.
- Figura 51. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Tailored, Palermo.
- Figura 52. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Standard, Palermo
- Figura 53. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard, Palermo
- Figura 54. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Tailored, Palermo
- Figura 55. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored, Palermo
- Figura 56. Energia primaria non rinnovabile per riscaldamento - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS (V2) – valutazione Standard e Tailored. Scenario 1: Caldaia.

Figura57. Energia primaria non rinnovabile per riscaldamento - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS (V2) – valutazione Standard e Tailored. Scenario 2: Chiller.

Figura58. Energia primaria non rinnovabile per raffrescamento - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS (V2) – valutazione Standard e Tailored. Scenario 1/2: PdC reversibile.

Figura 59. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard.

Figura 60. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard.

Figura 61. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored.

Figura 62. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) 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 specifici per zona – valori medi
- Tabella 7. Tasso di ricambio orario per zona – valori medi
- Tabella 8. Condizioni termo-igrometriche di set-point
- Tabella 9. Caratteristiche dei sottosistemi di generazione
- Tabella 10. Sottosistemi di emissione, regolazione e distribuzione dell'impianto di climatizzazione
- Tabella 11. Definizione delle macchine impiegate e delle potenze nominali corrispondenti
- Tabella 12. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento QH,nd e raffrescamento QC,nd [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Standard, Milano.
- Tabella 13. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento QH,nd e raffrescamento QC,nd [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Tailored, Milano.
- Tabella 14. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento QH,nd e raffrescamento QC,nd [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Standard, Roma.
- Tabella 15. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento QH,nd e raffrescamento QC,nd [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Tailored, Roma.
- Tabella 16. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento QH,nd e raffrescamento QC,nd [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Standard, Palermo.
- Tabella 17. Fabbisogno mensili di energia termica utile per riscaldamento QH,nd e raffrescamento QC,nd [MWh] relativo all'intero edificio e alla singole zone termiche. UNI TS 11300 - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 18. Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh].
- Tabella 19. Fabbisogno annuo di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh].
- Tabella 20. Fabbisogno specifico annuo di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [kWh/m²].
- Tabella 21. Fabbisogno specifico annuo di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [kWh].
- Tabella 22. QH,nd, QC,nd, e fabbisogni di energia primaria non rinnovabile, EP,nren, per l'intero edificio [kWh/m²].
- Tabella 23. Caratteristiche climatiche del sito - Milano
- Tabella 24. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Milano.
- Tabella 25. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Milano.
- Tabella 26. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Milano.
- Tabella 27. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Milano.
- Tabella 28. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Milano.

- Tabella 29. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Milano.
- Tabella 30. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Milano.
- Tabella 31. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Milano.
- Tabella 32. Caratteristiche climatiche del sito - Roma
- Tabella 33. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Roma.
- Tabella 34. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Roma.
- Tabella 35. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Roma.
- Tabella 36. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Roma.
- Tabella 37. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Roma.
- Tabella 38. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Roma.
- Tabella 39. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Roma.
- Tabella 40. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Roma.
- Tabella 41. Caratteristiche climatiche del sito - Palermo
- Tabella 42. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Palermo.
- Tabella 43. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 44. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Standard, Palermo.
- Tabella 45. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V1) - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 46. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Palermo.
- Tabella 47. Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 48. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Standard, Palermo.
- Tabella 49. Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh]. UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 50. Differenza percentuale tra i fabbisogni di energia primaria non rinnovabile – confronto tra le norme ed il metodo OpenBPS, EPH,nren e EPC,nren [kWh/m2], UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Palermo.
- Tabella 51. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.
- Tabella 52. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.

Tabella 53. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.

Tabella 54. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Standard.

Tabella 55. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.

Tabella 56. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento QH,nd [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.

Tabella 57. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V1), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.

Tabella 58. Fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento QC,nd [MWh] – confronto dati UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, ed OpenBPS (V2), e differenze percentuali (riferimento OpenBPS) - calcolo Tailored.

Sommario

L'attività di ricerca presentata in questo report rientra nell'ambito della ricerca di sistema triennale finalizzata 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). L'attività di ricerca, relativa ai tre anni di attività, 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. 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 della terza annualità – descritta in questo documento – è finalizzata all'applicazione del metodo stazionario basato sulla UNI TS 11300-1 (*Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*) ad un caso studio non-residenziale. Attraverso la norma è possibile valutare il fabbisogno mensile di energia termica per riscaldamento e raffrescamento degli edifici, relativamente alle applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008 per il calcolo di progetto (design rating), per la valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (asset rating, attualmente utilizzato per la redazione dell'APE) o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (tailored rating).

Tale metodologia di calcolo è stata applicata al caso studio relativo ad un immobile di tipo non-residenziale, un palazzo uffici, individuato da ENEA e sito a Roma. L'edificio è stato modellato in ambiente di calcolo per la stima dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento, valutati considerando diverse condizioni climatiche (Milano, Roma, Palermo) ed il funzionamento dell'impianto sia con profilo di utilizzo standard (Asset rating,) che adattato all'utenza (Tailored rating). Al fine di confrontare i risultati di calcolo dei fabbisogni energetici ottenuti attraverso i metodi stazionari e dinamici, il caso studio individuato è stato opportunamente modellato e simulato in diversi strumenti di calcolo. Nello specifico, per il confronto dei risultati sono stati utilizzati: 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), oggetto di studio delle unità di ricerca del Politecnico di Torino e del Politecnico di Milano. Pertanto, dopo aver opportunamente modellato il caso studio non-residenziale in ambiente di calcolo, implementando dati relativi all'involucro edilizio, ai carichi endogeni, al tasso di infiltrazione e agli scheduling di occupazione ed accensione dell'impianto – tutti forniti da ENEA per la corretta ed omogenea messa a punto dei modelli utilizzati – si è passati alla fase di confronto, realizzata anche attraverso un preliminare processo iterativo di analisi e debugging per la verifica dell'affidabilità dei modelli di simulazione utilizzati.

I risultati ottenuti a valle delle simulazioni eseguite con il metodo stazionario basato sulle UNI TS 11300-1 sono stati confrontati con i risultati del calcolo dinamico orario, realizzato in accordo con la norma UNI EN ISO 52016, ed il calcolo dinamico alla base del codice OpenBPS.

Grazie al confronto dei risultati è stato possibile individuare le condizioni di funzionamento dell'impianto e di utilizzo della tipologia di edificio oggetto dello studio adeguate all'uso di una determinata metodologia per la redazione dell'attestato di prestazione energetica.

1 Il caso studio – edificio non-residenziale

Il caso studio scelto da ENEA per lo studio oggetto di questa attività di ricerca è un edificio multipiano adibito ad uso uffici, non-residenziale. Al fine di effettuare il confronto dei risultati ottenuti attraverso l'applicazione delle metodologie di calcolo delle norme UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, e del codice dinamico OpenBPS, è stato necessario stabilire le condizioni di funzionamento e le caratteristiche dell'edificio. In accordo con ENEA e con le unità di ricerca del Politecnico di Torino e del Politecnico di Milano, sono state scelte tutte le caratteristiche termofisiche ed operative, nonché le ipotesi di modellazione e simulazione per il calcolo dei risultati dei fabbisogni mensili ed annuali di riscaldamento e raffrescamento.

1.1 Descrizione dell'edificio uffici

L'edificio oggetto dello studio è sito a Roma nella zona Montesacro (**Figura 1**), è stato realizzato nel 1986 e è adibito ad uso ufficio. L'immobile si affaccia su un'area verde in prossimità del fiume Aniene e presenta una pianta rettangolare (14 m x 65 m), con due lati verso un parcheggio interno ed altri due tra via Gaetano Licopoli e via Carlo Spegazzini (**Figura 2**); le facciate principali dell'edificio sono continue ed esposte a nord-est e a nord-ovest. Come da **Figura 1** e **Figura 2**, l'edificio presenta un'estensione in altezza significativa (22 m) e non risulta particolarmente ombreggiato dagli edifici che lo circondano essendo questi più bassi e distanti; inoltre, tutte le facciate, specialmente quella a Nord-Est, affacciano su ampi spazi verdi e/o intersezioni stradali che non costituiscono ombreggiamento, a meno del corpo di fabbrica a Sud-Ovest.

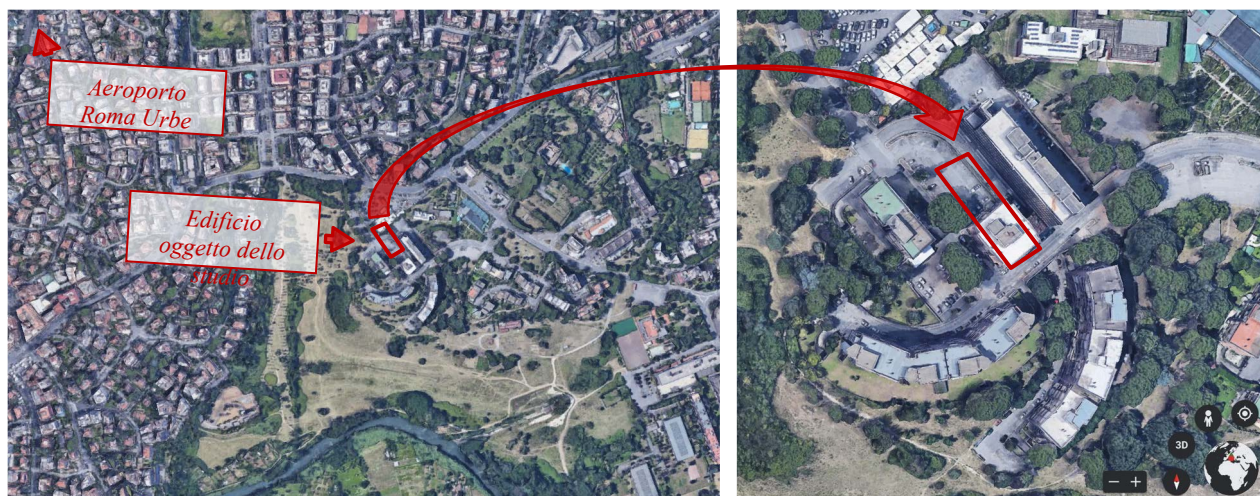


Figura 1. Vista aerea dell'edificio oggetto dello studio e della zona in cui è situato.

L'edificio è costituito da 7 piani fuori terra, come da **Figura 2**, ed un piano seminterrato non climatizzato; la struttura ospita al piano terra una hall con uffici aperti al pubblico, e al piano superiore uffici singoli e doppi con superfici tra i 12 e i 40 m² di estensione, collegati da disimpegni. L'edificio, inoltre, presenta vani scala posti all'estremità dello stesso, con servizi ad ogni piano posizionati in linea tra i piani dell'edificio. L'edificio ha una struttura portante in cemento armato ed un involucro edilizio debolmente isolato. Le facciate continue esterne sono composte da elementi ripetuti; per ogni interpiano, la facciata è suddivisa in due specchiature, una dotata di una partizione vetrata apribile o fissa e l'altra di un parapetto opaco con vetro esterno.

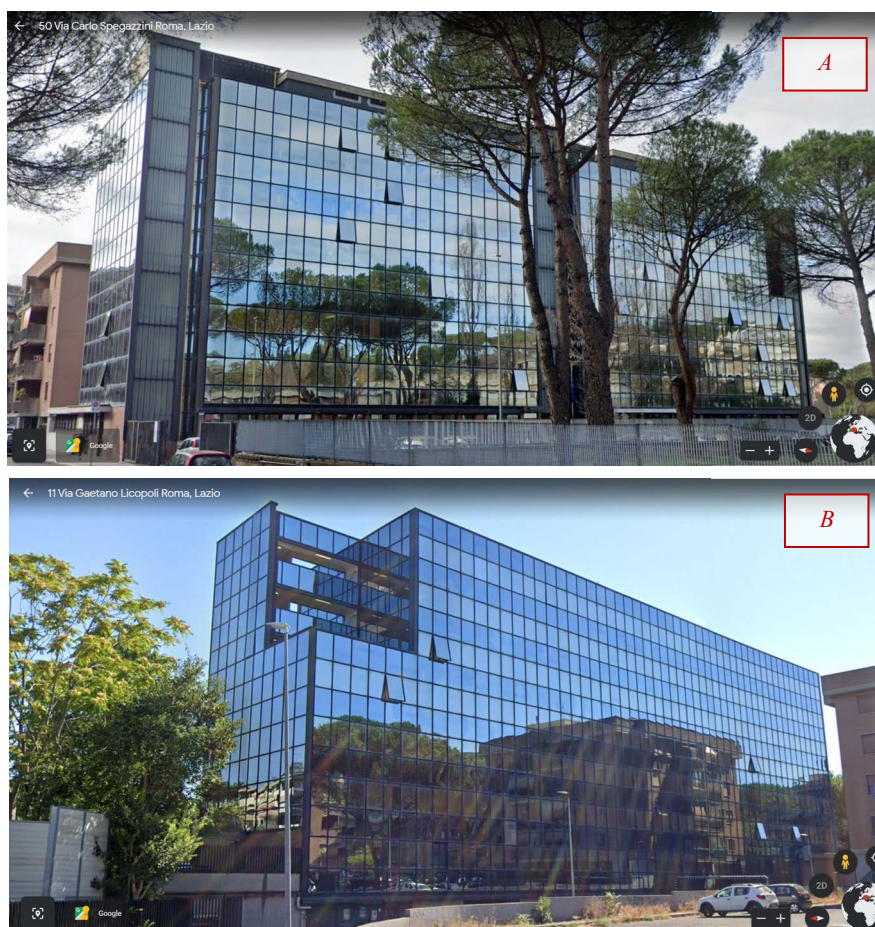
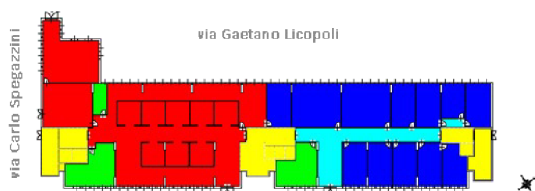


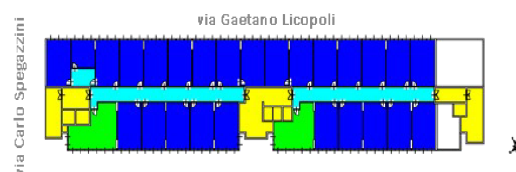
Figura 2. Prospetti sud (A – via Carlo Spegazzini) e sud-ovest (B - via Gaetano Licopoli).

Le principali caratteristiche geometriche dell'edificio, che si sviluppa per circa 22 m in altezza, sono: volume lordo riscaldato pari a circa 16876 m^3 , superficie utile pari a 5143 m^2 , superficie disperdente pari a 5749 m^2 e rapporto di forma (superficie disperdente su volume lordo) pari a 0.34. In **Figura 3** si riportano le piante dei piani oggetto dello studio, dal primo al sesto; 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, come si evince anche da **Figura 2**. Ad esclusione del piano interrato, non climatizzato, i piani dal primo al sesto sono oggetto del presente studio, **Figura 3**. La superficie calpestabile media per piano è pari a 734 m^2 .

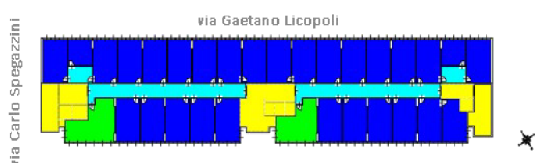
•PIANO TERRA



•PIANO 4°



•PIANI 1° - 2° - 3°



•PIANI 5° - 6°

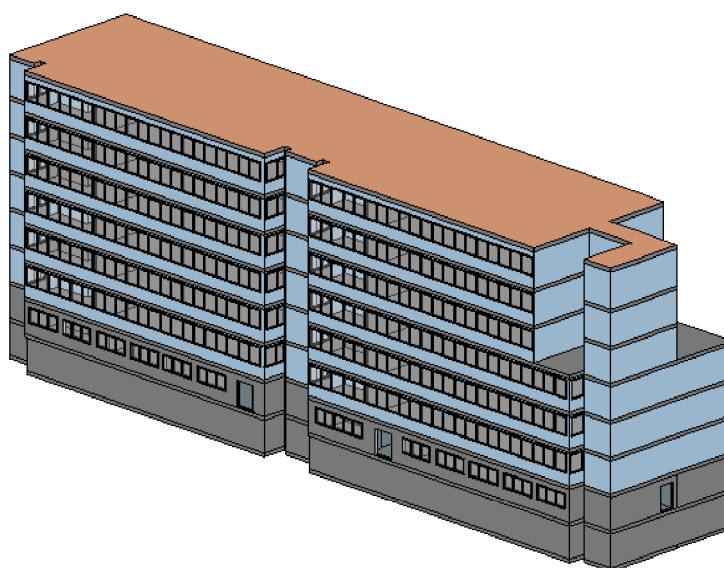
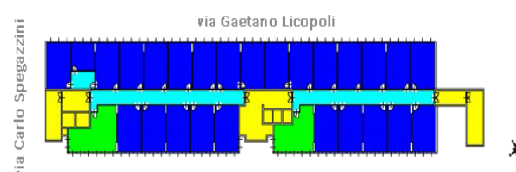


Figura 3. Piante dei piani terra e rendering dell'edificio e dei piani fuori terra.

1.2 Caratteristiche dell'involucro edilizio

Gli elementi dell'involucro edilizio sono stati classificati in base alla documentazione fornita da ENEA; le caratteristiche termofisiche dei materiali sono state ricavate a partire dalle specifiche delle norme tecniche. 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 1986 - presenta una struttura portante in cemento armato costituita da pilastri e travi a spessore portanti i solai, fra loro monoliticamente collegati. Le pareti esterne, non portanti di tipo *curtain wall*, sono composte da elementi ripetuti e costituiti da elementi a montanti e traversi in alluminio; la facciata dell'interpiano è suddivisa in due specchiature, una dotata di una partizione vetrata apribile o fissa e l'altra di pannello di tipo *spandrel*, costituito principalmente da uno strato di materiale isolante rivestito con un vetro esterno temprato riflettente smaltato. Le principali caratteristiche termofisiche ed ottiche degli elementi d'involucro opachi sono riportate in **Tabella 1**. L'edificio risulta essere prevalentemente non isolato termicamente, con trasmittanze termiche elevate (**Tabella 1**), superiori alle richieste di legge. I componenti opachi sono tutti realizzati con materiali leggeri, mattoni forati, lastre di gesso ed isolanti, come si evince da **Tabella 2** e **Tabella 3**, in cui sono riportate le

stratigrafie dei componenti opachi, verticali e orizzontali. Infine, i dati relativi ai principali serramenti installati nell'edificio sono riportati in Tabella 4; i serramenti hanno telaio in metallo e vetri doppi, mentre non sono presenti chiusure oscuranti.

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

Cod	Componenti verticali	Sp	U	Ms	Y_{ie}	κ_i	Λ
		[m]	[W/m ² K]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[kJ/m ² K]	[W/m ² K]
M1	Parete in calcestruzzo	0,17	3,46	375	2,18	64,15	8,41
M2	Parete in mattoni	0,26	1,24	186	0,91	52,38	1,57
M3	Parete <i>spandrel</i>	0,12	0,74	91	0,59	42,05	0,84
M4	Partizione interna	0,08	0,69	31	0,67	13,83	0,83
M5	Parete in mattoni rivestita	0,25	1,26	165	0,95	51,47	1,61
M6	Parete in calcestruzzo rivestita	0,17	3,39	390	2,03	65,67	4,73
M7	Setti in calcestruzzo	0,28	2,12	616	0,43	69,21	9,45
M8	Porta REI	0,06	0,62	25	0,61	7,90	0,69
Cod	Componenti orizzontali	Sp	U	Ms	Y_{ie}	κ_i	Λ
		[m]	[W/m ² K]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[kJ/m ² K]	[W/m ² K]
P1	Solaio piano tipo	0,29	1,41	538	0,27	62,54	2,71
P2	Solaio piano terra	0,29	1,41	538	0,27	62,54	2,71
S1	Solaio di copertura	0,36	1,81	671	0,51	68,61	2,42

Legenda simboli

Sp	Spessore struttura	κ_i	Capacità termica specifica
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci	U	Trasmittanza termica della struttura
Y_{ie}	Trasmittanza termica periodica della struttura	Λ	

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

N.	Stratigrafia M1	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Intonaco di gesso	20	0,400	0,050	1000	1,00	10
2	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	148	2,150	0,069	2400	1,00	96
N.	Stratigrafia M2	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Intonaco di gesso	20	0,570	0,035	1300	1,00	10
2	Mattone forato	80	0,400	0,200	775	0,84	9
3	Intercapedine non ventilata $A_v < 500 \text{ mm}^2/\text{m}$	60	0,333	0,180	-	-	-
4	Mattone forato	80	0,400	0,200	775	0,84	9
5	Intonaco di cemento e sabbia	20	1,000	0,020	1800	1,00	10
N.	Stratigrafia M3	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Intonaco di gesso	10	0,570	0,018	1300	1,00	10
2	Cartongesso	50	0,210	0,238	1000	0,90	8
3	Alluminio	2	220,000	0,000	2700	0,88	9999999
4	Fibre minerali da loppe – Feltro	50	0,054	0,926	40	1,03	1
5	Alluminio	2	220,000	0,000	2700	0,88	9999999
6	Vetro per finestre	6	1,000	0,006	2500	1,00	9999999
N.	Stratigrafia M4	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Intonaco di gesso	5	0,570	0,009	1300	1,00	10
2	Cartongesso 9,5 mm (per THERMOGES)	10	0,211	0,047	840	0,84	8
3	Fibra di vetro – Pannello semirigido	50	0,046	1,087	16	1,03	1
4	Cartongesso 9,5 mm (per THERMOGES)	10	0,211	0,047	840	0,84	8
5	Intonaco di gesso	5	0,570	0,009	1300	1,00	10
N.	Stratigrafia M5	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Intonaco di gesso	20	0,570	0,035	1300	1,00	10
2	Mattone forato	80	0,400	0,200	775	0,84	9
3	Intercapedine non ventilata $A_v < 500 \text{ mm}^2/\text{m}$	60	0,333	0,180	-	-	-
4	Mattone forato	80	0,400	0,200	775	0,84	9
5	Vetro per finestre	6	1,000	0,006	2500	1,00	9999999
N.	Stratigrafia M6	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Intonaco di gesso	20	0,400	0,050	1000	1,00	10
2	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	148	2,150	0,069	2400	1,00	96
3	Vetro per finestre	6	1,000	0,006	2500	1,00	9999999

N.	Stratigrafia M7	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Intonaco di gesso	20	0,400	0,050	1000	1,00	10
2	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	240	2,150	0,112	2400	1,00	96
3	Intonaco di gesso	20	0,400	0,050	1000	1,00	10
N.	Stratigrafia M8	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Acciaio	1	52,000	0,000	7800	0,45	9999999
2	Pannello in lana di roccia a doppia densità	58	0,040	1,450	165	1,03	1
3	Acciaio	1	52,000	0,000	7800	0,45	9999999
N.	Stratigrafia M8	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Pavimento in gomma	2	0,170	0,012	1200	1,40	10000
2	Massetto solaio	50	2,200	0,023	2200	1,00	20
3	Laterocemento	220	0,720	0,306	1800	0,84	20
4	Intonaco	20	0,700	0,029	1500	1,00	10

Legenda simboli

s Spessore mm
 λ_D Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi W/mK
R Resistenza termica m²K/W
M.V. Massa volumica kg/m³
C.T. Capacità termica specifica kJ/kgK
R.V. Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto -

Tabella 3. Stratigrafia orizzontali (da esterno ad interno)

N.	Stratigrafia P1	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Pavimento in gomma	2	0,170	0,012	1200	1,40	10000
2	Massetto solaio	50	2,200	0,023	2200	1,00	20
3	Laterocemento	220	0,720	0,306	1800	0,84	20
4	Intonaco	20	0,700	0,029	1500	1,00	10
N.	Stratigrafia P2	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Pavimento in gomma	2	0,170	0,012	1200	1,40	10000
2	Massetto solaio	50	2,200	0,023	2200	1,00	20
3	Laterocemento	220	0,720	0,306	1800	0,84	20
4	Intonaco	20	0,700	0,029	1500	1,00	10
N.	Stratigrafia S1	s	λ_D	R	M.V.	C.T.	R.V.
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	15	1,300	0,012	2300	0,84	99999
2	Massetto solaio	100	2,200	0,045	2200	1,00	20
3	Laterocemento	220	0,720	0,306	1800	0,84	20
4	Intonaco di gesso	20	0,400	0,050	1000	1,00	10

Legenda simboli

s Spessore mm
 λ_D Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi W/mK
R Resistenza termica m²K/W
M.V. Massa volumica kg/m³
C.T. Capacità termica specifica kJ/kgK
R.V. Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto -

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

Cod	Descrizione (L x H)	A _{gl} [m ²]	ε	ggl _n	Fp	Uw [W/m ² K]
W1	Porta vetrata a a due ante (120 x 210)	3,24	0.837	0,85	0,38	4,13
W2	Porta vetrata a due ante (180 x 210)	4,86	0.837	0,85	0,31	3,94
W3	Finestra singola tipo 1 (100 x 120)	1,20	0.837	0,85	0,14	3,24
W4	Finestra singola tipo 2 (120 x 150)	1,80	0.837	0,85	0,12	3,20
W5	Finestra singola tipo 3 (80 x 150)	1,20	0.837	0,85	0,15	3,26

Legenda simboli

ε Emissività
ggl_n Fattore di trasmittanza solare
A_{gl} Area del vetro
L Larghezza
Fp Fattore telaio
Uw Trasmittanza vetro
H Altezza

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

La modellazione e la simulazione dell'edificio uffici individuato per il caso studio sono state realizzate a valle della scelta di adeguate semplificazioni ed ipotesi, necessarie ad eliminare eventuali errori di modellazione (tra i diversi codici di calcolo utilizzati) e cause di discrepanza del calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento ottenuti attraverso i metodi stazionari e dinamici considerati (UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS). È stata, pertanto, posta attenzione alla fase di zonizzazione dell'edificio e di implementazione degli input e degli scheduling di utilizzo dell'edificio e funzionamento degli impianti, come di seguito dettagliato.

2.1 Zonizzazione

L'edificio uffici oggetto dello studio è stato suddiviso in 5 zone termiche, individuate sulla base delle condizioni termo-igrometriche interne **Figura 4**. Le 5 zone termiche individuate sono caratterizzate dalla stessa destinazione d'uso e dagli stessi profili di utilizzo, inoltre esse sono servite dallo stesso impianto HVAC, e definite come di seguito.

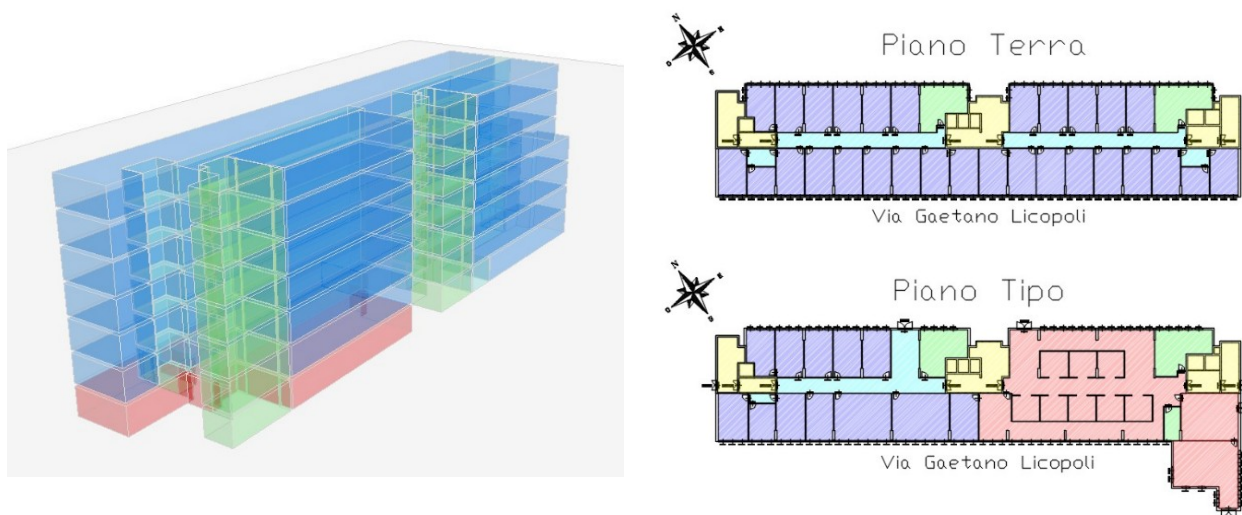


Figura 4. Schema dell'edificio e zonizzazione.

- **Zona 1**, costituita dagli uffici *open-space* situati al piano terra (campitura rossa di **Figura 4**). La zona termica disperde attraverso la superficie orizzontale del solaio di calpestio verso il piano sotterraneo non climatizzato (e costituito da componenti edilizi di involucro elementi con intercapedine fortemente ventilata) e attraverso la superficie orizzontale del solaio superiore verso il secondo piano adibito ad uso uffici (campiture blu di **Figura 4**), nonché verso parte dei locali adibiti a disimpegno (campitura ciano di **Figura 4**), caratterizzate da diversi profili di utilizzo.
- **Zona 2**, costituita da tutti gli uffici singoli presenti ai diversi piani ed esposti a Nord-Est. Tale zona termica include quindi gli uffici del piano terra e di tutti i piani superiori fino al sesto (campitura blu di **Figura 4**) che presentano la stessa destinazione d'uso e profilo di utilizzo. Tale zona termica disperde attraverso le superfici orizzontali di calpestio verso il piano sotterraneo non climatizzato e verso l'ambiente esterno, attraverso le pareti verticali esterne verso l'ambiente esterno e verso i locali adibiti a disimpegno (campitura ciano di **Figura 4**), nonché verso parte della zona relativa ai

servizi igienici (campitura verde di [Figura 4](#)) e ai vani scala non climatizzati (campitura gialla di [Figura 4](#)).

- **Zona 3**, costituita da tutti gli uffici singoli esposti a Sud-Ovest (campitura blu di [Figura 4](#)). Come per la zona precedentemente descritta, la zona termica include gli uffici singoli del piano terra e di tutti i piani superiori fino al sesto e disperde attraverso le pareti verticali verso l'esterno e verso zone interne, disimpegni e servizi, nonché attraverso i solai del piano terra verso il seminterrato e il solaio dell'ultimo piano verso l'ambiente esterno.
- **Zona 4**, costituita da tutti i disimpegni di tutti i piani (campitura ciano di [Figura 4](#)), ed a meno di una piccola superficie, non disperde verso l'esterno, ma principalmente verso gli uffici.
- **Zona 5**, costituita da tutti i locali adibiti a servizi igienici (campitura verde di [Figura 4](#)), localizzati sulla stessa montante a meno di un locale presente al piano terra.

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

Tabella 5. Caratteristiche delle singole zone termiche

Zona termica	Superficie utile calpestabile [m ²]	Superficie disperdente [m ²]	Altezza media netta per piano [m]	Volume netto [m ³]	S/V [m ³]
Zona 1	321	530	4	1088	0,54
Zona 2	1457	1303		5023	0,31
Zona 3	2294	2149		7254	0,35
Zona 4	641	415		2075	0,22
Zona 5	431	720		1455	0,56

2.2 Condizioni al contorno

Al fine di valutare l'impatto delle condizioni climatiche sul calcolo del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio, le simulazioni energetiche sono state effettuate per 3 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.

I profili della temperatura dell'aria esterna, $\vartheta_{e,t}$, orari (dati elaborati dal CTI) e medi mensili (da norma UNI 10349-1) sono riportati in [Figura 5](#) e [Figura 6](#), mentre i valori mensili dell'irradiazione globale sul piano orizzontale, $I_{sol,h}$, sono riportati in [Figura 7](#). Le figure sono relative a tutte le località considerate. I dati climatici rappresentano le condizioni al contorno – di temperatura dell'aria esterna, temperature della volta celeste e radiazione solare – utilizzate per valutare lo scambio termico per trasmissione, ventilazione e radiativo, nonché il contributo degli apporti solari sui fabbisogni termici.

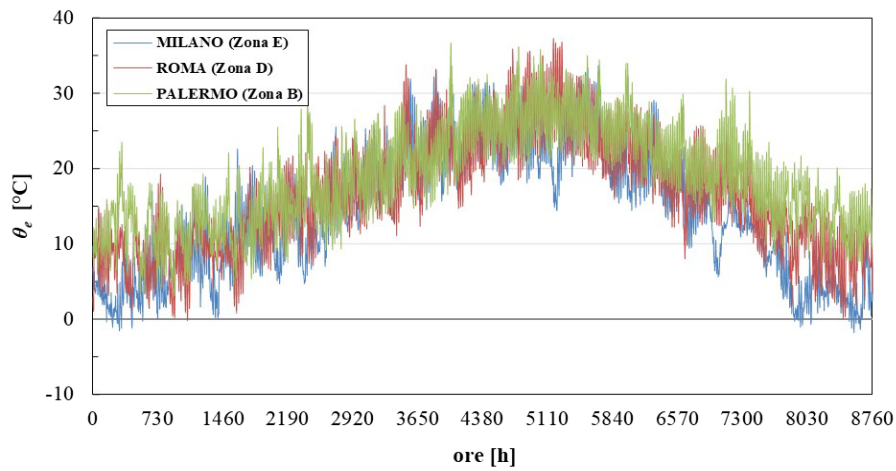


Figura 5. Valori orari della temperatura dell'aria esterna delle località indagate- dati CTI.

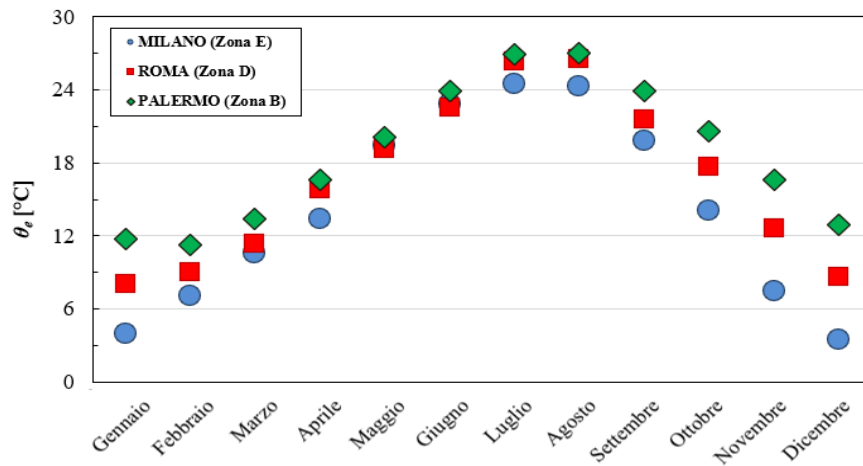


Figura 6. Valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna - UNI 10349-1.

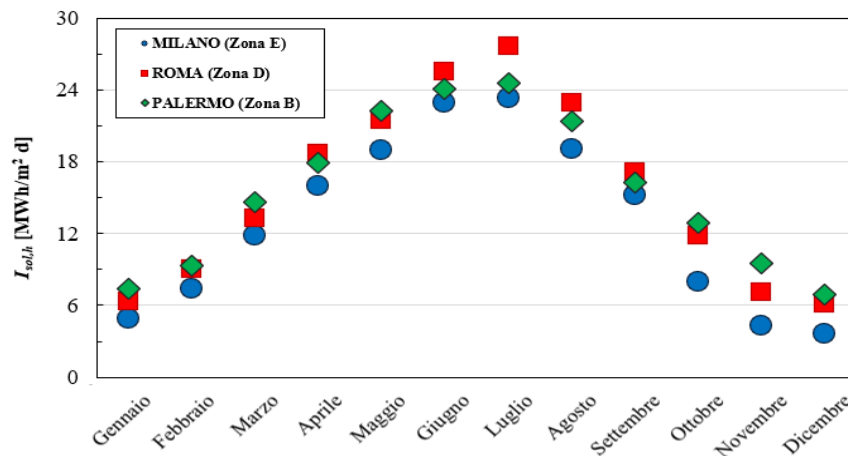


Figura 7. Valori medi mensili dell'irradiazione solare globale sul piano orizzontale - UNI 10349-1.

Al fine di stimare lo scambio termico per trasmissione attraverso gli elementi dell'involucro che separano l'edificio dai locali adiacenti (es. solaio di calpestio tra il piano terra ed il piano interrato, nonché tra le pareti interne e i vani non climatizzati), le temperature di tali ambienti confinanti (non modellati né

simulati) sono state considerate costanti e pari a 20 °C nella stagione invernale, 26 °C da giugno ad agosto, e 23 °C nel restante periodo.

Il piano seminterrato ed i tre vani scala (campitura gialla di Figura 4) sono stati considerati come quattro zone non riscaldate con una ventilazione esterna costante e pari a 0,25 vol/h. Infine, le ostruzioni del contesto circostante sono, invece, state modellate geometricamente.

2.3 Dati di input per la modellazione e condizioni al contorno

La valutazione dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio è stata effettuata sommando i valori calcolati per le zone termiche individuate, tutte caratterizzate da una specifica destinazione d'uso. Il periodo di utilizzo dell'edificio uffici è stato considerato pari da 1 anno, dal 1° gennaio al 31 dicembre, senza interruzioni giornaliere o mensili (24h, 7/7), così come indicato nella tabella B.26 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*. Dalla suddetta norma sono stati ricavati i profili d'utenza ed i carichi interni (bozza di Appendice Nazionale della norma) orari; di seguito si riportano i valori medi utilizzati per l'implementazione del metodo mensile alla base della UNI TS 11300.

2.3.1 Profilo di occupazione

Il profilo occupazionale individuato per le zone termiche segue il profilo della UNI EN 16798-1 denominato *short working week* (desunto dalla Tabella 26j della norma), come riportato in [Figura 8](#). Gli apporti termici interni, i tassi di ricambio orari e il profilo di accensione dell'impianto seguono tutti l'andamento della short working week, con funzionamento dalle 8:00 alle 18:00 (10 ore al giorno, per 5 giorni a settimana) per tutte le zone termiche.

h	Profilo di occupazione - Uso uffici (<i>short working week</i>)	
	Giorni feriali	Sabato, Domenica / festività
1	0,0	0,0
2	0,0	0,0
3	0,0	0,0
4	0,0	0,0
5	0,0	0,0
6	0,0	0,0
7	0,0	0,0
8	0,0	0,0
9	0,5	0,0
10	1,0	0,0
11	1,0	0,0
12	1,0	0,0
13	1,0	0,0
14	0,5	0,0
15	1,0	0,0
16	1,0	0,0
17	1,0	0,0
18	0,5	0,0
19	0,0	0,0
20	0,0	0,0
21	0,0	0,0
22	0,0	0,0
23	0,0	0,0
24	0,0	0,0

Figura 8. Profili di occupazione.

2.3.2 Apporti termici interni

Gli apporti termici interni dovuti agli occupanti sono stati ricavati dagli apporti per persona indicati dalla tabella A.20 della norma UNI EN 16798-1. Considerando, quindi, la superficie di pavimento climatizzata per ogni singola zona (**Tabella 5**), il numero di persone per superficie calpestabile come da normativa ed il profilo di occupazione, è stato possibile ottenere - zona per zona - gli apporti interni totali (contributo sensibile e latente) specifici. Ugualmente si è proceduto per il calcolo degli apporti termici dovuti ad illuminazione ed apparecchiature (non considerate per la Zona 5), come da tabella A.21 della succitata norma. I valori medi totali sensibili (persone, macchine ed illuminazione) sono riportati in Tabella 6.

Tabella 6. Apporti termici specifici per zona – valori medi

Zone termiche	Apporti totali specifici [W/m²]
Zona 1	9.3
Zona 2	7.8
Zona 3	7.8
Zona 4	3.0
Zona 5	4.4

2.3.3 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.6 ed A.7b 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 considerando i valori specifici di portata di ventilazione minima ([l/s] per persona, q_p , e per superficie calpestabile, q_b) per tutte le zone termiche, tranne che per la Zona 5 (locali servizi igienici) per la quale è stato considerato un valore fisso pari a 4 [l/s]. Dalla conoscenza del numero di persone per superficie, della superficie calpestabile di ogni zona (**Tabella 5**) e del profilo di occupazione è ricavata, zona per zona, la portata di ventilazione su base orario, mostrata, a titolo d'esempio, per la Zona 1 (**Figura 9**); andamenti analoghi sono stati considerati per le altre zone termiche. Il valore medio del tasso di ricambio orario per ogni zona termica è riportato in Tabella 7.

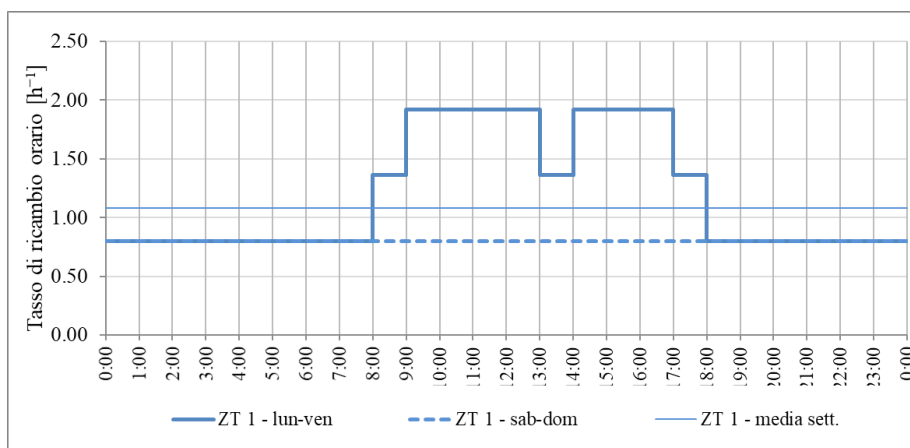


Figura 9. Profili orari del tasso di ventilazione – Zona 1.

Tabella 7. Tasso di ricambio orario per zona – valori medi

Zone termiche	Tasso di ricambio orario [1/h]
Zona 1	1.1
Zona 2	0.7
Zona 3	0.7
Zona 4	0.9
Zona 5	0.6

2.3.4 Condizioni termo-igrometriche di set-point

Per quanto concerne 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 raffrescamento e del regime di attenuazione. In Tabella 8 si riportano i valori di set-point della minima temperatura operativa interna in regime di riscaldamento ($T_{op,min}$) e della massima temperatura operativa interna in raffrescamento ($T_{op,max}$), 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}). I valori sono tutti desunti dalla norma UNI EN 16798-1.

Tabella 8. Condizioni termo-igrometriche di set-point

Parametro	Valore	UNI EN 16798-1 Appendice Nazionale
$T_{op,min}$ - riscaldamento	16 °C (Zona 4) e 20 °C (restanti zone)	Tabella A.2
$T_{op,max}$ - raffrescamento	25 °C (Zona 4) e 26 °C (restanti zone)	Tabella A.2

$T_{op,min}$ in regime di attenuazione	16 °C	Tabella 26j
$T_{op,max}$ in regime di attenuazione	32 °C	Tabella 26j
Φ_{min}	40 %	Tabella A.13
Φ_{max}	60 %	Tabella A.13

2.3.5 Durata giornaliera di accensione dell'impianto

La durata giornaliera di accensione dell'impianto, secondo la UNI TS 11300-1 segue un regime continuo, cioè 24 ore di funzionamento, in accordo con la valutazione *Standard* del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio. Nel caso di valutazione *Tailored*, il funzionamento dell'impianto è intermittente e segue un particolare profilo di utilizzo. Nello specifico, per il caso studio considerato, la durata giornaliera di accensione dell'impianto è, per tutte le zone termiche individuate e tutte le zone climatiche (Milano, Roma, Palermo) pari a 13 ore, con attenuazione nel periodo di non occupazione dell'ufficio (**Figura 10**).

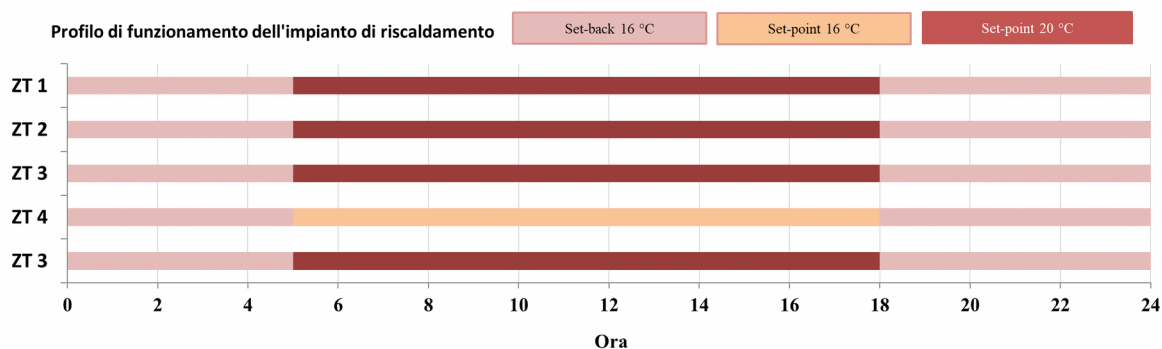


Figura 10. Profilo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento.

La stagione di raffrescamento è stata assunta dal 1° giugno al 31 agosto. Il regime continuo è stato valutato considerando 24 ore di funzionamento. Il regime intermittente (*Tailored*) previsto è considerato per 11 ore al giorno e spegnimento nelle ore di non occupazione (**Figura 11**).

Le temperature di regolazione in regime di riscaldamento e raffrescamento sono riportate in Tabella 8.

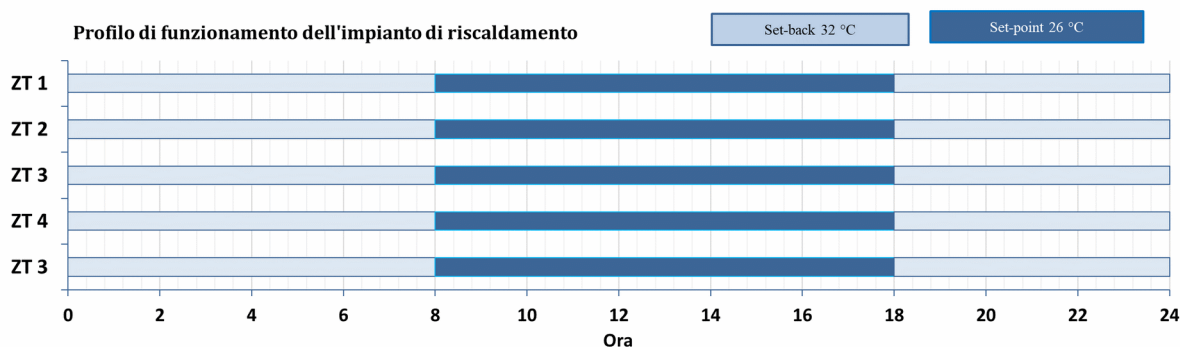


Figura 11. Profilo di funzionamento dell'impianto di raffrescamento.

2.4 Sistemi impiantistici

La valutazione dell'energia richiesta per soddisfare i bisogni dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento è stata calcolata in funzione di due diversi sistemi di generazione (**Tabella 9**):

- Soluzione 1: è prevista una caldaia a condensazione ed un gruppo frigorifero rispettivamente per la climatizzazione invernale ed estiva;
- Soluzione 2: è prevista l'implementazione di una pompa di calore reversibile utilizzata sia nella stagione di riscaldamento che in quella di raffrescamento.

Nella **Tabella 10** sono riportate le tipologie dei sistemi di emissione, regolazione e distribuzione considerati; i coefficienti di utilizzazione impiegati sono i valori riferiti all'edificio di riferimento, come da Decreto interministeriale 26 giugno 2015 (DM requisiti minimi).

In **Tabella 11** sono riportati i dati delle macchine scelte per ogni località indagata, e le relative potenze nominali; sono stati considerati le curve di prestazione di prodotti commerciali esistenti, per i quali si riportano le prestazioni come da schede dei produttori, **Figura 12** e **Figura 13**.

Tabella 9. Caratteristiche dei sottosistemi di generazione

Periodo di climatizzazione	Soluzione adottata	
	Soluzione 1	Soluzione 2
Climatizzazione invernale	Caldaia a condensazione	Pompa di calore invertibile aria-acqua
Climatizzazione estiva	Gruppo frigorifero aria-acqua	

Tabella 10. Sottosistemi di emissione, regolazione e distribuzione dell'impianto di climatizzazione

Sottosistema	Descrizione	Procedura di calcolo
Emissione	Ventilconvettori	Efficienza dei sottosistemi di utilizzazione (DM requisiti minimi) $\eta_{H,u} = 0,81$, $\eta_{C,u} = 0,81$
Regolazione	Per singolo ambiente + climatica	
Distribuzione	Distribuzione a partire dal locale tecnico con colonne montanti nei vani scale	

Tabella 11. Definizione delle macchine impiegate e delle potenze nominali corrispondenti

Sistema	Località		
	Milano	Roma	Palermo
Pompa di calore	AERMEC - NRB 3600 HA $P_{n,H} = 1000$ kW $P_{n,C} = 971$ kW	AERMEC - NRB 3600 HA $P_{n,H} = 1000$ kW $P_{n,C} = 971$ kW	AERMEC - NRB 3600 HA $P_{n,H} = 1000$ kW $P_{n,C} = 971$ kW
Gruppo frigorifero	AERMEC - NRB 3600 HA $P_n = 971$ kW	AERMEC - NRB 3600 HA $P_n = 971$ kW	AERMEC - NRB 3600 HA $P_n = 971$ kW
Caldaia	Viessmann – VITOCROSSAL 300 (CR3)	Viessmann – VITOCROSSAL 300 (CT3)	Viessmann – VITOCROSSAL 300 (CT3)

	$P_n = 720 \text{ kW}$	$P_n = 560 \text{ kW}$	$P_n = 460 \text{ kW}$
--	------------------------	------------------------	------------------------

NRB - HA

Size		0800	0900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600
Cooling performance 12 °C / 7 °C (1)																		
Cooling capacity	kW	206,2	243,8	266,9	297,0	329,2	385,5	425,3	488,4	538,3	601,4	651,3	708,6	745,3	815,1	859,0	928,0	971,4
Input power	kW	71,8	78,2	88,1	102,2	117,2	129,2	147,2	163,7	184,8	201,3	222,3	237,4	257,9	274,4	295,7	312,0	333,6
Cooling total input current	A	127	141	157	179	203	225	254	285	321	352	389	416	448	479	515	546	582
EER	W/W	2,87	3,12	3,03	2,91	2,81	2,98	2,89	2,98	2,91	2,99	2,93	2,99	2,89	2,97	2,91	2,97	2,91
Water flow rate	l/h	35459	41941	45909	51076	56618	66291	73124	83982	92547	103406	111965	121819	128140	140122	147681	159542	167008
Pressure drops	kPa	15	21	18	22	17	23	21	27	27	34	21	25	28	28	31	35	38
Heating performance 40 °C / 45 °C (2)																		
Heating capacity	kW	214,3	254,4	279,0	310,5	341,2	400,9	438,9	506,0	553,2	620,0	666,5	730,0	771,1	840,0	885,5	954,2	999,6
Input power	kW	66,6	79,3	86,7	97,1	106,2	124,8	137,1	157,5	171,8	193,5	207,0	226,8	240,1	260,9	275,3	297,4	311,6
Heating total input current	A	120	142	155	172	187	219	240	277	303	342	368	401	421	460	485	526	550
COP	W/W	3,22	3,21	3,22	3,20	3,21	3,21	3,20	3,21	3,22	3,20	3,22	3,22	3,21	3,22	3,22	3,21	3,21
Water flow rate	l/h	37203	44147	48435	53908	59225	69618	76225	87876	96075	107669	115771	126793	133932	145897	153804	165737	173612
Pressure drops	kPa	16	23	20	24	18	25	22	29	29	36	22	26	30	30	33	37	41

(1) Data 14511:2018; System side water heat exchanger 12 °C/7 °C; External air 35 °C
 (2) Data 14511:2018; System side water heat exchanger 40 °C/ 45 °C; Outside air 7 °C d.b. / 6 °C w.b.

Figura 12. Dati della pompa di calore/gruppo frigorifero

Caldaia	tipo	VITOCROSSAL 300 (CT3)							VITOCROSSAL 300 (CR3)
		Matrix a metano oppure aria soffiata a gas							aria soffiata a gas
Omologazione CE	n°	CE-0085AQ0257							CE-0085AU0315
Portata termica focolare max.	kW	177	234,5	297	385,5	479	580	742	923
Potenzialità utile (Pn) con Tm/Tr 80/60 °C	kW	170	225	285	370	460	560	720	895
Potenzialità utile (Pn) con Tm/Tr 50/30 °C	kW	187	248	314	408	508	615	787	978
Perdite al camino a Pn con Tm/Tr 80/60 °C	%	1,8	2,1	1,9	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0
Perdite al mantello (in aria calma, T.amb.20 °C, T.cald.70 °C)	%	0,4	0,3	0,3	0,3	0,28	0,25	0,25	0,25
Rendimento utile a Pn (DL 311/96)	%	97,8	97,9	98,1	98,2	98,2	98,2	98,3	98,3
Rendimento utile a 0,3Pn (Dir.92/42/CE e DPR 412/93)	%	107,5	108,2	108,2	108	108,2	108,2	108,3	108,5
Rendimento utile a Pn con Tm/Tr 50/30 °C	%	105,9	105,8	105,9	105,8	106,2	106,1	106,1	106,0

Figura 13. Dati della caldaia

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

La prima parte dell'attività di ricerca ha riguardato il calcolo del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento basato sul metodo stazionario alla base della norma UNI TS 11300, effettuato in ambiente di calcolo Termolog. Il software, sviluppato dalla software house italiana "Logical Soft", è basato sull'approccio BIM grazie al quale è possibile la costruzione di un modello geometrico 3D dell'edificio oggetto dello studio. Il modello BIM permette di implementare tutte le informazioni riguardanti le proprietà termofisiche e di utilizzo dell'edificio. Grazie al software è possibile sia la costruzione ex-novo del modello BIM dell'edificio che l'importazione di modelli IFC elaborati in altri.

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, secondo quanto richiesto dal CTI. Infatti, il software, oltre ad essere certificato CTI, è anche conforme allo standard ASHRAE 140-2017. Termolog permette, oltre alla redazione dell'attestato di prestazione energetica, anche lo sviluppo di analisi finalizzate alla progettazione, riqualificazione e diagnosi di edifici.

In merito al caso studio oggetto dell'attività di ricerca, il modello BIM dell'edificio è stato realizzato in ambiente Revit e successivamente implementato in ambiente Termolog per 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*. Lo sviluppo del modello geometrico è stato effettuato in accordo con le assunzioni e semplificazioni precedentemente descritte e già utilizzate dalle unità di ricerca del Politecnico di Milano e del Politecnico di Torino per il calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento secondo i metodi dinamici (orario e dettagliato). Infatti, le unità di ricerca di Polimi e Polito hanno eseguito il calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio uffici secondo i metodi dinamici della UNI EN ISO 52016 (metodo orario) e del codice OpenBPS (metodo dettagliato). I risultati ottenuti sono stato confrontati con quelli ricavati con le UNI TS 11300 al fine di evidenziare similitudini e differenze.

Ai fini del calcolo stazionario (UNI TS 11300), i valori medi mensili delle temperature dell'aria esterna, ϑ_e , e dell'irradiazione globale sul piano orizzontale, $I_{sol,h}$, di tutte le zone climatiche considerate - Milano (zona climatica E), Roma (zona climatica D) e Palermo (zona climatica B), - sono riportati in [Figura 14](#).

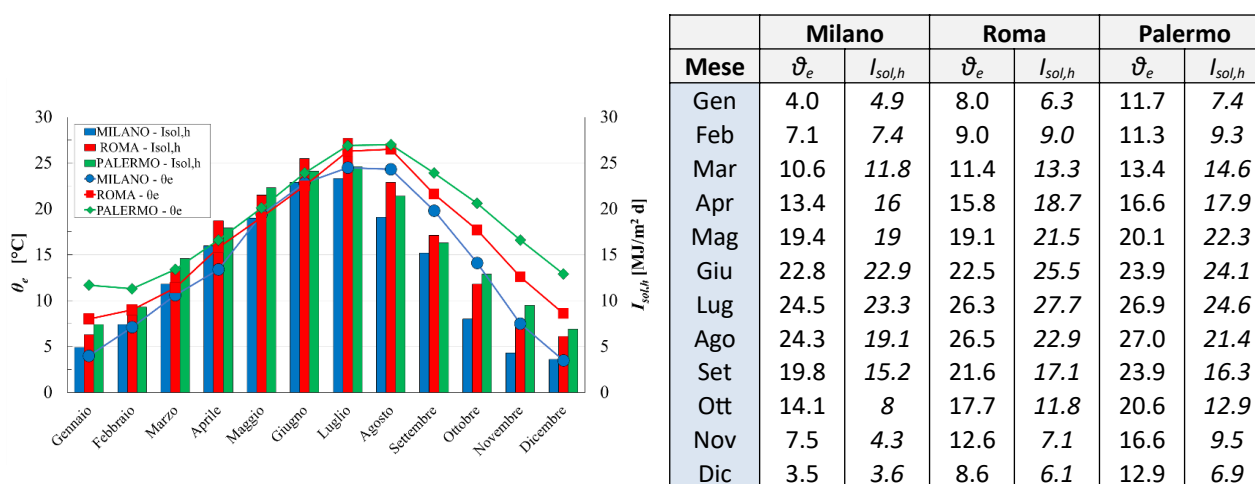


Figura 14. Valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna e dell'irradiazione solare globale sul piano orizzontale per le tre località indagate - UNI 10349-1.

3.1 Implementazione dell'edificio in Termolog

Il modello 3D dell'edificio è stato realizzato in ambiente Revit a partire da un disegno in CAD, in formato .dwg, fornito da ENEA e relativo a tutte le piante dei piani dell'edificio. Dal disegno CAD è possibile realizzare l'automatico inserimento di tutte le dimensioni dell'edificio e dei componenti dello stesso in modo semplificato. I modelli 3D dell'edificio, realizzati in ambiente Revit e termolog, sono riportati in **Figura 15**.

In ambiente Revit sono stati inserite tutte le caratteristiche termofisiche dell'edificio relative all'involucro opaco e trasparente (da **Tabella 1** a **Tabella 4**), mentre a valle dell'implementazione del modello 3D in ambiente Termolog, sono state definite le zone termiche ed inseriti i dati dell'edificio, quali: profili di occupazione, apporti interni, tassi di ventilazione, tempi di accensione dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento con i relativi set-point e set-back (da Tabella 6 a Tabella 8). Per il calcolo secondo il regime intermittente, assetto *Tailored*, sono stati implementati i profili di occupazione (**Figura 8**), gli apporti sensibili e latenti (Tabella 6), le portate d'aria di ventilazione (**Figura 9**), e le ore di accensione e spegnimento definite attraverso i set-point e set-back di temperatura (**Figura 10** e **Figura 11**). Infine, è stato creato un edificio confinante al fine di valutare l'ombreggiamento a Nord-Est del un corpo di fabbrica indipendente dall'edificio oggetto dello studio (**Figura 1** e **Figura 2**).

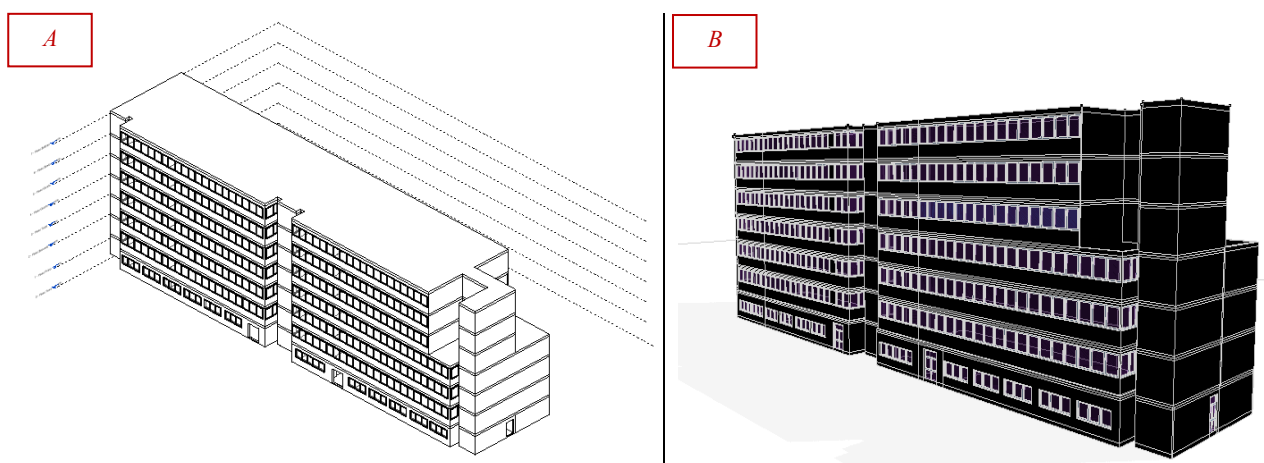


Figura 15. Modello 3D dell'edificio – modello Revit (A) e Termolog (B).

Il calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento per ogni zona termica individuata è stato realizzato secondo la UNI TS 11300 in condizioni *Standard* e *Tailored* utilizzando i moduli Termolog per l'attestato di prestazione energetica e per la diagnosi energetica; quest'ultima richiede l'inserimento del profilo d'uso dell'impianto, degli apporti sensibili e della portata di ventilazione, così come precedentemente descritto.

3.1.1 Verifica del modello dell'edificio

Al fine di verificare l'accuratezza del modello geometrico e termico per il calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento secondo il metodo stazionario delle UNI TS 11300, è stata effettuata un'analisi comparativa dei risultati di calcolo. Nello specifico, a partire dal modello geometrica realizzato in ambiente Revit (**Figura 15**, A) è stato generato il modello termico sia in ambiente di calcolo Termolog che EnergyPlus. Pertanto, a partire dallo stesso modello di edificio, sono state realizzate le simulazioni energetiche secondo la UNI EN ISO 52016 in ambiente Termolog e secondo il metodo dinamico dettagliato

di EnergyPlus. Si noti che Termolog permette la stima dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento con il calcolo dinamico orario delle UNI EN ISO 52016, effettuato sia in assetto *Standard* che con profilo d'uso reale in assetto *Tailored*.

Il confronto dei risultati ottenuti dal calcolo dinamico è stato effettuato come di seguito: *a)* per il metodo dinamico orario (UNI EN ISO 52016), sono stati confrontati i risultati di calcolo ottenuti tramite Termolog con quelli forniti dal Politecnico di Torino; *b)* per il metodo di calcolo dettagliato, sono stati confrontati i risultati ottenuti da EnergyPlus con quelli prodotti dal Politecnico di Milano (OpenBPS). Il confronto tra i risultati dei codici dinamici, effettuato iterativamente al fine di eliminare le cause di errore / discrepanza dovute alle fasi di modellazione e di implementazione dai dati di input e dei parametri di funzionamento dell'edificio, ha permesso di raggiungere l'ottima corrispondenza, sia nelle condizioni *Standard* che *Tailored*, tra i risultati di calcolo. Verificata, quindi, l'accuratezza del modello di simulazione dell'edificio oggetto dello studio, si è quindi proceduto alla fase di simulazione in Termolog dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento secondo la UNI TS 11300-1; i risultati ottenuti sono, infine, stati utilizzati per il confronto finale –di seguito descritto– con i metodi di calcolo orari.

3.2 Risultati della simulazione

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni condotte secondo il metodo stazionario della UNI TS 11300-1, effettuate sia in assetto *Standard* che con profilo d'uso reale in assetto *Tailored*, sono riportate di seguito per le tre località (Milano, Roma e Palermo) selezionate nell'ambito della suddetta analisi per le diverse condizioni climatiche.

I fabbisogni mensili di energia termica utile per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e raffrescamento $Q_{C,nd}$ delle singole zone termiche e dell'intero edificio sono riportati in [Tabella 12](#) e [Tabella 13](#) per Milano, in [Tabella 14](#) e [Tabella 15](#) per Roma, in [Tabella 16](#) e [Tabella 17](#) per Palermo. rispettivamente per la valutazione *Standard* e quella *Tailored*; il fabbisogno dell'intero edificio è riportato sia in termini assoluti (MWh) che specifici (kWh/m²). I risultati del calcolo stazionario sono utilizzati per il confronto con i metodi dinamici, così come meglio dettagliato di seguito.

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*, Milano.

Valutazione <i>Standard</i>	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[MWh]											
<i>Gennaio</i>	83.3	0.0	4.1	0.0	25.4	0.0	33.0	0.0	7.7	0.0	13.1	0.0
<i>Febbraio</i>	50.8	0.0	2.4	0.0	16.0	0.0	18.8	0.0	5.1	0.0	8.5	0.0
<i>Marzo</i>	28.1	0.0	1.2	0.0	8.9	0.0	9.5	0.0	3.4	0.0	5.1	0.0
<i>Aprile</i>	5.0	0.0	0.2	0.0	1.8	0.0	0.9	0.0	0.9	0.0	1.1	0.0
<i>Maggio</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Giugno</i>	0.0	50.6	0.0	2.7	0.0	15.2	0.0	26.2	0.0	1.0	0.0	5.5
<i>Luglio</i>	0.0	66.8	0.0	3.6	0.0	19.1	0.0	34.8	0.0	2.1	0.0	7.3
<i>Agosto</i>	0.0	58.8	0.0	3.2	0.0	15.0	0.0	32.9	0.0	1.9	0.0	5.8
<i>Settembre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Ottobre</i>	11.7	0.0	0.5	0.0	3.9	0.0	3.7	0.0	1.2	0.0	2.3	0.0
<i>Novembre</i>	59.6	0.0	2.8	0.0	18.0	0.0	23.9	0.0	5.3	0.0	9.5	0.0
<i>Dicembre</i>	92.7	0.0	4.6	0.0	27.0	0.0	39.1	0.0	8.1	0.0	13.9	0.0
TOTALE	331.0	176.2	15.7	9.5	101.0	49.2	128.8	93.9	31.7	5.0	53.7	18.5
	[kWh/m ²]											

TOTALE	64.4	34.3	48.9	29.6	69.4	33.8	56.2	40.9	49.5	7.8	125.0	43.1
---------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------------	--------------	-------------

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*, Milano.

Valutazione <i>Tailored</i>	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[MWh]											
<i>Gennaio</i>	56.8	0.0	2.7	0.0	16.8	0.0	20.7	0.0	6.1	0.0	10.5	0.0
<i>Febbraio</i>	31.1	0.0	1.3	0.0	9.4	0.0	10.2	0.0	3.8	0.0	6.4	0.0
<i>Marzo</i>	10.7	0.0	0.3	0.0	3.5	0.0	1.7	0.0	2.0	0.0	3.3	0.0
<i>Aprile</i>	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.6	0.0
<i>Maggio</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Giugno</i>	0.0	39.6	0.0	2.3	0.0	13.1	0.0	21.0	0.0	0.0	0.0	3.2
<i>Luglio</i>	0.0	52.7	0.0	3.1	0.0	16.6	0.0	28.5	0.0	0.0	0.0	4.5
<i>Agosto</i>	0.0	45.2	0.0	2.8	0.0	12.5	0.0	26.8	0.0	0.0	0.0	3.1
<i>Settembre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Ottobre</i>	3.1	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.4	0.0
<i>Novembre</i>	29.6	0.0	0.8	0.0	10.7	0.0	6.9	0.0	3.8	0.0	7.3	0.0
<i>Dicembre</i>	64.8	0.0	3.1	0.0	18.3	0.0	25.7	0.0	6.5	0.0	11.2	0.0
TOTALE	196.9	137.5	8.2	8.2	59.9	42.2	65.2	76.3	22.9	0.0	40.7	10.8
[kWh/m²]												
TOTALE	38.3	26.7	25.7	25.6	41.1	29.0	28.4	33.3	35.8	0.0	94.6	25.1

Tabella 14. 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 <i>Standard</i>	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[MWh]											
<i>Gennaio</i>	50.1	0.0	2.3	0.0	16.3	0.0	17.8	0.0	5.0	0.0	8.8	0.0
<i>Febbraio</i>	36.3	0.0	1.6	0.0	12.0	0.0	12.3	0.0	3.9	0.0	6.6	0.0
<i>Marzo</i>	17.2	0.0	0.6	0.0	5.9	0.0	4.1	0.0	2.7	0.0	3.9	0.0
<i>Aprile</i>	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0
<i>Maggio</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Giugno</i>	0.0	54.2	0.0	2.8	0.0	16.6	0.0	27.8	0.0	1.0	0.0	6.0
<i>Luglio</i>	0.0	89.0	0.0	4.7	0.0	25.4	0.0	45.2	0.0	3.4	0.0	10.2
<i>Agosto</i>	0.0	84.5	0.0	4.6	0.0	21.8	0.0	45.6	0.0	3.4	0.0	9.0
<i>Settembre</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Novembre</i>	18.4	0.0	0.6	0.0	7.2	0.0	4.4	0.0	2.0	0.0	4.2	0.0
<i>Dicembre</i>	46.2	0.0	2.0	0.0	15.4	0.0	15.8	0.0	4.6	0.0	8.3	0.0
TOTALE	168.8	227.6	7.1	12.1	56.9	63.9	54.3	118.7	18.6	7.8	31.9	25.3
[kWh/m²]												
TOTALE	32.8	44.3	22.1	37.7	39.1	43.9	23.7	51.7	29.0	12.1	74.2	58.7

Tabella 15. 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 <i>Tailored</i>	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[MWh]											
Gennaio	29.7	0.0	1.2	0.0	9.2	0.0	9.2	0.0	3.5	0.0	6.5	0.0
Febbraio	18.9	0.0	0.8	0.0	6.3	0.0	4.5	0.0	2.6	0.0	4.7	0.0
Marzo	4.1	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.8	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	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	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	43.2	0.0	2.4	0.0	14.6	0.0	22.6	0.0	0.0	0.0	3.7
Luglio	0.0	72.1	0.0	4.2	0.0	22.5	0.0	38.2	0.0	0.0	0.0	7.1
Agosto	0.0	67.6	0.0	4.1	0.0	18.9	0.0	38.6	0.0	0.2	0.0	5.9
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	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	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	4.8	0.0	0.1	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	2.1	0.0
Dicembre	23.5	0.0	1.1	0.0	8.5	0.0	4.6	0.0	3.2	0.0	6.2	0.0
TOTALE	81.0	183.0	3.1	10.8	27.5	55.9	18.3	99.4	10.8	0.2	21.3	16.7
[kWh/m ²]												
TOTALE	15.8	35.6	9.7	33.5	18.9	38.4	8.0	43.3	16.8	0.4	49.5	38.8

Tabella 16. 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 <i>Standard</i>	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[MWh]											
Gennaio	28.2	0.0	1.2	0.0	8.0	0.0	11.6	0.0	2.6	0.0	4.7	0.0
Febbraio	24.5	0.0	1.1	0.0	6.9	0.0	9.9	0.0	2.5	0.0	4.1	0.0
Marzo	6.9	0.0	0.2	0.0	2.2	0.0	1.4	0.0	1.4	0.0	1.7	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	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	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	59.3	0.0	3.1	0.0	18.1	0.0	29.5	0.0	1.8	0.0	6.8
Luglio	0.0	85.7	0.0	4.6	0.0	24.7	0.0	42.6	0.0	3.8	0.0	10.0
Agosto	0.0	83.3	0.0	4.5	0.0	22.4	0.0	43.4	0.0	3.8	0.0	9.2
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	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	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	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	19.6	0.0	0.8	0.0	5.7	0.0	7.9	0.0	1.7	0.0	3.5	0.0
TOTALE	79.2	228.4	3.4	12.2	22.7	65.2	30.8	115.6	8.3	9.4	14.0	26.0
[kWh/m ²]												
TOTALE	15.4	44.4	10.5	38.0	15.6	44.8	13.4	50.4	12.9	14.6	32.6	60.5

Tabella 17. 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 <i>Tailored</i>	Edificio		Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5	
	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$	$Q_{H,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[MWh]											
Gennaio	12.7	0.0	0.4	0.0	3.2	0.0	4.8	0.0	1.3	0.0	3.0	0.0
Febbraio	8.6	0.0	0.2	0.0	2.1	0.0	2.4	0.0	1.3	0.0	2.6	0.0
Marzo	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.6	0.0
Aprile	0.0	0.0	0.0	0.0	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	0.0	0.0	0.0	0.0
Giugno	0.0	46.2	0.0	2.7	0.0	15.7	0.0	23.6	0.0	0.0	0.0	4.1
Luglio	0.0	68.2	0.0	4.1	0.0	21.7	0.0	35.4	0.0	0.1	0.0	6.8
Agosto	0.0	66.1	0.0	4.0	0.0	19.3	0.0	36.2	0.0	0.5	0.0	6.0
Settembre	0.0	0.0	0.0	0.0	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	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	0.0	0.0	0.0	0.0
Dicembre	5.9	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	2.1	0.0	0.4	0.0	2.0	0.0
TOTALE	27.9	180.5	0.6	10.8	6.7	56.7	9.3	95.3	3.3	0.6	8.1	17.0
	[kWh/m ²]											
TOTALE	5.4	35.1	1.9	33.8	4.6	39.0	4.0	41.5	5.1	0.9	18.8	39.6

I prospetti riassuntivi dei fabbisogni annui di energia termica utile per il riscaldamento e per il raffrescamento per le singole zone termiche, con valutazione *Standard* e *Tailored*, sono riportati in [Tabella 18](#) e [Tabella 19](#). Le tabelle riportano i valori calcolati per la valutazione *Standard* e *Tailored*, per ogni zona termica e per tutto l'edificio. Dall'analisi dei risultati di calcolo si nota che, come previsto, in assetto *Tailored* il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento ed il raffrescamento è sempre inferiore al caso *Standard*. La riduzione del fabbisogno di riscaldamento, passando dal caso *Standard* al caso *Tailored*, è tanto maggiore quanto maggiore è la richiesta; infatti, tale riduzione è pari al 40.5% a Milano, al 52.0% a Roma, e al 64.7% a Palermo. Relativamente al fabbisogno di raffrescamento, non si nota una sostanziale differenza tra le zone climatiche indagate; infatti, la riduzione percentuale di energia termica è pari 21.9% a Milano, al 19.6% a Roma, e al 21.0% a Palermo. Gli andamenti dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffrescamento per l'edificio simulato nelle tre località e per le due modalità di calcolo, *Standard* e *Tailored*, sono riportati in [Figura 16](#).

Tabella 18. Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh].

UNI EN ISO 11300	MILANO		ROMA		PALERMO	
	Valutazione <i>Standard</i>	Valutazione <i>Tailored</i>	Valutazione <i>Standard</i>	Valutazione <i>Tailored</i>	Valutazione <i>Standard</i>	Valutazione <i>Tailored</i>
Zona termica 1	15.7	8.2	7.1	3.1	3.4	0.6
Zona termica 2	101.0	59.9	56.9	27.5	22.7	6.7
Zona termica 3	128.8	65.2	54.3	18.3	30.8	9.3
Zona termica 4	31.7	22.9	18.6	10.8	8.3	3.3
Zona termica 5	53.7	40.7	31.9	21.3	14.0	8.1
Totale edificio	331.0	196.9	168.8	81.0	79.2	27.9

Tabella 19. Fabbisogno annuo di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh].

UNI EN ISO 52016	MILANO		ROMA		PALERMO	
	Valutazione Standard	Valutazione Tailored	Valutazione Standard	Valutazione Tailored	Valutazione Standard	Valutazione Tailored
Zona termica 1	9.5	8.2	12.1	10.8	12.2	10.8
Zona termica 2	49.2	42.2	63.9	55.9	65.2	56.7
Zona termica 3	93.9	76.3	118.7	99.4	115.6	95.3
Zona termica 4	5.0	0.0	7.8	0.2	9.4	0.6
Zona termica 5	18.5	10.8	25.3	16.7	26.0	17.0
Totale edificio	176.2	137.5	227.6	183.0	228.4	180.5

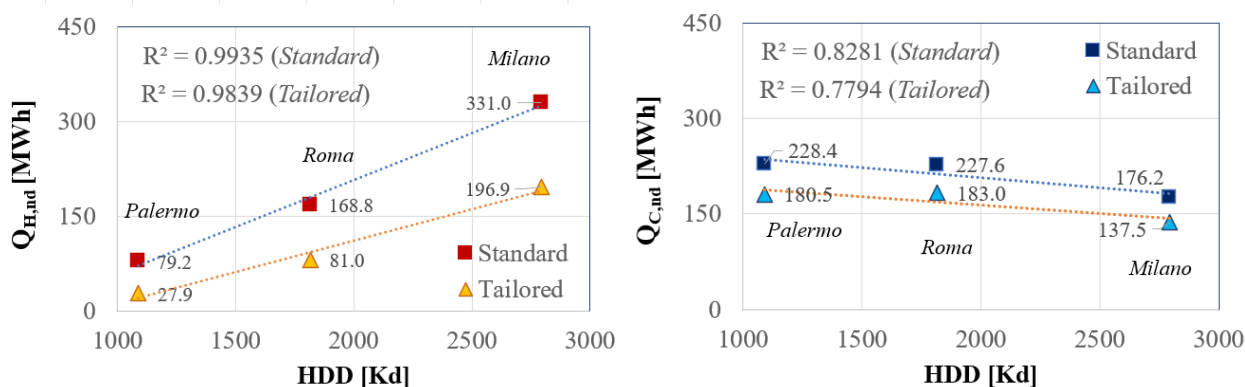


Figura 16. Trend dei fabbisogni di energia termica e frigorifera in funzione del grado giorno (HDD) – calcolo Standard e Tailored.

I prospetti riassuntivi dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento e raffrescamento riferiti alla superficie di calpestio climatizzata sono riportati per completezza in [Tabella 20](#) e [Tabella 21](#).

Tabella 20. 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 Tailored	Valutazione Standard	Valutazione Tailored	Valutazione Standard	Valutazione Tailored
Zona termica 1	48.9	25.7	22.1	9.7	10.5	1.9
Zona termica 2	69.4	41.1	39.1	18.9	15.6	4.6
Zona termica 3	56.2	28.4	23.7	8.0	13.4	4.0
Zona termica 4	49.5	35.8	29.0	16.8	12.9	5.1
Zona termica 5	125.0	94.6	74.2	49.5	14.0	18.8
Totale edificio	64.4	38.3	32.8	15.8	15.4	5.4

Tabella 21. Fabbisogno specifico annuo di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [kWh].

UNI EN ISO 52016	MILANO		ROMA		PALERMO	
	Valutazione Standard	Valutazione Tailored	Valutazione Standard	Valutazione Tailored	Valutazione Standard	Valutazione Tailored
Zona termica 1	29.6	25.6	37.7	33.5	38.0	33.8
Zona termica 2	33.8	29.0	43.9	38.4	44.8	39.0
Zona termica 3	40.9	33.3	51.7	43.3	50.4	41.5
Zona termica 4	7.8	0.0	12.1	0.4	14.6	0.9
Zona termica 5	43.1	10.8	58.7	38.8	60.5	39.6
Totale edificio	34.3	26.7	44.3	35.6	44.4	35.1

Gli istogrammi riportati in **Figura 17**, **Figura 18** e **Figura 19** mostrano, invece, per ogni singola zona termica e per tutto l'edificio i valori dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento annuali specifici (kWh/m^2), sempre calcolati in modalità *Standard* e *Tailored*, rispettivamente per Milano, Roma e Palermo.

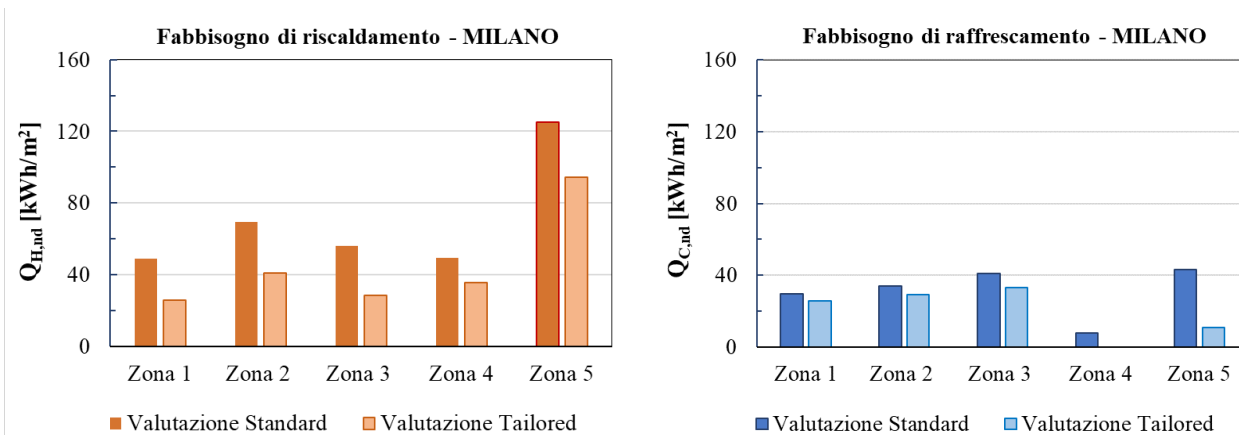


Figura 17. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Milano, UNI TS 11300.

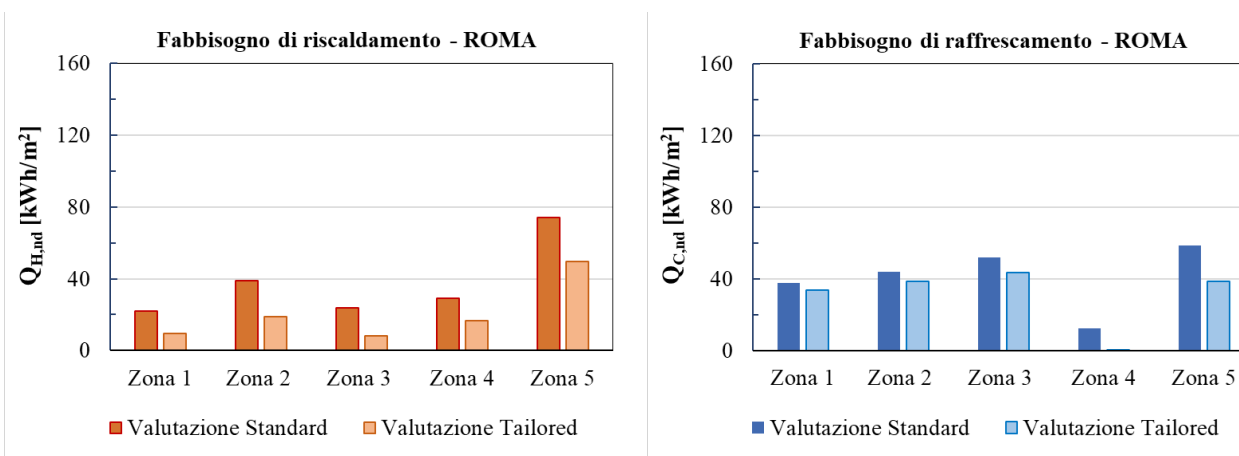


Figura 18. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Roma, UNI TS 11300.

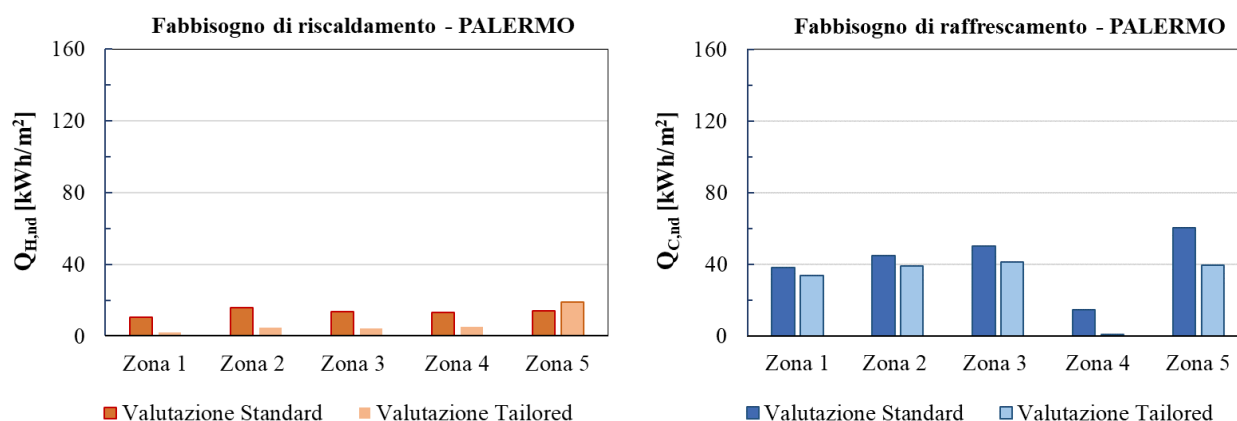


Figura 19. Fabbisogno di riscaldamento (sinistra) e raffrescamento (destra) relativo alle singole zone termiche e all'intero edificio – Palermo, UNI TS 11300.

Coerentemente con i risultati attesi, le principali considerazioni dell'analisi svolta possono essere riassunte come di seguito:

- la Zona 5 (servizi igienici) risulta sempre essere quella con maggiore richiesta di energia per il riscaldamento (quasi il doppio della media delle altre zone), visto il maggior carico di ventilazione;
- la Zona 4 (disimpegno), essendo una zona interna non soggetta a carico solare, presenta un fabbisogno di raffrescamento ridotto rispetto alle altre zone termiche, tendente a zero nel caso di calcolo *Tailored*;
- i fabbisogni di energia 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 15.4 a 64.4 kWh/m²), a differenza di quello di raffrescamento che mostra un decremento più contenuto passando da Palermo a Milano (i.e. da 44.4 a 34.3 kWh/m²);
- dall'analisi dei risultati, si evince che il fabbisogno di riscaldamento, passando da Palermo a Milano, cresce linearmente rispetto ai gradi giorno, HDD, con valori dello scarto quadratico medio (R^2 , **Figura 16**) superiori al 99%; anche il fabbisogno di raffrescamento presenta un andamento abbastanza lineare in funzione degli HDD, tuttavia con valori dell' R^2 più contenuti.

Infine, i risultati annui delle simulazioni relativi al fabbisogno di energia primaria, calcolato secondo la UNI TS 11300-5 sono riportati in **Tabella 22**, per tutte le località e per le condizioni di funzionamento, nonché per i 2 scenari di impianto simulati (si veda il paragrafo 2.4 - *Sistemi impiantistici*).

Tabella 22. $Q_{H,nd}$, $Q_{C,nd}$, e fabbisogni di energia primaria non rinnovabile, $E_{P,nren}$, per l'intero edificio [kWh/m²].

UNI EN ISO 11300	Scenario impiantistico	Standard		Tailored		Standard		Tailored	
		$Q_{H,nd}$	$E_{P,nren}$	$Q_{H,nd}$	$E_{P,nren}$	$Q_{C,nd}$	$E_{P,nren}$	$Q_{C,nd}$	$E_{P,nren}$
MILANO	Scenario 1	64.4	83.2	38.3	57.0	34.3	28.0	26.7	23.2
	Scenario 2		55.8		33.4		28.0		23.2
ROMA	Scenario 1	32.8	42.1	15.8	25.9	44.3	38.0	35.6	29.9
	Scenario 2		26.1		12.3		38.0		29.9
PALERMO	Scenario 1	15.4	19.7	5.4	9.5	44.4	39.0	35.1	30.3
	Scenario 2		10.6		3.6		39.0		30.3

4 Metodi di calcolo a confronto: risultati delle simulazioni effettuati secondo i metodi alla base delle norme UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 e del software OpenBPS

L'edificio uffici è stato utilizzato per confronto dei risultati di calcolo del fabbisogno energetico di riscaldamento e raffrescamento ottenuti secondo:

- il metodo stazionario della UNI TS 11300-1, a cura dell'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 di ricerca del Politecnico di Torino;
- il metodo dinamico dettagliato implementato nel software OpenBPS, a cura dell'unità di ricerca del Politecnico di Milano.

Il confronto tra i risultati delle simulazioni ottenuti con i tre suddetti metodi sono stati confrontati anche al fine di valutare la prestazione del metodo stazionario (UNI TS 11300-1) e di quello dinamico orario (UNI EN ISO 52016-1) rispetto al metodo dinamico dettagliato (OpenBPS) considerato come riferimento. Il confronto dei risultati è finalizzato ad individuare la metodologia più idonea per la stima dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento di edifici non-residenziali (uffici), anche ai fini della redazione dell'attestato di prestazione energetica in relazione alle potenziali condizioni di funzionamento dell'impianto e/o di utilizzo degli edifici ad uso ufficio.

Al fine di assicurare l'affidabilità dei modelli di simulazione utilizzati per le simulazioni, l'attività di confronto dei risultati è stata effettuata a valle di un processo iterativo di analisi e debugging necessario alla corretta individuazione delle cause di discrepanza tra gli output.

I risultati del confronto, prodotti per le località di Milano (zona climatica E), Roma (zona climatica D) e Palermo (zona climatica B), sono riportati e commentati di seguito. Per ogni condizione climatica / località, i risultati ottenuti con il metodo stazionario (UNI TS 11300) e dinamico orario (UNI EN ISO 52016) sono stati confrontati con gli output prodotti da OpenBPS (considerato come riferimento) considerando due opzioni relativi ai coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali, così implementati in OpenBPS:

V1: *variabili nel tempo;*

V2: *costanti come da norma ISO 13789.*

4.1 Risultati del confronto - Milano

Le principali caratteristiche climatiche della zona climatica di Milano sono riportate in **Tabella 23**. 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 23. 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 24** e **Tabella 25** si riportano i fabbisogno mensili e totali di energia termica utile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) dell'intero edificio uffici, calcolati sulla base delle UNI EN ISO 52016, delle UNI TS 11300 e di Open BPS (considerando costanti i coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali, V1), secondo le valutazioni *Standard* e *Tailored*.

In **Figura 20** e **Figura 21** si riportano i dati mensili di **Tabella 24** e **Tabella 25** per una più immediata visualizzazione dei risultati. Dall'analisi di **Tabella 24** e **Figura 20** - 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 mediamente comparabili;
- 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 68,5% per la UNI EN ISO 52016-1 e 76,4% 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.

Dall'analisi di **Tabella 25** e **Figura 21** -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 e le UNI EN ISO 52016 sono sempre superiori a quelli ottenuti con OpenBPS;
- 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. Le UNI TS 11300

producono risultati annuali che possono essere considerati baricentrici rispetto ai due metodi dinamici;

- su base annua, l'incremento percentuale del fabbisogno di energia termica stimato con le norme rispetto al dato di riferimento di OpenBPS è pari al 69,5% per la UNI EN ISO 52016-1 e 33,5% 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.

Tabella 24. 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	82.3	83.3	51.3	31.0	60.3	32.0	62.2
Febbraio	46.5	50.8	25.6	20.9	81.5	25.1	97.9
Marzo	19.5	28.1	8.8	10.8	122.8	19.3	220.1
Aprile	4.1	5.0	0.9	3.2	374.0	4.1	476.0
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	12.7	11.7	6.4	6.4	99.9	5.3	83.0
Novembre	55.7	59.6	31.2	24.5	78.5	28.4	90.9
Dicembre	95.5	92.7	63.5	32.0	50.3	29.2	45.9
TOTALE	316	331	188	128.7	68.5	143	76.4

Tabella 25. 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	68.1	56.8	42.6	25.4	59.7	14.2	33.3
Febbraio	35.9	31.1	19.2	16.7	86.7	11.9	61.6
Marzo	13.5	10.7	6.1	7.4	122.2	4.6	76.2
Aprile	2.3	0.9	0.4	1.8	446.6	0.4	108.8
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	8.5	3.1	4.0	4.6	115.7	-0.9	-22.1
Novembre	43.2	29.6	23.6	19.6	83.0	6.0	25.2
Dicembre	78.4	64.8	51.5	26.9	52.3	13.3	25.8
TOTALE	250	197	147	102.5	69.5	49	33.5

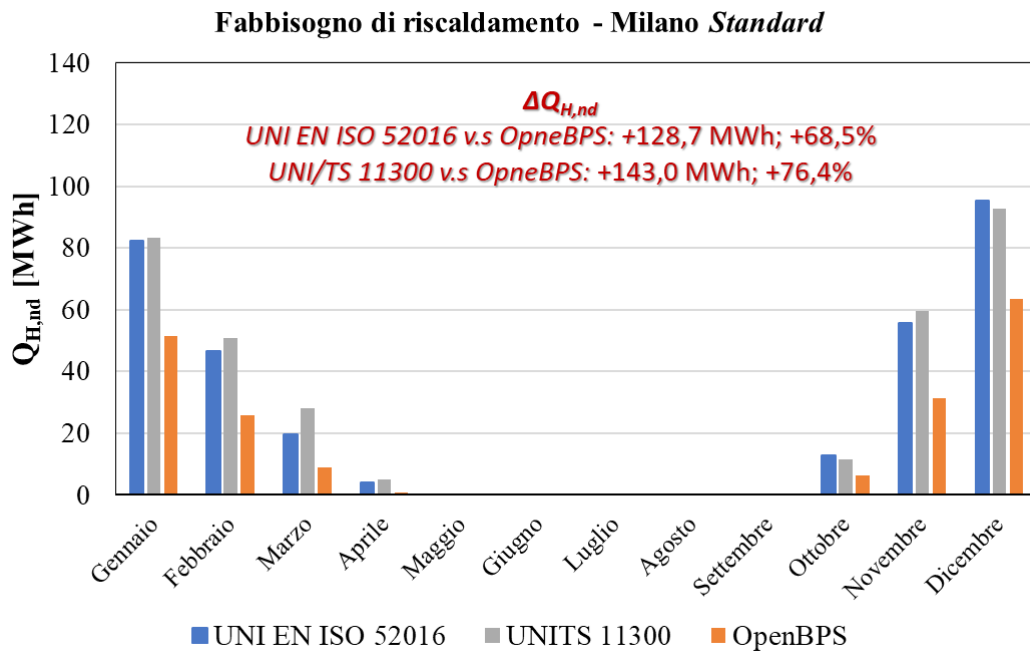


Figura 20. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Standard*, Milano

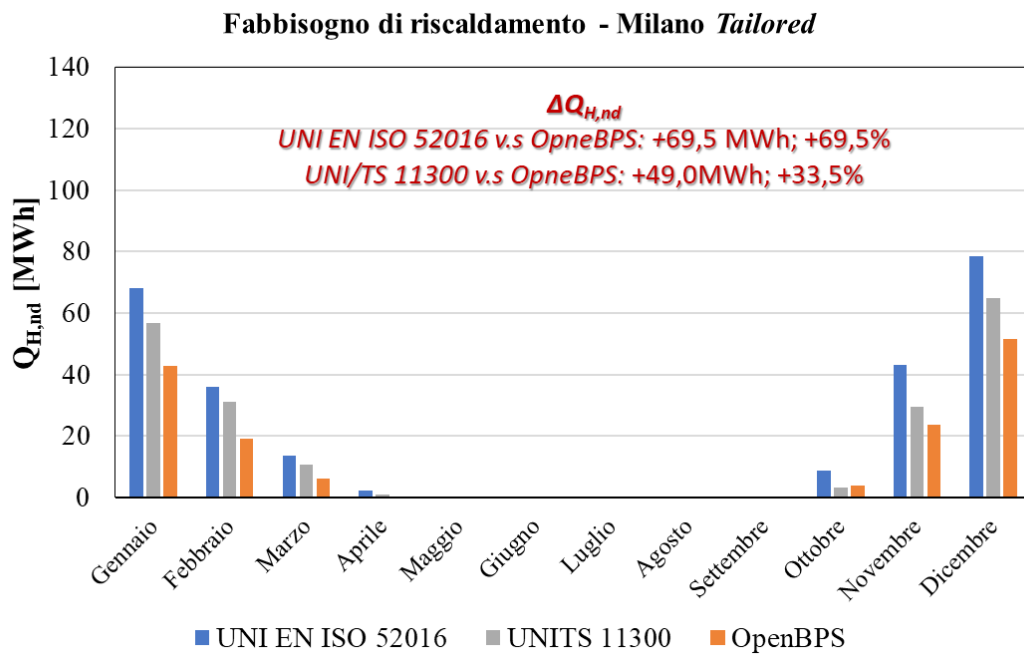


Figura 21. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Tailored*, Milano

I risultati relativi al fabbisogno di raffrescamento sono riportati in **Tabella 26** e **Tabella 27**, ove si 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 26. 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	87.8	50.6	91.3	-3.5	-3.8	-40.7	-44.6
Luglio	97.6	66.8	98.8	-1.2	-1.3	-32.0	-32.4
Agosto	89.9	58.8	93.5	-3.6	-3.9	-34.7	-37.1
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	275.3	176.2	283.6	-8.3	-2.9	-107.4	-37.9

Tabella 27. 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]	[%]
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	75.2	39.6	75.6	-0.4	-0.5	-36.0	-47.6
Luglio	88.9	52.7	86.7	2.2	2.6	-34.0	-39.2
Agosto	81.2	45.2	81.7	-0.4	-0.5	-36.4	-44.6
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	245.4	137.5	243.9	1.4	0.6	-106.4	-43.6

Come per il caso invernale, per una migliore visualizzazione dei risultati, **Figura 22** e **Figura 23** forniscono i dati di **Tabella 26** e **Tabella 27** in forma grafica. Dall'analisi dei fabbisogni di raffrescamento $Q_{C,nd}$ è possibile evincere che:

- sia le UNI TS 11300 sottostimano sempre i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati con OpenBPS, sia mensilmente che annualmente, a differenza delle UNI EN ISO 52016 per cui i risultati sono quasi allineati con i valori di OpenBPS;
- i risultati ottenuti con le norme UNI TS 11300 sottostimano significativamente i valori ottenuti con OpenBPS, mostrando uno scostamento medio annuale pari al: -37,9% nel caso di valutazione *Standard* e -43,6% per la *Tailored*;
- i risultati ottenuti con le UNI EN ISO 52016 sono, invece, confrontabili con quelli prodotti con il metodo dinamico dettagliato alla base di OpenBPS, sottolineando la maggiore affidabilità del metodo dinamico orario rispetto a quello stazionario. Le differenze percentuali tra i dati ottenuti con le UNI EN ISO 52016 rispetto a quelli di OpenBPS sono pari a: -2,6% per la valutazione *Standard* e +0,6% per la valutazione *Tailored*.

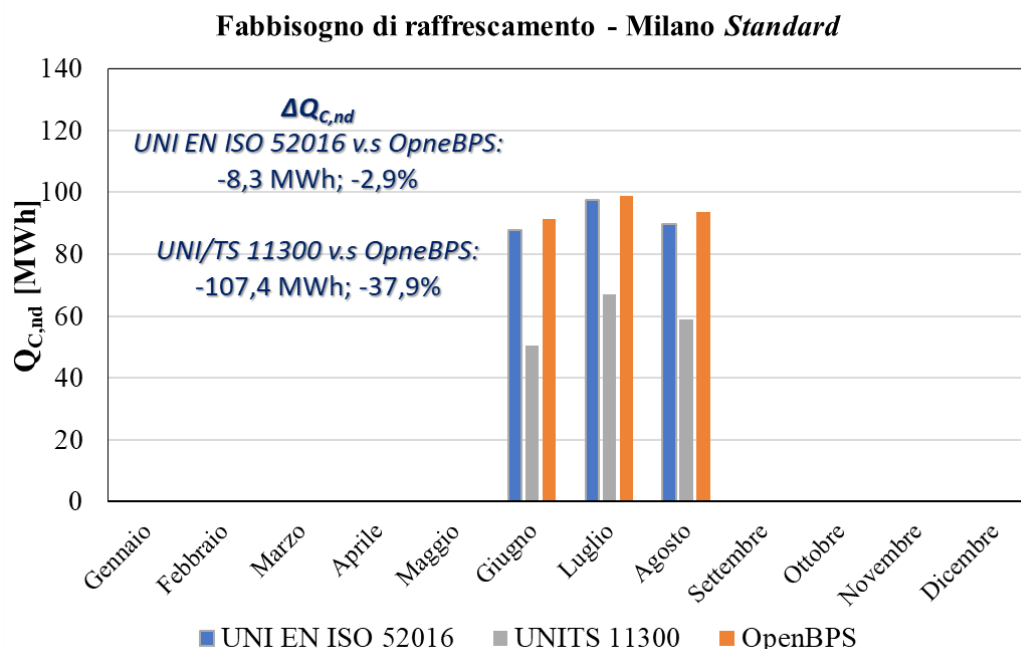


Figura 22. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Standard*, Milano

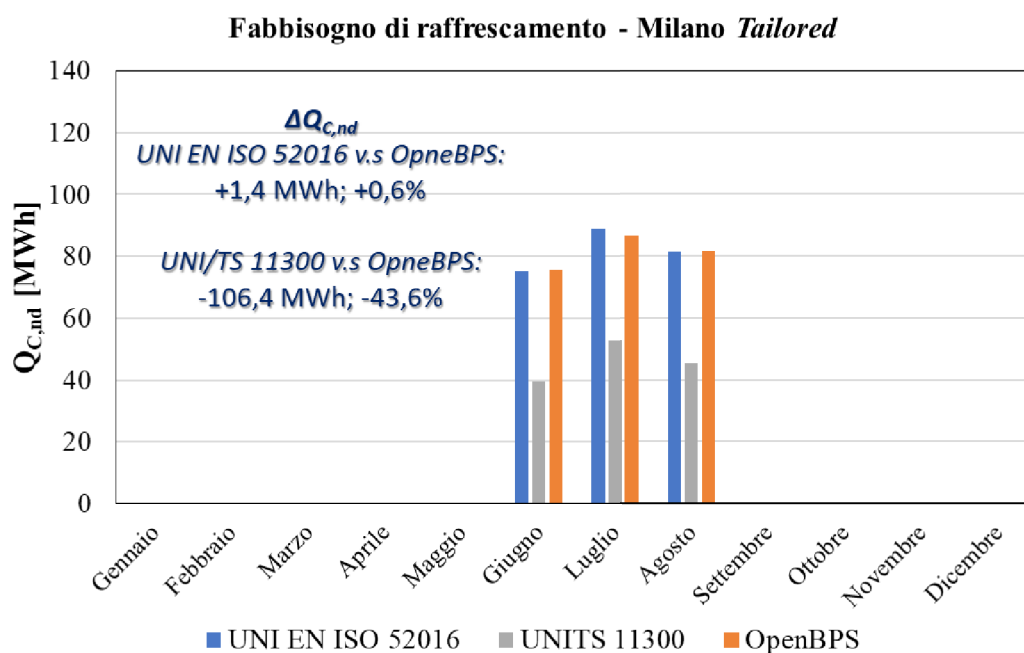


Figura 23. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Tailored*, Milano

4.1.2 Riferimento: OpenBPS (V2)

Considerando i coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali *come da norma ISO 13789, ossia costanti*, e quindi passando all'opzione V2 di OpenBPS, 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 28** e **Tabella 29** 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*. **Figura 24** e **Figura 25** riportano i risultati tabellari in forma grafica.

Rispetto all'opzione V1 (i.e. coefficienti di scambio convettivo –radiativo superficiali *variabili*), con l'opzione V2 i valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con OpenBPS sono molto più prossimi ai valori ottenuti con le UNI TS 11300 e le UNI EN ISO 52016. In ogni caso, i valori di $Q_{H,nd}$ calcolati con OpenBPS (V2) sono comunque inferiori ai valori calcolati con le norme, e sempre più elevati dei valori ottenuti con OpenBPS (V1): $Q_{H,nd}$ annuo passa da 188 MWh a 264 MWh in asset rating, e da 147 MWh a 208 MWh in tailored rating. Di conseguenza, è possibile evidenziare che:

- con la 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 rispetto al caso V1, con valori pari a: a +20,0% per le UNI EN ISO 52016 e +25,5% per le 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 che si comportano come nel caso *Standard*. Rispetto al caso V1, lo scostamento percentuale rispetto ai dati delle OpenBPS resta pari al +20,0% per le UNI EN ISO 52016, e si riduce al -5,4% per le UNI TS 11300.

Tabella 28. 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 (V2)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V2)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
<i>Gennaio</i>	82.3	83.3	69.1	13.2	19.2	14.2	20.6
<i>Febbraio</i>	46.5	50.8	38.2	8.3	21.8	12.5	32.8
<i>Marzo</i>	19.5	28.1	16.1	3.4	21.4	12.0	74.5
<i>Aprile</i>	4.1	5.0	3.0	1.1	37.5	2.0	67.1
<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>	12.7	11.7	10.3	2.5	24.0	1.4	13.5
<i>Novembre</i>	55.7	59.6	44.9	10.8	24.1	14.7	32.7
<i>Dicembre</i>	95.5	92.7	82.2	13.3	16.1	10.5	12.7
TOTALE	316	331	264	52.7	20.0	67	25.5

Tabella 29. 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 (V2)	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V2)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
<i>Gennaio</i>	68.1	56.8	57.6	10.4	18.1	-0.8	-1.4
<i>Febbraio</i>	35.9	31.1	29.2	6.7	23.0	1.9	6.5
<i>Marzo</i>	13.5	10.7	11.3	2.2	19.2	-0.6	-5.5
<i>Aprile</i>	2.3	0.9	1.6	0.7	42.5	-0.7	-45.6
<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>	8.5	3.1	6.7	1.8	27.1	-3.6	-54.1
<i>Novembre</i>	43.2	29.6	34.5	8.7	25.4	-4.9	-14.2
<i>Dicembre</i>	78.4	64.8	67.3	11.1	16.5	-2.5	-3.7
TOTALE	250	197	208	41.7	20.0	-11	-5.4

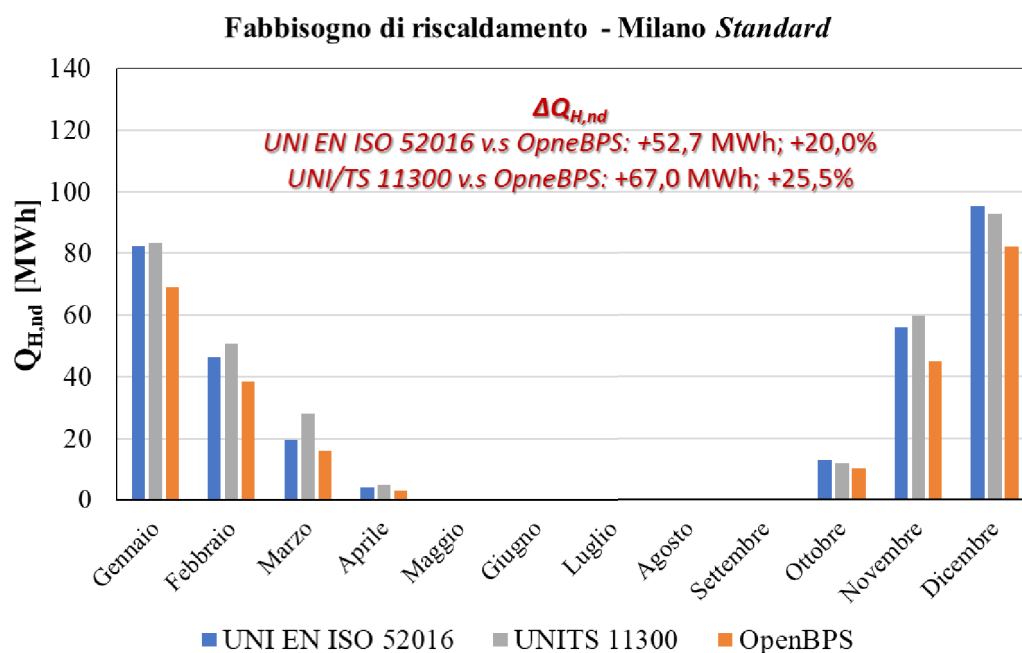


Figura 24. Fabbisogno di riscaldamento, confronto UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Standard*, Milano

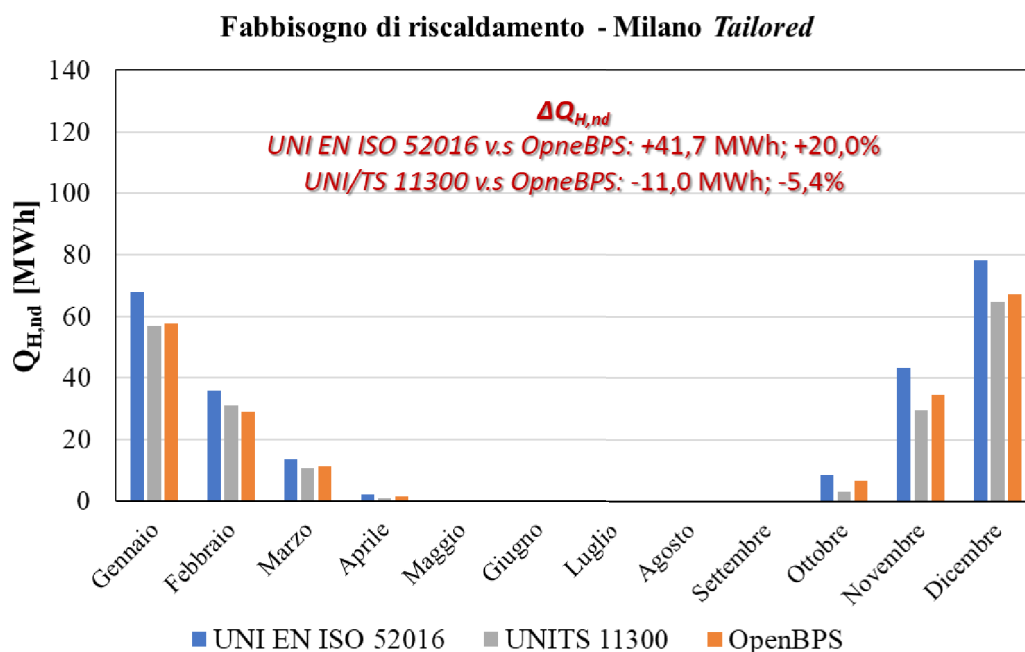


Figura 25. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Tailored*, Milano

Nel caso estivo, come mostrato dalla Tabella 30 e Tabella 31, e dalle rispettive Figura 26 e Figura 27, i risultati relativi al fabbisogno di raffrescamento, $Q_{C,nd}$, migliorano leggermente per le UNI TS 11300 e peggiorano di poco per le UNI EN ISO 52016 rispetto ad OpenBPS. Nello specifico, si ha che:

- le UNI EN ISO 52016 forniscono risultati molto simili a quelli ottenuti con OpenBPS. Le differenze percentuali sono infatti pari a: +7,4% per il calcolo *Standard* e a +12,3% per quello *Tailored*;
- i valori calcolati con le UNI TS 11300 risultano sottostimare quelli ottenuti con OpenBPS, per una differenza percentuale annua pari al: -31,2% nel caso *Standard*, e -37,1% nel caso *Tailored*.

Tabella 30. 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 (V2)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V2)	
	[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	87.8	50.6	80.2	7.6	9.4	-29.7	-37.0
Luglio	97.6	66.8	90.1	7.5	8.3	-23.3	-25.8
Agosto	89.9	58.8	85.9	4.0	4.6	-27.1	-31.6
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	275.3	176.2	256.3	19.0	7.4	-80.1	-31.2

Tabella 31. 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 (V2)		UNITS 11300 vs. OpenBPS (V2)	
	[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	75.2	39.6	66.1	9.2	13.9	-26.5	-40.1
Luglio	88.9	52.7	78.4	10.5	13.4	-25.7	-32.8
Agosto	81.2	45.2	74.1	7.1	9.6	-28.9	-38.9
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	245.4	137.5	218.6	26.8	12.3	-81.1	-37.1

La differenza percentuale riscontrata tra il valore di $Q_{C,nd}$ fornito dalle UNI TS 11300 e quello prodotto da OpenBPS si riduce di 7 punti percentuali, passando dall'opzione V1 all'opzione V2, dato che il fabbisogno di raffreddamento valutato con i coefficienti di scambio termico radiativo-convettivo superficiali costanti, *come da norma UNI EN ISO 52016-1*; scende (avvicinandosi al dato delle UNI TS 11300) da risultando 283,6 a 256,3 MWh per la valutazione Standard e da 243,9 a 218,6 MWh per la valutazione Tailored.

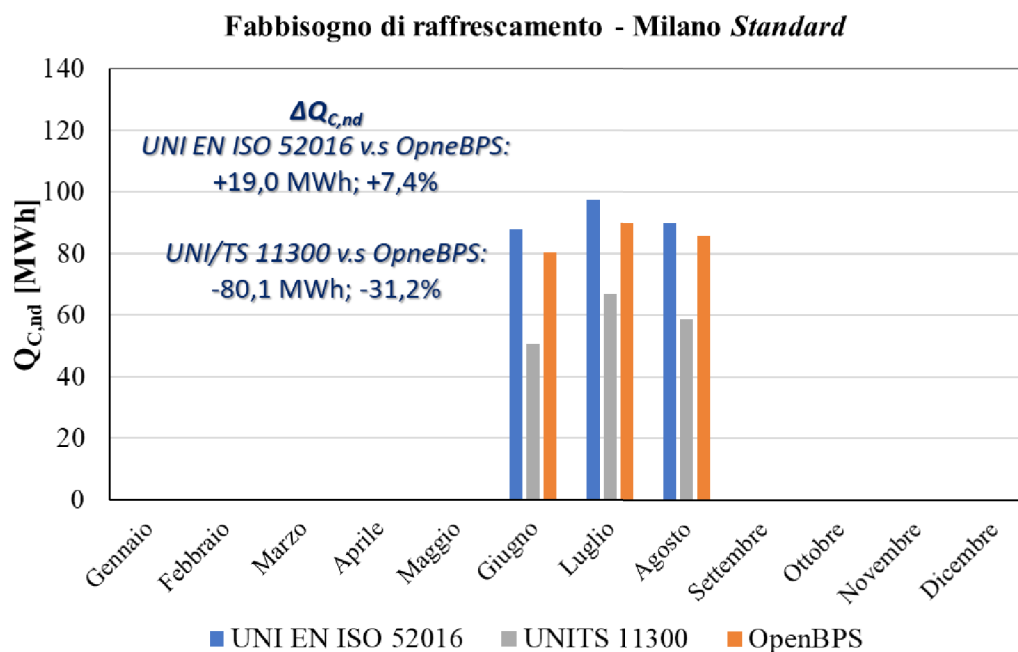


Figura 26. Fabbisogno di raffreddamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione Standard, Milano

Implementando in OpenBPS i coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali *come da norma ISO 13789*, si verifica una riduzione delle discrepanze tra i valori di $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$ calcolati con il metodo stazionario (UNI TS 11300) e quello dinamico di OpenBPS, con una netta riduzione delle differenze percentuali, sia su base mensile che annuale.

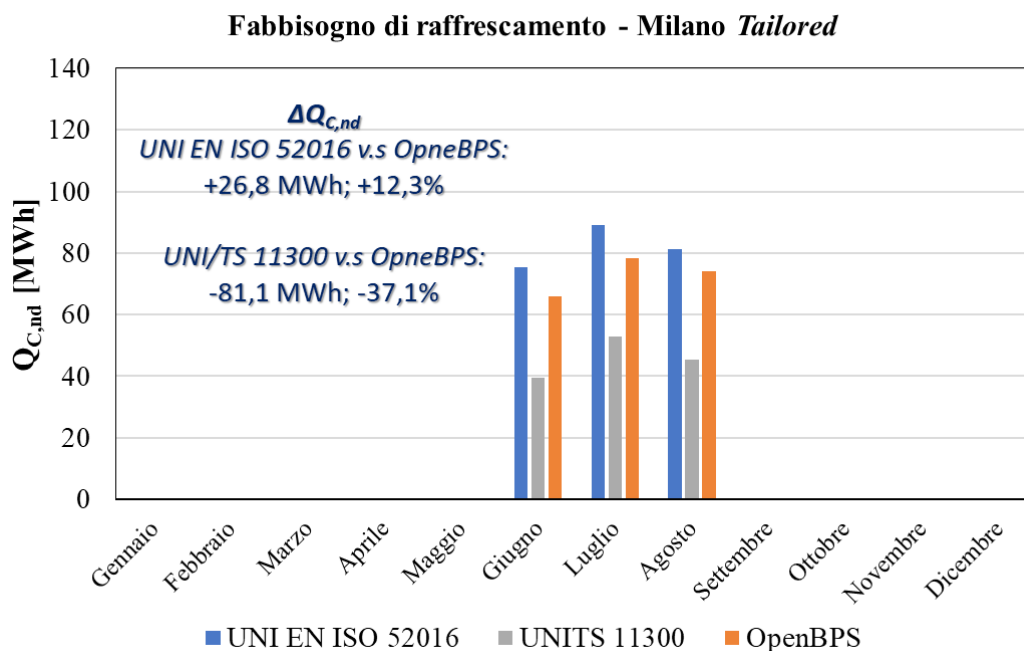


Figura 27. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Tailored*, Milano

Le aliquote che determinano il calcolo dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento, ossia lo scambio termico per trasmissione, per ventilazione, gli apporti interni e solari, sono stati anch'essi confrontati. Nello specifico, sono state confrontate le aliquote dei fabbisogni di energia termica, ossia l'aliquota:

- 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;
- dovuta alle sorgenti di calore interne.

Le figure successive 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 e V2 di *OpenBPS* per la trasmissione e ventilazione, **Figura 28**;
- valutazione *Standard* ed opzione V1 o V2 di *OpenBPS* per gli apporti solari e quelli interni, **Figura 29**;
- valutazione *Tailored* ed opzione V1 e V2 di *OpenBPS* per la trasmissione e ventilazione, **Figura 30**;
- valutazione *Tailored* ed opzione V1 o V2 di *OpenBPS* per gli apporti solari e quelli interni, **Figura 31**.

Dal grafico relativo all'energia termica scambiata per trasmissione riportato in **Figura 28** (a sinistra per l'opzione V1 e a destra per quella V2) – valutazione *Standard* – si nota che l'energia scambiata per trasmissione da OpenBPS è mediamente inferiore rispetto a quella calcolata dalla UNI EN ISO 52016, mentre passando dal caso V1 al caso V2, le aliquote invernali di OpenBPS tendono a combaciare con quelle della norma UNI TS 11300, presentando un segno negativo durante la stagione estiva. Le aliquote relative alla trasmissione presentano un valore quasi triplo rispetto a quelle relative alle infiltrazioni, soprattutto durante la stagione invernale; le aliquote mensili relative alla trasmissione valutate con OpenBPS tendono a combaciare con quelle calcolate con l'opzione V2, comportando sostanzialmente che il valore di $Q_{H,nd}$ calcolato da OpenBPS tenda ad avvicinarsi a quelli calcolati sulla base delle norme UNI TS 11300 ed UNI EN

ISO 52016; viceversa succede durante la stagione estiva relativamente a $Q_{c,nd}$. In generale, passando dall'opzione V1 (Figura 28, sinistra) all'opzione V2 (Figura 28, destra), 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 24 e Figura 26). Per il particolare edificio, molto finestrato e quindi con apporti solari e dispersioni significative, l'energia termica scambiata per trasmissione è maggiore di quella scambiata per ventilazione (Figura 28). Pertanto, il calcolo relativo alla UNI TS 11300 nei mesi in cui si verifica l'inizio e la fine della stagione di riscaldamento (mese 4 –aprile e mese 10 – ottobre; per Milano la stagione di riscaldamento è consentita dal 15 ottobre al 15 aprile per un numero massimo di ore giornaliere pari a 14) restituisce una riduzione sostanziale di tutte le aliquote calcolate; ciò è dovuto alla durata della stagione del mese che, secondo quanto dispone la norma, dipende dal *rapporto adimensionale apporti – dispersioni*. Per l'edificio oggetto dello studio (edificio uffici molto finestrato), si verifica un troncamento della durata del mese ai fini del riscaldamento (t , UNI TS 11300-1), con riduzione delle suddette aliquote nei mesi di ottobre (inizio) e aprile (fine), ed in particolare di quelle relative agli apporti interni e solari (Figura 29).

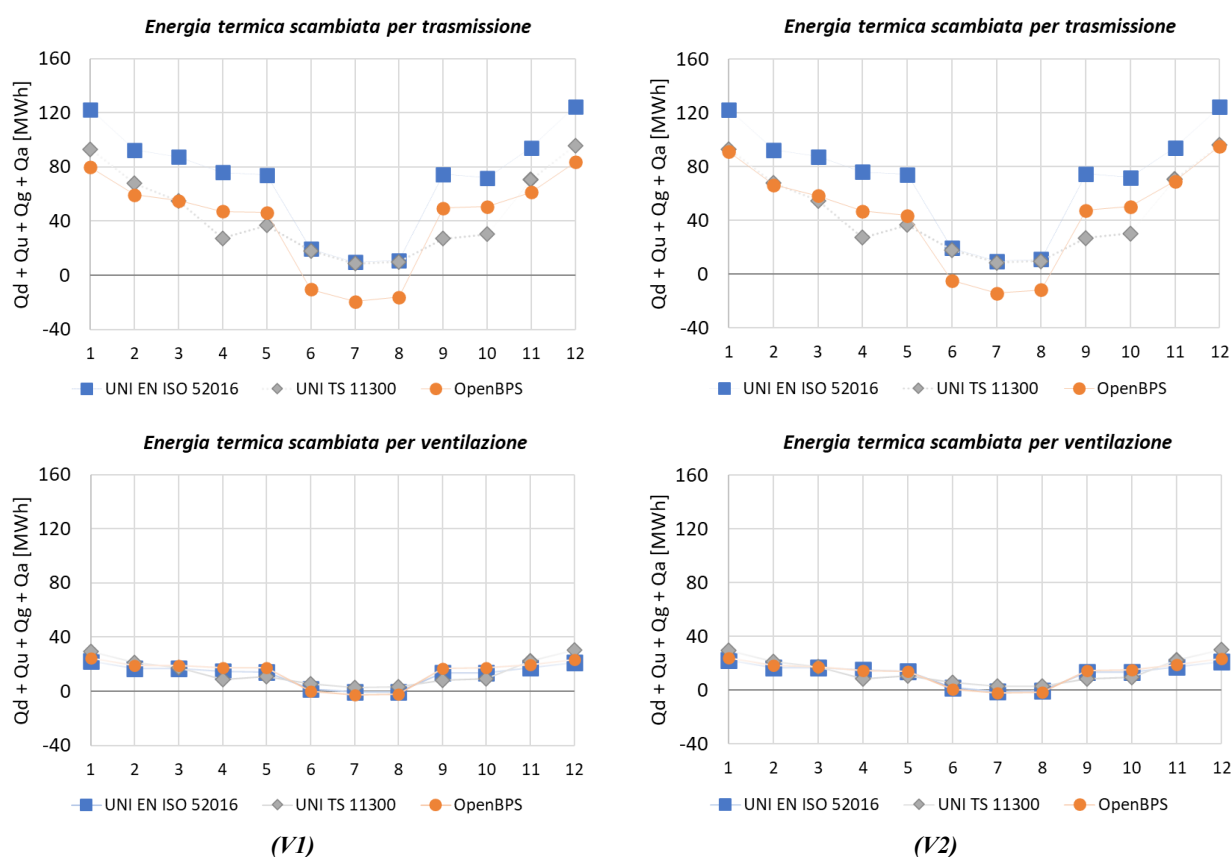


Figura 28. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Standard, Milano

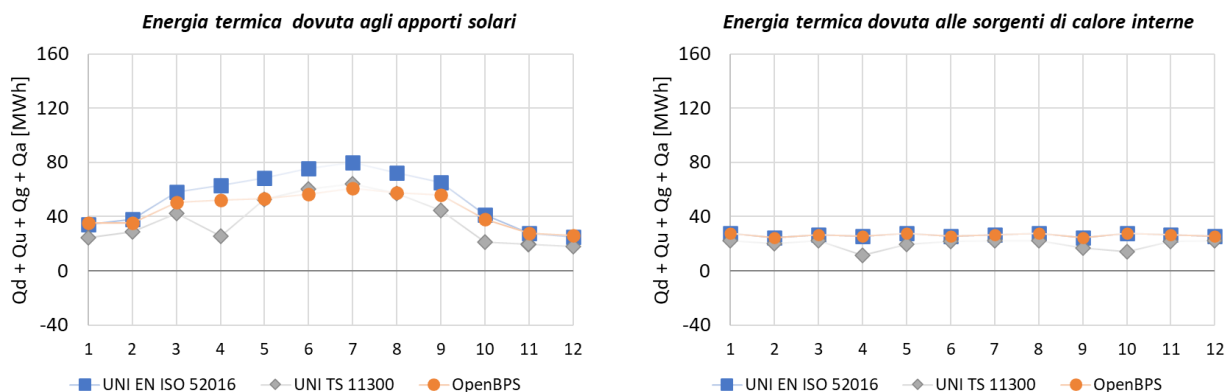


Figura 29. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard, Milano

Valutazioni analoghe possono essere estese al caso *Tailored* (Figura 30e Figura 31), per il quale vale la pena sottolineare una maggiore discrepanza tra i dati ottenuti con il metodo stazionario (UNI TS 11300) rispetto a quelli forniti dai metodi dinamici. La maggiore discrepanza si verifica principalmente nelle cosiddette *mezze stagioni*, laddove la durata del periodo di riscaldamento si riduce sensibilmente.

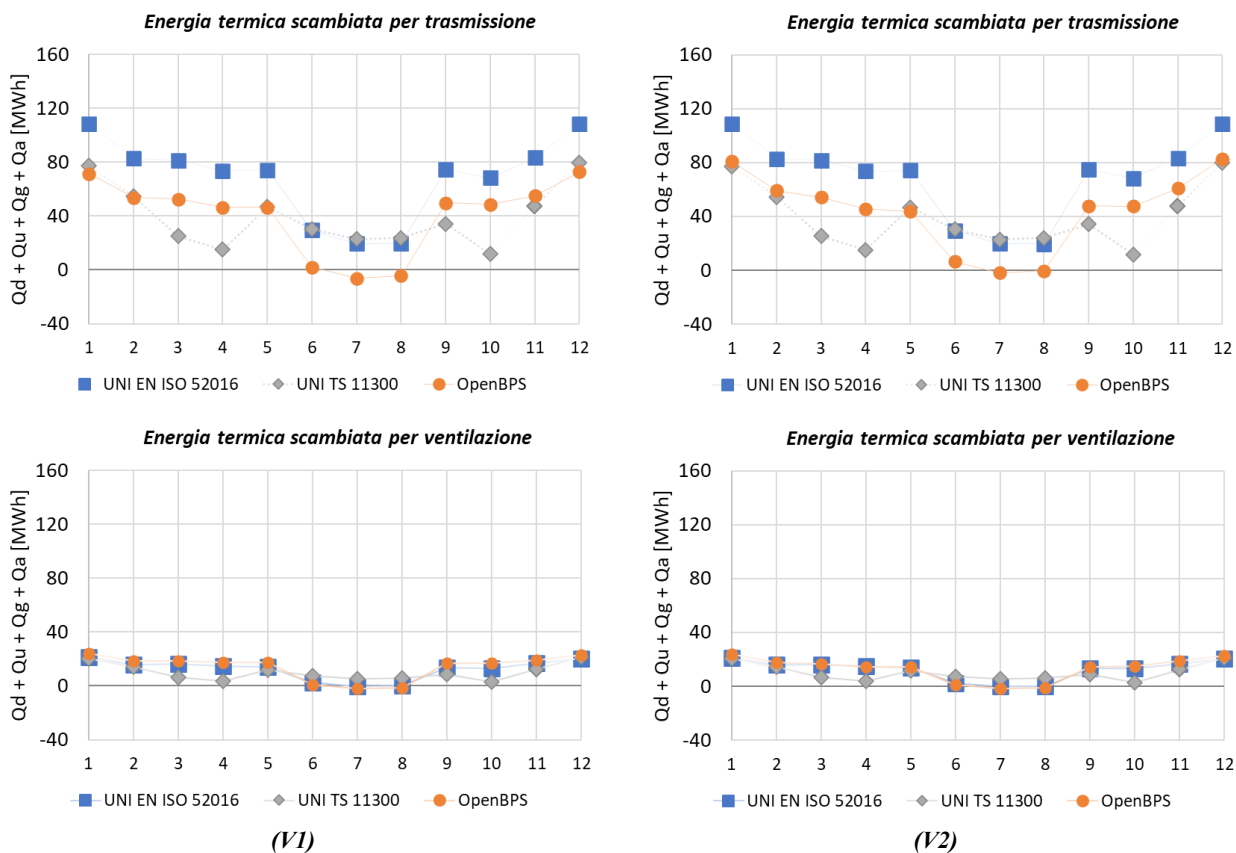


Figura 30. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Tailored, Milano

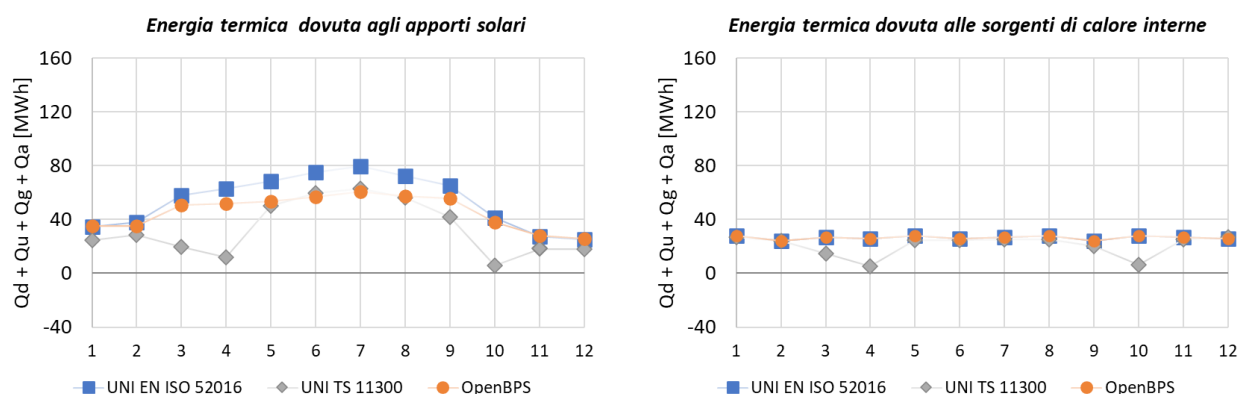


Figura 31. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored, Milano

Vale la pena anche notare che durante la stagione di raffrescamento, le aliquote dovute alla trasmissione e alla ventilazione calcolate con le norme (UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016) sono comparabili (si vedano i mesi da giugno ad agosto, 6, 7 ed 8 nelle figure considerate). Tuttavia, a causa dei maggiori apporti solari ed interni calcolati con la UNI EN ISO 5210, i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati con le due norme diventano non comparabili, come da [Figura 27](#).

Infine, vale la pena notare che i valori mensili calcolati con i metodi dinamici, orario e dettagliato, tendono ad avere lo stesso profilo, sottolineando una migliore prestazione del calcolo dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento della UNI EN ISO 52016 rispetto alla norma UNI TS 11300.

4.2 Risultati del confronto - Roma

Le caratteristiche climatiche dell'area di Roma sono riportate in **Tabella 32**. 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 32. 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)

Tabella 33 e **Tabella 34** riportano 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, utilizzando l'opzione V1 (i.e. coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali), secondo le valutazioni *Standard* e *Tailored*.

Tabella 33. 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>	43.2	50.1	25.3	17.8	70.3	24.7	97.5
<i>Febbraio</i>	24.9	36.3	12.1	12.8	106.3	24.3	201.5
<i>Marzo</i>	14.6	17.2	6.6	8.0	121.1	10.6	160.1
<i>Aprile</i>	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	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>	14.9	18.4	6.4	8.5	133.8	12.0	188.4
<i>Dicembre</i>	37.0	46.2	19.4	17.6	90.8	26.8	138.1
TOTALE	135	169	70	64.8	92.9	99	141.8

Tabella 34. 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)		UNI TS 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	33.8	29.7	18.9	14.9	78.9	10.8	57.2
Febbraio	17.9	18.9	7.6	10.3	134.5	11.3	148.4
Marzo	9.7	4.1	4.0	5.6	139.5	0.1	1.8
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	9.9	4.8	3.8	6.1	158.9	1.0	25.0
Dicembre	26.4	23.5	12.3	14.1	114.8	11.2	91.1
TOTALE	98	81	47	51.0	109.3	34	73.6

I dati mensili di **Tabella 33** e **Tabella 34** sono riportati anche in **Figura 32** e **Figura 33** per una più veloce visualizzazione dei risultati, così come già fatto per il caso di 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 sempre sovrastimare i dati calcolati con OpenBPS. Nello specifico, si può notare 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 al 92,9% per la UNI EN ISO 52016-1, ed al 141,8% per la UNI TS 11300-1.
- nel caso di valutazione *Tailored*, si verifica evidentemente una riduzione notevole dei valori mensili di $Q_{H,nd}$ calcolati con tutti i metodi. Il metodo stazionario effettuato secondo la UNI TS 11300-1 comporta una sovrastima di $Q_{H,nd}$ rispetto ai valori di riferimento (di OpenBPS) del 73,6%. L'incremento percentuale di energia termica per la UNI EN ISO 52016 è, invece, pari al 109,3% per la UNI EN ISO 52016-1.

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, malgrado le differenze percentuali restino comunque elevate;
- in generale, gli scostamenti percentuali calcolati per il dato climatico relativo a Roma sono maggiori di quelli riscontrati nel caso di Milano che presenta una richiesta di energia termica per il riscaldamento superiore.

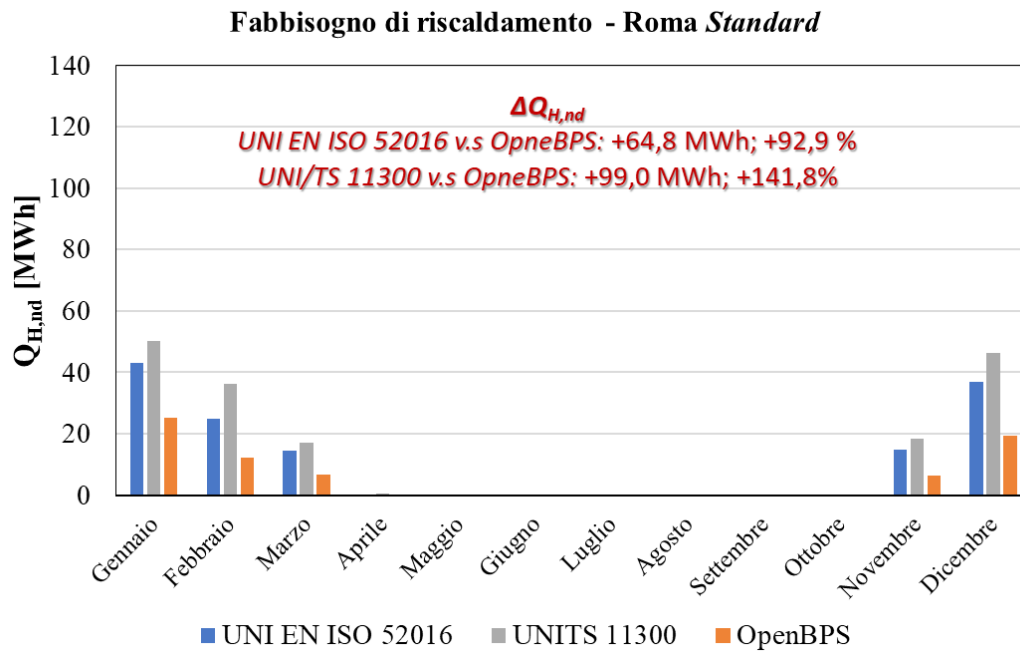


Figura 32. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Standard*, Roma

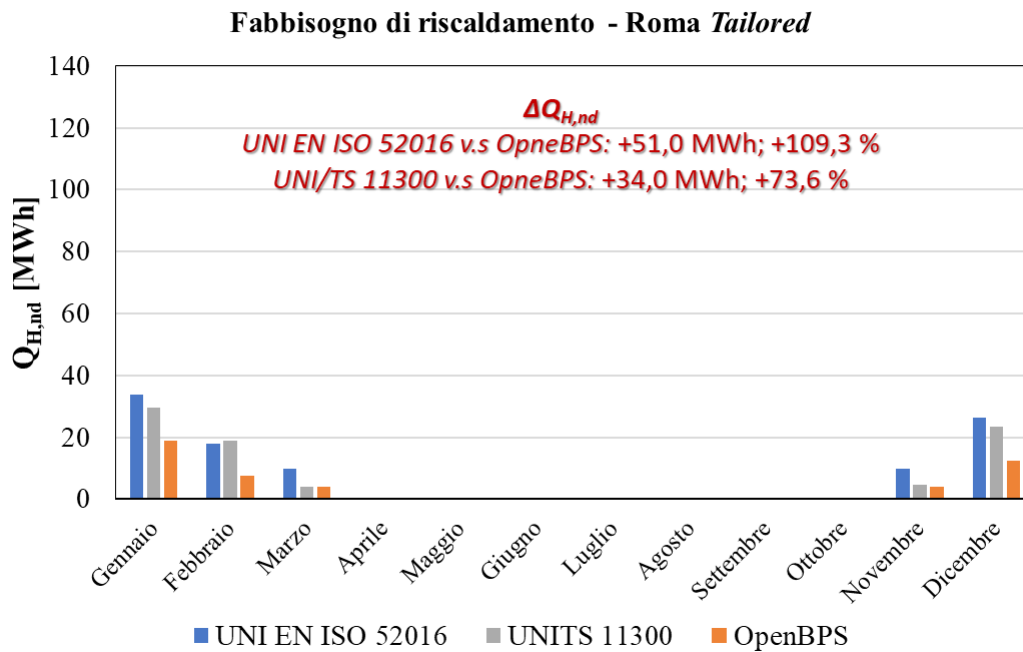


Figura 33. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Tailored*, Roma

Per quanto concerne il fabbisogno di raffrescamento, le **Tabella 35** e **Tabella 36** riportano 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 (con opzione V1), secondo le valutazioni *Standard* e *Tailored*. La **Figura 34** e **Figura 35**, relative rispettivamente alla **Tabella 35** e **Tabella 36**, riportano in forma grafica gli stessi risultati per una più immediata visualizzazione degli stessi.

Tabella 35. 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	91.7	54.2	96.3	-4.6	-4.8	-42.1	-43.7
Luglio	126.1	89.0	127.0	-0.9	-0.7	-38.0	-29.9
Agosto	118.9	84.5	122.4	-3.5	-2.9	-37.9	-31.0
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	336.7	227.6	345.7	-9.0	-2.6	-118.0	-34.1

Tabella 36. 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	78.2	43.2	79.7	-1.5	-1.9	-36.5	-45.8
Luglio	112.1	72.1	109.2	2.8	2.6	-37.1	-34.0
Agosto	107.2	67.6	106.4	0.8	0.8	-38.7	-36.4
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	297.4	183.0	295.3	2.2	0.7	-112.3	-38.0

Dall'analisi dei risultati e dal confronto degli stessi si evince che quanto evidenziato per l'edificio simulato nelle condizioni climatiche di Milano può essere esteso – sia in termini qualitativi che quantitativi – anche al caso di Roma e, come vedremo di seguito, anche a Palermo, a conferma della preponderante dipendenza del fabbisogno di raffrescamento dagli apporti interni e solari. Questi ultimi, al variare del dato climatico, sono identici (apporti interni) o comparabili (apporti solari).

Nello specifico, analizzando i valori di $Q_{C,nd}$ è possibile notare che:

- le UNI EN ISO 52016 forniscono risultati molto simili a quelli ottenuti con OpenBPS. Le differenze percentuali sono infatti pari a -2,6% per il calcolo *Standard* e allo 0,7% per quello *Tailored*;
- i valori calcolati con le UNI TS 11300 risultano sottostimare quelli ottenuti con OpenBPS, con una differenza percentuale annua pari a -34,1% nel caso *Standard* e a -38,0% nel caso *Tailored*.
- le UNI TS 11300 sottostimano i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati con OpenBPS sia mensilmente che annualmente, mentre le UNI EN ISO 52016 producono risultati confrontabili con quelli di OpenBPS sia su base mensile che annuale.

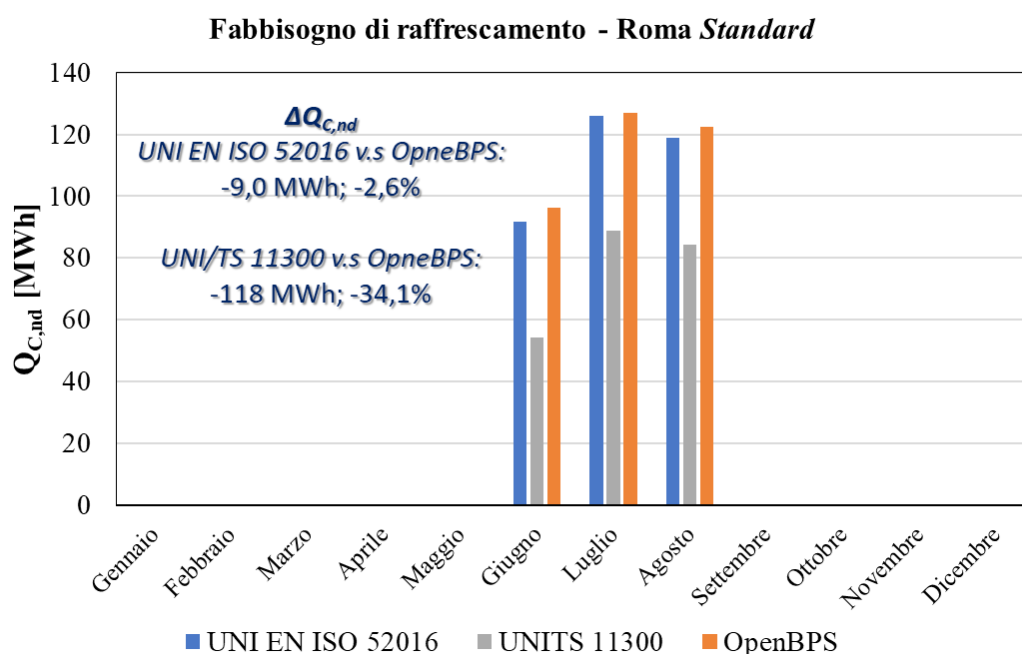


Figura 34. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Standard*, Roma

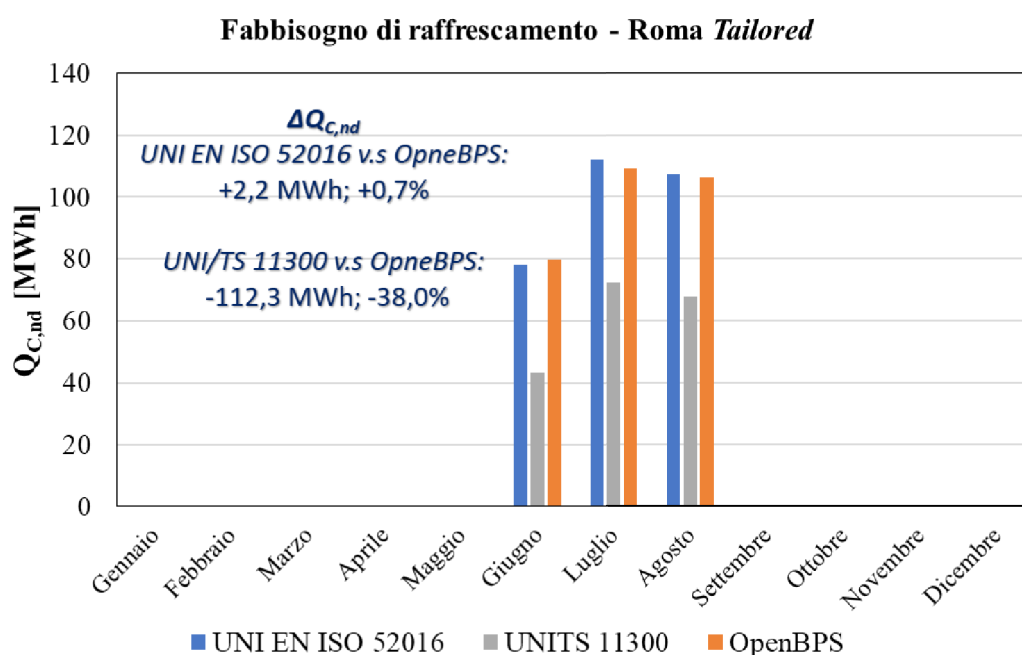


Figura 35. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione Tailored, Roma

4.2.2 Riferimento: OpenBPS (V2)

Le differenze percentuali tra i valori di $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$ si riducono significativamente se il software OpenBPS considera l'opzione V2 (i.e. coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali *come da norma ISO 13789, ossia invarianti nel tempo*), così come riscontrato nel caso di Milano e, successivamente presentato, di Palermo.

Le **Tabella 37** e **Tabella 38** riportano 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 anche in forma grafica in **Figura 36** e **Figura 37**.

Come già riscontrato per Milano, rispetto ai risultati ottenuti con l'opzione V1 (i.e. coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali *variabili*), i valori assoluti di $Q_{H,nd}$ calcolati da OpenBPS con opzione V2 aumentano e tendono maggiormente ai risultati ottenuti con le UNI TS 11300 e le UNI EN ISO 52016, sia su base mensile che annuale. Di conseguenza, con l'opzione V2 si riducono gli scarti percentuali tra i metodi a confronto (norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 versus OpenBPS), che passano dal:

- +92,9% (opzione V1) al +17,6% (opzione V2) per quanto concerne la UNI EN ISO 52016-1 relativamente alla valutazione *Standard*;
- +141,8% (opzione V1) al +47,4% (opzione V2) per quanto concerne la UNI TS 11300-1 relativamente alla valutazione *Standard*;
- +109,3% (opzione V1) al +23,4% (opzione V2) per la UNI EN ISO 52016-1 nel caso Tailored;
- +73,6% (opzione V1) al +2,4% (opzione V2) per la UNI TS 11300-1 nel caso Tailored.

Dall'analisi dei risultati si evince evidentemente che utilizzando come riferimento i risultati ottenuti con OpenBPS con opzione V2, il metodo dinamico orario della UNI EN ISO 52016 risulta abbastanza affidabile, soprattutto per quanto concerne la valutazione *Tailored*.

Tabella 37. 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]	[%]
<i>Gennaio</i>	43.2	50.1	37.8	5.4	14.4	12.3	32.6
<i>Febbraio</i>	24.9	36.3	20.6	4.2	20.5	15.7	76.1
<i>Marzo</i>	14.6	17.2	12.4	2.2	18.0	4.8	38.7
<i>Aprile</i>	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	+∞
<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>	14.9	18.4	12.0	3.0	24.8	6.4	53.9
<i>Dicembre</i>	37.0	46.2	31.8	5.2	16.5	14.4	45.4
TOTALE	135	169	114	20.1	17.6	54	47.4

Tabella 38. 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]	[%]
<i>Gennaio</i>	33.8	29.7	28.9	4.9	17.0	0.8	2.8
<i>Febbraio</i>	17.9	18.9	13.7	4.1	30.1	5.2	37.8
<i>Marzo</i>	9.7	4.1	7.9	1.8	22.7	-3.8	-47.8
<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>	9.9	4.8	7.6	2.3	30.7	-2.8	-36.9
<i>Dicembre</i>	26.4	23.5	21.0	5.4	25.5	2.5	11.7
TOTALE	98	81	79	18.5	23.4	2.0	2.4

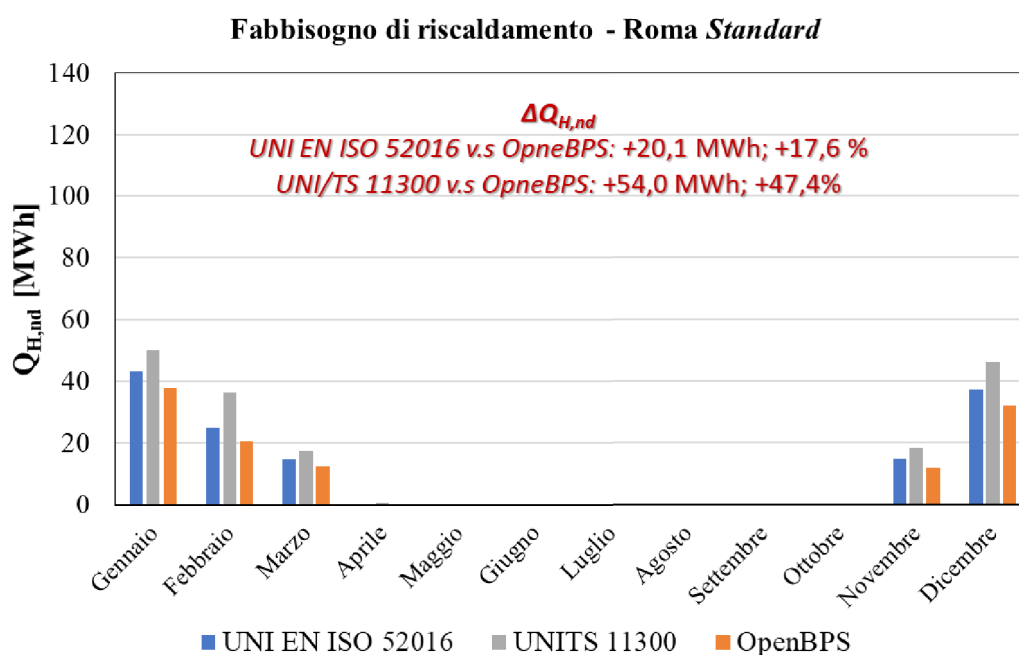


Figura 36. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Standard*, Roma

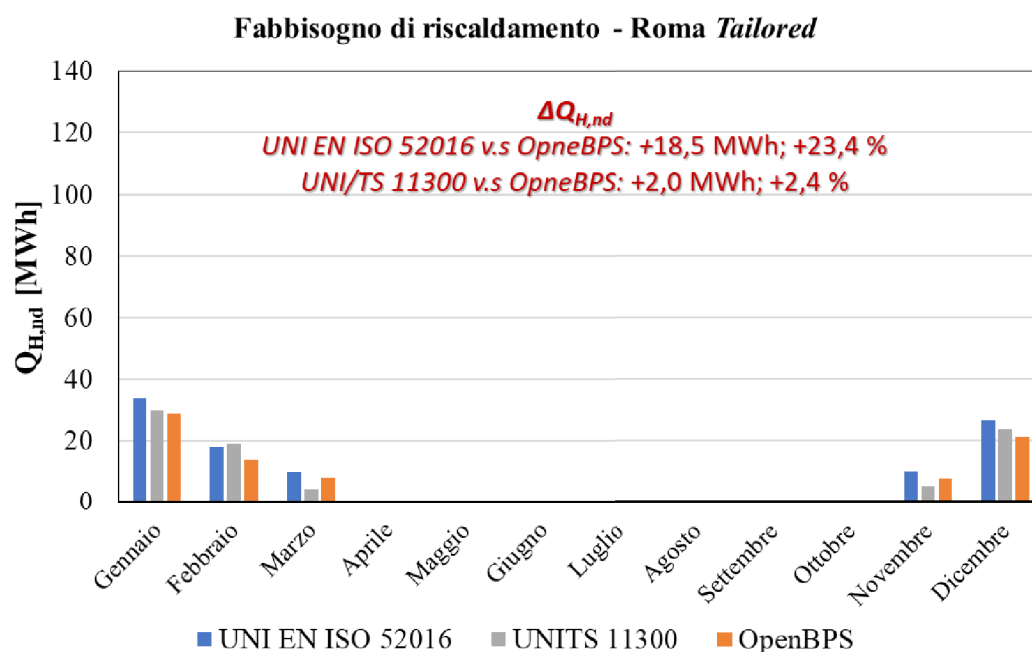


Figura 37. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Tailored*, Roma

Dall'analisi di [Tabella 39](#) e [Tabella 40](#) e nei grafici corrispondenti di [Figura 38](#) e [Figura 39](#) - relativi ai fabbisogno di raffrescamento, $Q_{C,nd}$, calcolati con i vari metodi - è possibile notare che utilizzando coefficienti di scambio convettivo-radiativo superficiali costanti (opzione V2):

- le differenze tra i risultati di calcolo delle UNI TS 11300 ed il metodo dinamico di OpenBPS si riducono significativamente, sia per la valutazione *Standard* che *Tailored*;
- la differenza percentuale tra i valori di $Q_{c,nd}$ calcolati con le UNI TS 11300 ed OpenBPS è pari a -27,6% (da -34,1% del caso V1) nel caso *Standard*, mentre nel caso *Tailored* si passa a -31,1% (da -38,0% del caso V1);

Tabella 39. 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)		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	91.7	54.2	83.0	8.7	10.4	-28.8	-34.7
Luglio	126.1	89.0	117.5	8.6	7.3	-28.6	-24.3
Agosto	118.9	84.5	114.0	4.9	4.3	-29.5	-25.9
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	336.7	227.6	314.5	22.2	7.0	-86.8	-27.6

Tabella 40. 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)		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	78.2	43.2	68.4	9.7	14.2	-25.2	-36.9
Luglio	112.1	72.1	99.4	12.6	12.7	-27.3	-27.4
Agosto	107.2	67.6	97.7	9.5	9.7	-30.1	-30.8
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	297.4	183.0	265.6	31.9	12.0	-82.6	-31.1

- il confronto tra le UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS, invece, mostra un peggioramento della prestazione del metodo dinamico orario rispetto a quello dettagliato. Infatti, sia nel caso *Standard*

che *Tailored*, la differenza percentuale sale di circa 11 punti percentuali rispetto al caso *V1*, passando a +7,0% (valutazione *Standard*) e a +12,0% (valutazione *Tailored*).
Il metodo dinamico orario della UNI EN ISO 52016 risulta più affidabile del metodo stazionario della UNI TS 11300 per il calcolo di $Q_{C,nd}$, specialmente nel caso *Standard*.

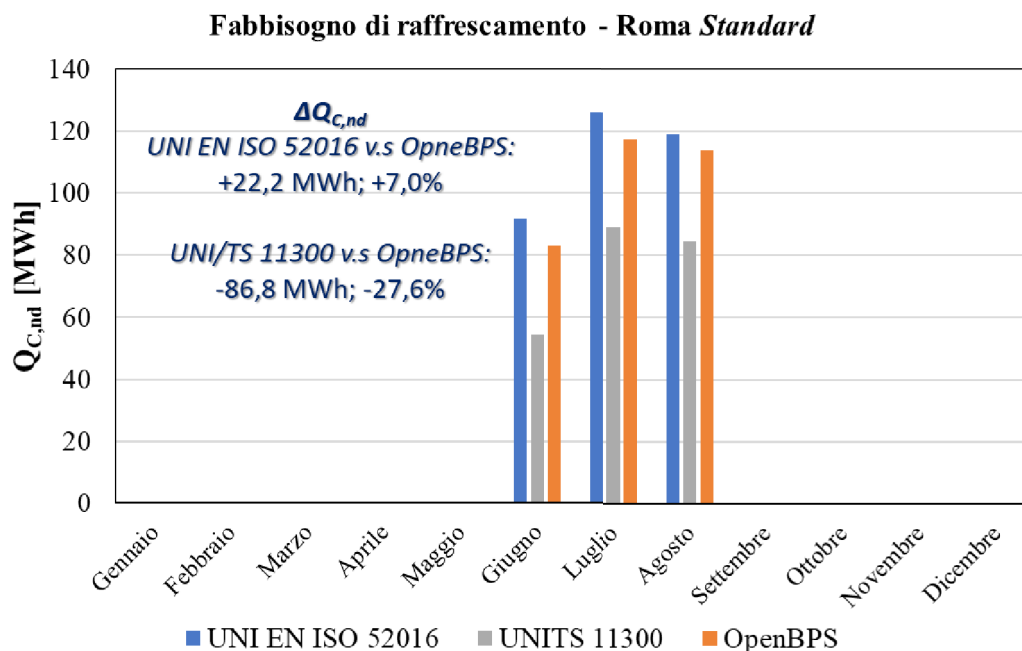


Figura 38. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Standard*, Roma

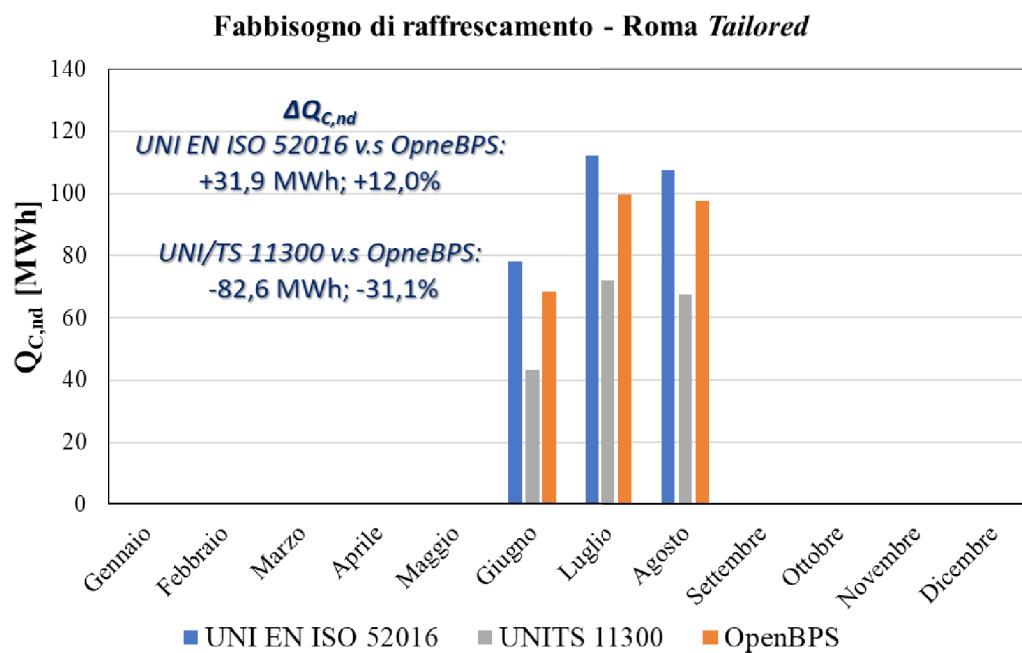


Figura 39. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Tailored*, Roma

Le aliquote relative ai valori mensili dell'energia termica scambiata per trasmissione, ventilazione/infiltrazione sensibile, ed il contributo di energia termica dovuta agli apporti interni e solari, sono stati utilizzati, anche per Roma, al fine di individuare le cause di discrepanza tra i calcoli di $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$ effettuati con i diversi metodi. Come per 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:

- valutazione *Standard* ed opzione V1 e V2 di *OpenBPS* per la trasmissione e ventilazione, [Figura 40](#);
- valutazione *Standard* ed opzione V1 o V2 di *OpenBPS* per gli apporti solari e quelli interni, [Figura 41](#);
- valutazione *Tailored* ed opzione V1 e V2 di *OpenBPS* per la trasmissione e ventilazione, [Figura 42](#);
- valutazione *Tailored* ed opzione V1 o V2 di *OpenBPS* per gli apporti solari e quelli interni, [Figura 43](#).

Gli andamenti dei valori cumulati mensili di suddette aliquote presentano importanti similitudini con quanto già analizzato nel caso di Milano. Anche per Roma è interessante notare come passando dall'opzione V1 (i.e. coefficienti variabili) alla V2 (i.e. coefficienti convettivi-radiativi costanti), nei mesi invernali le differenze tra le aliquote di energia termica scambiata per trasmissione richieste da OpenBPS e le UNI EN ISO 52016 si riducono (V1 in [Figura 40](#) e V2 in [Figura 40](#), destra); altrettanto, nei mesi estivi l'energia termica scambiata per trasmissione diminuisce se si considera l'opzione V2 per le simulazioni effettuate con OpenBPS. Le aliquote di energia termica scambiata per ventilazione, calcolate con i tre metodi sono sempre comparabili, come mostrato in [Figura 40](#); il contributo dovuto alla ventilazione / infiltrazione non varia al variare del metodo di calcolo, come previsto ed a conferma dell'affidabilità delle simulazioni effettuate.

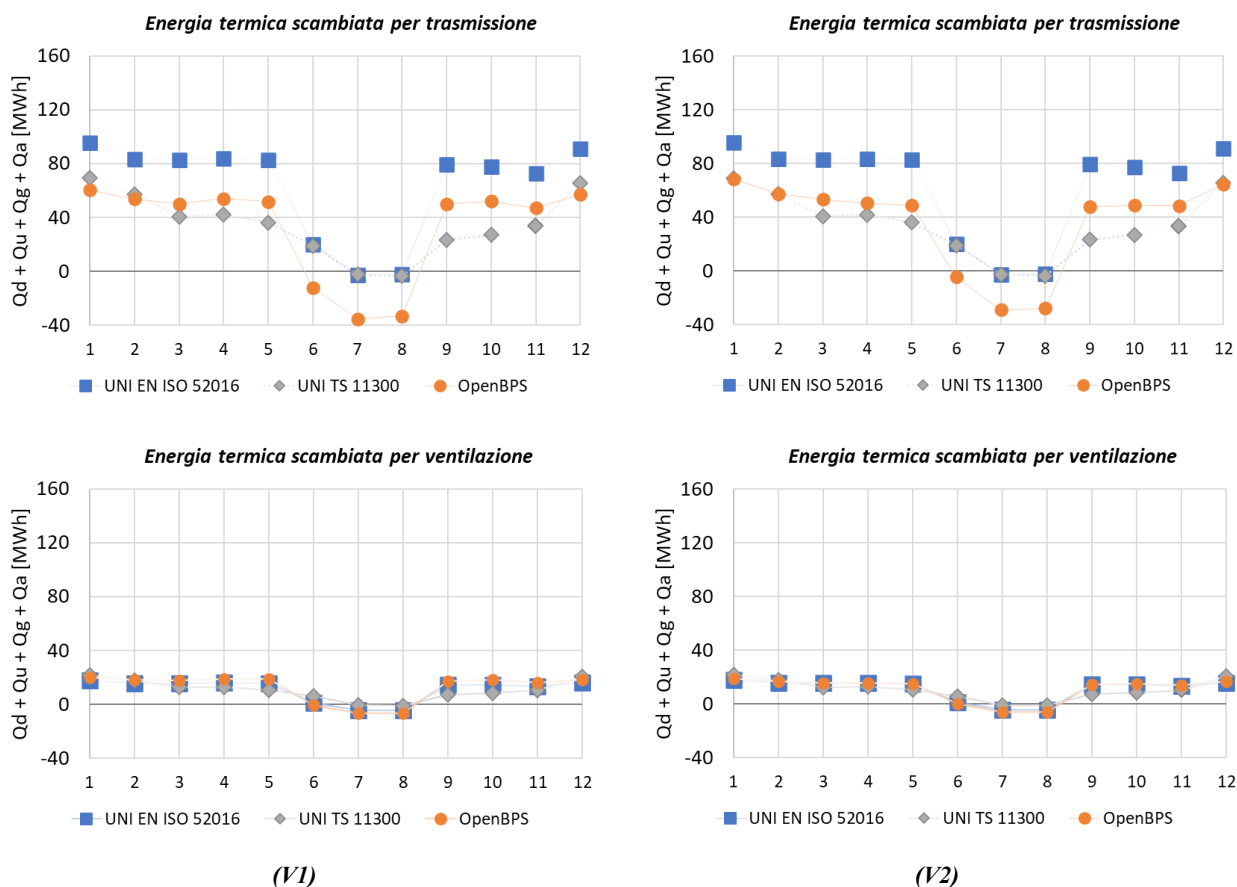


Figura 40. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Standard, Roma

Analoghe considerazioni possono essere effettuate per le aliquote mensili relative agli apporti interni e solari, che mostrano andamenti simili nel caso dei tre metodi, **Figura 41**. Nel caso della UNI TS 11300-1, nei mesi in cui inizia e termina la stagione di riscaldamento (mese 4 – aprile e mese 11 – novembre; per Roma la stagione di riscaldamento è consentita dal 1° novembre al 15 aprile per un numero massimo di ore giornaliere pari a 12), si può notare la riduzione delle aliquote calcolate, in particolare degli apporti interni e solari (**Figura 41**) a causa della ridotta durata del periodo di riscaldamento. Secondo quanto dispone la norma, infatti, per il caso studio in oggetto, i valori del *rapporto adimensionale apporti – dispersioni* (valutati mensilmente per ogni zona termica) comportano un troncamento del periodo di riscaldamento e, quindi, della durata del mese considerato (t , dalla norma UNI TS 11300-1).

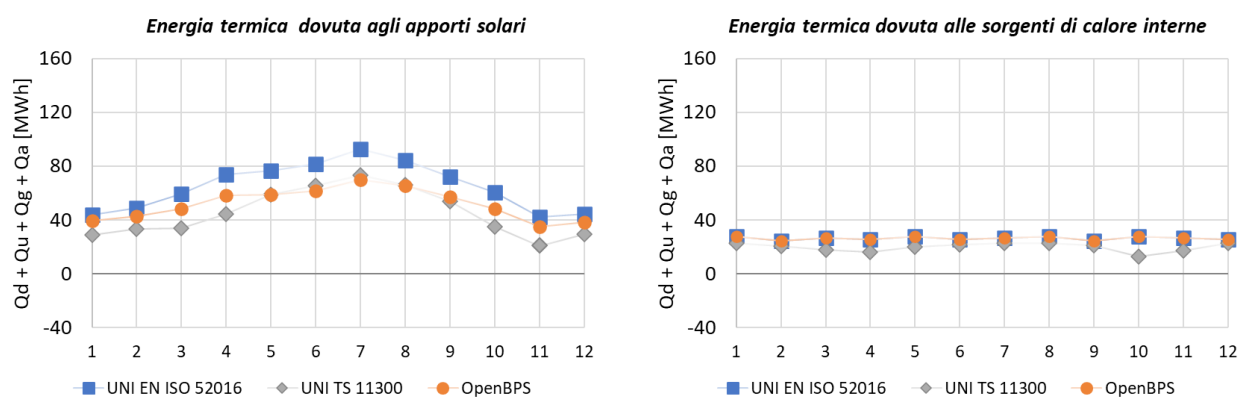


Figura 41. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard, Roma

Gli stessi commenti possono essere estesi alle figure relative alla valutazione *Tailored*, riportate sia per l'opzione OpenBPS V1 (**Figura 42**, sinistra) che V2 (**Figura 42**, destra) per quanto concerne l'energia termica scambiata per trasmissione e ventilazione, e in **Figura 43** per gli apporti solari e le sorgenti interne di calore. Per quanto concerne l'energia termica scambiata per trasmissione si riscontra un andamento simile tra i due metodi dinamici, orario e dettagliato, sebbene i valori della UNI EN ISO 52016 siano traslati verso l'alto rispetto a quelli di OpenBPS, il metodo stazionario mostra invece valori diversi e, soprattutto, ridotti nei mesi di inizio (novembre) e fine (marzo) della stagione di riscaldamento di valori ridotti a causa dei valori del *rapporto adimensionale apporti-dispersioni* che influenza la stagione di riscaldamento.

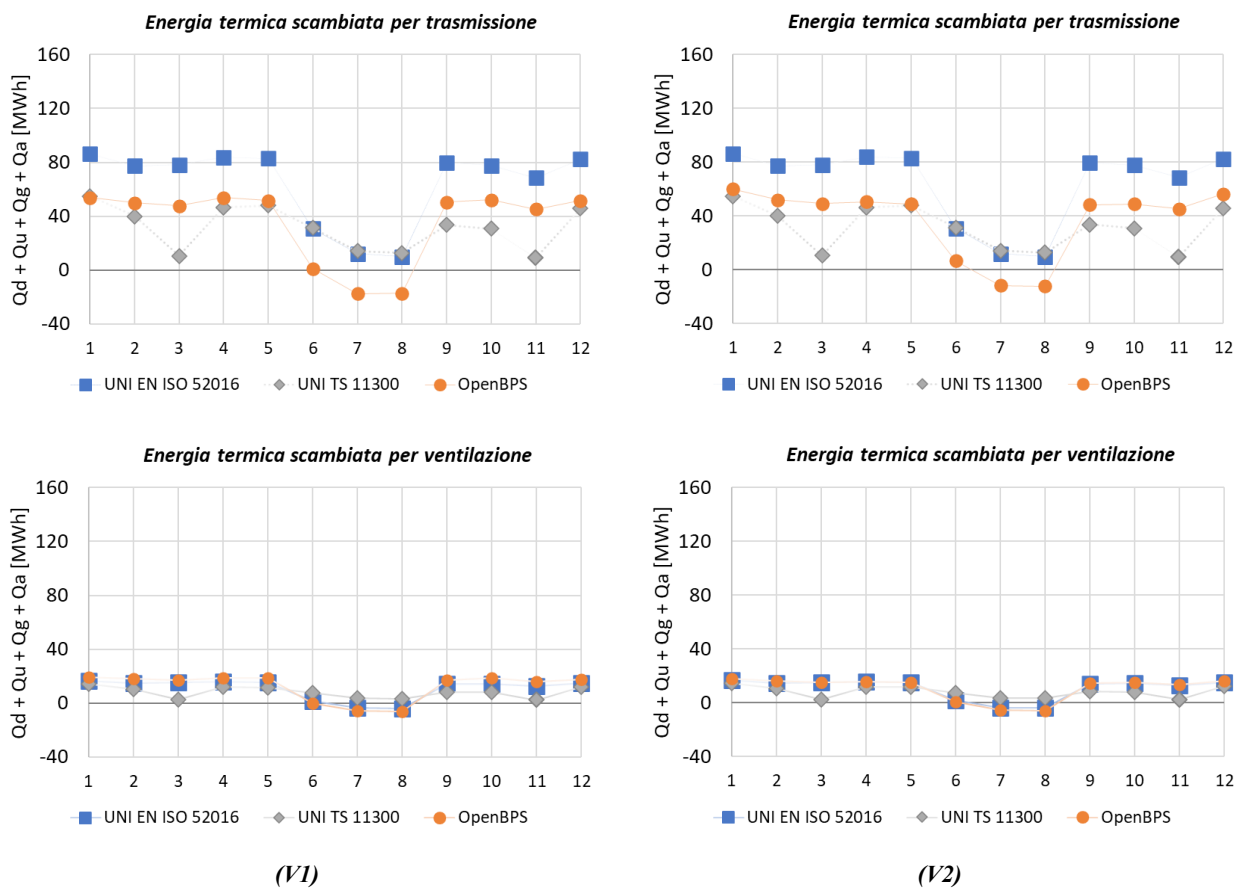


Figura 42. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Tailored, Roma

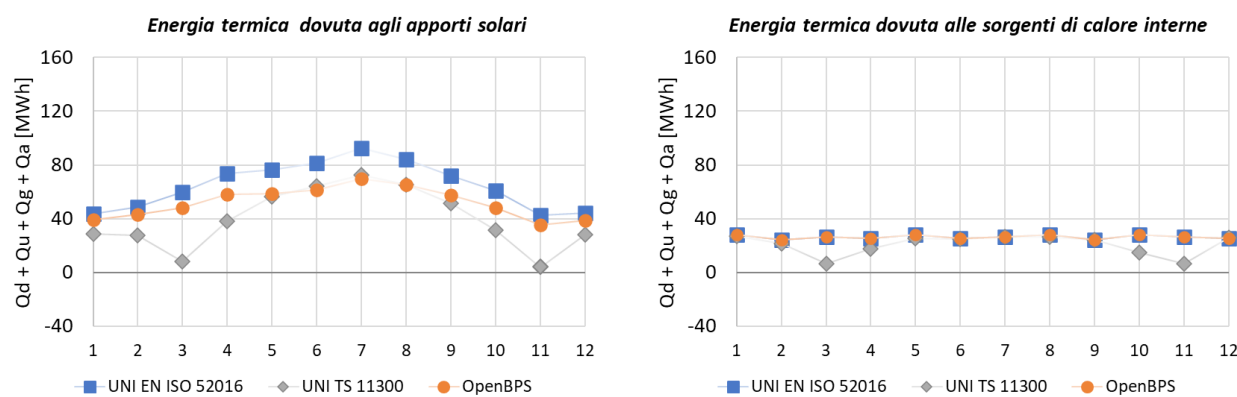


Figura 43. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored, Roma

4.3 Risultati del confronto - Palermo

In **Tabella 41** si riportano le principali caratteristiche climatiche dell'area di Palermo, che 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 ad 8.

Tabella 41. 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	
---	---

L'analisi dei risultati, così come riportata nei paragrafi precedenti per Milano e Roma, è stata effettuata anche per Palermo, riscontrando andamenti simili, di seguito commentati, che confermano in linea generale le differenze tra le modalità di calcolo già evidenziate.

4.3.1 Riferimento: OpenBPS (V1)

I valori dei 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 42** nel caso di valutazione *Standard* ed in **Tabella 43** nel caso di valutazione *Tailored*. Alle due tabelle corrispondono gli istogrammi di **Figura 44** e **Figura 45**, in cui sono riportati sia i valori mensili e annuali di $Q_{H,nd}$, che gli scarti percentuali tra i dati calcolati con le UNI EN ISO 52016 e le UNI TS 11300 rispetto a quelli di riferimento di OpenBPS, per cui è stata considerata l'opzione V1 (coefficienti di scambio convettivo-radiativi specifici variabili).

Dall'analisi delle figure e tabelle riportate di seguito per il clima di 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 significativamente, su base mensile e annuale, i valori prodotti con il metodo dinamico dettagliato di OpenBPS. I risultati annuali presentano una differenza percentuale pari a +169,2% nel caso della UNI EN ISO 52016 e pari a +285,6% nel caso della UNI TS 11300;
- nel caso di valutazione *Tailored*, i valori di $Q_{H,nd}$ ottenuti tramite le norme, UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016, continuano a sovrastimare i valori di OpenBPS, ma con differenze percentuali differenti, pari a +200,8% nel caso della UNI EN ISO 52016 ed a +142,3% nel caso della UNI TS 11300-1.

Per il calcolo di $Q_{H,nd}$, per entrambe le valutazioni *Standard* e *Tailored*, pur se le UNI TS 11300 presentano discrepanze più contenute della UNI EN ISO 52016 rispetto ai valori di OpenBPS, entrambe le norme sovrastimano significativamente i valori del metodo dinamico dettagliato considerato come riferimento.

Tabella 42. 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>	20.2	28.2	9.9	10.3	103.8	18.3	184.4
<i>Febbraio</i>	15.8	24.5	5.4	10.3	189.9	19.1	351.2
<i>Marzo</i>	7.0	6.9	1.2	5.8	464.1	5.6	450.4
<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>	12.3	19.6	3.9	8.3	211.7	15.7	397.4
TOTALE	55	79	21	34.7	169.2	59	285.6

Tabella 43. 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>	13.7	12.7	6.1	7.6	124.0	6.6	107.3
<i>Febbraio</i>	10.0	8.6	3.0	7.1	237.0	5.6	188.9
<i>Marzo</i>	4.0	0.8	0.6	3.5	600.5	0.2	38.8
<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>	6.9	5.9	1.9	5.0	270.8	4.0	215.0
TOTALE	35	28	12	23.1	200.8	16.4	142.3

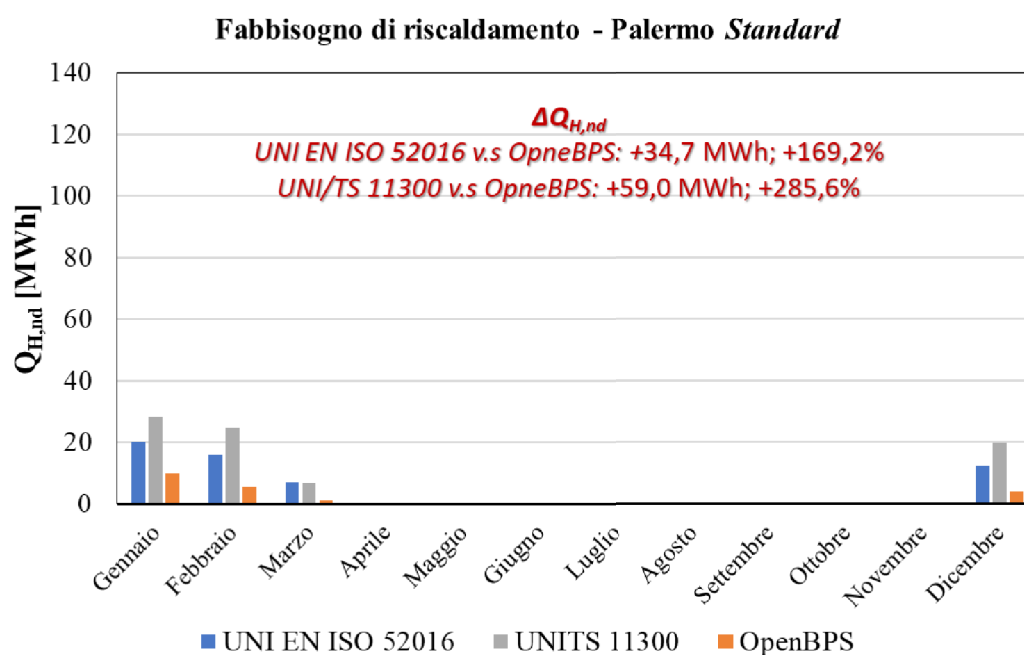


Figura 44. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Standard*, Palermo.

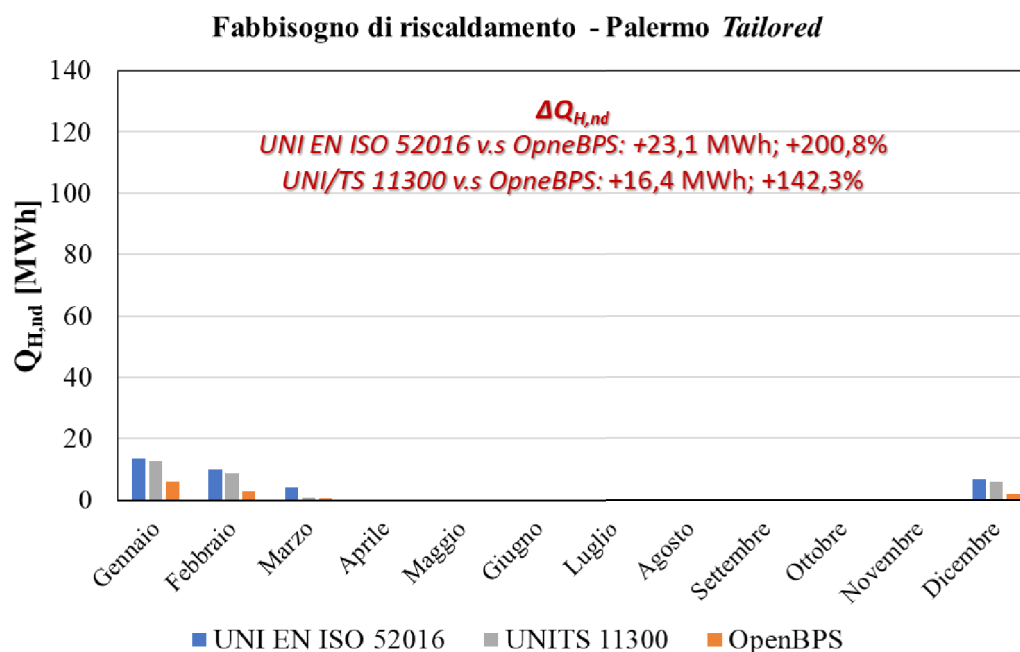


Figura 45. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Tailored*, Palermo.

A differenza di quanto si verifica nel caso del fabbisogno di riscaldamento, per il calcolo del fabbisogno di raffrescamento è possibile notare una maggiore affidabilità dei metodi di calcolo basati sulle norme, UNI TS 11300 ed UNI EN ISO 52016; i risultati di calcolo sono coerenti –qualitativamente e quantitativamente – con quanto riscontrato per Milano e Roma, e anche per Palermo i risultati ottenuti con le norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 sovrastimano sempre i valori di calcolo di OpenBPS. 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 metodo di riferimento. In **Tabella 44** e **Figura 46** sono riportati i dati relativi alla valutazione *Standard*, mentre in **Tabella 45** e **Figura 47**, i valori relativi alla valutazione *Tailored*.

Tabella 44. 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	88.2	59.3	95.3	-7.1	-7.5	-36.0	-37.8
Luglio	112.1	85.7	117.1	-5.0	-4.3	-31.3	-26.8
Agosto	109.0	83.3	115.9	-6.9	-6.0	-32.6	-28.1
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	309.3	228.4	328.3	-19.0	-5.8	-99.9	-30.4

Tabella 45. 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	76.9	46.2	79.4	-2.6	-3.2	-33.2	-41.8
Luglio	101.7	68.2	101.7	0.0	0.0	-33.6	-33.0
Agosto	99.8	66.1	101.5	-1.6	-1.6	-35.4	-34.9
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	278.4	180.5	282.6	-4.2	-1.5	-102.2	-36.1

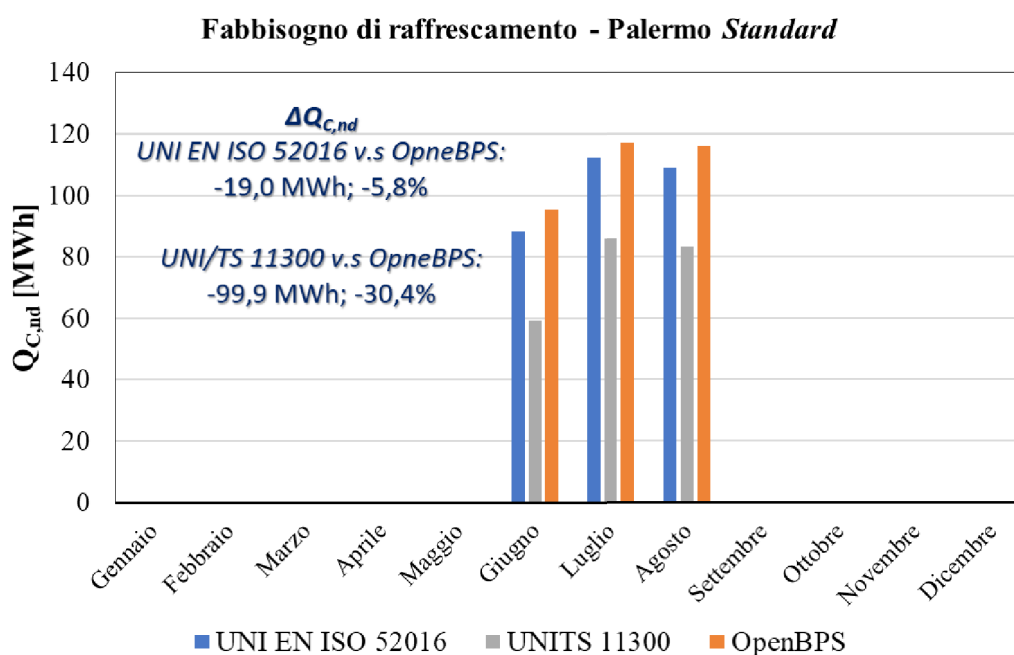


Figura 46. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Standard*, Palermo.

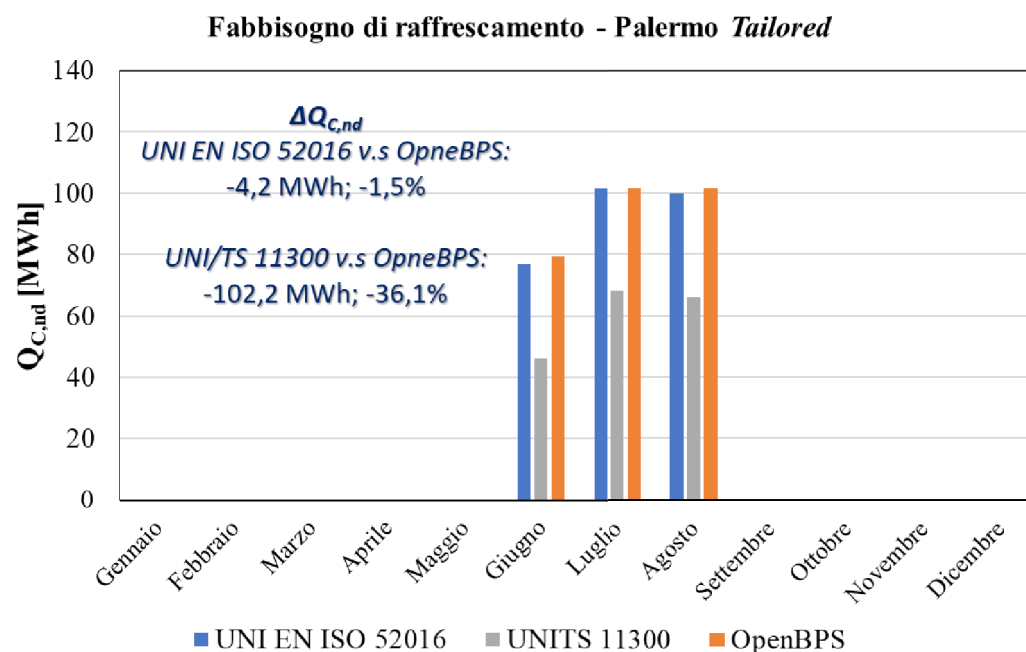


Figura 47. Fabbisogno di raffrescamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1) – valutazione *Tailored*, Palermo.

I principali risultati possono essere così riassunti:

- sia le UNI TS 11300 che le UNI EN ISO 52016 sovrastimano 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 - rispetto ai dati prodotti da OpenBPS – pari a: -5,8% per le UNI EN ISO 52016 e -30,4% per le UNI TS 11300;
- nel caso di valutazione *Tailored*, i risultati ottenuti con le norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 mostrano uno scostamento - rispetto ai dati prodotti da OpenBPS – pari a: -1,5% per le UNI EN ISO 52016 e -36,1% per le UNI TS 11300.

4.3.2 Riferimento: OpenBPS (V2)

Considerando i dati ottenuto da OpenBPS con opzione V2, relativa a coefficienti di scambio convettivo – radiativo superficiali invarianti nel tempo (*come da norma ISO 13789*), si verifica 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 ottenuti tramite i metodi basati sulle norme UNI EN ISO 52016 ed UNI TS 11300. In **Tabella 46** e **Tabella 47** 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 46. 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]	[%]
<i>Gennaio</i>	20.2	28.2	18.2	2.0	10.7	9.9	54.5
<i>Febbraio</i>	15.8	24.5	13.2	2.6	19.4	11.3	85.9
<i>Marzo</i>	7.0	6.9	4.8	2.2	45.8	2.0	42.3
<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>	12.3	19.6	10.2	2.1	20.8	9.4	92.7
TOTALE	55	79	46	8.8	19.1	33	70.5

Tabella 47. 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)		UNIT 11300 vs. OpenBPS (V1)	
	[MWh]			[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Gennaio	13.7	12.7	12.1	1.6	12.9	0.5	4.5
Febbraio	10.0	8.6	7.8	2.2	28.3	0.8	10.0
Marzo	4.0	0.8	2.5	1.5	62.0	-1.7	-67.9
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	6.9	5.9	5.2	1.7	33.7	0.7	13.5
TOTALE	35	28	28	7.1	25.6	0.3	1.2

La [Figura 48](#) e [Figura 49](#) riportano i dati di [Tabella 46](#) e [Tabella 47](#) in forma grafica. Rispetto ai risultati ottenuti con l'opzione V1, passando all'opzione V2 è possibile evincere quanto segue in merito al calcolo del fabbisogno di riscaldamento, ossia:

- nel caso di valutazione *Standard*, le norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 sovrastimano sempre i dati di OpenBPS. Lo scostamento percentuale dei risultati di $Q_{H,nd}$, ottenuti con le norme rispetto ai valori forniti da OpenBPS, è pari a: +19,1% per la UNI EN ISO 52016-1 e +70,5% per la UNI TS 11300-1;
- nel caso di valutazione *Tailored*, mentre per il metodo stazionario della UNI TS 11300 è possibile ancora riscontrare uno scostamento significativo rispetto ai valori ottenuti con OpenBPS pari a +25,6%, la differenza percentuale tra i valori della UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS tende ad annullarsi, essendo pari a +1,2%.

Vale la pena sottolineare che nel caso di Palermo, i valori assoluti di $Q_{H,nd}$ sono significativamente più bassi rispetto a quanto riscontrato per Milano e Roma; quindi, gli elevati valori degli scostamenti percentuali sono giustificabili dai bassi valori utilizzati come riferimento per il calcolo.

Gli scarti percentuali si riducono anche nel caso del fabbisogno di raffrescamento ($Q_{C,nd}$), come riportato in [Tabella 48](#) e [Tabella 49](#) ed in [Figura 50](#) e [Figura 51](#), le quali riportano il confronto tra i risultati del fabbisogno di raffrescamento. Come per il caso del riscaldamento, anche nel caso estivo, i valori delle due norme si avvicinano ai dati forniti da OpenBPS passando dal calcolo con opzione V1 a quello con opzione V2.

Nello specifico, è possibile verificare che:

- nel caso di valutazione *Standard*, sia le UNI TS 11300 che, soprattutto, le UNI EN ISO 52016 forniscono risultati molto simili a quelli ottenuti con OpenBPS. Le differenze percentuali ottenute confrontando i valori di $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme vs. OpenBPS sono infatti pari a: +3,3% per la UNI EN ISO 52016 e -23,7% per la UNI TS 11300;

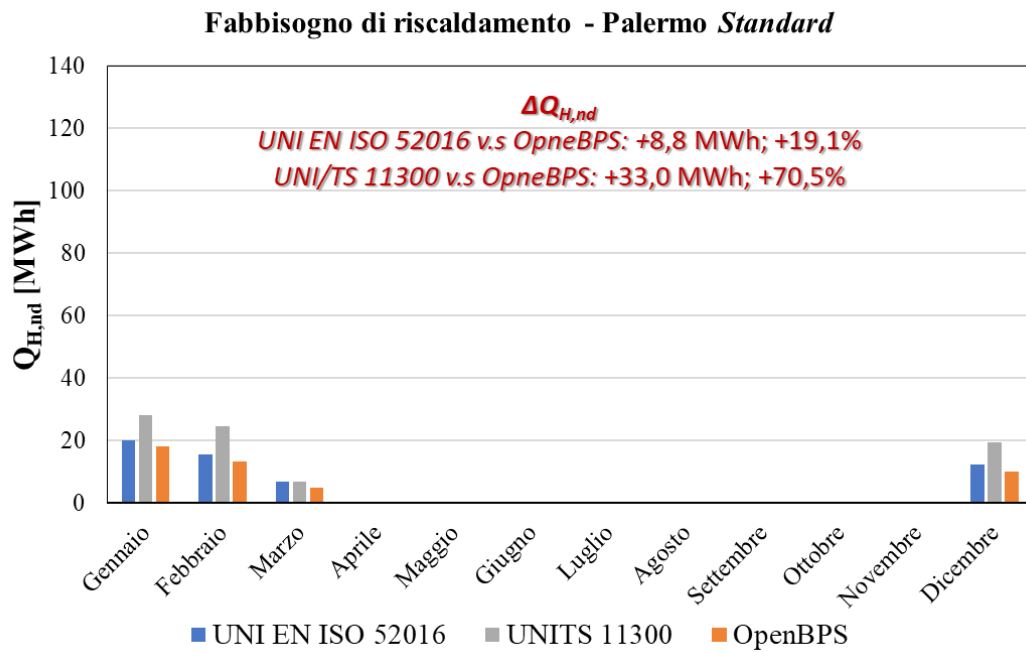


Figura 48. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Standard*, Palermo.

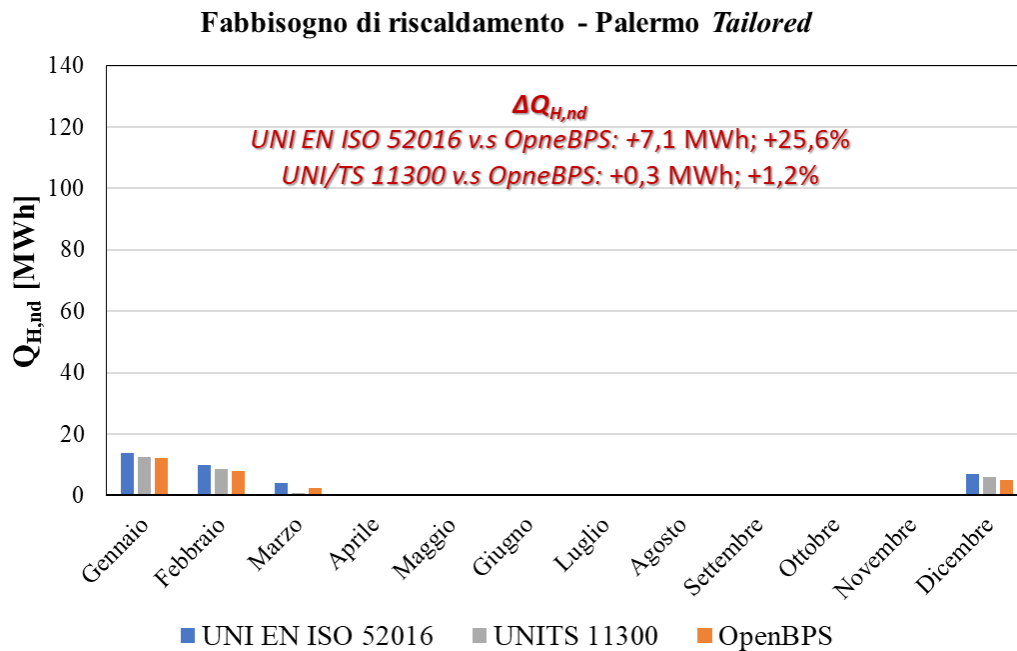


Figura 49. Fabbisogno di riscaldamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Tailored*, Palermo.

- nel caso di valutazione *Tailored*, i risultati di calcolo delle norme tendono, in entrambi i casi, ad allontanarsi dai valori di OpenBPS. Nello specifico, il calcolo effettuato con la UNI EN ISO 52016 mostra uno scostamento percentuale pari a +9,2% (incrementando di circa 8 punti percentuali rispetto al caso V1), mentre la differenza percentuale riscontrata tra il valore di $Q_{C,nd}$ fornito dalla UNI TS 11300 e quello prodotto da OpenBPS si riduce di circa 7 punti percentuali, passando da -36,1% dell'opzione V1 a -29,2% con opzione V2.

Tabella 48. 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.

	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	88.2	59.3	81.8	6.4	7.8	-22.5	-27.5
Luglio	112.1	85.7	108.6	3.5	3.2	-22.9	-21.1
Agosto	109.0	83.3	108.9	0.2	0.2	-25.5	-23.4
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	309.3	228.4	299.3	10.0	3.3	-70.9	-23.7

Tabella 49. 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	76.9	46.2	68.0	8.8	13.0	-21.8	-32.0
Luglio	101.7	68.2	93.0	8.7	9.4	-24.9	-26.7
Agosto	99.8	66.1	93.9	5.9	6.3	-27.8	-29.6
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	278.4	180.5	255.0	23.4	9.2	-74.5	-29.2

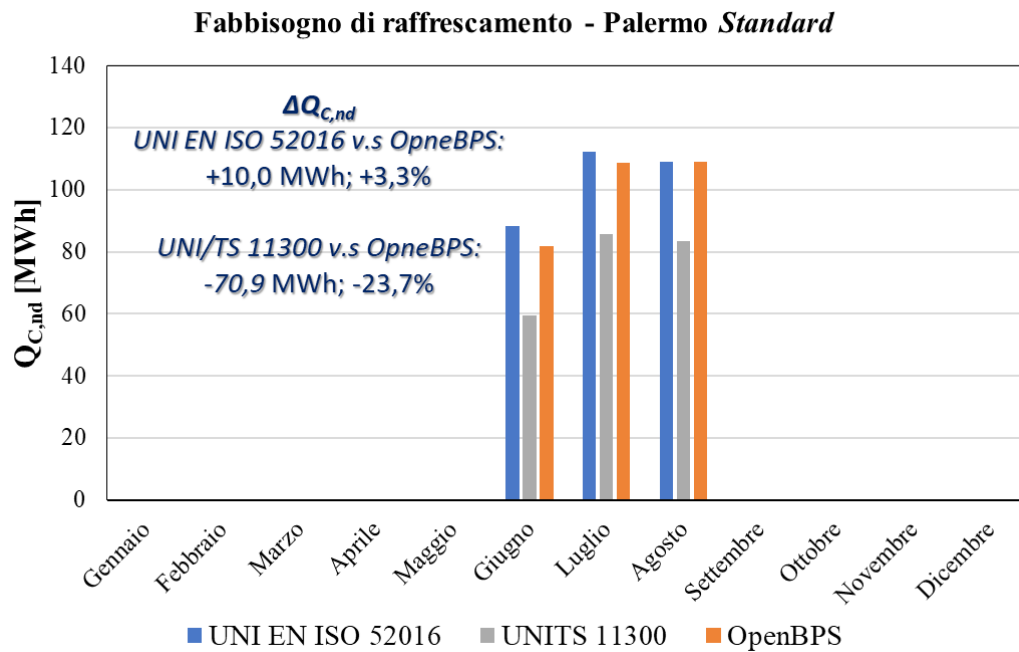


Figura 50. Fabbisogno di raffreddamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Standard*, Palermo.

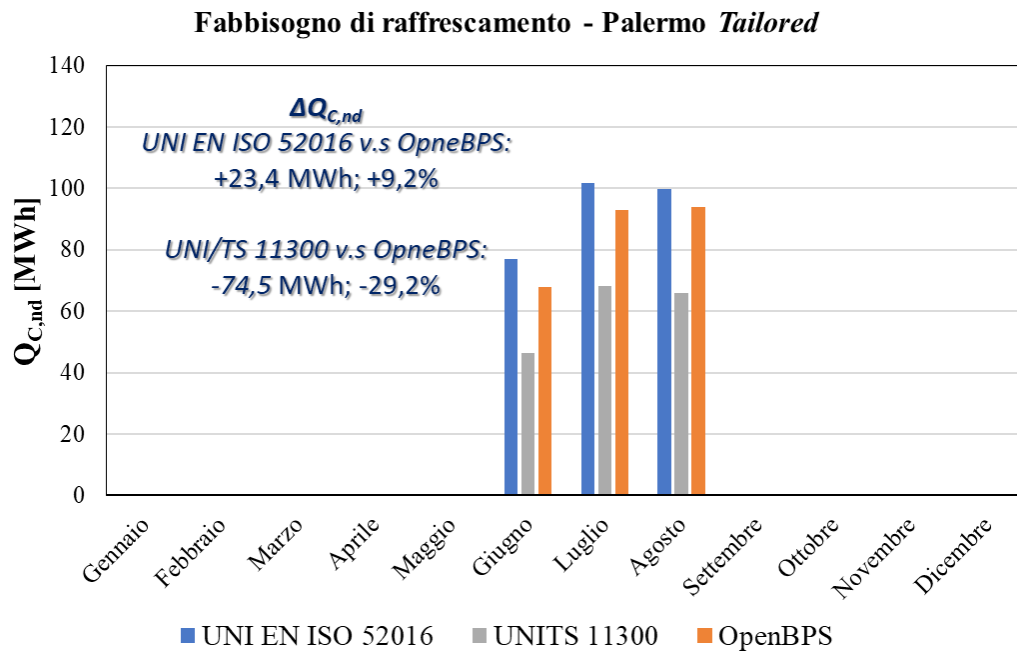


Figura 51. Fabbisogno di raffreddamento, UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V2) – valutazione *Tailored*, Palermo.

Nelle figure successive si riportano le differenze tra i valori cumulati mensili delle aliquote del fabbisogno di riscaldamento e raffreddamento, calcolate tramite le norme UNI EN ISO 52016 e UNI TS 11300, ed il software OpenBPS, nel caso di:

- valutazione *Standard* ed opzione V1 e V2 di *OpenBPS* per la trasmissione e ventilazione, **Figura 52**;
- valutazione *Standard* ed opzione V1 o V2 di *OpenBPS* per gli apporti solari e quelli interni, **Figura 53**;
- valutazione *Tailored* ed opzione V1 e V2 di *OpenBPS* per la trasmissione e ventilazione, **Figura 54**;
- valutazione *Tailored* ed opzione V1 o V2 di *OpenBPS* per gli apporti solari e quelli interni, **Figura 55**.

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

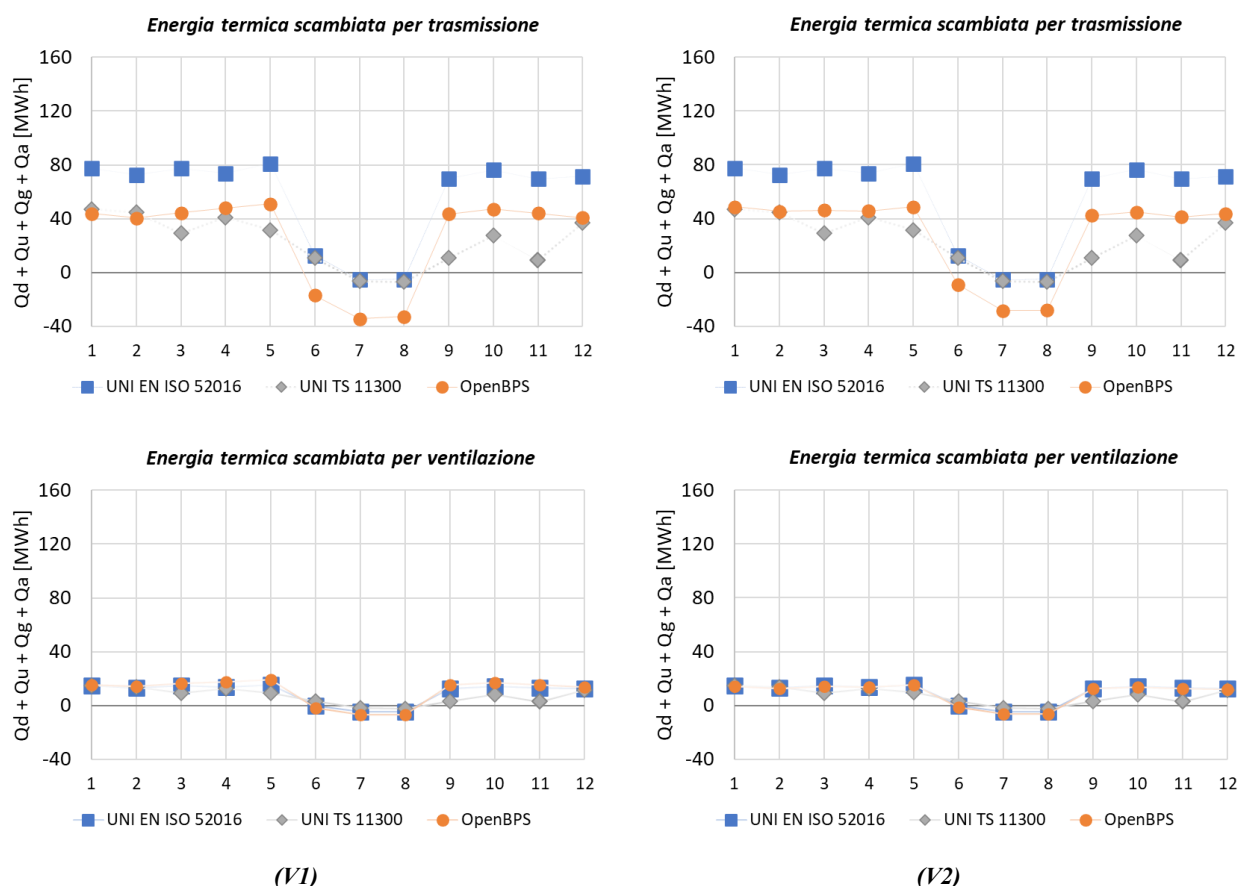


Figura 52. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione *Standard*, Palermo

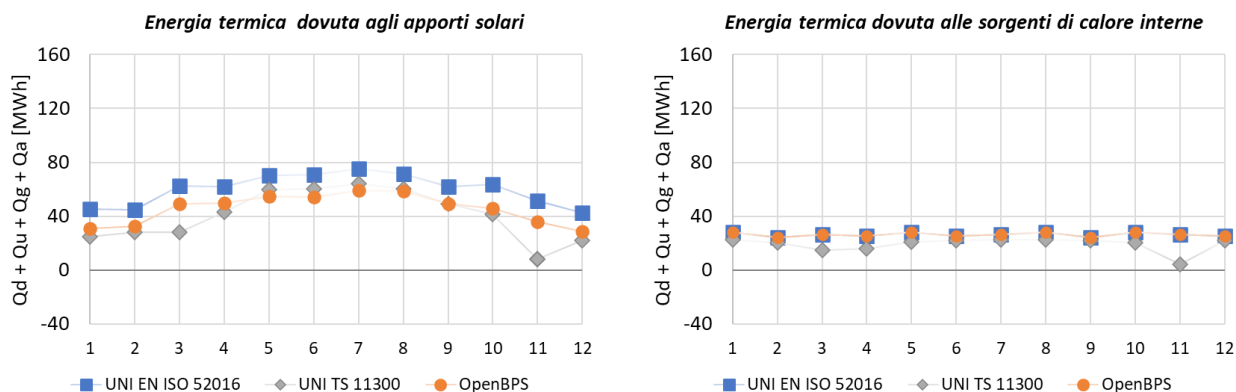
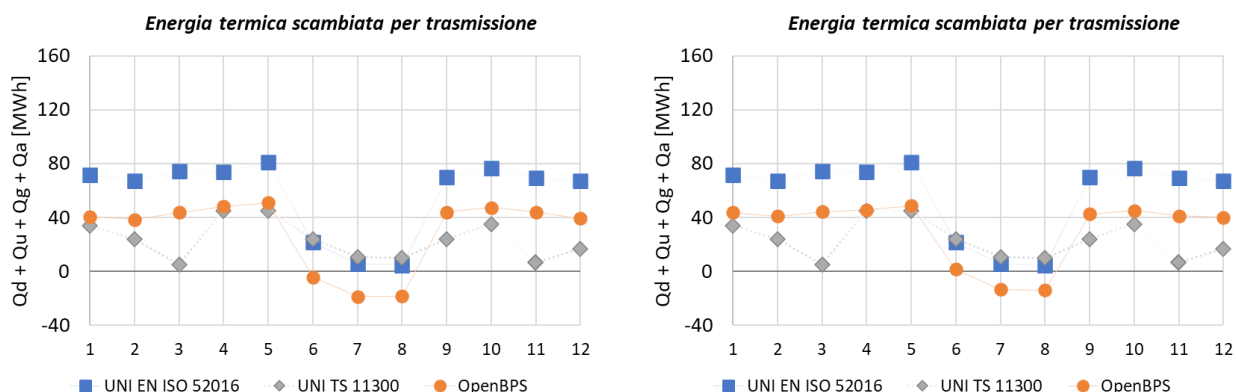


Figura 53. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard, Palermo

I valori mensili delle suddette aliquote sono coerenti con quanto già riscontrato nel caso di Milano e Roma. Anche per Palermo si riscontra un andamento simile tra i due metodi dinamici, orario e dettagliato, con i valori della UNI EN ISO 52016 traslati verso l'alto rispetto a quelli di OpenBPS; il metodo stazionario mostra, invece, una variazione minore delle singole aliquote al variare del mese. Nei mesi di inizio e fine della stagione di riscaldamento si riscontra, ancora, una riduzione drastica dei valori delle aliquote considerate, a causa del *rapporto adimensionale apporti-dispersioni* che influenza la durata mensile del periodo di riscaldamento.

Sia nel caso *Standard* che *Tailored*, 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 e ventilazione, riscontrate nel caso di OpenBPS durante la stagione di raffrescamento, sono dovute: i) alle intrinseche differenze tra i valori di temperatura esterna e della radiazione solare; ii) all'effetto dell'inerzia termica e, quindi, della costante di tempo dell'edificio e del rapporto adimensionale apporti-dispersioni, così come discusso per Milano e Roma.



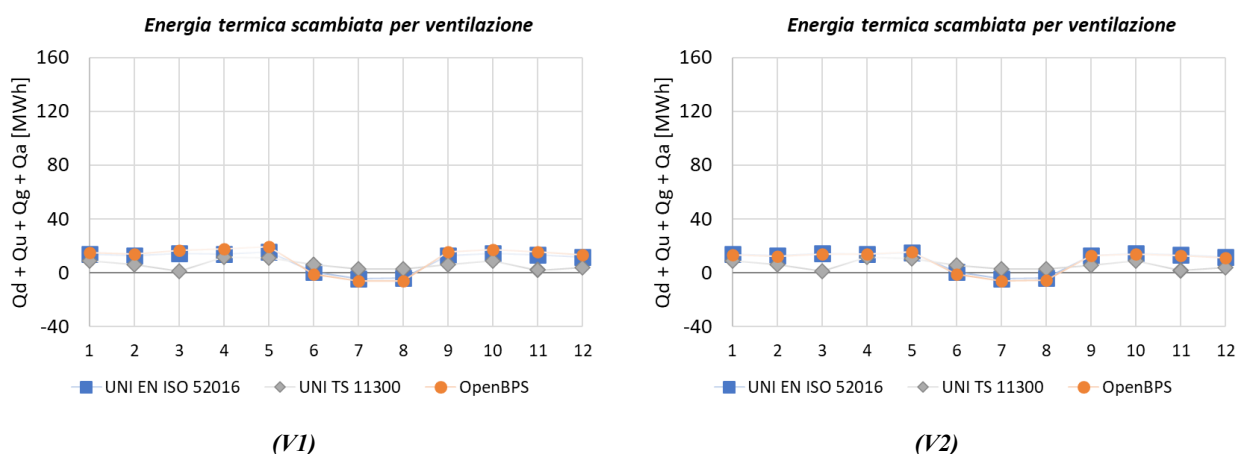


Figura 54. Trasmissione e ventilazione UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1, sinistra – V2, destra) – valutazione Tailored, Palermo

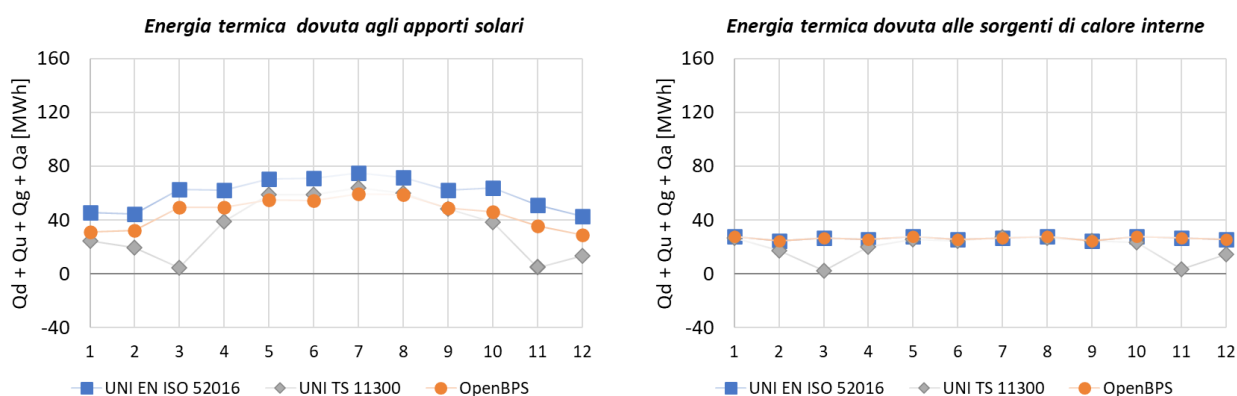


Figura 55. Apporti solari e sorgenti interne - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016, OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored, Palermo

4.4 Energia primaria

Di seguito si riportano i fabbisogni di energia primaria, non rinnovabile, per il riscaldamento $E_{PH,nren}$ ed il raffrescamento $E_{PC,nren}$ ottenuti per i 3 metodi indagati, per ognuno degli scenari impiantistici considerati, nonché per le 3 località oggetto dello studio e le due valutazioni, *Standard* e *Tailored*. Nello specifico, **Tabella 50** mostra le differenze percentuali di energia primaria non rinnovabile, valutate confrontando i risultati di calcolo delle norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 con quelli prodotti dal software OpenBPS con opzione V2. I risultati sono riportati per tutte le città indagate, le due valutazioni *Standard* e *Tailored*, e per tutti gli scenari impiantistici (*Scenario 1: Caldaia + Chiller*; *Scenario 2: PdC reversibile*). Per il confronto con i dati di OpenBPS si è scelto di riferirsi soltanto al caso V2 (coefficienti di scambio termico convettivi radiativi superficiali costanti).

Tabella 50. Differenza percentuale tra i fabbisogni di energia primaria non rinnovabile – confronto tra le norme ed il metodo OpenBPS, $E_{PH,nren}$ e $E_{PC,nren}$ [kWh/m²], UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS (V2) - calcolo Tailored, Palermo.

		<i>Standard</i>		<i>Tailored</i>	
		UNI TS 11300 vs. OpenBPS [%]	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS [%]	UNI TS 11300 vs. OpenBPS [%]	UNI EN ISO 52016 vs. OpenBPS [%]
Riscaldamento		$\Delta E_{PH,nren}$ [%]			
Scenario 1 (Caldaia)	Milano	-48.6	-53.5	-13.8	-40.0
	Roma	-73.5	-53.8	-13.7	-25.4
	Palermo	-100.6	-57.9	-11.3	-23.6
Scenario 2 (PdC)	Milano	-108.6	-97.0	-52.9	-91.8
	Roma	-148.5	-95.7	-61.7	-92.4
	Palermo	-183.6	-95.1	-103.3	-148.4
Raffrescamento		$\Delta E_{PC,nren}$ [%]			
Scenario 1/2 (Chiller/ PdC)	Milano	-32.8	-43.3	-12.5	-53.9
	Roma	-39.1	-72.2	-12.0	-54.2
	Palermo	-50.2	-69.5	-14.2	-47.7

Il prospetto riportato in **Tabella 50** mostra, chiaramente, che le differenze percentuali tra i valori di energia primaria non rinnovabile calcolati con le norme UNI EN ISO 52016 ed UNI TS 11300 vs. OpenBPS sono abbastanza variabili, in funzione della norma considerata ed il clima. Sia per la valutazione *Standard* che *Tailored*, per quanto concerne lo Scenario 1, mediamente la UNI TS 11300 sembrerebbe performare meglio della UNI EN ISO 52016, viceversa per lo Scenario 2 durante il periodo di riscaldamento. In linea generale, il caso *Standard* presenta discrepanze maggiori rispetto al caso *Tailored*, per il quale le UNI TS 11300 sembrerebbero fornire risultati più coerenti con il metodo OpenBPS, considerato come riferimento.

Per completezza, i valori assoluti relativi all'energia primaria non rinnovabile, calcolata per ogni scenario (1 e 2), per ogni località indagata, e per ogni valutazione (Standard e Tailored) sono riportati da **Figura56** a **Figura58** per ogni scenario individuato ed indagato. **Figura56** è relativa ai valori di $E_{PH,nren}$ nello Scenario 1 (caldaia + chiller), **Figura57** si riferisce sempre ad $E_{PH,nren}$ considerando lo 2 (PdC reversibile), e **Figura58** è relativa ad $E_{PC,nren}$, che non varia al variare dello scenario impiantistico. Dall'analisi delle figure si evince, in ogni caso, una buona corrispondenza tra i valori assoluti calcolati con i tre metodi; l'energia primaria calcolata con il metodo stazionario della UNI TS 11300, tranne per il calcolo di $E_{PH,nren}$ nello Scenario 2 (**Figura57**), è sempre quella più corrispondente con i dati di OpenBPS.

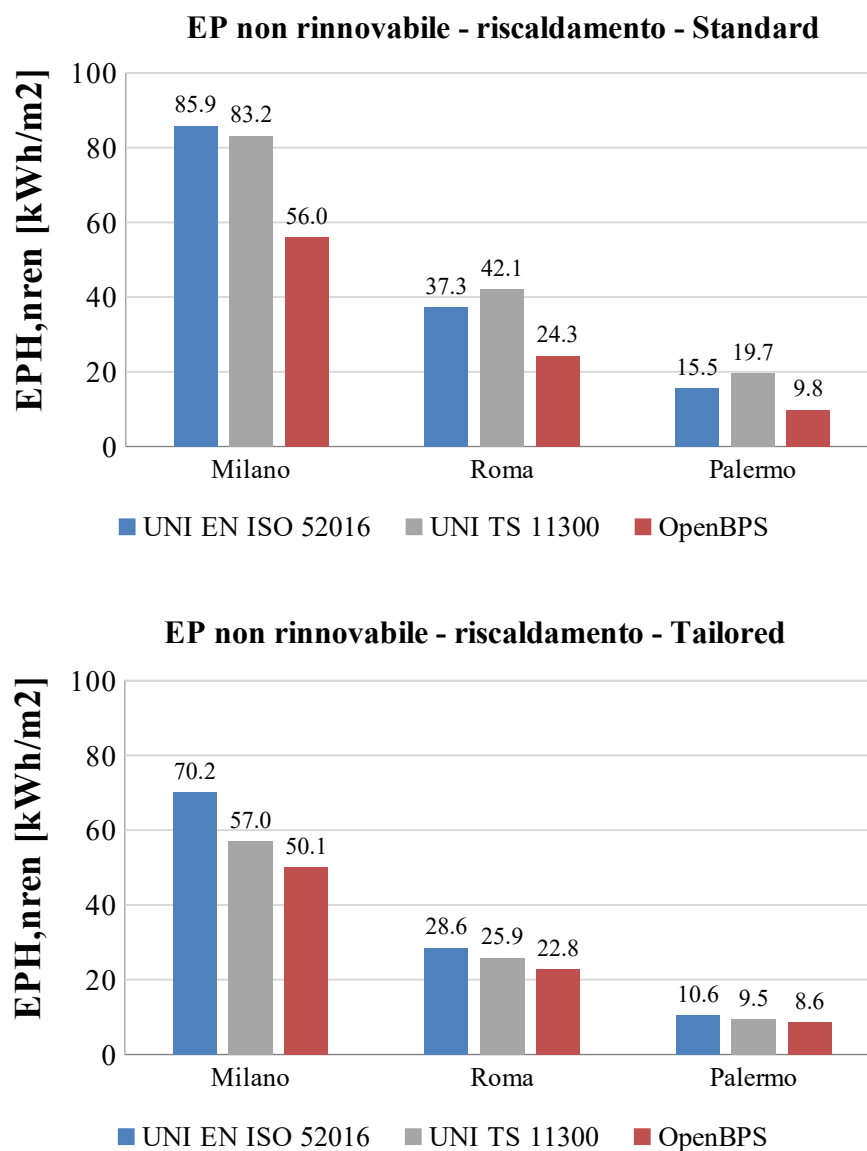


Figura56. Energia primaria non rinnovabile per riscaldamento - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS (V2) – valutazione *Standard* e *Tailored*. Scenario 1: Caldaia.

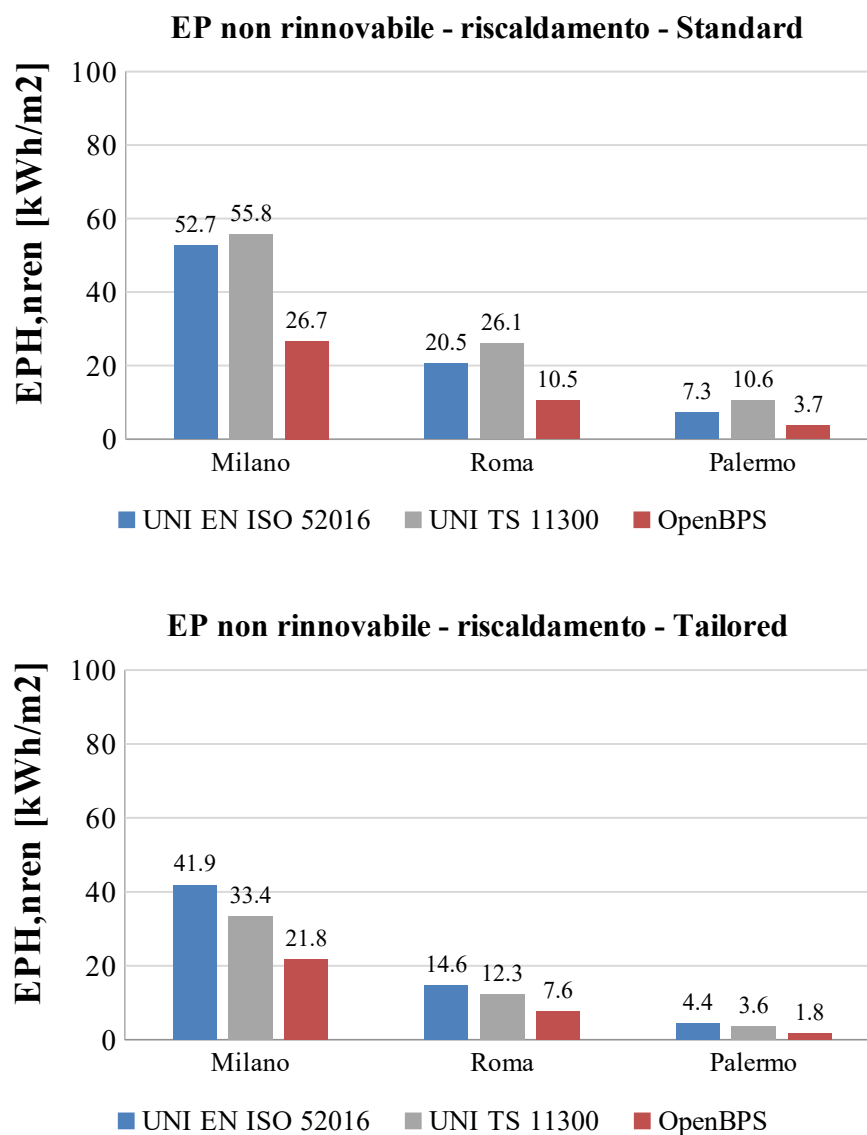


Figura57. Energia primaria non rinnovabile per riscaldamento - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS (V2) – valutazione *Standard* e *Tailored*. Scenario 2: Chiller.

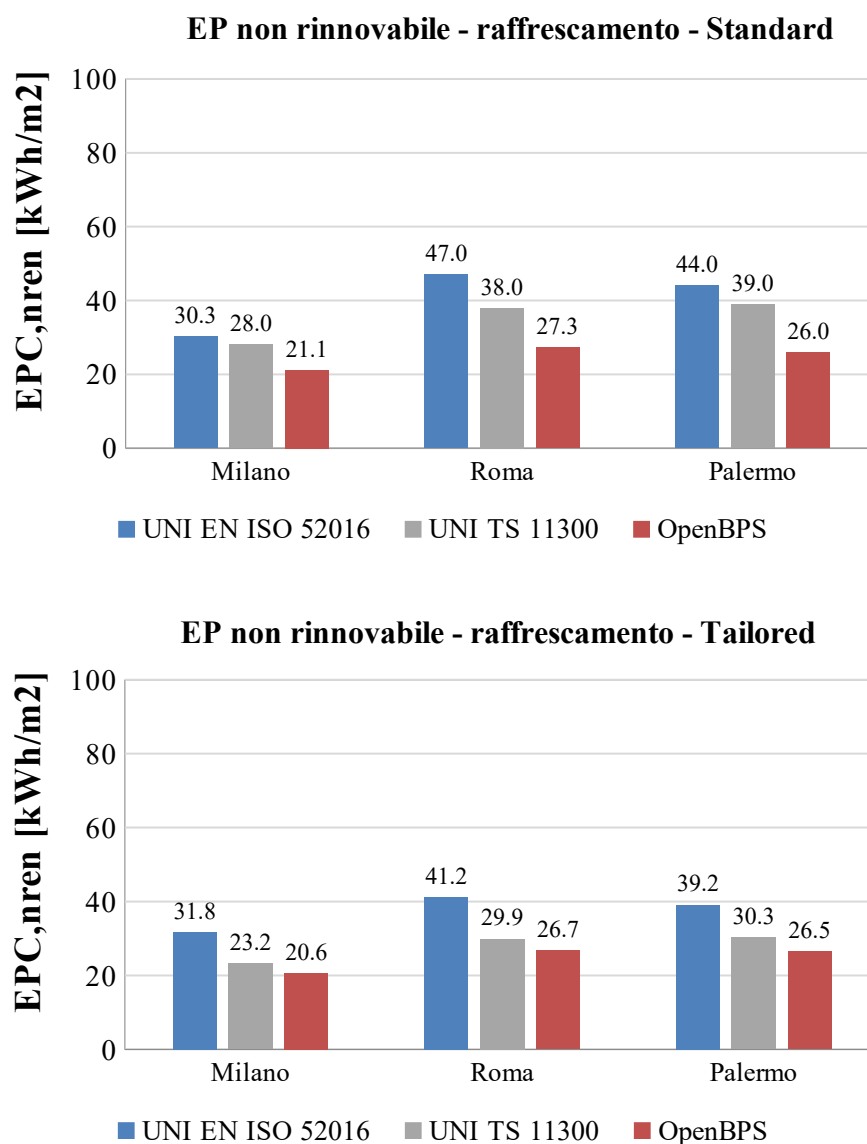


Figura58. Energia primaria non rinnovabile per raffrescamento - UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016 ed OpenBPS (V2) – valutazione Standard e Tailored. Scenario 1/2: PdC reversibile.

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

Il confronto tra i valori dei fabbisogni annuali per riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e raffrescamento ($Q_{C,nd}$) ottenuti con i tre metodi di calcolo indagati - basati sulle UNI EN ISO 52016, UNI/TS 11300 e OpenBPS – è analizzato di seguito, per tutte le località indagate, nonché per singola 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, sempre considerati come riferimento.

5.1 Calcolo Standard

La **Tabella 51** e **Tabella 52** 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 51**) ed opzione V2 (**Tabella 52**), entrambe relative al caso *Standard*; ogni tabella include, 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 51** –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 da quelli ottenuti con il metodo dinamico dettagliato di OpenBPS. 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, $\Delta Q_{H,nd}$, valutate sull'intero edificio aumentano sensibilmente, passando dal 76% di Milano, al 142% di Roma, fino al 286% di 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 +69%, Roma +93%, Palermo +169%), sono più contenuti di quelli riscontrati per le UNI TS 11300, evidenziando una migliore capacità di predizione dei fabbisogni di energia termica dell'edificio.

Tabella 51. 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]	34.4	15.7	18.3	16.9	7.1	5.9	7.8	3.4	2.0
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	88	-14	-	185	19	-	280	65	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	102.2	101.0	75.2	53.7	56.9	34.4	22.5	22.7	7.9
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	36	34	-	56	65	-	184	186	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	102.4	128.8	53.3	24.8	54.3	12.1	6.2	30.8	5.0
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	92	142	-	106	350	-	22	512	-
Zona 4	$Q_{H,nd}$	[MWh]	19.6	31.7	4.5	7.8	18.6	0.3	2.2	8.3	0.0
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	335	605	-	2160	5317	-	11933	45364	-
Zona 5	$Q_{H,nd}$	[MWh]	57.8	53.7	36.4	31.5	31.9	17.0	16.6	14.0	5.5
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	59	48	-	85	87	-	202	155	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	316.4	331.0	187.7	134.6	168.8	69.8	55.3	79.2	20.5
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	69	76	-	93	142	-	169	286	-

Utilizzando OpenBPS con l'opzione V2, **Tabella 52**, 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, che continuano a sovrastimare i valori di $Q_{H,nd}$. Nello specifico:

- i risultati ottenuti attraverso la UNI TS 11300-1 presentano scostamenti percentuali rispetto ai valori di OpenBPS del 26% a Milano, del 47% a Roma e del 71% a Palermo;
- 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 $\Delta Q_{H,nd}$ restano comparabili. In particolare, le differenze percentuali riscontrate sono pari a +20% a Milano, 18% a Roma e al 19% a Palermo.

Ad ogni modo, i risultati del 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 con il metodo stazionario della UNI TS 11300.

Tabella 52. 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]	34.4	15.7	20.6	16.9	7.1	8.1	7.8	3.4	3.6
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	67	-24	-	109	-12	-	118	-6	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	102.2	101.0	104.8	53.7	56.9	54.7	22.5	22.7	18.7
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	-2	-4	-	-2	4	-	21	21	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	102.4	128.8	85.8	24.8	54.3	26.0	6.2	30.8	13.4
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	19	50	-	-5	109	-	-54	130	-
Zona 4	$Q_{H,nd}$	[MWh]	19.6	31.7	5.5	7.8	18.6	0.6	2.2	8.3	0.1
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	256	477	-	1110	2799	-	4164	16011	-
Zona 5	$Q_{H,nd}$	[MWh]	57.8	53.7	47.0	31.5	31.9	25.1	16.6	14.0	10.7
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	23	14	-	25	27	-	55	31	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	316.4	331.0	263.7	134.6	168.8	114.5	55.3	79.2	46.4
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ [%]	20	26	-	18	47	-	19	71	-

In **Figura 59** sono plottati, relativamente al caso *Standard*, i valori dei fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ calcolati con le norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) 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 mostra chiaramente che le due norme sovrastimano i risultati prodotti con il metodo dinamico dettagliato di OpenBPS - caso V1 (**Figura 59**, top); i risultati relativi a tutte le zone termiche e tutte le località sono sempre al di sopra della bisettrice e della linea tratteggiata che rappresenta l'incremento del +20%. Utilizzando l'opzione V2, invece, i risultati di OpenBPS tendono ovviamente a quelli calcolati dalle norme, ed infatti un numero maggiore di risultati ricade nell'intorno della bisettrice (**Figura 59**, bottom), e spesso entro la banda di differenza percentuale di $\pm 20\%$.

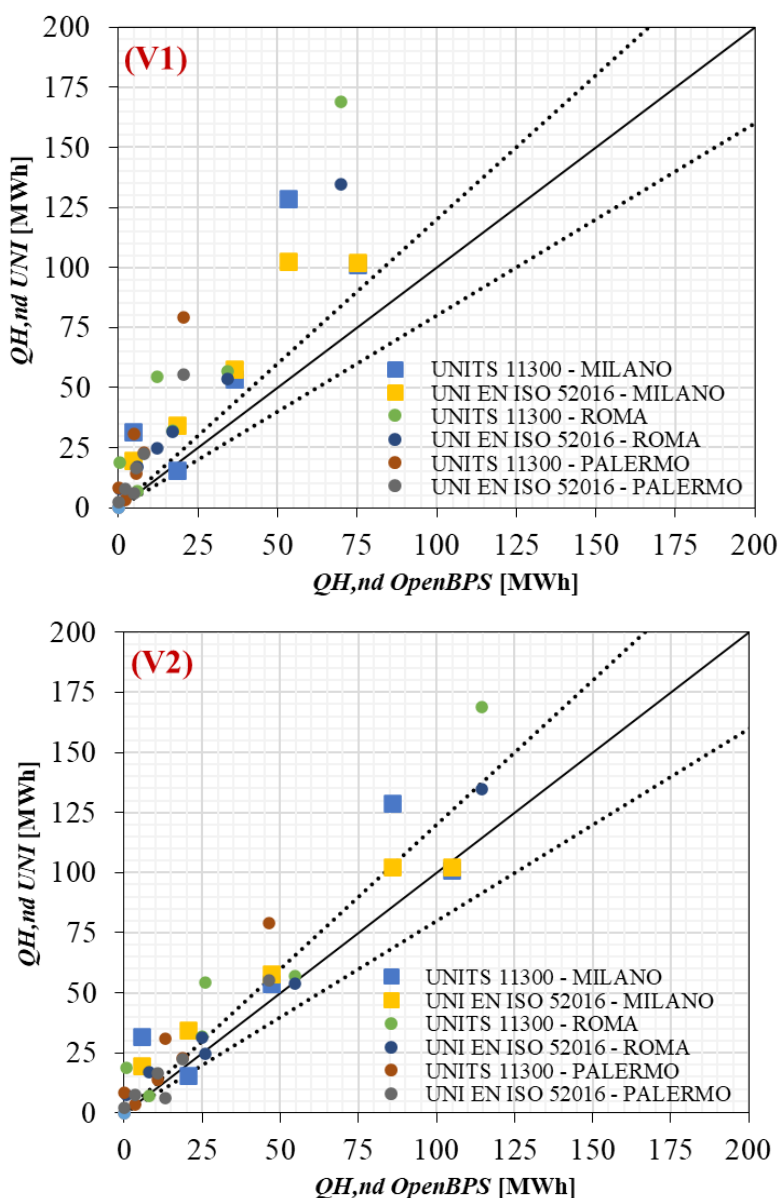


Figura 59. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione *Standard*.

La **Tabella 52** e la **Tabella 53** riportano i valori del fabbisogno annuale per raffrescamento $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme UNI EN ISO 52016, ed UNI TS 11300, e con OpenBPS – con opzione V1 (**Tabella 52**) ed opzione V2 (**Tabella 53**), entrambe relative al caso *Standard*. Come nel caso precedente, la tabella riporta anche le differenze percentuali, $\Delta Q_{C,nd}$, ottenute confrontando i valori delle norme rispetto ai dati di riferimento, ossia OpenBPS. Similmente a quanto riscontrato precedentemente, dall’analisi delle due tabelle, è possibile evincere che:

- non vi è sostanziale differenza nel calcolo del fabbisogno di raffrescamento per l’intero edificio tra i valori forniti dalla norma UNI EN ISO 52016 e quelli forniti dal codice dinamico dettagliato OpenBPS;

- considerando l'opzione V1, le due norme (UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016) sottostimano sempre il calcolo di $Q_{C,nd}$, mentre con opzione V2 il metodo orario della UNI EN ISO 52016 comporta la sovrastima dei risultati rispetto ad OpenBPS;
- passando dal caso V1 a quello V2, le differenze tra le due norme tendono a ridursi, con scostamenti percentuali rispetto ai dati di OpenBPS mediamente più contenuti e confrontabili.
- i valori di $\Delta Q_{C,nd}$ sono confrontabili sono molto più contenuti rispetto al caso del riscaldamento; considerando l'opzione V1, i valori di $\Delta Q_{C,nd}$ relativi al confronto tra la UNI TS 11300 ed OpenBPS, , sono pari a: -38% a Milano, -34% a Roma, -30% a Palermo; i valori di $\Delta Q_{C,nd}$ relativi al confronto tra la UNI EN ISO 52016 e OpenBPS sono decisamente incoraggianti e pari a: -3% a Milano, -3% a Roma, -6% a Palermo;

Tabella 53. 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		
Fabbisogno annuo di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]			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	$Q_{C,nd}$	[MWh]	14.4	9.5	15.0	16.5	12.1	19.0	17.2	12.2	18.4
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	-4	-37	-	-13	-36	-	-6	-34	-
Zona 2	$Q_{C,nd}$	[MWh]	76.8	49.2	68.7	96.6	63.9	94.4	88.1	65.2	95.2
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	12	-28	-	2	-32	-	-7	-32	-
Zona 3	$Q_{C,nd}$	[MWh]	157.0	93.9	162.9	186.0	118.7	181.3	170.6	115.6	162.7
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	-4	-42	-	3	-35	-	5	-29	-
Zona 4	$Q_{C,nd}$	[MWh]	5.6	5.0	16.6	7.8	7.8	20.6	8.3	9.4	20.9
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	-66	-70	-	-62	-62	-	-60	-55	-
Zona 5	$Q_{C,nd}$	[MWh]	21.6	18.5	20.5	28.1	25.3	30.4	25.1	26.0	31.0
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	5	-9	-	-8	-17	-	-19	-16	-
Edificio	$Q_{C,nd}$	[MWh]	275.3	176.2	283.6	335.1	227.6	345.7	309.3	228.4	328.3
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	-3	-38	-	-3	-34	-	-6	-30	-

Tabella 54. 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		
Fabbisogno annuo di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]			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	$Q_{C,nd}$	[MWh]	14.4	9.5	14.1	16.5	12.1	17.8	17.2	12.2	17.3
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	2	-33	-	-7	-32	-	-1	-30	-
Zona 2	$Q_{C,nd}$	[MWh]	76.8	49.2	61.9	96.6	63.9	86.1	88.1	65.2	87.3
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	24	-20	-	12	-26	-	1	-25	-
Zona 3	$Q_{C,nd}$	[MWh]	157.0	93.9	147.7	186.0	118.7	165.6	170.6	115.6	148.8
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	6	-36	-	12	-28	-	15	-22	-
Zona 4	$Q_{C,nd}$	[MWh]	5.6	5.0	14.5	7.8	7.8	18.0	8.3	9.4	18.2
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	-62	-66	-	-56	-57	-	-54	-48	-
Zona 5	$Q_{C,nd}$	[MWh]	21.6	18.5	18.0	28.1	25.3	27.0	25.1	26.0	27.6
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ[%]	20	3	-	4	-6	-	-9	-6	-
Edificio	$Q_{C,nd}$	[MWh]	275.3	176.2	256.3	335.1	227.6	314.5	309.3	228.4	299.3

	$\Delta Q_{C,nd}$	$\Delta[\%]$	7	-31	-	7	-28	-	3	-24	-
--	-------------------	--------------	---	-----	---	---	-----	---	---	-----	---

- 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 sempre più contenute (pur se peggiorando nel caso del metodo dinamico orario rispetto al caso V1). Infatti, i valori di $\Delta Q_{C,nd}$ relativi al confronto tra le UNI TS 11300 e OpenBPS sono pari a: -31% a Milano, -28% a Roma, -24% a Palermo; i valori di $\Delta Q_{C,nd}$ relativi al confronto tra le UNI EN ISO 52016 e OpenBPS sono pari a: +7% a Milano, +7% a Roma, +3% a Palermo.

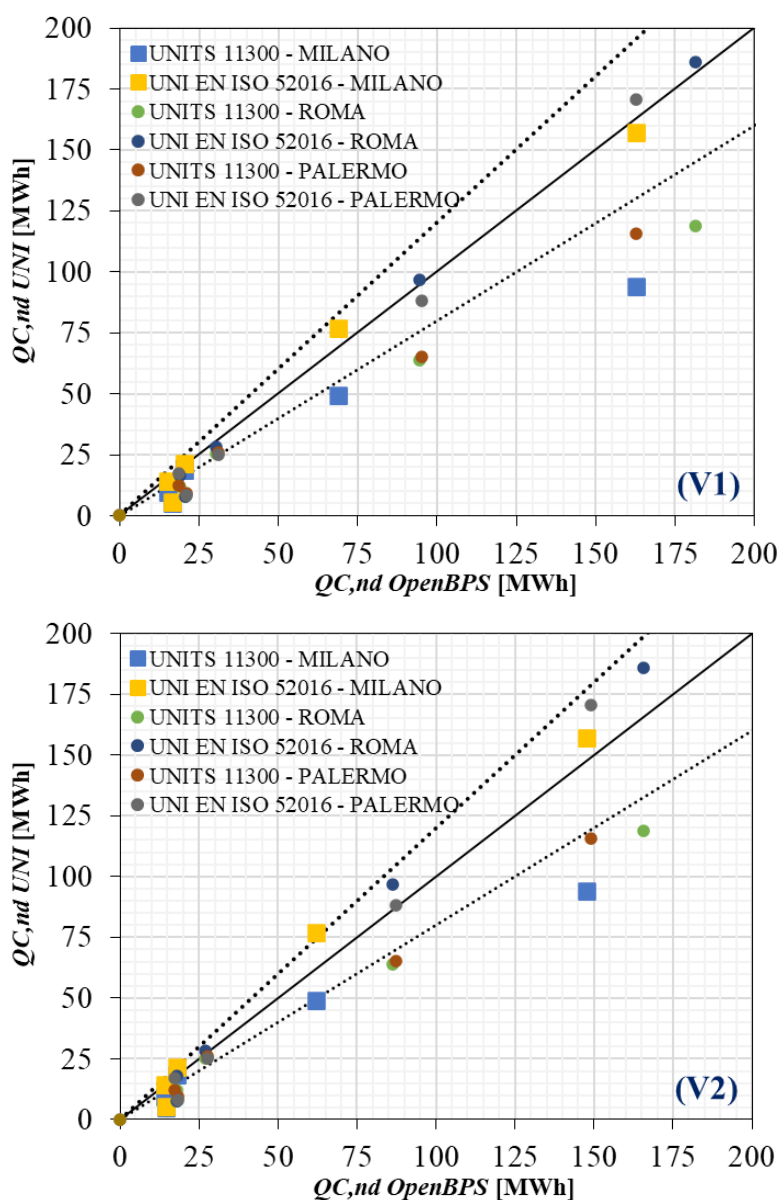


Figura 60. Fabbisogni di energia termica utile per il raffreddamento $Q_{C,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Standard.

La notevole similitudine tra i risultati di $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme e con il modello dettagliato è evidenziata in **Figura 60**, ove sono riportati i valori dei fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) 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 60**, top), e che le differenze riscontrate sono spesso sempre inferiori al 20%. Con l'opzione V2, invece, i risultati delle due norme ricadono quasi sempre sulla bisettrice e, quindi, risultano essere maggiormente simili ai dati calcolati da OpenBPS (**Figura 59**, bottom).

5.2 Calcolo Tailored

Considerazioni analoghe possono essere effettuate per i risultati ottenuti con la valutazione *Tailored*. In particolare, **Tabella 55** e la **Tabella 56** 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 55**) e V2 (**Tabella 56**). Le due tabelle sono relative al caso *Tailored* e riportano i dati aggregati per tutte le località indagate. Come per il caso *Standard*, in **Figura 61** sono plottati i valori di $Q_{H,nd}$ riportati in **Tabella 55** (caso V1 -**Figura 61**, top) e in **Tabella 56** (caso V2 -**Figura 61**, bottom). Tali plot riportano i valori ottenuti con le norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) in corrispondenza dei valori calcolati da OpenBPS. L'analisi combinata delle tabelle e della figura evidenzia un'analogia con la valutazione *Standard*, che per quanto concerne l'opzione V1 si può riassumere come segue:

- 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, con il conseguente incremento delle differenze percentuali, $\Delta Q_{H,nd}$ – tuttavia minori di quelle riscontrate nel caso *Standard* – pari a: +34% a Milano, +74% a Roma, e +142% a Palermo;
- la UNI EN ISO 52016-1, invece, presenta significativi scostamenti percentuali rispetto ai dati di OpenBPS, pari a: +70% a Milano, +109% a Roma e a +201% a Palermo; tali differenze percentuali sono meno contenute di quelle relative alla UNI TS 11300-1, evidenziando una peggiore capacità del metodo dinamico orario 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 61**, top), e le differenze percentuali riscontrate sono quasi sempre superiori al +20%.

Tabella 55. 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]	27.0	8.2	14.1	11.6	3.1	3.9	4.8	0.6	1.2
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ[%]	92	-42	-	200	-19	-	300	-49	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	80.0	59.9	59.6	37.5	27.5	23.8	13.5	6.7	4.5
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ[%]	34	1	-	57	16	-	203	50	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	78.0	65.2	39.6	16.2	18.3	7.1	4.1	9.3	2.8
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ[%]	97	65	-	127	156	-	46	229	-
Zona 4	$Q_{H,nd}$	[MWh]	20.6	22.9	6.9	9.5	10.8	0.9	2.5	3.3	0.1
	$\Delta Q_{H,nd}$	Δ[%]	200	234	-	978	1121	-	3525	4701	-

Zona 5	$Q_{H,nd}$	[MWh]	44.3	40.7	27.3	22.8	21.3	11.0	9.8	8.1	3.0
	$\Delta Q_{H,nd}$	$\Delta[\%]$	62	49	-	108	94	-	229	172	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	250.0	196.9	147.5	97.7	81.0	46.7	34.6	27.9	11.5
	$\Delta Q_{H,nd}$	$\Delta[\%]$	70	34	-	109	74	-	201	142	-

Nel caso in cui OpenBPS è utilizzato con opzione V2, si nota che:

- la UNI EN ISO 52016-1 presenta scostamenti percentuali, $\Delta Q_{H,nd}$, inferiori al +30%, ridotti rispetto al caso V1, ma comunque crescenti linearmente con la diminuzione dei gradi giorno (discrepanze maggiori sono facilmente riscontrabili per valori ridotti dei fabbisogni, es. Palermo), e sovrastima i valori di OpenBPS. In particolare, si riscontrano differenze percentuali pari a: +20% a Milano, +25% a Roma e +26% a Palermo;
- i risultati ottenuti attraverso la UNI TS 11300-1 presentano minimi scostamenti percentuali $\Delta Q_{H,nd}$ rispetto ai dati conseguiti attraverso OpenBPS, pari a: -5% a Milano, +4% a Roma e +1% a Palermo;

Tabella 56. 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		
Fabbisogno annuo di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ [MWh] e differenze percentuali [%]			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]	27.0	8.2	16.3	11.6	3.1	5.4	4.8	0.6	2.1
	$\Delta Q_{H,nd}$	$\Delta[\%]$	66	-49	-	113	-43	-	122	-72	-
Zona 2	$Q_{H,nd}$	[MWh]	80.0	59.9	82.7	37.5	27.5	38.7	13.5	6.7	11.1
	$\Delta Q_{H,nd}$	$\Delta[\%]$	-3	-28	-	-3	-29	-	22	-40	-
Zona 3	$Q_{H,nd}$	[MWh]	78.0	65.2	64.8	16.2	18.3	16.3	4.1	9.3	7.9
	$\Delta Q_{H,nd}$	$\Delta[\%]$	20	1	-	0	12	-	-48	18	-
Zona 4	$Q_{H,nd}$	[MWh]	20.6	22.9	8.8	9.5	10.8	0.6	2.5	3.3	0.2
	$\Delta Q_{H,nd}$	$\Delta[\%]$	136	162	-	1383	1581	-	1132	1532	-
Zona 5	$Q_{H,nd}$	[MWh]	44.3	40.7	35.7	22.8	21.3	16.9	9.8	8.1	6.3
	$\Delta Q_{H,nd}$	$\Delta[\%]$	24	14	-	35	26	-	56	29	-
Edificio	$Q_{H,nd}$	[MWh]	250.0	196.9	208.2	97.7	81.0	78.0	34.6	27.9	27.6
	$\Delta Q_{H,nd}$	$\Delta[\%]$	20	-5	-	25	4	-	26	1	-

- le due norme mostrano una buona capacità di predizione del comportamento energetico dell'edificio in riscaldamento; 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 61** (bottom) che evidenzia come le differenze percentuali sono spesso all'interno della banda $\pm 20\%$ (valori superiori sono dovuti ai dati relativi alle singole zone termiche).

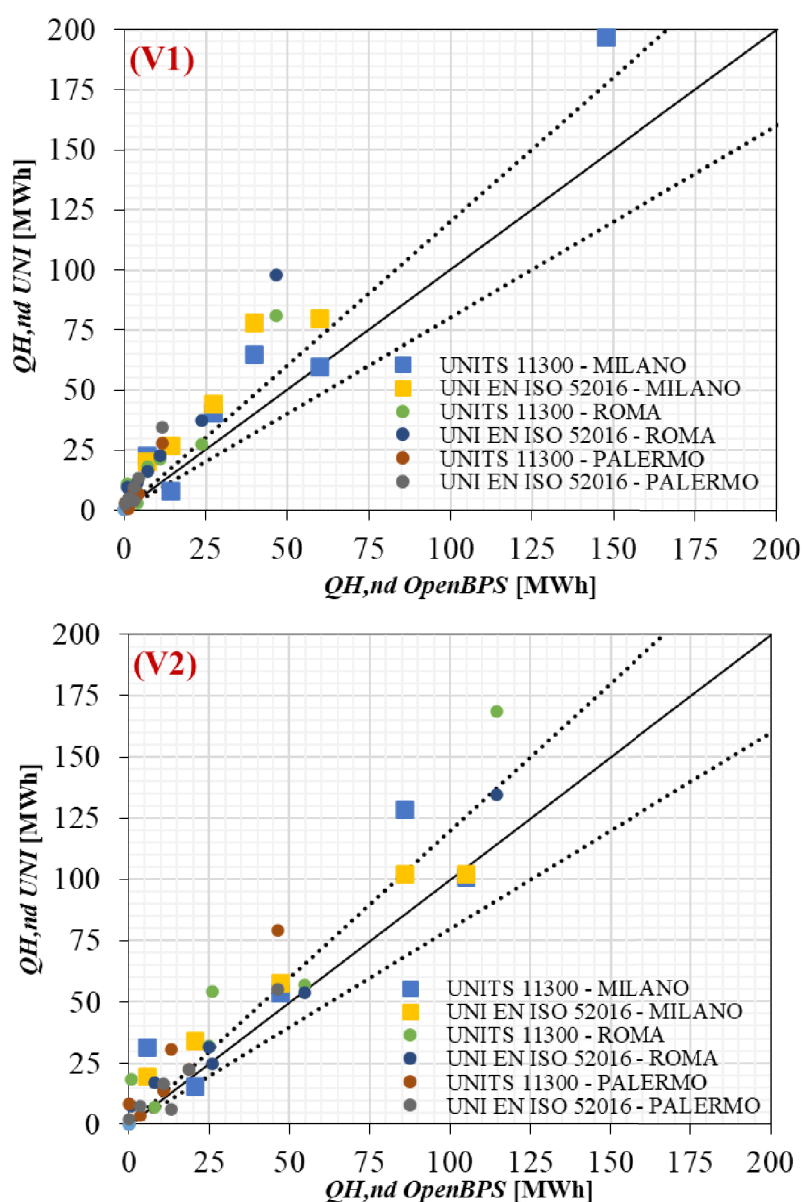


Figura 61. Fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored.

Tabella 57 e la **Tabella 58** riportano, infine, i dati del 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 52**) ed opzione V2 (**Tabella 53**), entrambe relative al caso *Tailored*. I risultati riportati in tali tabelle sono anche rappresentati in **Figura 62** in cui i fabbisogni di energia per il raffrescamento $Q_{C,nd}$ calcolati con le norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) sono plottati in corrispondenza dei valori calcolati da OpenBPS (con opzione V1 e V2).

Tabella 57. 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 raffrescamento $Q_{C,nd}$ [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	$Q_{C,nd}$	[MWh]	13.2	8.2	13.3	16.5	10.8	16.6	16.1	10.8	16.2
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	0	-38	-	0	-35	-	-1	-33	-
Zona 2	$Q_{C,nd}$	[MWh]	68.4	42.2	59.6	85.2	55.9	80.8	79.3	56.7	81.8
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	15	-29	-	5	-31	-	-3	-31	-
Zona 3	$Q_{C,nd}$	[MWh]	139.6	76.3	137.7	164.3	99.4	152.9	152.8	95.3	139.3
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	1	-45	-	7	-35	-	10	-32	-
Zona 4	$Q_{C,nd}$	[MWh]	5.8	0.0	16.3	8.1	0.2	20.3	8.6	0.6	20.1
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	-64	-100	-	-60	-99	-	-57	-97	-
Zona 5	$Q_{C,nd}$	[MWh]	18.3	10.8	27.3	23.4	16.7	11.0	21.6	17.0	3.0
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	-33	-60	-	114	52	-	626	471	-
Edificio	$Q_{C,nd}$	[MWh]	245.4	137.5	254.1	297.4	183.0	281.5	278.4	180.5	260.4
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	-3	-46	-	6	-35	-	7	-31	-

Tabella 58. 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 raffrescamento $Q_{H,nd}$ [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	$Q_{C,nd}$	[MWh]	13.2	8.2	12.6	16.5	10.8	15.6	16.1	10.8	15.3
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	5	-35	-	6	-31	-	5	-29	-
Zona 2	$Q_{C,nd}$	[MWh]	68.4	42.2	53.4	85.2	55.9	72.7	79.3	56.7	73.9
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	28	-21	-	17	-23	-	7	-23	-
Zona 3	$Q_{C,nd}$	[MWh]	139.6	76.3	122.8	164.3	99.4	137.1	152.8	95.3	125.4
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	14	-38	-	20	-28	-	22	-24	-
Zona 4	$Q_{C,nd}$	[MWh]	5.8	0.0	14.8	8.1	0.2	18.4	8.6	0.6	18.1
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	-61	-100	-	-56	-99	-	-52	-97	-
Zona 5	$Q_{C,nd}$	[MWh]	18.3	10.8	35.7	23.4	16.7	16.9	21.6	17.0	6.3
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	-49	-70	-	38	-2	-	244	171	-
Edificio	$Q_{C,nd}$	[MWh]	245.4	137.5	239.3	297.4	183.0	260.8	278.4	180.5	239.1
	$\Delta Q_{C,nd}$	Δ [%]	3	-43	-	14	-30	-	16	-25	-

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 (con riduzione delle differenze percentuali passando dal primo al secondo caso), essendo sono pari a -46% a Milano, -35% a Roma, -31% a Palermo per l'opzione V1, e pari -43% a Milano, -30% a Roma, -25% a Palermo per l'opzione V2, diminuendo al diminuire del fabbisogno di raffrescamento;

- la UNI EN ISO 52016 presenta sempre una buona capacità di calcolo di $Q_{C,nd}$ rispetto ad OpenBPS, sia con l'opzione V1 che con l'opzione V2. Si riscontrano differenze percentuali pari a -3% a Milano, +6% a Roma e +7% a Palermo con l'opzione V1, e pari a +3% a Milano, +14% a Roma e +16% a Palermo con l'opzione V2;

Infine, **Figura 62** mostra come la differenza percentuale dei risultati di calcolo delle norme rispetto al metodo dinamico dettagliato sia incoraggiante anche nel caso *Tailored*, per cui, sia con l'opzione V1 tanto più con la V2, i risultati di calcolo sono quasi sempre compresi nell'intervallo $\pm 20\%$.

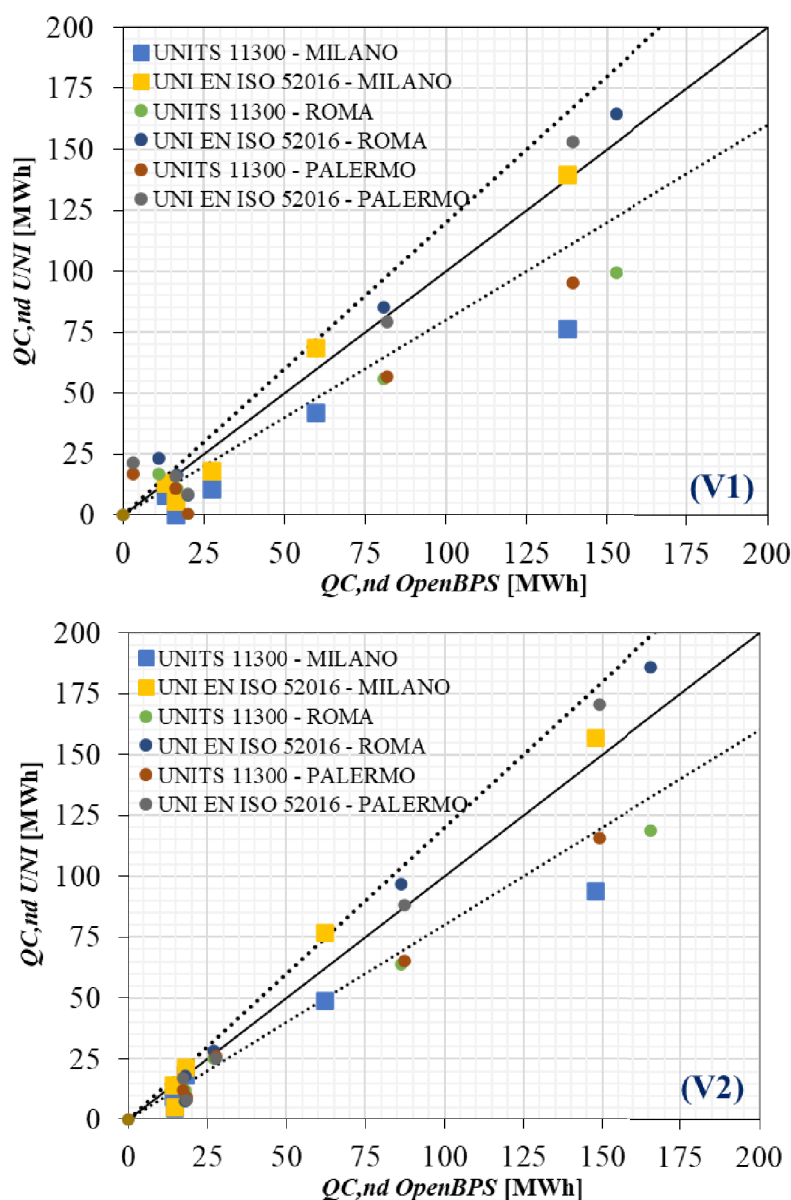


Figura 62. Fabbisogni di energia termica utile per il raffreddamento $Q_{C,nd}$: risultati delle norme UNI (TS 11300 e EN ISO 52016) verso quelli di OpenBPS (V1 e V2) – valutazione Tailored.

6 Conclusioni

Ai fini della promozione dell'efficienza energetica degli edifici, disporre di metodi di calcolo affidabili per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici è fondamentale per le fasi di progettazione di nuovi edifici o per la riqualificazione di quelli esistenti. Attualmente, per la stima della prestazione energetica di un edificio è oggi possibile utilizzare diverse metodologie, basate sul calcolo stazionario mensile (metodo mensile della norma UNI/TS 11300-1), sulla simulazione dinamica oraria (metodo orario alla base della norma UNI EN ISO 52016-1), e su modelli dettagliati per la simulazione dinamica del sistema (metodi dinamici). I metodi dinamici, largamente impiegati nei software per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici (cosiddetti BEPS), rappresentano sempre più lo standard di riferimento per progettisti e tecnici. Pertanto, al fine di valutare le differenze di calcolo tra le norme e tali metodi dinamici, anche per stabilire per quali configurazioni del sistema edificio-impianto l'utilizzo di un metodo è preferibile rispetto ad un altro, è necessario disporre dei risultati di studi sviluppati in modo sistematico. A tal riguardo, l'attività di ricerca svolta e descritta in questo documento, ha l'obiettivo di fornire informazioni complete sul confronto tra i risultati ottenuti con le diverse metodologie disponibili, a partire da un caso studio di un edificio uffici, quindi non-residenziale. L'attività di ricerca mira ad evidenziare le condizioni di funzionamento dell'impianto, in funzione della condizione climatica e della stagione di riferimento (riscaldamento - raffrescamento) in cui le norme UNI TS 11300 e UNI EN ISO 52016 riescono ad uguagliare o ad avvicinarsi ai metodi dinamici. Tale indagine fornisce spunti di riflessione sull'utilizzo dei metodi analizzati per la redazione dell'attestato di prestazione energetica (APE) e per il calcolo dei fabbisogni energetici degli edifici.

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: 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 l'obiettivo di ricerca, il caso studio adottato è relativo ad un edificio uffici, non-residenziale, modellato e simulato attraverso le suddette metodologie di calcolo in diverse condizioni climatiche caratteristiche del nostro Paese. L'edificio sito a Roma ed individuato da ENEA, è stato modellato nei diversi ambienti 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 *Tailored* (adattato all'utenza).

Il calcolo dei fabbisogni di energia termica utile per il riscaldamento ed il raffrescamento è stato effettuato attraverso il metodo stazionario mensile (UNI TS 11300-1) dall'unità di ricerca dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, ed attraverso 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 considerando come riferimento, e su indicazione di ENEA, i fabbisogni di energia utile per il riscaldamento ed il raffrescamento calcolati attraverso OpenBPS. Pertanto, le differenze percentuali tra i risultati forniti dalle norme UNI TS 11300-1 ed UNI EN ISO 52016-1 con quelli prodotti da OpenBPS sono state calcolate al fine di fornire informazioni, qualitative e quantitative, sulla bontà di un metodo o di un altro nell'emulare il comportamento termico dell'edificio così come predetto dal codice dinamico dettagliato considerato come riferimento. I risultati di OpenBPS sono stati ottenuti 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.

In linea generale, al fine di valutare l'efficacia dei metodi alla base delle norme per il calcolo dei fabbisogni termici anche ai fini della redazione dell'APE, il confronto dettagliato tra i risultati di calcolo, effettuato su base mensile ed annuale, ha evidenziato che rispetto al metodo stazionario (UNI TS 11300, utilizzato per il calcolo dell'APE), il metodo dinamico orario (UNI EN ISO 52016) - essendo intrinsecamente più efficace nel

riprodurre la dinamica termica dell'edificio - fornisce risultati mediamente più prossimi a quelli ottenuti col modello dinamico dettagliato di OpenBPS. Tale risultato è mediamente riscontrato – su base mensile e annuale e per l'intero edificio – per ogni condizione climatica indagata e per ogni condizione di calcolo (*Standard* e *Tailored*), sia per il calcolo del fabbisogno termico di riscaldamento che, ancor di più, per il calcolo del fabbisogno termico di raffrescamento.

Dall'analisi dei risultati si evince che per il calcolo del fabbisogno di riscaldamento effettuato nelle condizioni *Standard* nonché nelle condizioni *Tailored*, entrambe le norme sovrastimano 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. Gli scostamenti tra i risultati ottenuti con i metodi alla base delle norme ed OpenBPS si riducono notevolmente se il codice OpenBPS è utilizzato con opzione V2 (coefficienti di scambio termico convettivo-radiativo superficiali costanti). Nello specifico, in base agli algoritmi di calcolo utilizzati, appare evidente che passando da un coefficiente di scambio termico variabile (V1) ad uno costante (V2) si ha un maggiore allineamento del metodo dettagliato di OpenBPS con i valori forniti dalle norme, sottolineando l'enorme influenza di tale parametro sui risultati di calcolo e, in generale, sulla trasmissione del calore. Di conseguenza, in tale condizione (OpenBPS, V2) 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 quasi sempre oltre il +20% con opzione V1, e spesso contenute tra $\pm 20\%$ con opzione V2. La valutazione effettuata nella condizione *Tailored* mostra mediamente scarti percentuali ridotti rispetto alla condizione *Standard*, in casi molto limitati con una migliore prestazione della UNI TS 11300-1 rispetto alla UNI EN ISO 52016-1. Nel caso di valutazione *Standard*, al diminuire dei fabbisogni assoluti di riscaldamento (passando da Milano a Palermo), si riscontra un aumento degli scarti percentuali tra i fabbisogni delle norme e quelli del metodo dinamico dettagliato. Non si riscontra, invece, alcun effetto importante delle condizioni climatiche sui risultati di calcolo nel caso di valutazione *Tailored*.

Per quanto concerne il calcolo del fabbisogno di raffrescamento non vi sono sostanziali differenze, sia in valutazione *Standard* che *Tailored*, tra il calcolo effettuato con le due norme e quello con OpenBPS. La UNI TS 11300 sottostima sempre i risultati ottenuti con OpenBPS, presentando differenze percentuali simili su base annua ed intorno al -30%; tali differenze tendono a ridursi quando il confronto è effettuato utilizzando OpenBPS con opzione V2 e, in generale, all'aumentare del fabbisogno (passando da Milano a Palermo); ciò vale sia per l'intero edificio che per le singole zone termiche. In ogni caso, mediamente, la UNI EN ISO 52016 è in grado di emulare il comportamento del metodo dinamico dettagliato di OpenBPS ed, infatti, gli scarti percentuali ottenuti sono ridotti e, spesso, trascurabili. In linea generale, considerando come riferimento i risultati prodotti dal software OpenBPS utilizzato con opzione V2, i risultati di calcolo prodotti tra i metodi dinamici si corrispondono significativamente.

In linea generale, assumendo come valori di riferimento i risultati di calcolo ottenuti tramite il metodo dinamico dettagliato di OpenBPS e, soprattutto, considerando costanti i coefficienti di scambio termico convettivo-radiativo superficiali, la UNI EN ISO 52016-1 assicura su base annuale un calcolo più accurato dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento degli edifici rispetto alla norma UNI TS 11300-1, data la migliore capacità di valutare opportunamente gli effetti delle condizioni climatiche sulla dinamica termica dell'involucro edilizio utilizzato per questa attività di ricerca.

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).