



Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB

Studio dell'edificio di riferimento uso uffici della PA nella zona
climatica Nord Italia (zona E: $2.100 < GG \leq 3.000$)

V. Corrado, I. Ballarini, G. De Luca, E. Primo, D. Iatauro



RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI PUBBLICI ESISTENTI: DIREZIONE NZEB
STUDIO DELL'EDIFICIO DI RIFERIMENTO USO UFFICI DELLA PA NELLA ZONA CLIMATICA NORD ITALIA (ZONA E:
2.100 <GG ≤ 3.000)

V. Corrado, I. Ballarini, G. De Luca, E. Primo (Politecnico di Torino)
D. Iatauro (ENEA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: D "EFFICIENZA ENERGETICA E RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI USI FINALI ELETTRICI E INTERAZIONE CON ALTRI VETTORI ENERGETICI"

Progetto: D.2 "STUDI SULLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEL PARCO ESISTENTE DI EDIFICI PUBBLICI MIRATA A CONSEGUIRE IL RAGGIUNGIMENTO DI EDIFICI A ENERGIA QUASI ZERO (NZEB)"

Obiettivo: Studio dell'edificio di riferimento uso uffici della PA nella zona climatica Nord Italia (zona E: 2.100 <GG ≤ 3.000)

Responsabile del Progetto: ing. Luciano Terrinoni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB. Studio dell'edificio di riferimento uso uffici della PA nella zona climatica Nord Italia (zona E: 2.100 <GG ≤ 3.000)"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Domenico Iatauro.

Responsabile scientifico Politecnico di Torino: prof. ing. Vincenzo Corrado

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE	7
2 TIPOLOGIA EDILIZIA AD USO UFFICIO	9
2.1 ANALISI DELLA LETTERATURA	9
2.2 INDIVIDUAZIONE DEL CASO STUDIO	12
3 DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA DI CALCOLO	14
3.1 CARATTERISTICHE GENERALI DELLA PROCEDURA.....	14
3.1.1 <i>La determinazione del fabbisogno energetico dell'edificio</i>	15
3.1.2 <i>L'analisi costi-benefici</i>	16
3.1.3 <i>La definizione di soluzioni nZEB</i>	16
3.2 ASSUNZIONI GENERALI DI CALCOLO	19
4 ANALISI DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO	21
4.1 CARATTERIZZAZIONE DELL'EDIFICIO	21
4.1.1 <i>Informazioni generali e contesto esterno</i>	21
4.1.2 <i>Fabbricato</i>	23
4.1.3 <i>Impianti</i>	27
4.1.4 <i>Utenza</i>	32
4.1.5 <i>Consumi energetici</i>	37
4.2 COSTRUZIONE DEL MODELLO	40
4.2.1 <i>Profili di occupazione</i>	42
4.2.2 <i>Definizione delle zone termiche</i>	44
4.2.3 <i>Profili di utilizzo: aperture, sistemi oscuranti, schermature solari e illuminazione artificiale</i>	49
4.2.4 <i>Parametri impiantistici</i>	56
4.3 VALUTAZIONI ENERGETICHE, AMBIENTALI ED ECONOMICHE.....	59
4.3.1 <i>Valutazione d'esercizio (operational rating)</i>	59
4.3.2 <i>Valutazione adattata all'utenza (tailored rating) e calibrazione del modello</i>	59
4.3.3 <i>Valutazione adattata all'utenza calibrata (calibrated tailored rating) con dati climatici standard</i>	68
4.3.4 <i>Valutazione standard e classificazione energetica</i>	70
5 ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE	72
5.1 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI	72
5.2 SOLUZIONI TECNOLOGICHE E COSTI	73
5.3 VALUTAZIONI ENERGETICHE, AMBIENTALI ED ECONOMICHE.....	75
5.3.1 <i>Cost-optimal analysis</i>	75
5.3.2 <i>Soluzioni conformi al D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi</i>	81
5.3.3 <i>Soluzione nZEB</i>	82
5.3.4 <i>Analisi economica con SEAS 3.0</i>	85
5.4 ANALISI DI SENSIBILITÀ	86
6 CONCLUSIONI.....	88
7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	89
ALLEGATO A. RELAZIONE TECNICA, PROVINCIA DI TORINO	92
ALLEGATO B. ELABORATI PROGETTUALI – PLANIMETRIE CON IDENTIFICAZIONE DEI LOCALI.....	127
ALLEGATO C. QUESTIONARIO SULL'UTILIZZO DEGLI SPAZI LAVORATIVI	133

Sommario

L'attività descritta nel presente rapporto si riferisce all'Accordo di Programma stipulato fra il Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA riguardante il Piano Annuale di Realizzazione 2016, area D "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici", tema di ricerca "Edifici a energia quasi zero (nZEB)", progetto D.2 "Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (nZEB)", obiettivo a. "Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB", sub-obiettivo a.1 "Studio dell'edificio uso uffici di riferimento nella zona climatica Nord Italia (zona E: $2.100 < GG \leq 3.000$)". Il tema sviluppato nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino ha riguardato la riqualificazione energetica di edifici scolastici pubblici, in applicazione del D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi [1].

L'attività è consistita nell'individuazione di un caso studio rappresentativo delle tipologie di edifici uso uffici, nell'effettuazione di una diagnosi energetica e nella definizione d'interventi di retrofit inquadrabili in una ristrutturazione importante di 1° livello, tendenti a trasformare l'edificio esistente in edificio a energia quasi zero, secondo le definizioni del D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi [1]. Attraverso un'analisi di sensibilità si considerano infine interventi singoli o pacchetti di interventi di riqualificazione, al fine di valutarne l'incidenza sulla prestazione energetica globale dell'edificio. Occorre dunque conoscere il comportamento reale dell'utenza e il consumo energetico del sistema costituito dall'insieme del fabbricato e degli impianti e dispositivi tecnologici. L'analisi dello stato di fatto consente di costruire il bilancio dei flussi di energia termica del fabbricato e quello degli usi finali di energia, individuare le eventuali cause di sprechi e definire gli interventi più appropriati da proporre al fine della trasformazione in nZEB e del miglioramento delle prestazioni energetiche, valutandone la fattibilità tecnica ed economica.

Gli interventi riguardano sia l'involucro edilizio, sia gli impianti tecnici (in particolare climatizzazione, illuminazione, produzione di ACS, ventilazione), sia la generazione efficiente di energia termica ed elettrica. Sono proposte soluzioni tecnologiche avanzate, ma allo stesso tempo coerenti con i principi di fattibilità tecnico-ambientale-economica e replicabilità su larga scala. Le soluzioni sono orientate all'efficienza energetica, alla gestione intelligente dell'energia e allo sfruttamento delle energie rinnovabili. L'analisi energetica è basata sui vari indicatori, anche disaggregati per servizio e per vettore energetico. L'analisi economica comprende il calcolo dei seguenti indicatori: VAN, costo globale, tempo di ritorno attualizzato e indice di profitto.

Lo svolgimento dell'attività ha previsto l'utilizzo di fogli di calcolo in formato Excel, che hanno permesso di calcolare il fabbisogno termico utile e di energia primaria dell'edificio come previsto dalle specifiche UNI/TS 11300 parti 1, 2, 3, 4, 5 ([4],[5],[6],[7],[8])¹, ed il corrispondente costo globale.

Il calcolo energetico è stato altresì svolto mediante il software di simulazione dinamica *DesignBuilder* [45], che adotta il motore di calcolo Energy Plus 8.8.0 [44].

L'analisi economica ha compreso il calcolo di vari indicatori: tempo di ritorno, costo totale, VAN, indice di profitto. Per l'analisi economica è stata utilizzata la routine di calcolo "*Analisi economica*" del software SEAS 3.0 (acronimo di Software Energetico per Audit Semplificati), nato da una collaborazione fra ENEA e DESTEC dell'Università di Pisa.

Il lavoro è strutturato nelle seguenti fasi:

- A. Attività preliminari
 - a. Analisi della letteratura sulla tipologia di edifici uso uffici
 - b. Individuazione del caso studio

¹ È stato trascurato il calcolo delle prestazioni energetiche per il trasporto di persone e/o cose, previsto dalla norma UNI/TS 11300-6 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili", Marzo 2016.

B. Analisi dello stato di fatto

- a. Caratterizzazione del caso studio
- b. Modellazione dello stato di fatto
- c. Analisi energetica-ambientale-economica dello stato di fatto

C. Analisi degli interventi di retrofit

- a. Individuazione degli interventi di retrofit
- b. Definizione dei costi degli interventi di retrofit
- c. Modellazione degli interventi di retrofit
- d. Analisi energetico-ambientale-economica degli interventi di retrofit
- e. Analisi di sensibilità ai parametri economici

In seguito vengono illustrate le sezioni in cui si è articolata l'attività svolta.

A. Attività preliminari

A.a Analisi della letteratura sulla tipologia edilizia ad uso uffici

È stata svolta sia una ricerca bibliografica, sia la consultazione di indagini statistiche effettuate dall'ISTAT e da altri enti preposti.

A.b Individuazione del caso studio

Ha comportato incontri con dirigenti scolastici e della Città Metropolitana di Torino per verificare la disponibilità di documentazione progettuale, l'interesse all'effettuazione di misure e indagini soggettive, nonché l'effettuazione di sopralluoghi per verificare l'adeguatezza dell'edificio scelto. L'edificio individuato, sito in via Coazze 18 a Torino, ospita l'Ufficio Scolastico Regionale per il Piemonte - Ufficio Scolastico Provinciale (ex Provveditorato agli Studi).

B. Analisi dello stato di fatto

B.a Caratterizzazione del caso studio

È stata raccolta la documentazione progettuale esistente sull'edificio e le informazioni reperibili sull'utenza (ore di presenza, comportamento) e sulla gestione del fabbricato e degli impianti mediante questionari. È stato eseguito il rilievo dello stato di fatto, confrontando la coerenza con le informazioni riportate nella documentazione progettuale presente. Sono state recepite informazioni sui consumi energetici dell'edificio e sull'andamento delle variabili meteorologiche nella stagione di riscaldamento presa in esame (2016/17).

B.b Modellazione dello stato di fatto

Sulla base delle informazioni raccolte sull'edificio, in particolare sulla stratigrafia delle strutture opache dell'involucro, sulle caratteristiche delle strutture trasparenti, sugli impianti esistenti (riscaldamento, climatizzazione, produzione di ACS, ventilazione, illuminazione), è stato modellato l'edificio con individuazione delle zone termiche. Nel caso studio in oggetto è presente un impianto di riscaldamento, mentre non sono presenti l'impianto di raffrescamento e di produzione di acqua calda sanitaria. Sono stati definiti i profili di occupazione e ricavati gli apporti interni legati agli occupanti, all'apertura delle finestre, all'uso delle apparecchiature elettriche e dei dispositivi d'illuminazione.

B.c Analisi energetica-ambientale-economica dello stato di fatto

È stata eseguita una valutazione energetica adattata all'utenza calibrata (*calibrated tailored energy rating*) secondo la norma UNI EN 15603 [9]. La calibrazione del modello è stata svolta al fine di far coincidere l'indice di prestazione energetica operativo e quello effettivo (secondo la raccomandazione tecnica UNI CEI/TR 11428, [10]).

Sono stati analizzati i termini di bilancio di energia dell'edificio, disaggregati per servizio e vettore energetico, i trend annuali di consumo, verificati gli impatti ambientali e i costi energetici e di manutenzione dello stato di fatto, effettuando i confronti con i dati di benchmark.

C. Analisi degli interventi di retrofit

C.a Individuazione degli interventi di retrofit

Sono stati individuati gli interventi di retrofit nel rispetto dei requisiti minimi previsti dal D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi [1], per fornire prescrizioni e requisiti per il miglioramento delle prestazioni energetiche e il raggiungimento degli standard previsti al 2015 e per gli nZEB.

C.b Definizione dei costi degli interventi di retrofit

È stata effettuata un'indagine di mercato fra i produttori di tecnologie e le associazioni culturali e di categoria, al fine di definire il costo degli interventi di retrofit individuati.

C.c Modellazione degli interventi di retrofit

Attraverso l'utilizzo dei fogli di calcolo in formato Excel, è stata svolta la modellazione dell'edificio post-retrofit secondo le metodologie previste dal D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi [1] (calcolo standardizzato secondo la specifica tecnica UNI/TS 11300 parte 1, 2, 3, 4, 5 ([4],[5],[6],[7],[8]) e utilizzando il software di simulazione dinamica *DesignBuilder*. Sono stati simulati differenti scenari di intervento, in relazione alle misure di efficienza energetica individuate precedentemente.

C.d Analisi energetico-ambientale-economica degli interventi di retrofit

Sono stati valutati i diversi indicatori energetici-ambientali-economici in relazione agli interventi di retrofit ipotizzati. Sono presi in considerazione sia interventi singoli, sia pacchetti di interventi.

C.e Analisi di sensibilità

È stata effettuata un'analisi parametrica volta a verificare l'influenza di interventi specifici di riqualificazione sul fabbisogno energetico globale dell'edificio, e sul rispettivo costo. A seguito dell'ipotesi di riqualificazione globale dell'edificio secondo le disposizioni di legge riportate all'interno del D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi [1] per il 2015 e il 2019, l'analisi prevede la valutazione energetica ed economica considerando separatamente le misure di efficienza energetica, così come segue:

- riqualificazione energetica del solo fabbricato (isolamento termico dell'involucro opaco e trasparente, inserimento di schermature solari);
- riqualificazione energetica del solo impianto (sostituzione del generatore di calore, efficientamento del sistema di regolazione della temperatura ambiente per il riscaldamento);
- utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (collettori solari termici e pannelli fotovoltaici).

1 Introduzione

L'attività illustrata nella presente relazione riguarda lo studio dell'edificio ad uso uffici di riferimento nella zona climatica del Nord Italia, sul quale è stata svolta un'accurata diagnosi energetica, volta a individuare gli interventi di riqualificazione applicabili per ridurre i consumi e migliorare l'efficienza energetica dell'edificio.

La diagnosi energetica è stata realizzata secondo la metodologia prevista dalla principale normativa tecnica di riferimento – UNI CEI EN 16247 parti 1-3 ([11],[12],[13]) e UNI CEI/TR 11428 [10]– e ha previsto la costruzione di un modello energetico calibrato, vale a dire un modello i cui risultati convergono con i dati di consumo effettivo a seguito appunto della calibrazione del modello.

Lo schema riassuntivo della procedura seguita per lo svolgimento della diagnosi, secondo la raccomandazione tecnica UNI CEI/TR 11428 [10], è mostrato in Figura 1.1.

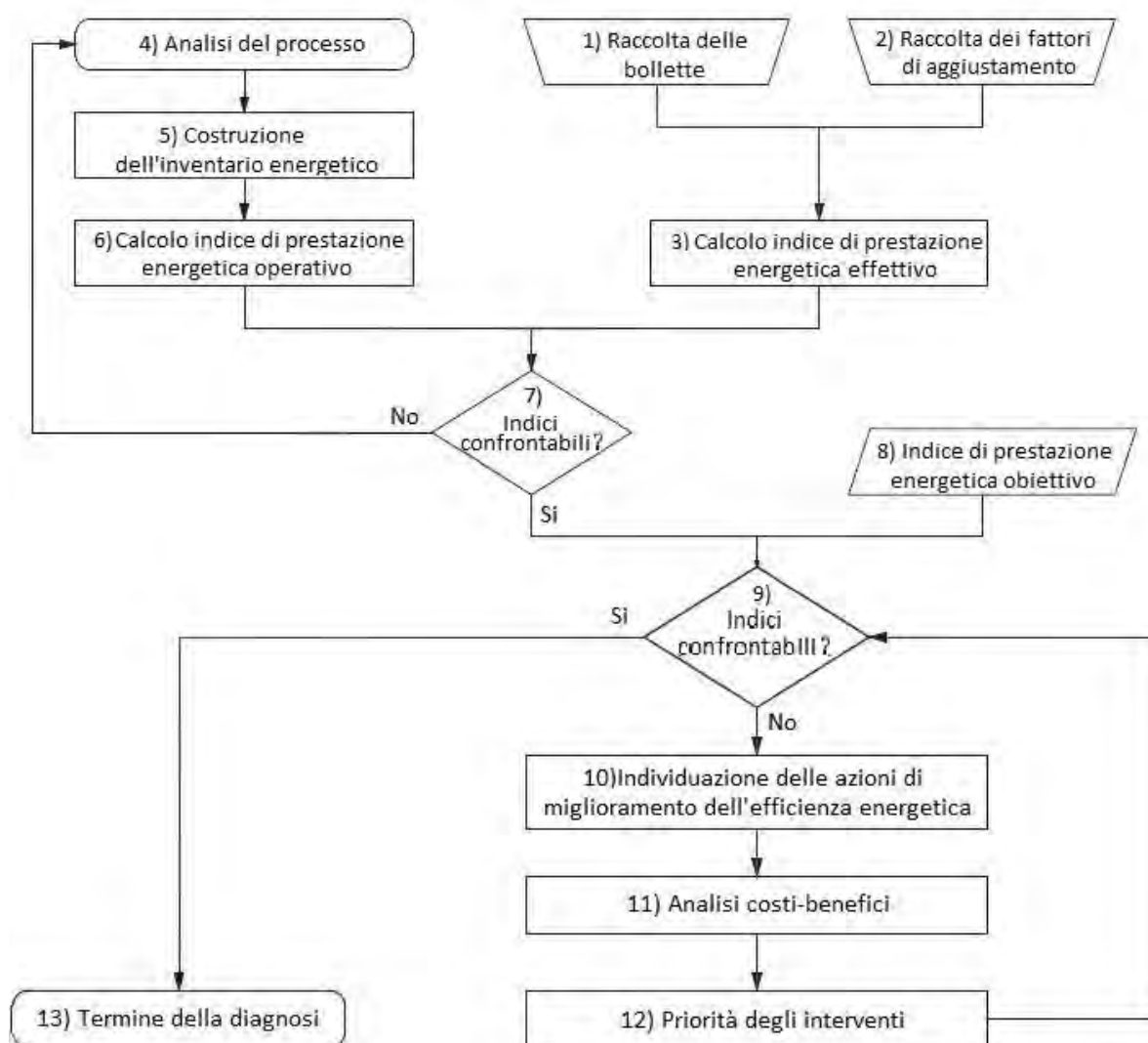


Figura 1.1. Schema procedurale per lo svolgimento di una diagnosi energetica (Fonte UNI CEI/TR 11428 [10]).

I punti 1, 2 e 3 dello schema in Figura 1.1 rappresentano l'*operational rating*, ossia la valutazione d'esercizio che parte dai consumi reali e considera l'uso reale dell'edificio e i dati climatici effettivi relativi al periodo di tempo esaminato. Si procede attraverso la raccolta dei dati relativi alle bollette di fornitura energetica e la

ricostruzione dei consumi effettivi di elettricità e combustibili, per uno o più anni considerati significativi, e con l'identificazione e la raccolta dei fattori di correzione cui riferire i consumi energetici. Viene quindi calcolato un indice di prestazione energetica effettivo.

I punti 4, 5 e 6 dello schema rappresentano invece la *tailored rating*, ossia una valutazione adattata all'utenza reale; si procede mediante la raccolta delle informazioni necessarie alla creazione dell'inventario energetico, allo svolgimento della diagnosi e al calcolo dell'indice di prestazione energetica operativo.

Si attua un confronto tra l'indice di prestazione energetica operativo e quello effettivo. Se gli indici convergono, si prosegue l'analisi, altrimenti si ritorna al passo 4 e si procede alla calibrazione del modello. Gli scostamenti percentuali accettabili vengono stabiliti in funzione del settore di intervento.

La valutazione energetica calibrata rappresenta una sintesi tra la valutazione di calcolo adattata all'utenza e la valutazione d'esercizio: essa permette di ridurre gli intervalli di confidenza dei dati usati nella valutazione di calcolo attraverso il confronto con il consumo reale di energia.

L'applicazione di tale metodo è consigliato per valutare l'effetto di possibili interventi di riqualificazione energetica, come nel caso in oggetto.

A questo punto viene individuato l'indice di prestazione energetica obiettivo; se i valori espressi dagli indicatori sono tra loro comparabili, la diagnosi è conclusa (punto 13), invece se esiste uno scarto significativo tra l'indice di prestazione operativo e l'indice di prestazione obiettivo, si individuano le misure di miglioramento dell'efficienza. Per tali misure devono essere condotte analisi di fattibilità tecnico-economiche. Le misure individuate sono ordinate in funzione degli indici concordati.

2 Tipologia edilizia ad uso ufficio

2.1 Analisi della letteratura

Secondo una recente ricerca CRESME [27], il patrimonio edilizio italiano destinato ad uffici (pubblici e privati) ammonta ad oltre 65.000 edifici ad uso esclusivo, mentre lo stock dei soli edifici pubblici è, al 2013, di circa 13.700 unità, per una superficie complessiva pari a 23,6 milioni di m². Quasi un terzo della superficie complessiva è distribuito su cinque province (Roma, Milano, Napoli, Torino e Palermo). Il consumo energetico medio annuo ammonta ad oltre 4,3 TWh (suddivisi in 3,03 TWh termici e 1,27 TWh elettrici) e la spesa annua delle Pubbliche Amministrazioni è di circa 644 milioni di euro.

I principali dati sulla consistenza numerica e le caratteristiche costruttive ed impiantistiche del patrimonio edilizio nazionale relativo agli edifici della PA ad uso ufficio sono riportati da Figura 2.1 a Figura 2.5. Le informazioni sono state ricavate prevalentemente dai risultati del progetto di ricerca IEE-RePublic_ZEB ([28],[29]), fondati a loro volta su elaborazioni statistiche di dati ENEA [30] e CRESME ([31],[32]).

In Italia, quasi la metà degli edifici pubblici ad uso ufficio è localizzata nelle zone climatiche E ed F (sopra i 2100 gradi-giorno, Figura 2.1). Il 50% degli uffici pubblici è stato costruito prima della Seconda Guerra Mondiale; dell'altro 50% costruito dopo il 1945, il 36% è stato edificato nel periodo che va dalla seconda metà degli anni Sessanta alla seconda metà degli anni Ottanta del Novecento (Figura 2.2). In Figura 2.3 è riportata la distribuzione degli edifici ad uso ufficio per periodo di costruzione, per ciascuna zona climatica.

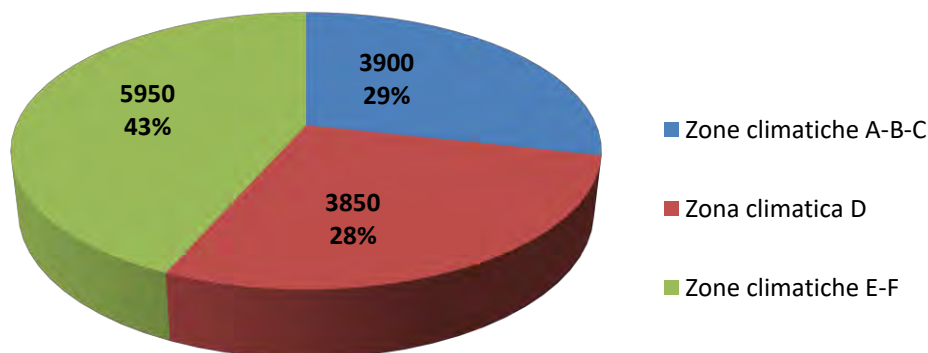


Figura 2.1. Edifici della PA ad uso ufficio per zona climatica italiana (Fonte dati: RePublic_ZEB [29]).

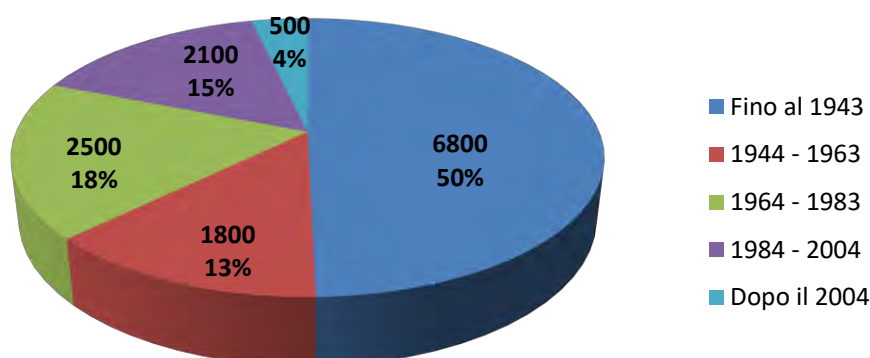


Figura 2.2. Edifici della PA ad uso ufficio per periodo di costruzione (Fonte dati: RePublic_ZEB [29]).

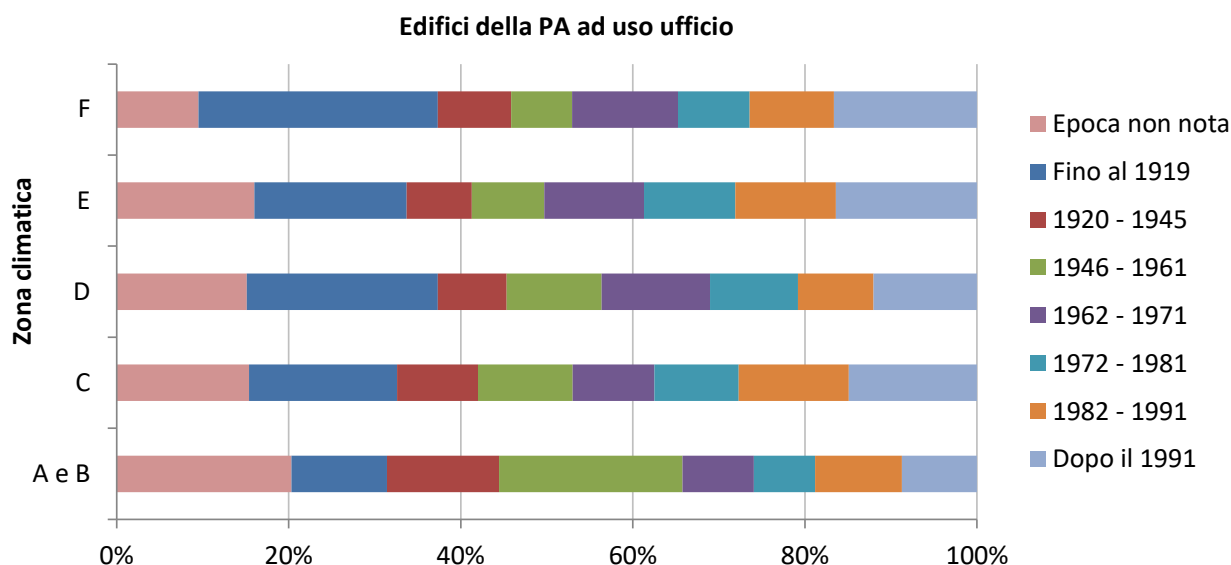


Figura 2.3. Distribuzione degli edifici della PA ad uso ufficio per periodo di costruzione, per zona climatica (Fonte dati: RePublic_ZEB [29]).

In riferimento ai caratteri geometrici, secondo analisi CRESME [27], il 47% degli edifici pubblici ad uso ufficio presenta dai tre ai cinque piani, mentre il 41% si sviluppa su due piani e il 31% ha piani interrati. Il numero medio di vani scala è di 1,4 per l'84% degli edifici che hanno il vano scala interno. Il 30% presenta un piano terra aperto (*pilotis*). Il 12% degli edifici include zone non utilizzate; il 54% è isolato sui quattro lati, il 46% è contiguo su due o più lati con altri fabbricati. La distribuzione degli uffici per numero medio di finestre nei locali interni è la seguente: il 29% ha una finestra; il 52% ha due finestre; l'11% ha tre finestre; l'8% ne ha più di tre. Il 45% dei serramenti ha superficie inferiore a 2 m², mentre il 18% ha una superficie maggiore di 5 m². La maggior parte di questi serramenti è installata in ambienti con superficie compresa fra 10 e 25 m².

I materiali da costruzione maggiormente utilizzati sono calcestruzzo e muratura (85%), in tutte le zone climatiche, seguiti da calcestruzzo e vetro (5,5%), diffusi soprattutto nelle costruzioni successive al 1960 e in zona climatica E (Figura 2.4, Figura 2.5). Il telaio dei serramenti è prevalentemente in legno (52%), seguito dall'alluminio (40%), dall'acciaio (6%) e dal PVC (2%). Il 61% dei serramenti presenta il doppio vetro e il 2% il triplo vetro.

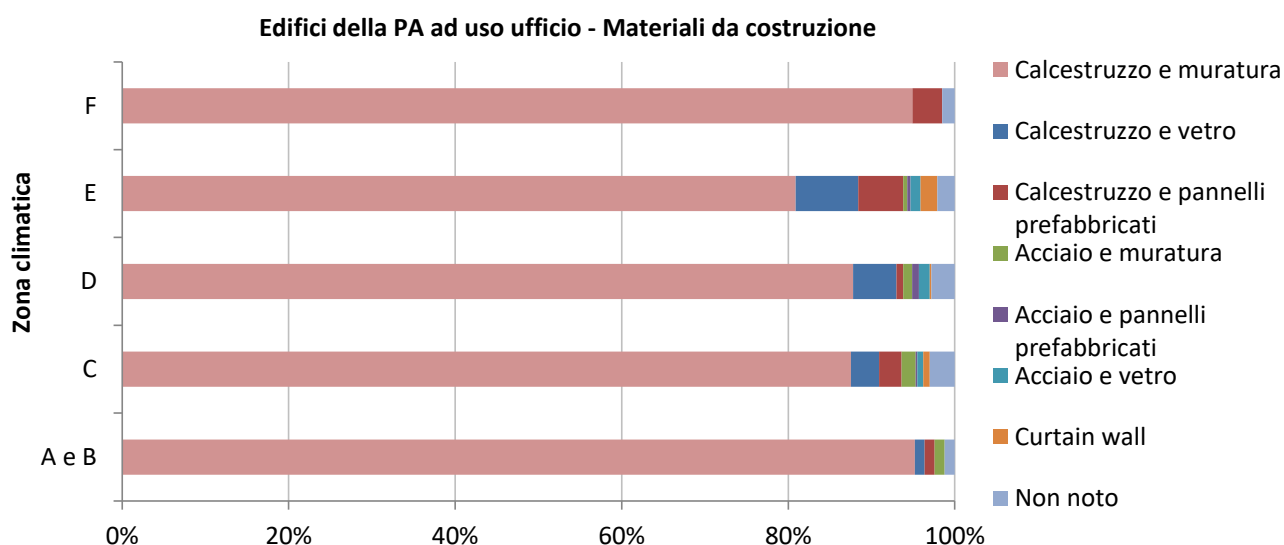


Figura 2.4. Distribuzione degli edifici della PA ad uso ufficio per materiali costruttivi, per zona climatica (Fonte dati: RePublic_ZEB [29]).

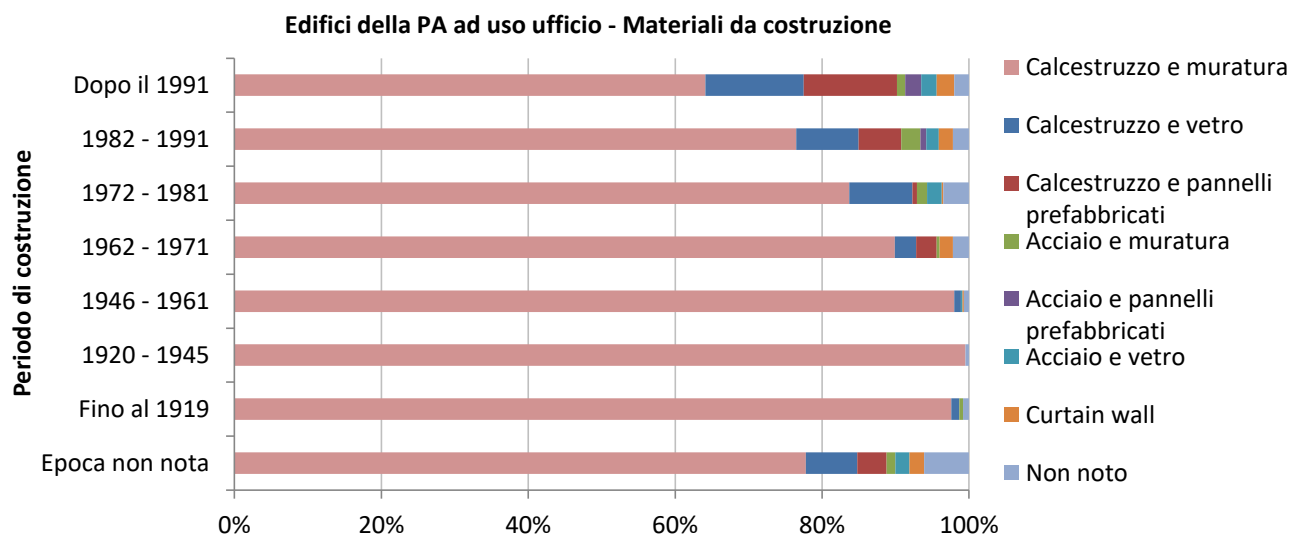


Figura 2.5. Distribuzione degli edifici della PA ad uso ufficio per materiali costruttivi, per periodo di costruzione (Fonte dati: RePublic_ZEB [29]).

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento installato negli edifici pubblici ad uso ufficio, il combustibile maggiormente impiegato è il gas (62%), seguito dal gasolio (22%) e dall'elettricità (7%). Le reti di distribuzione sono prevalentemente in traccia (89%). I terminali di emissione termica più utilizzati sono i radiatori (71%), seguiti dai termoconvettori (17%) e dai *fancoil* (9%). Il 34% degli edifici possiede un sistema di regolazione della temperatura per ogni stanza [27].

Nel 46% degli edifici è presente un sistema di climatizzazione estiva: il 66% dispone di un sistema a split [27]. Solo il 4% degli edifici per uffici (pubblici e privati) è dotato di tecnologie che utilizzano fonti energetiche rinnovabili (solare termico, fotovoltaico) [29].

Secondo un'indagine condotta dal CRESME [27], gli interventi di ristrutturazione e manutenzione straordinaria compiuti annualmente sul patrimonio degli edifici pubblici ad uso ufficio sono molto limitati; gli immobili sottoposti ad interventi di una certa rilevanza (escluse perciò le ritinteggiature e le piccole riparazioni) rappresentano ogni anno l'1,3%, ossia 175 edifici circa. Analisi di scenario condotte dal CRESME hanno dimostrato che, intervenendo solo sul 20% degli immobili più energivori (2.740 edifici per un consumo di quasi 1,2 TWh, pari a 177 milioni di euro annui), è possibile abbattere i consumi dell'intero patrimonio dell'11,3%. L'analisi del CRESME ha preso in considerazione un insieme di interventi di efficientamento, distribuiti come indicato in Figura 2.6. Gli investimenti necessari per gli interventi di riqualificazione risultano essere poco superiori ai 900 milioni di euro ed il tempo di ritorno dell'investimento risulta essere di 12,5 anni senza incentivi. La riduzione delle emissioni di gas serra ammonterebbe ad oltre 130 mila tonnellate. In termini occupazionali, gli investimenti effettuati attiverebbero quasi 13.500 addetti.

Un'altra ipotesi di intervento è riportata nell'Allegato 2 del Piano d'Azione Nazionale per incrementare gli edifici ad energia quasi zero (di seguito denominato PANZEB [33]); in Tabella 2.1 è riportata una stima dei risparmi che si avrebbero al 2020 in caso di riqualificazione verso il target nZEB. Per analizzare la tendenza di riqualificazione energetica degli edifici esistenti non residenziali si è tenuto conto delle valutazioni ISTAT 2011 e di quelle elaborate dal CRESME, dall'ENEA e dall'ANCE in riferimento ai trend del mercato negli ultimi anni. È possibile stimare che, fino al 2020, si realizzeranno ogni anno riqualificazioni energetiche su circa 12,5 milioni di m², tra settore pubblico e privato. In particolare, le superfici soggette a riqualificazione energetica del costruito esistente si stimano, per la destinazione d'uso uffici, sia pubblici sia privati, pari a circa 4 milioni di m² l'anno, dei quali l'1% sarà finalizzato al raggiungimento del target nZEB [33].

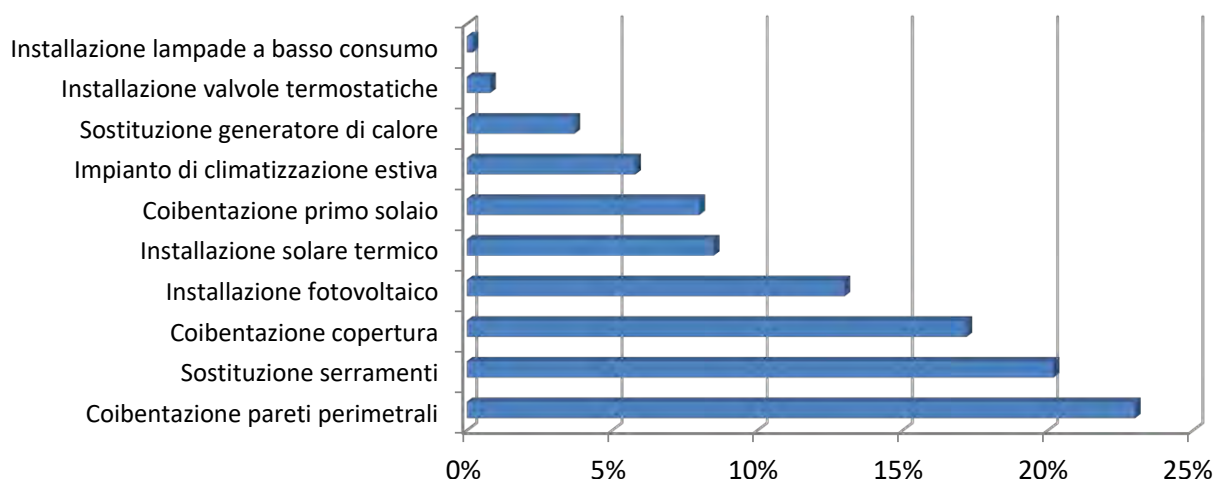


Figura 2.6. Distribuzione degli interventi di efficientamento nello scenario del CRESME (Fonte: CRESME [27]).

Tabella 2.1. Previsione di riqualificazione di edifici ad uso ufficio in nZEB e conseguenti risparmi energetici al 2020 (Fonte: PANZEB [33]).

Zona climatica	Stima risparmio energetico annuo con requisiti nZEB	Uffici pubblici			Uffici privati			Totale
		Superficie annua da riqualificare in nZEB (1%)	Superficie da riqualificare in nZEB nel periodo 2015-2018 **	Stima risparmi	Superficie annua da riqualificare in nZEB (1%)	Superficie da riqualificare in nZEB nel periodo 2015-2020 *	Stima risparmi	Stima risparmi totali al 2020
-	[kWh m ⁻²]	[m ²]	[m ²]	[TEP]	[m ²]	[m ²]	[TEP]	[TEP]
A-B-C	12	2.153	8.612	41	8.232	49.394	185	226
D	28	2.894	11.576	125	11.067	66.399	557	682
E-F	45	3.283	13.132	229	12.551	75.306	1.023	1.252
Totale	-	8.330	33.320	395	31.850	191.100	1.764	2.160

* Valore cumulato per le annualità dal 2015 al 2020.
 ** Valore cumulato per le annualità dal 2015 al 2018.

2.2 Individuazione del caso studio

L'edificio oggetto del presente studio è un edificio pubblico ad uso ufficio localizzato a Torino, in zona climatica E ($2100 < GG \leq 3000$), costruito intorno alla fine degli anni Sessanta. L'edificio ospita l'Ufficio Scolastico Provinciale della Città Metropolitana di Torino (ex Provveditorato agli Studi), facente parte dell'Ufficio Scolastico Regionale per il Piemonte.

In riferimento all'analisi della letteratura (v. Sezione 2.1), l'edificio è stato scelto in quanto è rappresentativo:

- di più del 50% degli edifici della sua categoria per alcune importanti proprietà tipologico-dimensionali, quali, il numero di affacci verso l'esterno (edificio isolato sui 4 lati), la dimensione ricorrente degli ambienti interni (tra 10 e 25 m²), il numero di finestre presenti in ciascun ambiente (2) e la superficie media del serramento (inferiore a 2 m²);
- dell'85% degli edifici della sua categoria per quanto riguarda i materiali da costruzione con cui è realizzato (calcestruzzo e muratura);
- di più del 50% degli edifici della sua categoria per quanto riguarda la tecnologia dei serramenti (vetro doppio e telaio in legno);

- di più del 60% degli edifici della sua categoria per il combustibile impiegato per il riscaldamento (gas naturale) e la tipologia dei corpi scaldanti (radiatori e *fancoil*);
- di più del 50% degli edifici della sua categoria per l'assenza di un impianto di climatizzazione estiva.

Non essendo stato oggetto di interventi di riqualificazione energetica nel corso degli anni (ad eccezione dell'allacciamento alla rete di teleriscaldamento nel 2016), il caso studio scelto si presta ad interventi di retrofit da proporre, nel rispetto dei requisiti minimi previsti dal D.M. 26 giugno 2015 [1] come ristrutturazione importante di I livello volta a trasformare l'edificio in un edificio ad energia quasi zero.

3 Descrizione della procedura di calcolo

3.1 Caratteristiche generali della procedura

La procedura seguita per la diagnosi energetica dell'edificio è illustrata in Figura 3.1 e si suddivide in due macro fasi, la fase di *pre-retrofit* e la fase di *post-retrofit*.

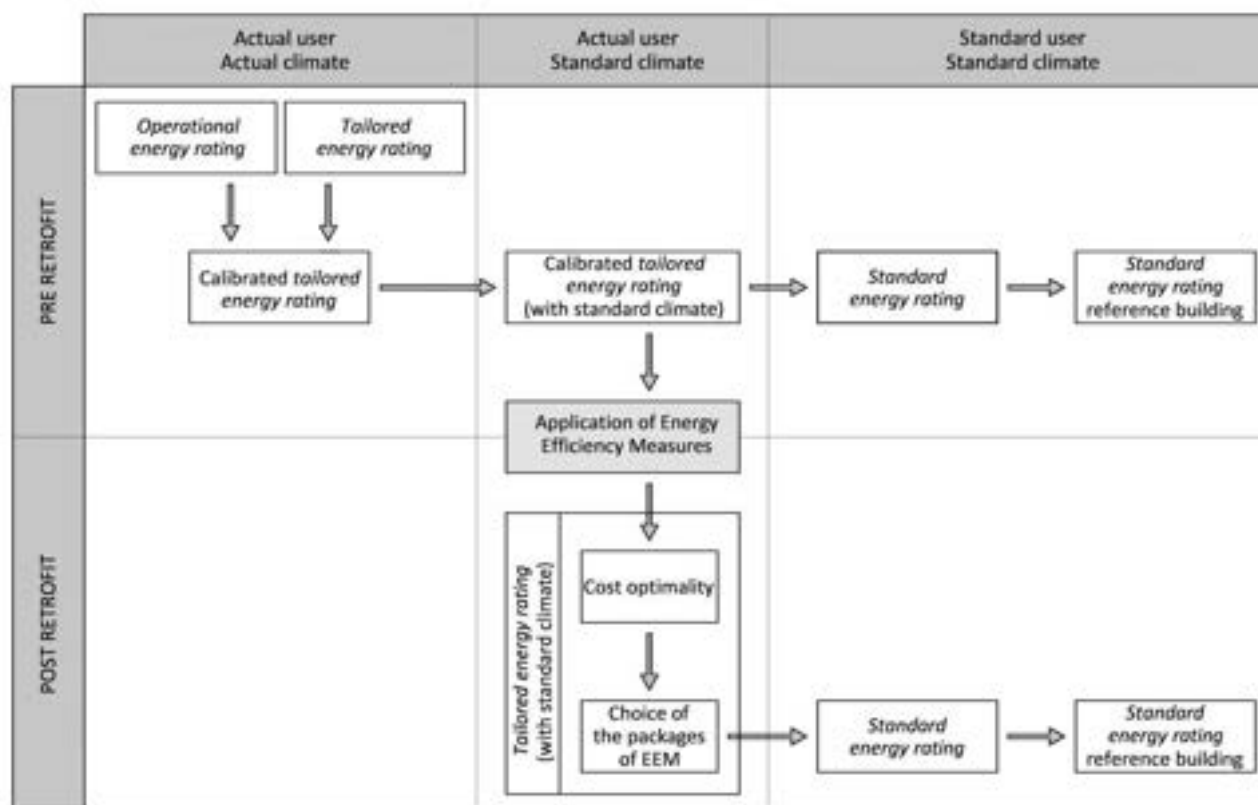


Figura 3.1. Procedura di diagnosi energetica.

Nella fase di *pre-retrofit* si analizza l'edificio allo stato di fatto e si effettuano una valutazione energetica adattata all'utenza (*tailored energy rating*) e una valutazione energetica d'esercizio (*operational energy rating*), come definite nella norma ISO 52003-1 [14]. Attraverso il confronto dei risultati delle due valutazioni viene effettuata la calibrazione del modello.

L'*operational energy rating* riguarda l'analisi dei dati sui consumi energetici annuali dell'edificio, che, se disponibili, si riferiscono solitamente alle tre stagioni di riscaldamento più recenti. Con riferimento alla valutazione *tailored*, si calcola la prestazione energetica attesa dell'edificio, applicando i dati climatici reali misurati, e il comportamento dell'utenza viene modellato secondo l'uso reale dell'edificio. Si operano opportuni aggiustamenti del modello di calcolo al fine di ottenere risultati quanto più vicini al consumo reale dell'edificio. L'accuratezza della calibrazione è verificata per mezzo di indici statistici come quelli riportati nell'ASHRAE "Guideline 14 - Measurement of Energy, Demand, and Water Savings" [38].

Sul modello calibrato si effettua un'ulteriore valutazione energetica, definita *calibrated tailored energy rating*, caratterizzata da dati d'utenza reale (modello *tailored*) e da dati climatici standard, in modo tale che le successive analisi previsionali di risparmio energetico non siano influenzate da condizioni climatiche verificatesi in un anno specifico.

La fase di *post-retrofit* comprende le analisi energetiche ed economiche volte allo studio dell'effetto di possibili misure di efficienza energetica da adottarsi per la riqualificazione dell'edificio. Al modello *calibrated tailored* si applica uno strumento di ottimizzazione, volto all'individuazione di quelle misure di efficienza energetica che, se adottate, porterebbero a minimizzare il costo globale valutato nel ciclo di vita economico dell'edificio. Partendo dalla/e soluzione/i ottimali sotto il profilo economico, si testano successivamente le misure o i pacchetti di misure tecnicamente fattibili che porterebbero a soddisfare il target nZEB, e si valuta l'impatto economico e ambientale di queste soluzioni confrontato con quello generato dalla/e soluzione/i ottimale/i.

Per ogni configurazione indagata si determina la classe energetica, attraverso una *standard energy rating*, con l'utilizzo dell'edificio di riferimento, in ottemperanza al D.M. 26 giugno 2015 [1].

3.1.1 La determinazione del fabbisogno energetico dell'edificio

Per lo sviluppo della procedura di diagnosi, il calcolo della prestazione energetica dell'edificio è stato effettuato con l'algoritmo di simulazione dinamica dettagliata *EnergyPlus* [44]. La modellazione del sistema fabbricato-impianto e dell'utenza è stata condotta con il software *DesignBuilder*, versione 5.0 [45].

Per la verifica dei requisiti minimi di prestazione energetica a livello nazionale, in accordo con quanto specificato dalla UNI/TS 11300-5 [8], gli indici adottati per la definizione della prestazione energetica dell'edificio sono da riferirsi all'energia primaria E_p , sia non rinnovabile ($nren$) sia totale (tot), riferita ai singoli servizi energetici, e globale (gl):

$$E_{p,gl,tot} = E_{p,H,tot} + E_{p,C,tot} + E_{p,W,tot} + E_{p,V,tot} + E_{p,L,tot} + E_{p,T,tot}$$

dove i pedici indicano:

- H = climatizzazione invernale,
- C = climatizzazione estiva,
- W = acqua calda sanitaria,
- V = ventilazione,
- L = illuminazione artificiale,
- T = trasporto di persone e cose.

Gli indici di prestazione energetica EP sono valutati in kWh/m^2 anno e rappresentano il fabbisogno di energia primaria diviso per la superficie netta climatizzata dell'edificio:

$$EP = \frac{E_p}{A}$$

La valutazione della prestazione energetica si è altresì basata sulla definizione della quota rinnovabile del fabbisogno (*Renewable Energy Ratio, RER*), così definita:

$$RER = \frac{EP_{ren}}{EP_{tot}}$$

dove EP_{ren} rappresenta l'energia l'indice di prestazione energetica rinnovabile, mentre EP_{tot} la somma della quota non rinnovabile (EP_{nren}) e rinnovabile (EP_{ren}).

Gli output del calcolo energetico riferito alla fase di *pre-retrofit* dell'edificio in esame includono le seguenti grandezze (su base mensile e totale annua):

- fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento ambiente;
- fabbisogno di energia primaria per l'illuminazione;
- fabbisogno complessivo di energia primaria;

- emissioni di CO₂.

I servizi energetici non presenti nell'edificio non sono stati valutati (es. produzione di acqua calda sanitaria, climatizzazione estiva). La fase di *post-retrofit* ha compreso invece anche la valutazione del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva, coerentemente con le tecnologie ipotizzate per la riqualificazione energetica dell'edificio.

I dati di ingresso relativi al sistema fabbricato-impianto necessari allo svolgimento della diagnosi energetica dell'edificio sono stati reperiti da documentazione tecnica e sopralluoghi in campo, e attraverso colloqui con il personale tecnico della Città Metropolitana di Torino, come descritto successivamente nelle Sezioni 4.1.2 e 4.1.3. Mediante questionari sottoposti all'utenza e colloqui con il personale amministrativo sono state individuate le modalità di gestione degli spazi climatizzati e sono stati costruiti i profili di occupazione, come illustrato nella Sezione 4.1.4. I dati climatici reali, su base oraria, sono stati forniti dall'ARPA Piemonte (v. Sezione 4.1.5); i dati climatici applicati nella valutazione standard sono i dati orari dell'anno tipo climatico sviluppato dal Comitato Termotecnico Italiano (CTI) [46].

3.1.2 L'analisi costi-benefici

La valutazione economica si basa sul calcolo del costo globale, come specificato dalla norma UNI EN 15459 [15]. L'individuazione delle misure di efficienza energetica ottimali in funzione dei costi è effettuata mediante l'algoritmo di ottimizzazione NSGA-II, implementato all'interno del software *DesignBuilder*. NSGA-II (*Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm*) è stato introdotto da Deb nel 2000 [34]. È una revisione evoluta di NSGA in cui viene utilizzato l'elitismo ed una nuova metodologia di mantenimento della diversità, la *crowding distance*. In NSGA-II viene utilizzata una classificazione delle soluzioni secondo un ordine di dominanza. Il principio su cui si basa è quello di assegnare un livello o un fronte di dominanza a tutte le soluzioni di una popolazione. Le soluzioni non-domite all'interno di tutta la popolazione avranno *rank 1*. Le soluzioni non-domite tra tutta la popolazione tranne le soluzioni di *rank 1* avranno *rank 2* e così via. La Figura 3.2 mostra un esempio di ordinamento per livelli di una popolazione di 10 individui in un problema di minimizzazione di due funzioni obiettivo [35].

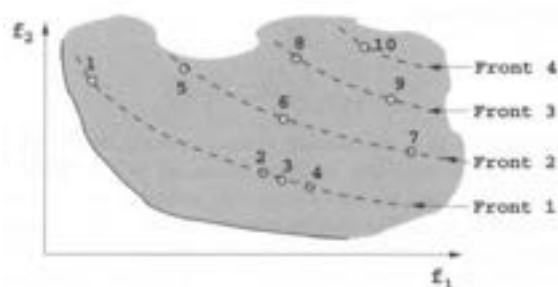


Figura 3.2. Esempio di ordinamento in NSGA-II (Fonte ENEA [35]).

3.1.3 La definizione di soluzioni nZEB

I requisiti di edificio ad energia quasi zero (nZEB: *nearly Zero Energy Building*) considerati nell'analisi sono conformi al D.M. 26 giugno 2015 [1], sintetizzati in Tabella 3.1 e Tabella 3.2.

Tabella 3.1. Requisiti da rispettare nella progettazione di edifici di nuova costruzione o nella riqualificazione importante di edifici esistenti per la conversione in nZEB (D.M. 26 giugno 2015 [1]).

Parametro	Definizione	Condizione	U.M
INVOLUCRO DEL FABBRICATO			
H'_T	Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente.	$H'_T < H'_{T,limite}$ Il valore di riferimento $H'_{T,limite}$ è tabulato in funzione del rapporto di forma e della zona climatica	[W/ m ² K]
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile.	$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} \leq (A_{sol,est}/A_{sup\ utile})_{limite}$ Il valore di riferimento è tabulato e varia in base alla categoria di edificio	[-]
EFFICIENZE MEDIE STAGIONALI DEGLI IMPIANTI			
η_H	Climatizzazione invernale	$\eta_H > \eta_{H,limite}^1$	[-]
η_W	Produzione dell'acqua calda sanitaria	$\eta_W > \eta_{W,limite}^1$	[-]
η_C	Climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità)	$\eta_C > \eta_{C,limite}^1$	[-]
INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA			
$EP_{H,nd}$	Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	$EP_{H,nd} < EP_{H,nd,limite}^{(2019,2021)}^2$	[kWh/m ²]
$EP_{C,nd}$	Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	$EP_{C,nd} < EP_{C,nd,limite}^{(2019,2021)}^2$	[kWh/m ²]
$EP_{gl,tot}$	Indice di prestazione globale totale dell'edificio	$EP_{gl,tot} < EP_{gl,tot,limite}^{(2019,2021)}^2$ $EP_{gl,tot} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L^3 + EP_T^3$	[kWh/m ²]
Note: ¹ Efficienza relativa all'edificio di riferimento. ² Indice calcolato sull'edificio di riferimento. ³ Non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3).			

Tabella 3.2. Integrazione delle fonti di energia rinnovabile negli nZEB [2].

Percentuale minima di copertura del consumo energetico complessivo ^{2,3} .	Percentuale minima di copertura del consumo energetico per la produzione di ACS ² .	Potenza elettrica degli impianti alimentati da FER da installare sopra o all'interno dell'edificio o nelle relative pertinenze [kW] ² .
50% ¹	50% ¹	1/50 x Impronta dell'edificio
Note: ¹ Tali obblighi non si applicano qualora l'edificio sia allacciato ad una rete di teleriscaldamento che ne copra l'intero fabbisogno di calore per il riscaldamento degli ambienti e la fornitura di ACS. ² Per gli edifici pubblici gli obblighi di cui ai precedenti commi sono incrementati del 10%. ³ Tale percentuale tiene conto dei seguenti servizi: produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento.		

Nel presente lavoro sono stati considerati i pacchetti di misure di riqualificazione energetica tali che:

- l'indice di prestazione energetica (EP), espresso in kWh/m² sia inferiore a quello determinato con la metodologia *cost-optimal* [36] (un edificio a energia quasi zero ha una prestazione energetica migliore rispetto ad un edificio ottimale in termini economici, ma un costo superiore);
- il differenziale dei costi globali (ΔGC) tra l'edificio allo stato di fatto e le varie soluzioni sia negativo (l'intervento risulta quindi comunque economicamente vantaggioso rispetto allo stato di fatto);
- siano soddisfatti tutti i requisiti minimi di prestazione energetica definiti a livello nazionale per un edificio nZEB, come da Tabella 3.1 e Tabella 3.2.

Riguardo l'edificio riqualificato, il differenziale di costo globale (ΔGC) mette in evidenza la differenza tra il costo globale dell'edificio da ristrutturare e dell'edificio post ristrutturazione.

In riferimento alla Figura 3.3, ogni punto rappresenta un pacchetto di misure di efficienza energetica, definito da specifici valori della prestazione energetica (EP) e differenziale di costo globale (ΔGC).

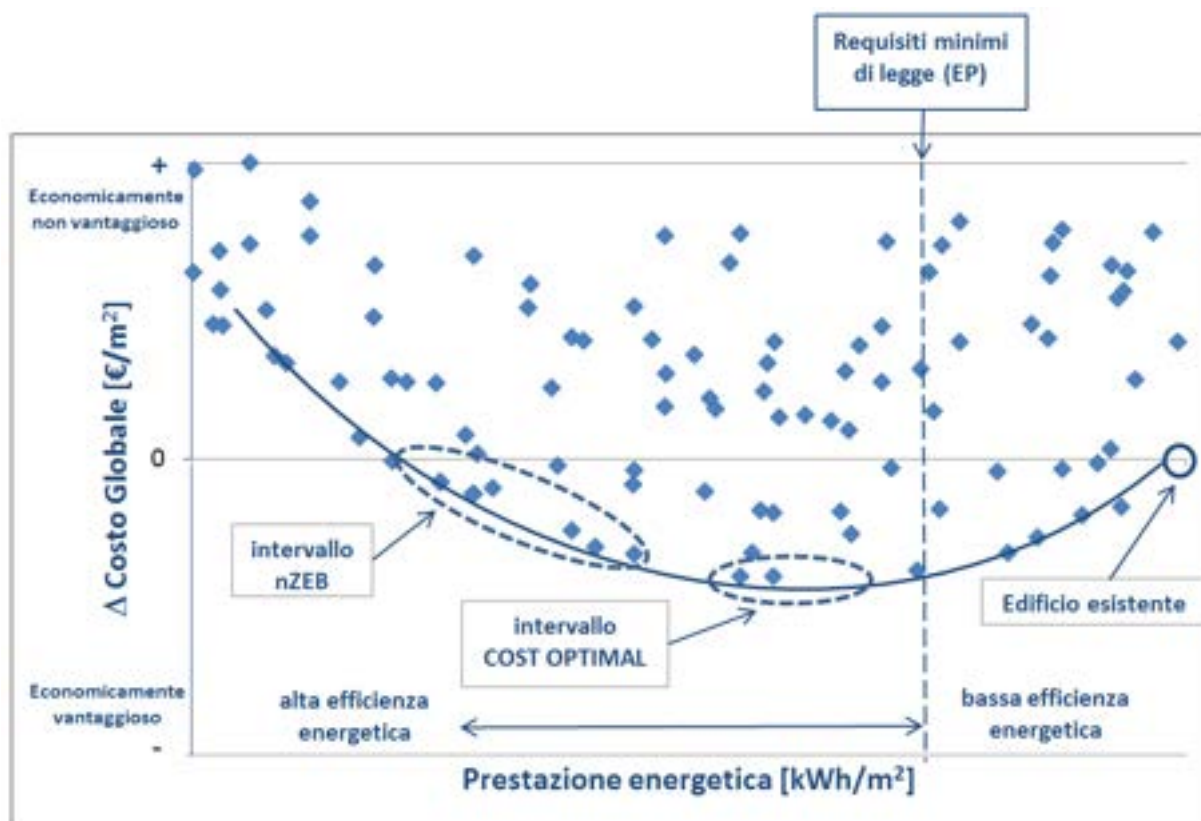


Figura 3.3. Relazione tra costo globale e prestazione energetica [ref. Progetto IEE RePublic_ZEB].

Dall'analisi della Figura 3.3 è possibile formulare le seguenti considerazioni:

- l'edificio esistente è in genere caratterizzato da un insoddisfacente valore di EP e da un differenziale di costo globale pari a zero (ciò in quanto l'edificio esistente viene assunto come base di riferimento);
- a seguito della ristrutturazione, la prestazione energetica migliora (EP si riduce), mentre il differenziale di costo globale è negativo per quei casi di ristrutturazione che sono economicamente convenienti;
- il livello ottimale in funzione dei costi è il livello di prestazione energetica della soluzione con il costo più basso. Considerate le incertezze e le semplificazioni, si ritiene più corretta l'individuazione di un intervallo ottimale piuttosto che di un solo punto ottimale;
- la linea tratteggiata rappresenta il requisito legislativo nazionale minimo di EP (in questo caso espresso come EP_{nren}) riferito all'anno 2015. Secondo la direttiva EPBD gli Stati membri devono adottare le necessarie misure per ridurre in modo significativo il divario tra tale requisito e il livello ottimale in funzione dei costi;
- l'intervallo di edifici nZEB comprende le soluzioni caratterizzate da un fabbisogno di energia primaria inferiore a quello della soluzione ottimale e da un costo globale compreso tra quello del caso ottimale e quello dell'edificio di riferimento.

3.2 Assunzioni generali di calcolo

In accordo con la norma ISO 52000-1 [16], la prestazione energetica dell'edificio è definita in termini di energia primaria non rinnovabile (EP_{nren}) e di quota rinnovabile (RER). I fattori di conversione in energia primaria applicati all'energia fornita, elencati in Tabella 3.3, sono ricavati dal D.M. 26 giugno 2015 [1]. Nella stessa tabella sono riportati i fattori di produzione di CO_2 .

Tabella 3.3. Fattori di conversione in energia primaria dei vettori energetici (da D.M. 26 giugno 2015) e in emissioni di CO_2 (da ISO 52000-1).

Vettore energetico	Fattore di conversione in energia primaria			Fattore di produzione di CO_2 [g/kWh]
	Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale	
	$f_{p,nren}$	$f_{p,ren}$	$f_{p,tot}$	K
Gas naturale ¹	1,05	0	1,05	220
GPL	1,05	0	1,05	220
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07	290
Carbone	1,10	0	1,10	360
Biomasse solide ²	0,20	0,80	1,00	40
Biomasse liquide e gassose ²	0,40	0,60	1,00	70/100
Energia elettrica da rete ³	1,95	0,47	2,42	420
Teleriscaldamento ⁴	1,5	0	1,5	260
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4	
Teleraffrescamento ⁴	0,5	0	0,5	260
Energia termica da collettori solari ⁵	0	1,00	1,00	0
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico ⁵	0	1,00	1,00	0
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling ⁵	0	1,00	1,00	0
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore ⁵	0	1,00	1,00	0

¹ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.
² Come definite dall'allegato X del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.
³ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.
⁴ Fattore assunto in assenza di valori dichiarati dal fornitore e asseverati da parte terza.
⁵ Valori convenzionali funzionali al sistema di calcolo.

Per la determinazione del costo globale sono state utilizzate le seguenti assunzioni di calcolo:

- periodo di calcolo pari a 30 anni;
- tasso di interesse reale del 3%;
- costi di energia elettrica e gas naturale forniti dall'Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il sistema idrico (AEEG);
- costo della biomassa ottenuto da indagini di mercato;
- scenari di tendenza energia sviluppata con il modello PRIMES;

- costi per la manutenzione annuale variabili dallo 0% al 4% del costo dell'investimento a seconda della tecnologia;
- durata della vita utile degli elementi costruttivi fissata a 20 anni, per gli impianti periodi variabili da 15 a 20 anni;
- IVA pari al 22%.

I costi delle misure di efficienza energetica sono stati ricavati da indagini di mercato.

4 Analisi del caso studio allo stato di fatto

4.1 Caratterizzazione dell'edificio

Nel paragrafo seguente vengono illustrati le informazioni e i dati relativi al contesto in cui sorge l'edificio, le caratteristiche del fabbricato e degli impianti presenti, l'utenza e i consumi energetici misurati negli anni solari analizzati (2014, 2015 e 2016), in relazione ai rispettivi dati climatici.

La documentazione fornita dalla Città Metropolitana di Torino è stata usata come riferimento per la caratterizzazione dell'edificio ed è stato rilevato lo stato di fatto effettuando diversi sopralluoghi. È stata verificata in tal modo la coerenza delle informazioni progettuali con quanto derivante dai rilievi e dalle analisi in situ.

4.1.1 Informazioni generali e contesto esterno

Il caso studio è l'edificio del MIUR – Ufficio Scolastico Regionale per il Piemonte – Ufficio Scolastico Provinciale, sito in via Coazze, 18 a Torino (circoscrizione 3) Figura 4.1, ex Provveditorato agli studi, facente parte del patrimonio della Città Metropolitana di Torino.

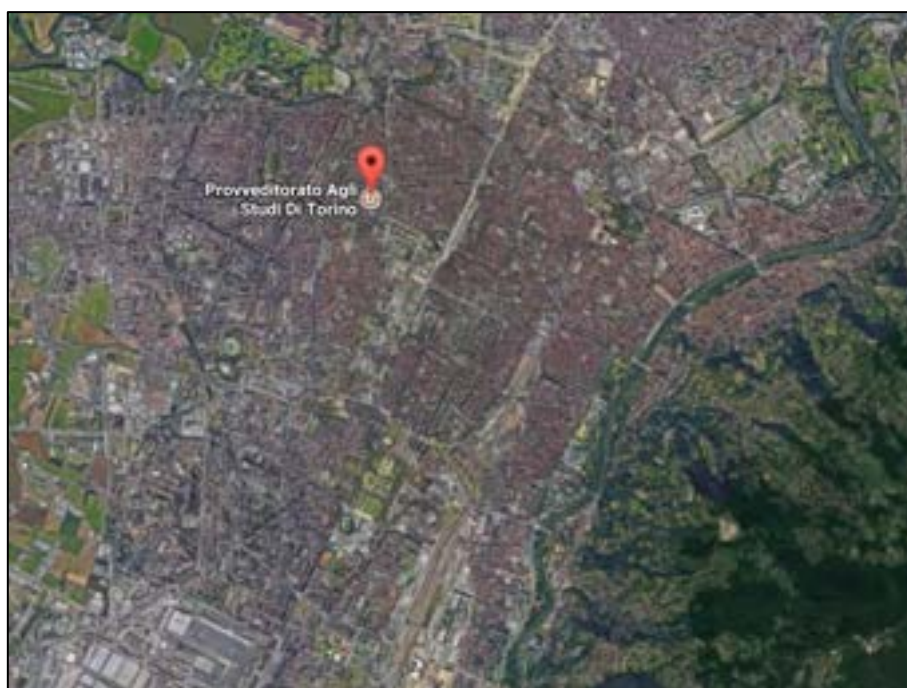


Figura 4.1. Inquadramento territoriale (da Google Maps).

L'edificio è composto da due corpi di fabbrica: un volume principale a forma rettangolare di 7 piani fuori terra e 2 piani interrati; un volume secondario, di 2 piani, localizzato al di sotto del piano stradale (interrato). L'edificio è orientato rispetto agli assi nord-sud, con un'inclinazione di 3° sud. Si affaccia a sud su via Coazze, dove è presente l'ingresso principale; l'ingresso secondario (attualmente inutilizzabile per lavori), invece, si trova sulla facciata rivolta a nord, la quale si apre sull'area pertinenziale adibita a parcheggio fuori terra, cui si accede da via Singano (Figura 4.2). Quest'area è situata al di sopra del corpo di fabbrica interrato.

Il contesto in cui è inserito l'edificio è caratterizzato dalla presenza di edifici prevalentemente a destinazione residenziale o misto terziario/residenziale. Gli edifici circostanti presentano tutti un'altezza simile o inferiore rispetto al caso studio: come mostra la Figura 4.3, solo l'edificio che si trova ad est e parte di quello ad ovest presentano un'altezza simile (rispettivamente 6 e 5 piani fuori terra rispetto ai 7 del caso

studio), mentre l'edificio antistante è caratterizzato da due piani fuori terra. L'edificio oggetto di studio pertanto risulta poco ombreggiato sui lati sud e nord-ovest, mentre gli edifici ad est-sud-est e sud-ovest rappresentano fonte di ombreggiamento.

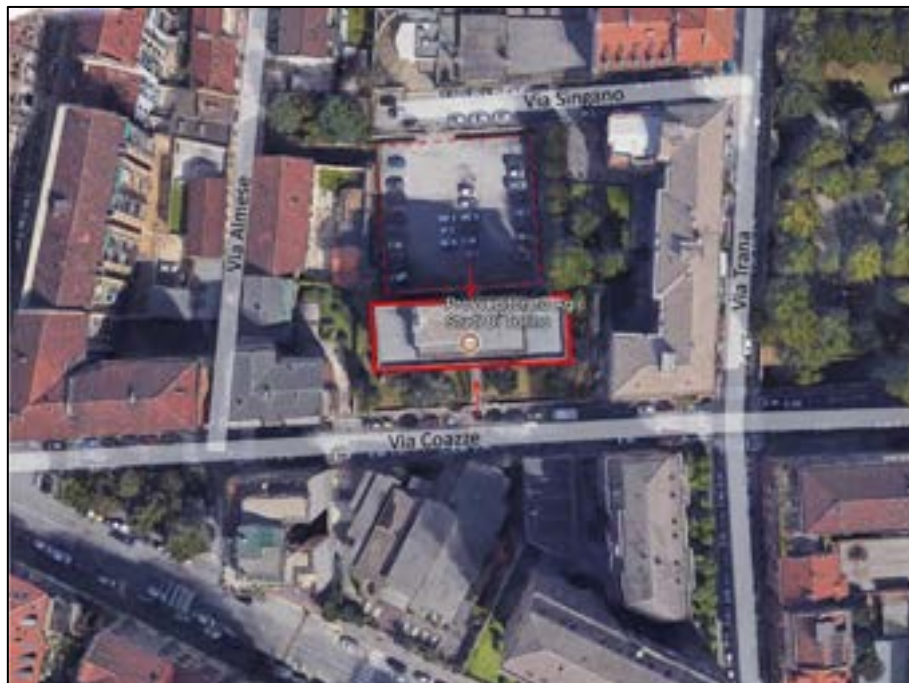


Figura 4.2. Vista dall'alto dell'isolato con individuazione dell'edificio e dell'area adibita a parcheggio (elaborazione da Google Maps).



Figura 4.3. Planimetria con indicazione del numero di piani degli edifici adiacenti (elaborazione da Geoportale Comune di Torino).

La Figura 4.4 mostra l'inserimento del fabbricato nel contesto.



Figura 4.4. Viste 3d dell'inserimento dell'edificio nel contesto (da Google Maps).

4.1.2 Fabbricato

L'edificio, costruito indicativamente nel 1960, è caratterizzato da una struttura portante in pilastri in calcestruzzo armato e tamponamenti in laterizio con intercapedine d'aria, priva di isolamento termico, e rivestimento esterno in paramano. L'edificio è composto da due piani interrati e sette piani fuori terra e ospita prevalentemente uffici e archivi. In particolare, il piano terra ospita l'ingresso e i servizi per il pubblico, una zona di uffici privati e l'ex alloggio del custode convertito anch'esso in uffici. I sette piani fuori terra sono invece adibiti esclusivamente ad uffici. I piani interrati del corpo principale ospitano gli archivi e spazi di servizio (quali bar e mensa), attualmente inutilizzati, e la centrale termica al secondo piano interrato. Il corpo secondario è collegato al corpo principale attraverso un corridoio delimitato da soli componenti trasparenti. Tale corpo ospita gli archivi, una sala riunioni, un'aula informatica e una cucina attualmente inutilizzata. Originariamente il primo piano interrato era destinato a parcheggio; successivamente è stato riconvertito in archivio. Il solaio inferiore dell'edificio è controterra, mentre le pareti perimetrali al di sotto del piano stradale sono separate dal terreno da un'intercapedine antincendio su tutti i lati.

La Tabella 4.1 mostra i dati generali sul fabbricato e le caratteristiche geometriche.

Tabella 4.1. Dati generali sul fabbricato (caratteristiche geometriche).

Caratteristica	Simbolo	Unità di misura	Valore
Volume lordo riscaldato	V_l	m^3	20.638
Superficie netta di pavimento	A_f	m^2	4.521
Superficie dell'involucro disperdente	A_e	m^2	5.594

Caratteristica	Simbolo	Unità di misura	Valore
Superficie dell'involucro finestrato	A_w	m^2	628
Rapporto di forma	S/V	m^{-1}	0,27

Durante i sopralluoghi sono stati rilevati i componenti di involucro opaco e trasparente. Per la caratterizzazione dei componenti dell'involucro si è fatto riferimento alla documentazione tecnica della Provincia di Torino. Le informazioni ricavate dalla documentazione tecnica sono state verificate tramite sopralluoghi in campo e sono state utilizzate solo quelle per cui si è ottenuto un riscontro positivo.

Per quanto riguarda l'involucro opaco, si è fatto riferimento alla descrizione della stratigrafia riportata nella documentazione tecnica. Le caratteristiche dei materiali sono state ricavate dalla normativa tecnica (UNI 10351 [17], UNI 10355 [18], UNI EN ISO 10456 [19], UNI EN ISO 13786 [20] e UNI EN ISO 6946 [21]). Le principali caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi sono riportate in Tabella 4.2, Tabella 4.3 e Tabella 4.4.

Le pareti perimetrali esterne, di spessore complessivo pari a 50 cm, sono costituite da muratura in laterizio, intonacate internamente, con intercapedine d'aria priva di isolamento, e rivestimento esterno in paramano (pareti perimetrali fuori terra) o intonaco (pareti interrato confinanti con l'intercapedine). Le pareti sottofinestra e le pareti che ospitano i cassonetti delle persiane avvolgibili hanno uno spessore ridotto e presentano la stessa tipologia di rivestimento esterno delle pareti perimetrali. In Tabella 4.2 sono riportate le caratteristiche termofisiche dei componenti opachi verticali.

Tabella 4.2. Caratteristiche dei componenti edilizi opachi verticali.

Codice	Descrizione	Spessore	Trasmittanza termica	Capacità termica areica esterna	Capacità termica areica interna	Trasmittanza termica periodica
		s	U_c	κ_e	κ_i	Y_{ie}
[-]	[-]	[m]	[W/m ² K]	[kJ/m ² K]	[kJ/m ² K]	[W/m ² K]
M1	Parete esterna, piani interrati	0,50	0,876	70,2	53,1	0,239
M2	Sottofinestra (su parete esterna M1)	0,25	1,311	74,7	56,3	0,65
M3	Parete esterna, piani fuori terra	0,48	1,023	118,7	53,7	0,323
M4	Sottofinestra (su parete esterna M3)	0,25	1,520	123,0	54,1	0,739
M5	Parete interna	0,15	1,831	66,7	47,2	1,497
M6	Cassonetto per tapparelle avvolgibili	0,50	1,015	112,9	27,5	0,289

In facciata, parte della struttura portante in telaio di calcestruzzo armato è a contatto con l'ambiente esterno (Figura 4.5) e tutte le aperture sono caratterizzate dalla presenza di spallette in calcestruzzo (Figura 4.6). Questi particolari costruttivi sono stati considerati all'interno della modellazione termo-energetica dell'edificio per tener conto dell'effetto dei ponti termici.



Figura 4.5. Dettaglio di facciata.

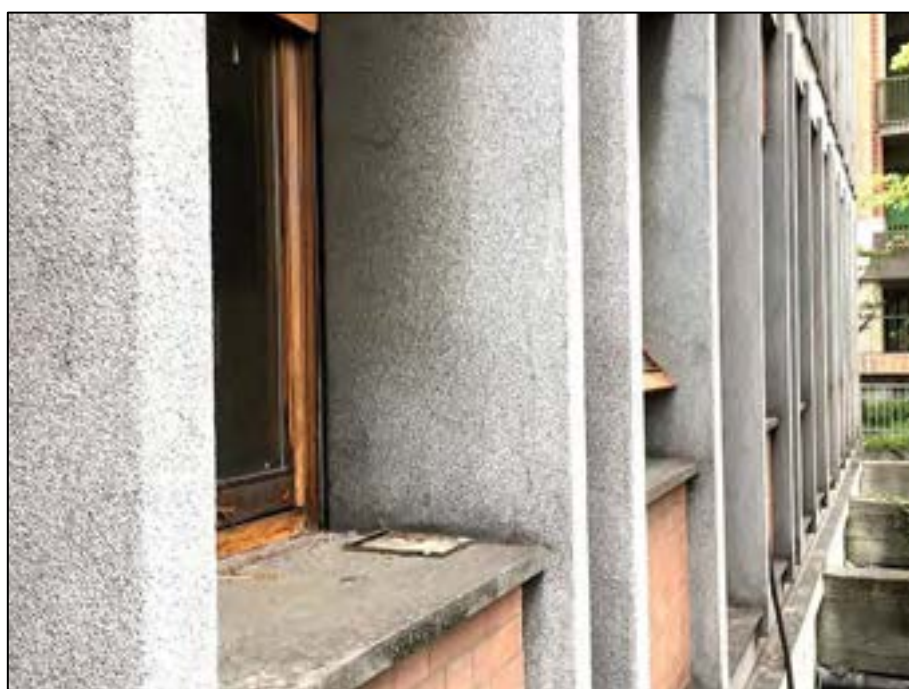


Figura 4.6. Particolare infisso.

Per quanto riguarda i componenti opachi orizzontali, i solai disperdenti sono tutti non coibentati. I solai di copertura di entrambi i corpi di fabbrica sono costituiti da una soletta piana in calcestruzzo sulla quale è posato un manto di impermeabilizzazione in asfalto e bitume, nel corpo principale, e un manto di asfalto per il passaggio delle auto, nel corpo secondario. Il solaio controterra è costituito da una soletta in calcestruzzo di sabbia e ghiaia poggiato su uno strato di ghiaia grossa. In Tabella 4.3 sono riportate le caratteristiche termofisiche dei componenti opachi orizzontali.

Tabella 4.3. Caratteristiche dei componenti opachi orizzontali.

Codice	Descrizione	Spessore	Trasmittanza termica	Capacità termica areica esterna	Capacità termica areica interna	Trasmittanza termica periodica
		s	U_c	κ_e	κ_i	Y_{ie}
[-]	[-]	[m]	[W/m ² K]	[kJ/m ² K]	[kJ/m ² K]	[W/m ² K]
S1	Solaio di copertura su parcheggio	0,243	2,158	126,8	77,4	1,019
S2	Solaio di copertura piana	0,353	1,304	111,0	70,9	0,260
P1	Solaio su terreno	0,560	0,933	112,7	46,4	0,056
P2	Solaio interpiano	0,315	1,358	55,8	66,5	0,268

I serramenti presenti nei fabbricati sono tutti originali e possono essere classificati in tre tipologie:

1. serramenti con telaio in legno e vetro doppio, nei piani fuori terra del corpo di fabbrica principale;
2. serramenti con telaio in alluminio senza taglio termico e vetro semplice, nei piani interrati di entrambi i corpi;
3. serramenti con telaio in alluminio senza taglio termico (con proprietà termofisiche differenti dal tipo 2) e vetro semplice, nei corridoi interrati di collegamento tra i due corpi di fabbrica.

Le chiusure oscuranti sono costituite da tapparelle avvolgibili, presenti solo nei serramenti dei piani fuori terra. Sono, inoltre, presenti schermature solari quali veneziane sul lato interno di tutti i serramenti dei piani fuori terra. La gestione degli elementi oscuranti è stata valutata tramite questionari sottoposti agli occupanti per individuare comportamenti ricorrenti.



Figura 4.7. Infissi.

In Tabella 4.4 le tre tipologie di serramenti sono state ulteriormente differenziate in base alle dimensioni, all'esposizione, alla presenza di ombreggiamenti, di schermature solari e di chiusure oscuranti.

Tabella 4.4. Caratteristiche dei componenti trasparenti.

Codice	Descrizione				Area	Fattore di forma telaio	Trasmittanza termica (finestra)	Trasmittanza termica (finestra + chiusura oscurante)	Coefficiente di trasmissione solare totale per incidenza normale (vetro)	Coefficiente di trasmissione solare totale (vetro + schermatura)
	Telaio	Vetro	Chiusura oscurante	Schermatura mobile	A	F _F	U _w	U _{w+shut}	g _{gl,n}	g _{gl+sh}
[-]	[-]				[m ²]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[-]	[-]
F.L_1	L	D	Si	Si	1,87	0,82	3,134	1,887	0,75	0,56
F.A_1	A	S	No	No	3,55	0,83	5,780	5,780	0,85	0,85
F.A_2	A	S	No	No	1,02	0,68	5,780	5,780	0,85	0,85
F.A_3	A	S	No	No	5,00	0,84	5,780	5,780	0,85	0,85
F.A_4	A	S	No	No	2,55	0,80	5,780	5,780	0,85	0,85
F.A_5	A	S	No	No	1,76	0,76	5,780	5,780	0,85	0,85
F.A_6	A	S	No	No	1,12	0,69	5,780	5,780	0,85	0,85
Legenda - telaio: L = legno; A = alluminio; - vetro: S = singolo; D = doppio.										

4.1.3 Impianti

L'intero edificio è servito da un unico impianto di riscaldamento. Gli spazi non climatizzati sono la centrale termica e i corridoi interrati di collegamento tra i due corpi di fabbrica. Durante i sopralluoghi effettuati è stato rilevato che gli ambienti non utilizzati (es. mensa, bar, cucina, etc.) sono al momento non climatizzati. Sono stati classificati come spazi non climatizzati anche i locali con terminali di emissione non funzionanti (gli archivi del primo e secondo piano interrato esposti ad est) e per il cui utilizzo non è previsto il mantenimento di condizioni di comfort termo-igrometrico.

Non sono installati né un impianto di raffrescamento né di acqua calda sanitaria. Negli uffici al settimo piano sono stati recentemente installati sette condizionatori portatili, uno per ufficio.

Di tutti gli ambienti sono stati rilevati i dispositivi di illuminazione artificiale e le apparecchiature elettriche.

Impianto di riscaldamento

Fino al 2016 il sottosistema di generazione termica dell'impianto di riscaldamento era costituito da due caldaie a gasolio con sistema di espansione a vaso aperto installate nel 1996, ciascuna con potenza nominale pari a 464,2 kW. Nel 2016 l'impianto ha subito un intervento di sostituzione del sistema di generazione con il passaggio al teleriscaldamento. Al momento, l'impianto è costituito da una sottostazione di teleriscaldamento, con potenza termica pari a 800 kW. Le caratteristiche della sottostazione di

teleriscaldamento presente sono state valutate attraverso il reperimento della relativa scheda tecnica del componente.

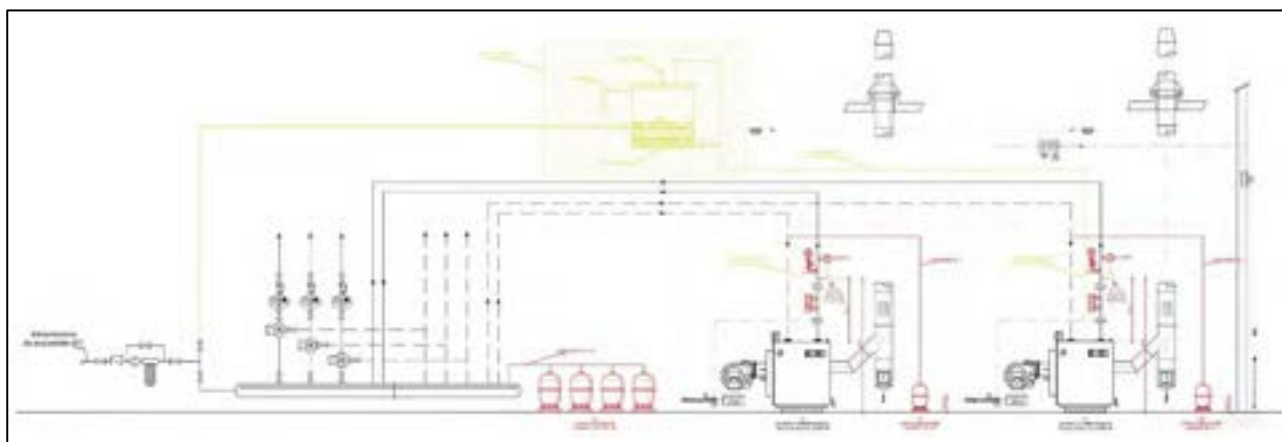


Figura 4.8. Schema di impianto con caldaie a gasolio.

La sottostazione è collocata in centrale termica (Figura 4.9), la quale è composta da due locali ed è collocata al secondo piano interrato del corpo principale, con ingresso dall'intercapedine antincendio mediante due porte ad uso esclusivo. All'interno della centrale termica è presente ancora una delle due caldaie a gasolio. Il secondo locale è stato convertito in deposito dove si trovano i ventilconvettori sostituiti.



Figura 4.9. Centrale termica.

Il sistema di distribuzione è costituito da tre circuiti indipendenti (A, B e C) che si diramano a partire dal collettore di mandata. Si tratta, in particolare, di un circuito diretto (A) che alimenta i ventilconvettori e due circuiti miscelati (B e C) che alimentano rispettivamente i radiatori degli uffici al piano terra (ex alloggio del custode) e i radiatori dei bagni e di alcuni archivi. Una valvola regola la portata del fluido di mandata in funzione della temperatura esterna: sul circuito diretto, la temperatura di mandata è pari a 60 °C e a 75 °C per temperatura esterna, rispettivamente, di 15 °C -5 °C; i circuiti miscelati, invece, seguono la curva 2

riportata nel grafico in Figura 4.10, presentando quindi temperatura di mandata pari a 31 °C per temperatura esterna di 15 °C e pari a 71 °C per -5 °C esterni. Queste informazioni sono state fornite da ANTAS, azienda gestore dell'impianto, che ha inoltre chiarito la ragione delle elevate temperature di mandata in presenza di ventilconvettori; esse sono dovute principalmente alla presenza di ventilconvettori di vecchia installazione con elevata presenza di fango nelle tubazioni e conseguente difficoltà di circolazione del fluido termovettore nell'impianto.

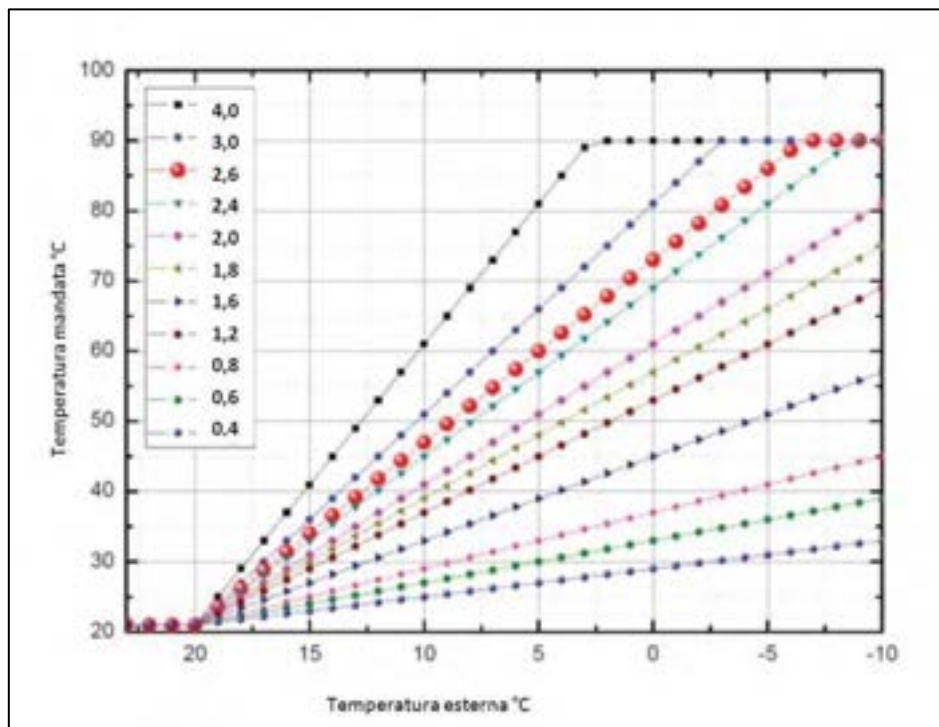


Figura 4.10. Curva di variazione della temperatura di mandata in funzione della temperatura esterna.

Attualmente la regolazione dell'impianto è centralizzata, di tipo climatica, per l'intero edificio. Ad ogni piano sono presenti orologi regolatori di tipo on-off. In aggiunta, in ogni locale è stata rilevata la presenza di termostati elettromeccanici posizionati all'incirca ad una altezza di 1,7 m. In alcune situazioni, dovute all'inserimento di partizioni interne aggiuntive negli uffici, i termostati di regolazione di un locale non si trovano in loco ma nel locale adiacente. I radiatori sono dotati di valvole termostatiche e i ventilconvettori sono a 3 velocità gestiti autonomamente dal personale in loco.

La valutazione della gestione dell'impianto (regolazione dell'emissione termica e impostazione della temperatura di set-point in ambiente) da parte dell'utente è stata condotta sulla base di questionari sottoposti al personale e sulla base dei risultati di monitoraggi della temperatura interna effettuati dai tecnici della Città Metropolitana di Torino.

I terminali di emissione all'interno dei due corpi di fabbrica sono costituiti da radiatori e ventilconvettori. Generalmente, i radiatori (Figura 4.11) sono installati nei bagni e nei locali interrati del secondo corpo di fabbrica. Sono state rilevate alcune sostituzioni puntuali di ventilconvettori con radiatori (ex alloggio del custode) e l'installazione di ventilconvettori integrativi in un archivio al primo piano interrato del corpo di fabbrica secondario. I terminali di emissione negli uffici, nei corridoi e nel vano scala sono invece tutti ventilconvettori (alcuni originali, Figura 4.12, altri di recente sostituzione, Figura 4.13). Tutti i terminali di emissione sono collocati sulle pareti esterne non isolate, in posizione sottofinestra.



Figura 4.11. Radiatore.



Figura 4.12. Ventilconvettorie originario.



Figura 4.13. Ventilconvettore di recente sostituzione.

L'impianto di riscaldamento ha funzionamento intermittente in funzione dell'occupazione (orario lavorativo, dal lunedì al venerdì): gli orari di accensione e spegnimento dell'impianto sono illustrati in Tabella 4.5. L'impianto è sempre spento il sabato e la domenica.

Tabella 4.5. Orari di accensione e di spegnimento dell'impianto di riscaldamento.

		Periodo			
		15 ottobre – 15 novembre		16 novembre – 15 aprile	
		On	Off	On	off
2016	Lunedì	06:00	16:30	01:00	16:30
	Martedì - Giovedì	06:00	16:30	06:00	16:30
	Venerdì	06:00	16:30	06:00	15:30
2015	Lunedì	06:00	16:30	01:00	16:30
	Martedì - Giovedì	06:00	16:30	06:00	16:30
	Venerdì	06:00	13:30	06:00	13:30
2014	Lunedì	06:00	16:30	01:00	16:30
	Martedì - Giovedì	06:00	16:30	06:00	16:30
	Venerdì	06:00	13:30	06:00	13:30

Impianto di ventilazione

In assenza di un impianto di ventilazione meccanica, la ventilazione è garantita dalla sola aerazione naturale. I ricambi d'aria avvengono grazie all'apertura delle finestre e alle infiltrazioni. La frequenza generale di apertura delle finestre è stata valutata sulla base dei questionari sottoposti al personale.

Impianto di illuminazione

Durante i sopralluoghi è stato effettuato il rilievo dei dispositivi di illuminazione artificiale e della relativa potenza elettrica installata. Le sorgenti installate sono lampade fluorescenti tubolari, con potenze installate pari a 36 W e 58 W, e gli apparecchi luminosi sono quelli caratteristici degli ambienti ad uso uffici, quali schermi e rifrattori. Il sistema di controllo dell'illuminazione è di tipo manuale on/off: esso permette all'utente finale la gestione dell'illuminazione in ogni locale. La frequenza generale di utilizzo dell'illuminazione artificiale è stata valutata sulla base dei questionari sottoposti al personale.

Apparecchiature elettriche

I dispositivi maggiormente utilizzati nei diversi ambienti sono personal computer e fotocopiatrici. In particolare, è stata rilevata la presenza di un personal computer per ogni postazione lavorativa; per quanto riguarda le fotocopiatrici, ne è stata rilevata la presenza di una per piano. In un locale del quinto piano sono presenti distributori automatici di cibi e bevande.

4.1.4 Utenza

Al fine di effettuare la diagnosi energetica e quindi creare un modello dell'edificio aderente alla realtà, è necessario stabilire dei profili di utenza reale, in modo tale da valutare il fattore di occupazione legato al numero di occupanti, le ore effettive di presenza all'interno di ogni ambiente, le abitudini che influenzano il comportamento energetico dell'edificio, quali ad esempio l'apertura delle finestre, correlata alla ventilazione naturale, e la gestione delle schermature mobili e delle chiusure oscuranti.

Per ricavare il comportamento degli occupanti sono stati forniti questionari all'utenza. Si tratta di un questionario del tutto anonimo on-line, creato con il modulo di *Google Drive*, in cui sono state richieste informazioni generali sull'ufficio e informazioni riguardanti i giorni e gli orari lavorativi, l'apertura delle finestre, la gestione delle tapparelle avvolgibili, la gestione delle schermature solari, l'utilizzo dell'illuminazione artificiale, la gestione del riscaldamento e del raffrescamento (solo per gli uffici con condizionatore estivo). L'Allegato C riporta lo schema di questionario sottoposto agli occupanti.

Occupazione

Il numero totale di occupanti dell'edificio è 126 persone, distribuite tra gli uffici – che ospitano mediamente due persone – e gli archivi, nei quali lavorano tre commessi a rotazione (generalmente sempre due contemporaneamente). Gli orari di occupazione dell'intero edificio per gli anni solari analizzati sono stati forniti dal personale amministrativo e sono riportati in Tabella 4.6. Sulla base dei colloqui con il personale amministrativo e dei risultati dei questionari sono stati creati i profili di occupazione per le differenti zone termiche. Per la creazione dei profili di occupazione si è tenuto conto, inoltre, dell'occupazione dei locali nelle ore centrali della giornata (es. in pausa pranzo).

Tabella 4.6. Orari di occupazione dell'edificio.

		Ingresso	Uscita
2016	Lunedì - Giovedì	07:45	18:00
	Venerdì	07:45	16:00
2015	Lunedì - Giovedì	07:45	16:30
	Venerdì	07:45	14:30
2014	Lunedì - Giovedì	07:45	16:30
	Venerdì	07:45	14:30

Apertura delle finestre

Le informazioni richieste nei questionari sulla gestione delle finestre riguardano i tempi di apertura nelle ore di occupazione, in tre stagioni (inverno, primavera/autunno, estate), e se vi è un periodo prevalente della giornata in cui vengono tenute aperte. I risultati del questionario sono stati valutati in base all'esposizione dei locali e sono illustrati in Tabella 4.7. Si riscontrano differenze soprattutto nelle stagioni intermedie durante le quali i tempi medi di apertura sono pari a 1 h/giorno per gli uffici con esposizione nord e 4 h/giorno per quelli esposti a sud.

Tabella 4.7. Tempi di apertura delle finestre.

			Stagione		
			Inverno (gen., feb., mar., nov., dic.)	Primavera/autunno (apr., mag., set., ott.)	Estate (giu.,lug., ago.)
Esposizione NORD	Tempi di apertura	[h/giorno]	0,5	1	> 4
	Periodo prevalente		Mattino	Non c'è un periodo prevalente	Non c'è un periodo prevalente
Esposizione SUD	Tempi di apertura	[h/giorno]	0,5	4	> 4
	Periodo prevalente		Mattino	Mattino	Non c'è un periodo prevalente

Gestione delle chiusure oscuranti

Dai questionari proposti all'utenza emerge che le chiusure oscuranti (tapparelle avvolgibili) vengono utilizzate soprattutto negli uffici con esposizione sud nel periodo estivo e durante le ore di occupazione, con lo scopo di limitare l'ingresso della luce naturale negli ambienti lavorativi (fenomeno di abbagliamento) e di ridurre gli apporti solari. Emerge, inoltre, come non vengano mai completamente chiuse nelle ore di non occupazione dell'edificio. I risultati del questionario sono riassunti in Tabella 4.8.

Tabella 4.8. Tempi di utilizzo delle chiusure oscuranti.

		Stagione		
		Inverno (gen., feb., mar., nov., dic.)	Primavera/autunno (apr., mag., set., ott.)	Estate (giu., lug., ago.)
Esposizione NORD	Tempi di utilizzo ¹ [h/giorno]	0	0	0
	Periodo prevalente	Mattino	Non c'è un periodo prevalente	Non c'è un periodo prevalente
Esposizione SUD	Tempi di utilizzo ¹ [h/giorno]	0,5	1	4
	Periodo prevalente	Mattino	Non c'è un periodo prevalente	Orario pranzo / pomeriggio
¹ Si considera il tempo in cui le tapparelle avvolgibili vengono tenute abbassate almeno la metà dell'altezza della finestra.				

Gestione delle schermature solari

Per quanto riguarda le schermature solari (veneziane installate sul lato interno del serramento), dai questionari proposti all'utenza emerge che queste vengono utilizzate esclusivamente negli uffici con esposizione sud soprattutto nel periodo estivo nelle ore centrali e pomeridiane della giornata. I risultati del questionario sono riassunti in Tabella 4.9.

Tabella 4.9. Tempi di utilizzo delle schermature solari

			Stagione		
			Inverno (gen., feb., mar., nov., dic.)	Primavera/autunno (apr., mag., set., ott.)	Estate (giu., lug., ago.)
Esposizione NORD	Tempi di utilizzo [h/giorno]		0	0	0
	Periodo prevalente		Mattino	Non c'è un periodo prevalente	Non c'è un periodo prevalente
Esposizione SUD	Tempi di utilizzo [h/giorno]		0,5	1	4
	Periodo prevalente		Mattino	Non c'è un periodo prevalente	Orario pranzo / pomeriggio

Utilizzo dell'illuminazione artificiale

Per quanto riguarda l'illuminazione artificiale, dai questionari proposti all'utenza emerge come non vi siano distinzioni sostanziali tra gli uffici con esposizione nord e sud. Infatti, sia nella stagione invernale sia nelle stagioni intermedie, l'illuminazione artificiale viene utilizzata per più di 4 ore al giorno, per poi non essere utilizzata mai o al massimo per mezz'ora al giorno nella stagione estiva. I risultati del questionario sono illustrati in Tabella 4.10.

Tabella 4.10. Tempi di utilizzo dell'illuminazione artificiale.

			Stagione		
			Inverno (gen., feb., mar., nov., dic.)	Primavera/autunno (apr., mag., set., ott.)	Estate (giu., lug., ago.)
Esposizione NORD	Tempi di apertura [h/giorno]		> 4	> 4	0,5
	Periodo prevalente		Mattino	Mattino	Pomeriggio
Esposizione SUD	Tempi di apertura [h/giorno]		> 4	4	0,5
	Periodo prevalente		Mattino	Non c'è un periodo prevalente	Mattino

4.1.5 Consumi energetici

I consumi energetici per il riscaldamento dell'edificio sono stati forniti dalla Città Metropolitana di Torino, per la stagione di riscaldamento analizzata, come riportato in Tabella 4.11. Non essendo presenti impianti di raffrescamento o impianti per la produzione di ACS, i consumi termici dell'edificio oggetto di studio sono legati esclusivamente al fabbisogno di riscaldamento. I valori in Tabella 4.11 si riferiscono ai consumi di energia termica (fornita alla sottostazione di teleriscaldamento) per la stagione di riscaldamento 2016-2017, come forniti dalla Città Metropolitana di Torino. Il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento, essendo in zona climatica E, è fissato dal 15 ottobre al 15 aprile.

Tabella 4.11. Consumi energetici per riscaldamento.

Mese	Consumo mensile
[-]	[MWh]
15/10-31/12/2016	168,59
01/01-31/01/2017	114,31
01/02-28/02/2017	79,36
01/03-31/03/2017	65,15
01/04-04/05/2017	16,17

I consumi energetici sono stati relazionati ai dati climatici (gradi-giorno) per i mesi relativi alla stagione di riscaldamento analizzata. Trattandosi di una valutazione *tailored* su base oraria, è necessario usare i dati climatici reali orari dei due anni solari che includono la stagione di riscaldamento analizzata. Le informazioni sui dati climatici reali di Torino sono state fornite dal Servizio di Distribuzione dati della rete idro-meteorologica di ARPA Piemonte, denominato "AntAres". Con questo applicativo sono stati estratti i dati della rete di monitoraggio per le stazioni di Torino-Reiss Romoli e Torino-Via della Consolata, stazioni localizzate in centro urbano alla medesima altitudine del sito oggetto di studio, come mostrato in Figura 4.14. Ai fini del lavoro, sono stati utilizzati i dati climatici orari relativi alla stazione meteorologica di Torino-Via della Consolata perché più vicina al sito dell'edificio e con la stessa densità urbana. I dati meteorologici orari estratti sono i seguenti: temperatura dell'aria esterna (°C), umidità relativa (%), pressione atmosferica (Pa), irradianza solare globale sul piano orizzontale (W/m²), velocità del vento (m/s) e direzione del vento (gradi). I dati climatici mancanti necessari al fine di creare il file climatico per *EnergyPlus* (irradianza solare diretta normale e irradianza solare diffusa sul piano orizzontale) sono stati determinati secondo l'Appendice A dalla norma UNI 10349-1 [22].



Figura 4.14. Inquadramento territoriale delle stazioni metereologiche ARPA considerate (da Google Maps)

Per semplicità di rappresentazione, si riportano, rispettivamente in Tabella 4.12 e in Tabella 4.13 per i due anni solari analizzati, i valori della temperatura dell'aria esterna e i valori dell'irraggiamento solare globale sul piano orizzontale su base mensile. Rispettivamente in Figura 4.15 e in Figura 4.16, è messo a confronto l'andamento della temperatura media giornaliera e l'andamento dell'irraggiamento solare globale medio giornaliero sul piano orizzontale nei tre anni solari analizzati. Le informazioni sui dati climatici medi giornalieri sono stati ricavati dall'archivio dati meteorologici messo a disposizione da ARPA Piemonte (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) [47].

Tabella 4.12. Temperatura giornaliera media mensile dell'aria esterna.

Temperatura aria esterna	θ_e	[°C]	Anno	Mese											
				gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
			2014	5,2	7,2	9,8	14,9	17,1	22,0	25,5	24,7	22,0	13,5	10,5	5,5
Temperatura aria esterna	θ_e	[°C]	2015	2,8	6,9	12,9	15,1	19,4	24,9						

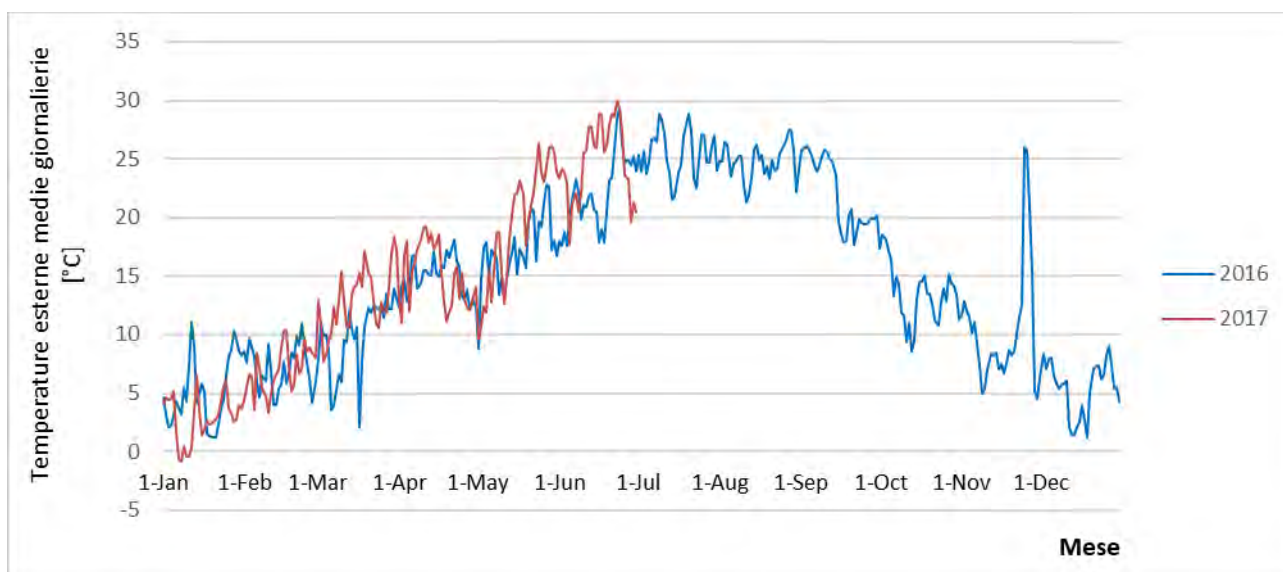


Figura 4.15. Andamento della temperatura esterna media giornaliera (i dati relativi alla seconda metà dell'anno 2017 sono al momento non disponibili).

Tabella 4.13. Valori medi mensili dell'irraggiamento solare globale giornaliero sul piano orizzontale.

Irraggiamento solare giornaliero	θ_e	[MJ/m ²]	Anno	Mese											
				gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
			2014	5,6	6,6	12,6	15,5	17,2	19,1	20,3	19,6	14,5	8,1	4,8	4,9
			2015	5,6	6,4	12,1	17,0	19,3	21,3	23,8					

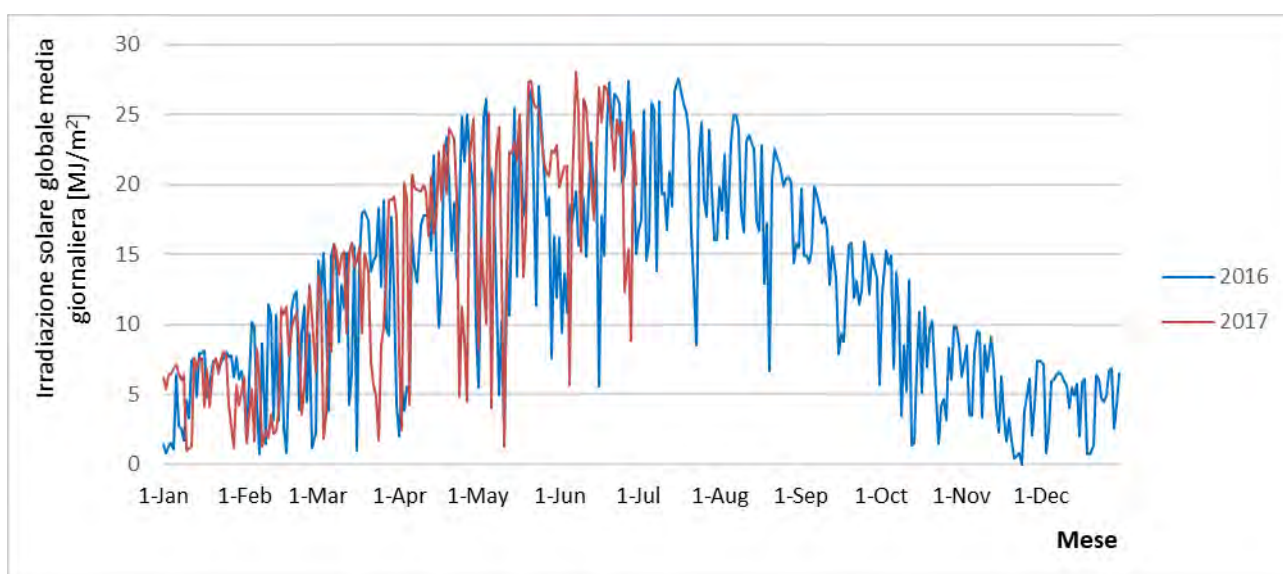


Figura 4.16. Andamento dell'irradiazione solare globale media giornaliera sul piano orizzontale (i dati relativi alla seconda metà dell'anno 2017 sono al momento non disponibili).

In Tabella 4.14 sono riportati i gradi-giorno reali del periodo di riscaldamento².

Tabella 4.14. Gradi-giorno del periodo di riscaldamento.

Mese di riferimento	Gradi-giorno [°C d]
15/10-31/12/2016	949,1
01/01-31/01/2017	558,2
01/02-28/02/2017	380,2
01/03-31/03/2017	236,7
01/04-04/05/2017	105,1

4.2 Costruzione del modello

I dati di ingresso necessari per lo sviluppo del modello di simulazione dinamica dettagliata in *DesignBuilder* sono relativi alle condizioni climatiche al contorno, alle caratteristiche geometriche e fisico-tecniche dell'edificio e alle modalità di utilizzo (funzionamento dell'impianto, occupazione, dispositivi, etc.).

Il modello geometrico dell'edificio è stato costruito sulla base della documentazione fornita dalla Città Metropolitana di Torino, riportata nell'Allegato A.

I componenti di involucro opaco e trasparente del fabbricato sono stati modellati sulla base della descrizione dei materiali costituenti riportata nella Relazione tecnica della Provincia di Torino. Per la configurazione degli strati dei componenti edilizi sono stati creati *template* personalizzati nel software *DesignBuilder* a partire dalle proprietà termofisiche dei materiali ricavate da normativa tecnica. Le caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi sono riportate nelle tabelle della Sezione 4.1.2.

La modellazione dei ponti termici in facciata, costituiti da parte della struttura portante in telaio di calcestruzzo armato a contatto con l'ambiente esterno (Figura 4.5) e dalle spallette in calcestruzzo di tutte le aperture (Figura 4.6), è avvenuta mediante l'inserimento di *sottosuperfici* sulle facciate.

² Per ogni anno, i gradi-giorno comprendono il periodo dal 1° gennaio al 15 aprile e il periodo dal 15 ottobre al 31 dicembre.

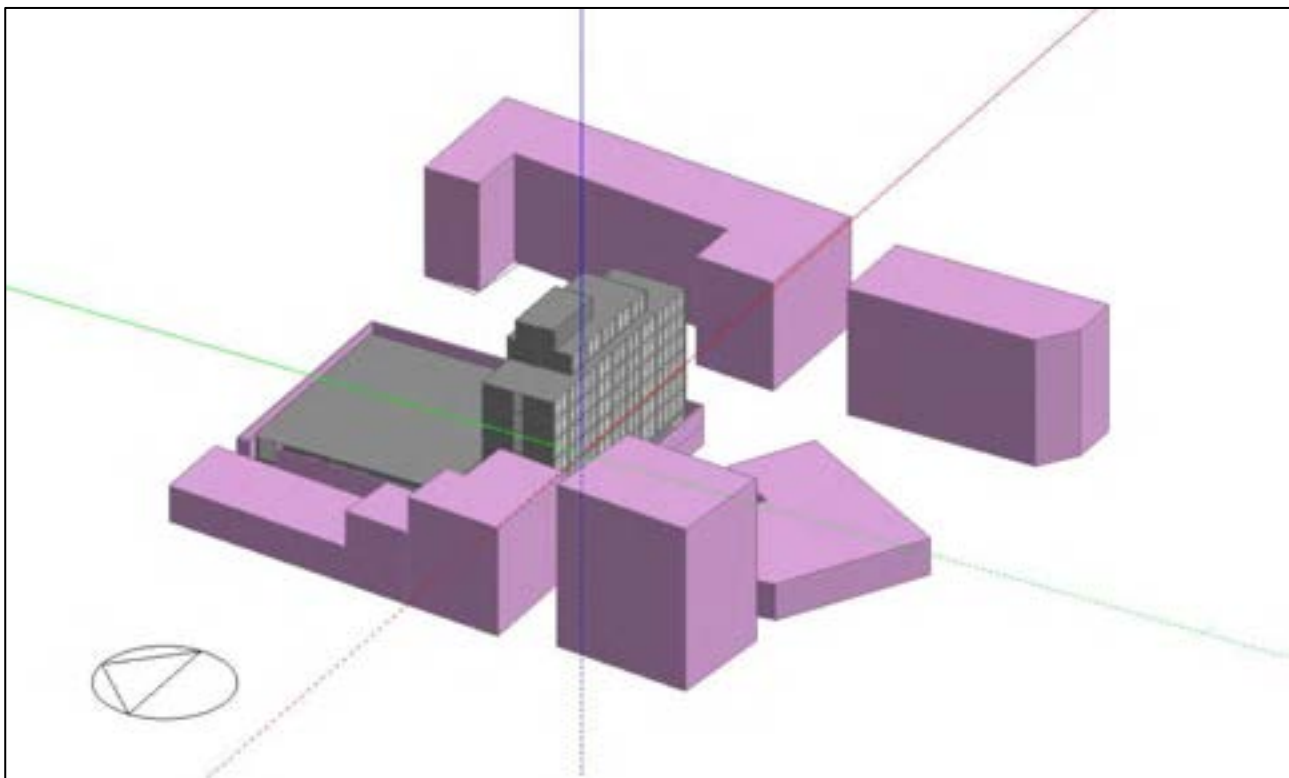


Figura 4.17. Modello dell'edificio in DesignBuilder.

Per la modellazione dell'impianto di riscaldamento è stato utilizzato il metodo HVAC dettagliato. In particolare, è stato modellato il circuito ad acqua calda (*hot water loop*), costituito dal lato "sorgente" e dal lato "richiesta".

Sul lato "sorgente" è stato inserito il generatore di tipo "sottostazione di teleriscaldamento", imputando le caratteristiche reali della sottostazione (informazioni ricavate dalla scheda tecnica del prodotto). Al fine di poter calibrare il modello anche sulla base dei consumi energetici degli anni 2014 e 2015, ossia precedenti all'allacciamento al teleriscaldamento, un secondo modello dell'edificio è stato costruito con i due generatori a gasolio.

Sempre sul circuito lato "sorgente" è stato inserito il *set-point manager* che permette di fissare le temperature di mandata. In particolare, la scelta è ricaduta su un *set-point manager* del tipo "a compensazione climatica", che permette di considerare le temperature di mandata in funzione della temperatura esterna (valori riportati nella Sezione 4.1.3). Data la limitazione del software di modellazione che impedisce di inserire i *set-point manager* a livello del circuito secondario (lato "richiesta"), distinguendo quindi le temperature di mandata per i tre sottocircuiti di distribuzione, ne è stato modellato solo uno inserendo le temperature riferite al sottocircuito diretto collegato ai ventilconvettori. Le temperature di mandata per i due circuiti miscelati sono state inserite a livello di zona, direttamente sull'elemento radiatore.

Sul lato "richiesta" è stata modellata la diramazione dei tre circuiti di distribuzione che portano alle zone termiche, come individuate nel paragrafo successivo (Sezione 4.2.2).

A livello di zona si richiede di imputare le temperature di set-point di riscaldamento dell'aria: i valori inseriti si differenziano a seconda della zona termica, quindi dipendentemente dalla destinazione d'uso dei locali e dell'esposizione, come descritto nella Sezione 4.2.2. Al modello dei corpi scaldanti è possibile attribuire le caratteristiche di ciascun terminale. In particolare, per i radiatori sono stati inseriti i valori riferiti alla capacità nominale del terminale, la portata massima e la temperatura di mandata dell'acqua e i profili di funzionamento. Per quanto riguarda i ventilconvettori, sono stati inseriti i valori riferiti alla capacità nominale del terminale e la portata massima d'acqua.

I programmi di funzionamento dell'impianto sono stati imputati a livello di circuito principale e a livello di zona.

Per sviluppare una corretta modellazione termo-energetica dell'edificio, è necessario suddividere l'edificio in zone termiche nel rispetto di specifici requisiti. I criteri seguiti per la zonizzazione si sono basati su aspetti legati alla categoria d'uso, e alla configurazione e gestione dell'impianto (circuito di distribuzione, terminali di emissione e temperatura interna di regolazione).

Successivamente all'individuazione delle zone termiche sono stati determinati tutti i parametri energetici ad esse correlati, come illustrato nelle sezioni successive.

4.2.1 Profili di occupazione

In funzione della destinazione d'uso degli ambienti e quindi della presenza oraria e delle attività svolte, i locali dell'edificio sono stati raggruppati nelle seguenti categorie:

- Uffici;
- Archivi;
- Zone non occupate (bagni, corridoi, etc.).

Sulla base dei dati ricavati dalle risposte ai questionari, sono stati creati i profili di occupazione e il fattore di occupazione orario medio giornaliero per i giorni lavorativi per le categorie sopra indicate. Vengono di seguito riportati i profili di occupazione e i fattori di occupazione orari per la categoria uffici, ricavati dalle risposte ai questionari (Tabella 4.15 e Figura 4.18). Per semplicità, si riporta la media dei fattori di occupazione orari calcolati per ciascuna zona termica della categoria ad uso uffici. Nella modellazione, tuttavia, ad ogni zona termica è stato attribuito il suo profilo di occupazione.

Per quanto riguarda le altre due categorie, in assenza di dati reali, sono stati utilizzati i profili forniti dalla norma ISO 18523-1 [23].

Tabella 4.15. Fattore di occupazione orario – Uffici.

	Ora del giorno									
	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
Lun	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,78	0,99	0,85	0,68	0,00
Mar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,99	0,59	0,34	0,00
Mer	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,77	0,96	0,83	0,61	0,00
Gio	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,86	0,99	0,51	0,23	0,00
Ven	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,98	0,48	0,15	0,00
Sab	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dom	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

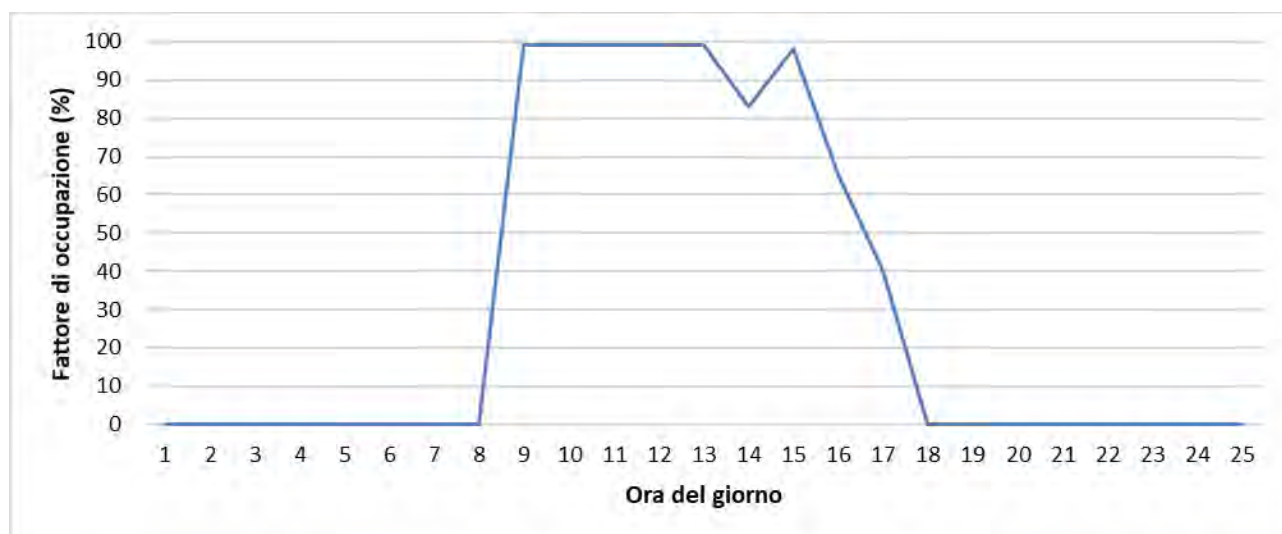


Figura 4.18. Fattore di occupazione orario medio giornalieri - Giorni feriali, uffici.

4.2.2 Definizione delle zone termiche

Per la suddivisione in zone termiche è fondamentale considerare le categorie d'uso dei diversi ambienti dell'edificio e le diverse configurazioni impiantistiche (es. terminali di emissione, tipi e livelli di regolazione), le quali determinano altresì differenti modalità di gestione dell'impianto.

In Figura 4.19 e in Figura 4.20 viene schematizzato l'impianto di riscaldamento a servizio dell'edificio, rispettivamente con il sistema di generazione a caldaie (ante 2016) e la sottostazione di teleriscaldamento (configurazione attuale), sulla base dei dati raccolti (Sezione 4.1.3).

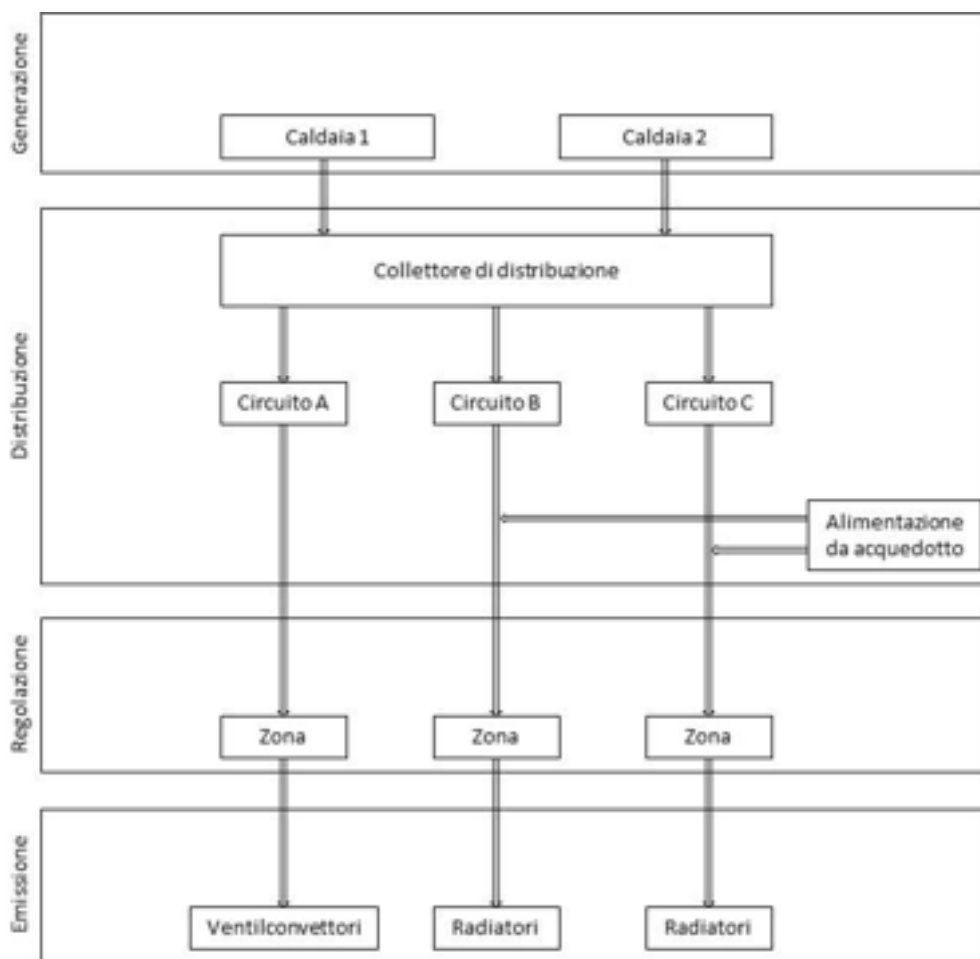


Figura 4.19. Schema impianto di riscaldamento con caldaie.

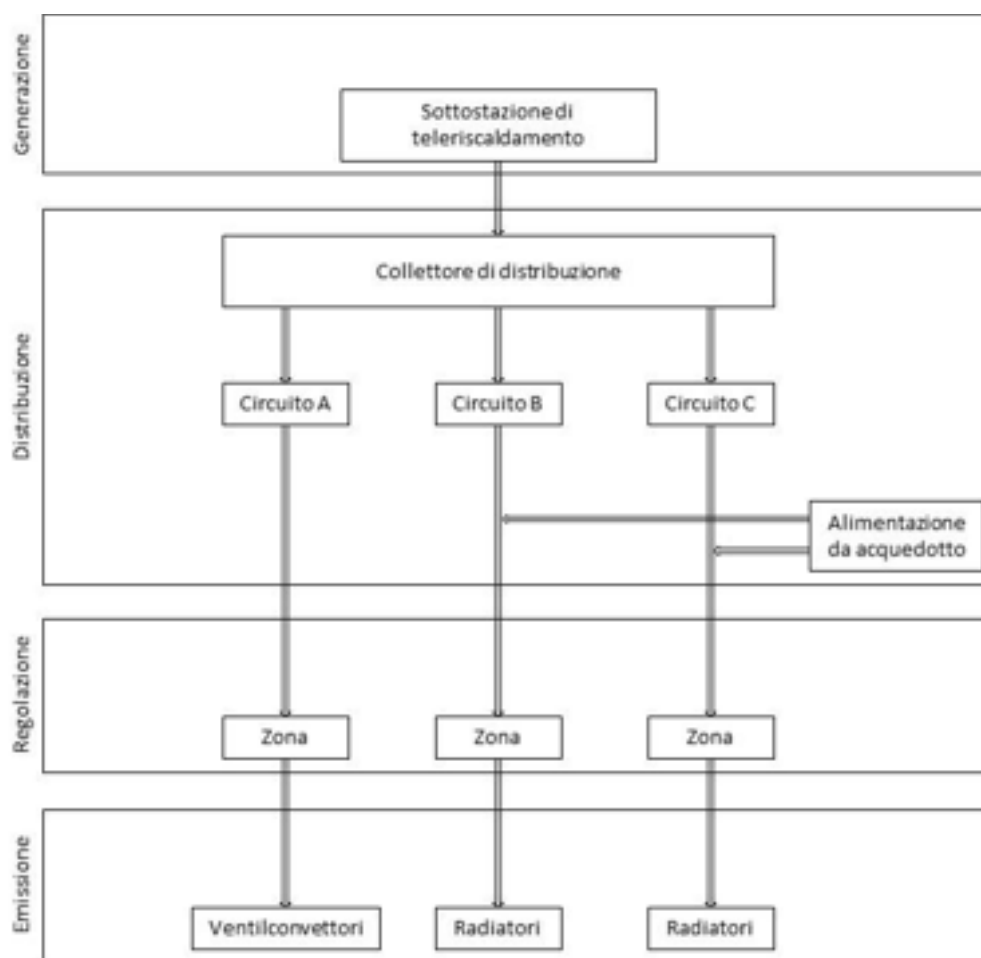


Figura 4.20. Schema impianto di riscaldamento con teleriscaldamento.

In Tabella 4.16 sono illustrate le differenti configurazioni impiantistiche a valle del sottosistema di generazione termica, riguardanti il sottosistema di distribuzione (circuiti idronici) e il sottosistema di emissione (tipologia di terminali di emissione), considerate ai fini della suddivisione in zone termiche.

Tabella 4.16. Configurazioni impiantistiche considerate ai fini della zonizzazione termica dell'edificio.

Circuito di distribuzione	Tipo	Terminali di emissione
A	Diretto	Ventilconvettori
B	Miscelato	Radiatori (uffici piano terra)
C	Miscelato	Radiatori

La presenza di orologi regolatori permette una gestione del funzionamento dell'impianto per piano. Nonostante attualmente le impostazioni degli orologi dei singoli piani non differiscano dagli orari di accensione e spegnimento dell'impianto a livello di edificio (riportate nel paragrafo 4.1.3), questa variabile è stata comunque considerata ai fini della zonizzazione termica.

A livello ambiente (singolo ufficio), la regolazione dell'emissione del calore è gestita dall'occupante sia per la presenza di termostati ambiente in tutti i locali sia per la possibilità di agire manualmente sul terminale di emissione. I risultati dei questionari mostrano come generalmente l'utente prediliga agire sul termostato ambiente per regolare la temperatura dell'aria interna. Sulla base delle risposte è stato possibile dettagliare la suddivisione delle zone termiche anche sulla base dell'esposizione degli uffici. I questionari mostrano,

infatti, come l'esposizione influenzi i profili di funzionamento dell'impianto e la temperatura di regolazione per singola stanza: è risultato che generalmente gli occupanti degli uffici esposti a nord impostino la temperatura di set-point invernale su un valore pari a 22 °C, contro i 20 °C impostati dagli occupanti degli uffici esposti a sud. Per tener conto di questa differenza, l'orientamento è stato incluso tra i criteri di zonizzazione.

La Figura 4.21 riassume gli aspetti considerati ai fini della zonizzazione termica. I numeri all'interno dei riquadri indicano le zone termiche individuate.

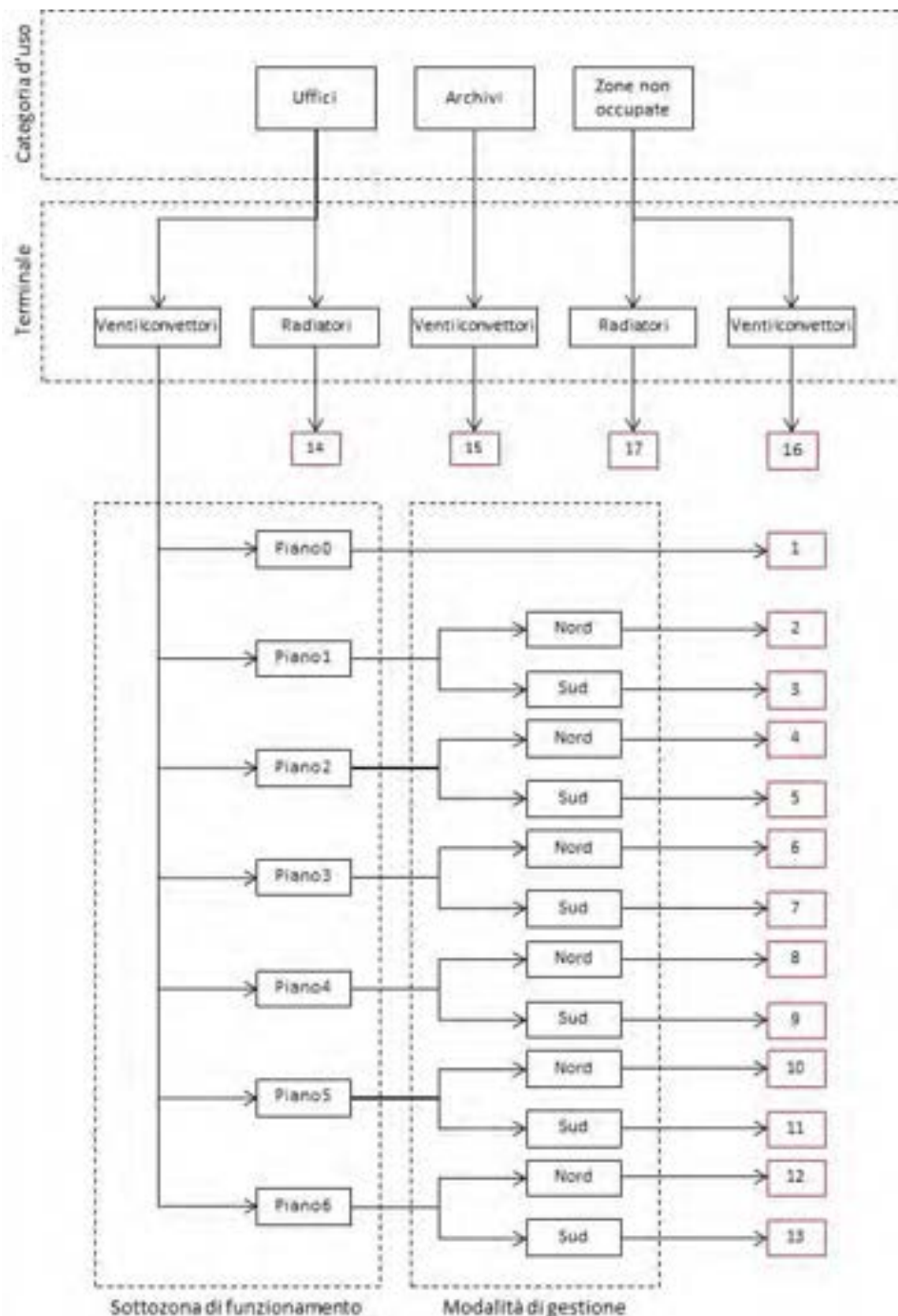


Figura 4.21. Schema di zonizzazione termica dell'edificio. I numeri nei riquadri rossi rappresentano le diverse zone termiche.

Le zone termiche sono altresì elencate in Tabella 4.17 con le loro proprietà geometriche.

Tabella 4.17. Proprietà delle zone termiche.

Zona termica	Caratteristiche geometriche				Categoria d'uso	Caratteristiche impianto di riscaldamento		
	$A_{f,i}$	A_f	V_i	V		Terminali di emissione	Sottozona di funzionamento (piano) ¹	Modalità di gestione (esposizione) ²
[-]	[m ²]	[m ²]	[m ³]	[m ³]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	252	221	833	664	Uffici	Ventilconvettori	Terra	-
2	109	84,4	359	253	Uffici	Ventilconvettori	Primo	Nord
3	188	162	619	485	Uffici	Ventilconvettori	Primo	Sud
4	109	84,4	359	253	Uffici	Ventilconvettori	Secondo	Nord
5	188	162	619	485	Uffici	Ventilconvettori	Secondo	Sud
6	67,7	51,2	223	154	Uffici	Ventilconvettori	Terzo	Nord
7	250	211	823	631	Uffici	Ventilconvettori	Terzo	Sud
8	109	84,4	359	253	Uffici	Ventilconvettori	Quarto	Nord
9	188	162	619	485	Uffici	Ventilconvettori	Quarto	Sud
10	109	84,4	359	253	Uffici	Ventilconvettori	Quinto	Nord
11	188	162	619	485	Uffici	Ventilconvettori	Quinto	Sud
12	63,9	42,3	211	127	Uffici	Ventilconvettori	Sesto	Nord
13	97,4	80,5	321	241	Uffici	Ventilconvettori	Sesto	Sud
14	97,5	81,1	322	243	Uffici	Radiatori	Terra	-
15	1740	1585	5741	4756	Archivi	Ventilconvettori	-	-
16	263	204	867	611	Zone non occupate	Radiatori	-	-
17	763	680	2515	2040	Zone non occupate	Ventilconvettori	-	-

¹ Il funzionamento dell'impianto viene ulteriormente regolato da orologi regolatori per piano.
² Dalla valutazione dei questionari sottoposti agli occupanti si è osservato come i profili di funzionamento dell'impianto siano fortemente correlati all'esposizione: si è quindi tenuto conto dell'esposizione nella suddivisione in zone termiche.

In Tabella 4.18 sono raggruppati gli ambienti appartenenti alle diverse zone termiche:

Tabella 4.18. Ambienti appartenenti alle zone termiche.

Zona termica	Piano edificio	Ambienti ¹
1	Terra	0.03 ingresso, 0.04 ufficio, 0.05 ufficio, 0.06 ufficio, 0.07 ufficio
2	Primo	1.10 ufficio, 1.11 ufficio, 1.12 ufficio, 1.17 ufficio, 1.18 ufficio
3	Primo	1.1 ufficio, 1.2 ufficio, 1.3 ufficio, 1.4 ufficio, 1.5 ufficio, 1.6 ufficio, 1.7 ufficio, 1.8 ufficio, 1.9 ufficio
4	Secondo	2.10 ufficio, 2.11 ufficio, 2.12 ufficio, 2.13 ufficio, 2.14 ufficio
5	Secondo	2.01 ufficio, 2.02 ufficio, 2.03 ufficio, 2.04 ufficio, 2.05 ufficio, 2.06 ufficio, 2.07 ufficio, 2.08 ufficio, 2.09 ufficio
6	Terzo	3.09 ufficio, 3.10 ufficio, 3.11 ufficio
7	Terzo	3.01 ufficio, 3.02 ufficio, 3.03 ufficio, 3.04 ufficio, 3.05 ufficio, 3.06 ufficio, 3.07 ufficio, 3.08 ufficio
8	Quarto	4.10 ufficio, 4.11 ufficio, 4.12 ufficio, 4.13 ufficio, 4.14 ufficio
9	Quarto	4.01 ufficio, 4.02 ufficio, 4.03 ufficio, 4.04 ufficio, 4.05 ufficio, 4.06 ufficio, 4.07 ufficio, 4.08 ufficio, 4.09 ufficio
10	Quinto	5.09 ufficio, 5.10 ufficio, 5.11 ufficio, 5.12 ufficio, 5.14 ufficio
11	Quinto	5.01 ufficio, 5.02 ufficio, 5.03 ufficio, 5.04 ufficio, 5.05 ufficio, 5.06 ufficio, 5.07 ufficio, 5.08 ufficio
12	Sesto	6.05 ufficio, 6.06 ufficio, 6.07 ufficio
13	Sesto	6.01 ufficio, 6.02 ufficio, 6.03 ufficio, 6.04 ufficio
14	Terra	0.01 ufficio, 0.02 ufficio, 0.08 ufficio, 0.09 ufficio
15	Int. -1	int.-1.01 archivio, int.-1.02 archivio, int.-1.03 archivio, int.-1.04 archivio, int.-1.05 archivio, int.-1.06 archivio, int.-1.07 archivio, int.-1.08 archivio, int.-1.09 archivio
	Int. -2	int.-2.01 archivio, int.-2.02 archivio, int.-2.03 archivio, int.-2.04 archivio, int.-2.05 archivio,
16	Int. -2	int.-2.08 aula informatica, int.-2.09 sala riunioni
	Int. -1	int.-1.11 bagno
	Terra	0.10 corridoio, 0.12 bagno, 0.14 bagno, 0.15 bagno
	Primo	1.13 bagno, 1.15 bagno
	Secondo	2.18 bagno, 2.20 bagno
	Terzo	3.15 bagno, 3.17 bagno
	Quarto	4.18 bagno, 4.20 bagno
	Quinto	5.18 bagno, 5.20 bagno
	Sesto	6.08 corridoio, 6.09 bagno, 6.10 bagno
17	Int. -2	int.-2.06 vano scala, int.-2.07 corridoio
	Int. -1	int.-1.10 corridoio, int.-1.12 vano scala, int.-1.13 corridoio
	Terra	0.11 corridoio, 0.13 vano scala
	Primo	1.14 vano scala, 1.16 corridoio, 1.19 corridoio, 1.20 corridoio
	Secondo	2.15 corridoio, 2.16 corridoio, 2.17 corridoio, 2.19 vano scala
	Terzo	3.12 corridoio, 3.13 corridoio, 3.14 corridoio, 3.16 vano scala
	Quarto	4.15 corridoio, 4.16 corridoio, 4.17 corridoio, 4.19 vano scala
	Quinto	5.15 corridoio, 5.16 corridoio, 5.17 corridoio, 5.19 vano scala
	Sesto	6.11 vano scala
¹ I codici identificativi degli ambienti sono riportati nell'Allegato B insieme all'indicazione della posizione dei locali all'interno delle planimetrie dell'edificio.		

4.2.3 Profili di utilizzo: aperture, sistemi oscuranti, schermature solari e illuminazione artificiale

Per quanto riguarda i profili di utilizzo di aperture, sistemi oscuranti, schermature solari e illuminazione artificiale, sono stati valutati e rielaborati i risultati dei questionari sottoposti agli utenti. In particolare, per ciascuna categoria è stato chiesto di indicare, in relazione alle stagioni (inverno, primavera/autunno e estate), il tempo medio e il periodo prevalente di utilizzo nell'arco della giornata. Sulla base dei risultati sono stati ricavati, per ogni zona termica, i profili orari stagionali di utilizzo delle varie categorie.

Occorre tuttavia specificare che le risposte ai questionari rappresentano il 50% della totalità degli utenti; perciò, l'incertezza del dato, dovuta alla non esaustività dell'informazione, potrebbe riflettersi anche sui profili di utilizzo costruiti a partire da tali risposte. I dati relativi all'occupazione portano in sé un margine di adattamento che potrebbe rivelarsi necessario nella successiva attività di calibrazione del modello.

Apertura delle finestre

La Tabella 4.20 mostra, per ciascuna zona termica analizzata, il numero di ore e il periodo di apertura delle finestre in riferimento alle stagioni (invernale, intermedie ed estiva).

Tabella 4.19. Ore e periodo di apertura delle finestre

Zona termica	Stagione invernale		Stagioni intermedie		Stagione estiva	
	Ore	Periodo ¹	Ore	Periodo ¹	Ore	Periodo ¹
1	0,5	M	1.5	M	8	N
2	0.5	M	1	M	6	M/PR
3	0.5	M	1	M	8	N
4	0.5	M	1	M	8	N
5	0.5	M	1.5	M	8	N
6	1	M	3.5	P	6	PR/P
7	1	M	3	PR/P	8	N
8	1	M	1.5	PR	5	P
9	0.5	M	1	M	6	M/PR
10	0.5	M	2	PR	7.5	N
11	1	M	3	M	8	N
12	0.5	M	2.5	PR	8	M/P
13	1	PR	2.5	M	2.5	M
14	0.5	M	1	M	4	M
¹ Sono stati individuati quattro periodi prevalenti: M: mattino PR: orario pranzo P: pomeriggio N: nessun periodo prevalente						

Per l'apertura delle finestre è stato considerato un funzionamento del tipo "on-off": i valori riportati nel grafico e nella tabella sono pari a 0 e 1, che corrispondono rispettivamente alla chiusura e all'apertura delle finestre.

I profili di apertura delle finestre sono stati valutati per tutte le zone termiche; sono di seguito (Figura 4.23) riportati i profili per una zona termica tipo (zona 7).

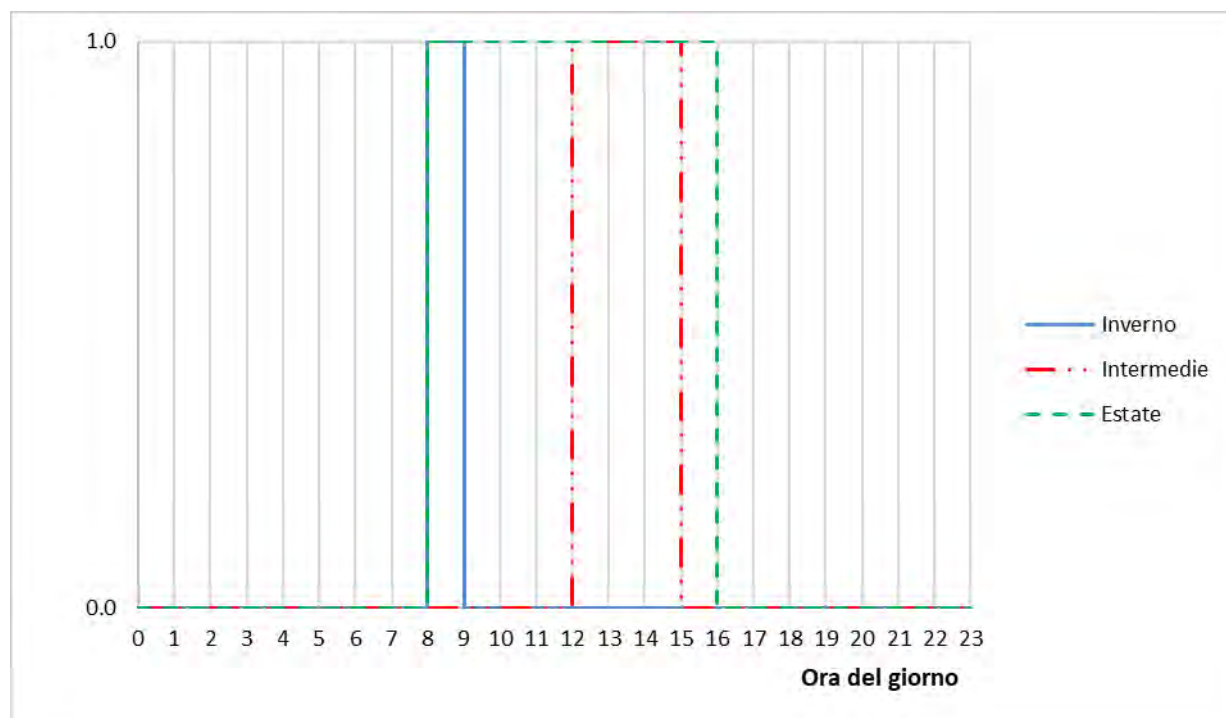


Figura 4.22. Profilo orario di apertura delle finestre (zona tipo) per stagione.

Gestione delle chiusure oscuranti

Sulla base dei risultati dei questionari sottoposti agli utenti è stato valutato per quanto tempo le tapparelle avvolgibili vengono tenute abbassate (almeno la metà dell'altezza della finestra) nell'arco della giornata, e il periodo della giornata prevalente in cui vengono utilizzate. La Tabella 4.20 mostra, per ciascuna zona termica analizzata, il numero di ore e il periodo di utilizzo delle chiusure oscuranti in riferimento alle stagioni (invernale, intermedie ed estiva).

Tabella 4.20. Ore e periodo di utilizzo delle chiusure oscuranti

Zone termiche	Stagione invernale		Stagioni intermedie		Stagione estiva		Utilizzo nelle ore di non occupazione
	Ore	Periodo ¹	Ore	Periodo ¹	Ore	Periodo ¹	
1	0	-	0.5	PR	1.5	P	Si
2	0	-	0	-	0	-	No
3	0	-	0.5	PR	5	P	No
4	0	-	2	P	9	N	Si
5	0	-	0	-	2.5	P	No
6	0	-	0	-	0	-	No
7	0.5	PR	2	PR	8	N	No
8	0.5	M	1.5	PR	5	P	No
9	0.5	M	1	PR	7	N	No
10	0	-	0	-	2	P	No
11	0	-	0	-	2	P	No
12	0	-	0	-	0	-	No
13	0.5	PR	1	PR	5	P	No
14	0.5	PR	0.5	PR	0.5	PR	No
¹ Sono stati individuati quattro periodi prevalenti, riportati in tabella con le sigle seguenti: M: mattino PR: orario pranzo P: pomeriggio N: nessun periodo prevalente							

Poiché il software *DesignBuilder* prevede un funzionamento del tipo "on-off" per le chiusure oscuranti, i valori riportati nel grafico e nella tabella sono 0 e 1, che corrispondono rispettivamente al non utilizzo e all'utilizzo delle chiusure oscuranti. I profili di utilizzo delle chiusure oscuranti sono stati valutati per tutte le zone termiche; sono di seguito (Figura 4.23 e Tabella 4.21) riportati i profili di utilizzo delle chiusure oscuranti di una zona termica tipo (zona 7).

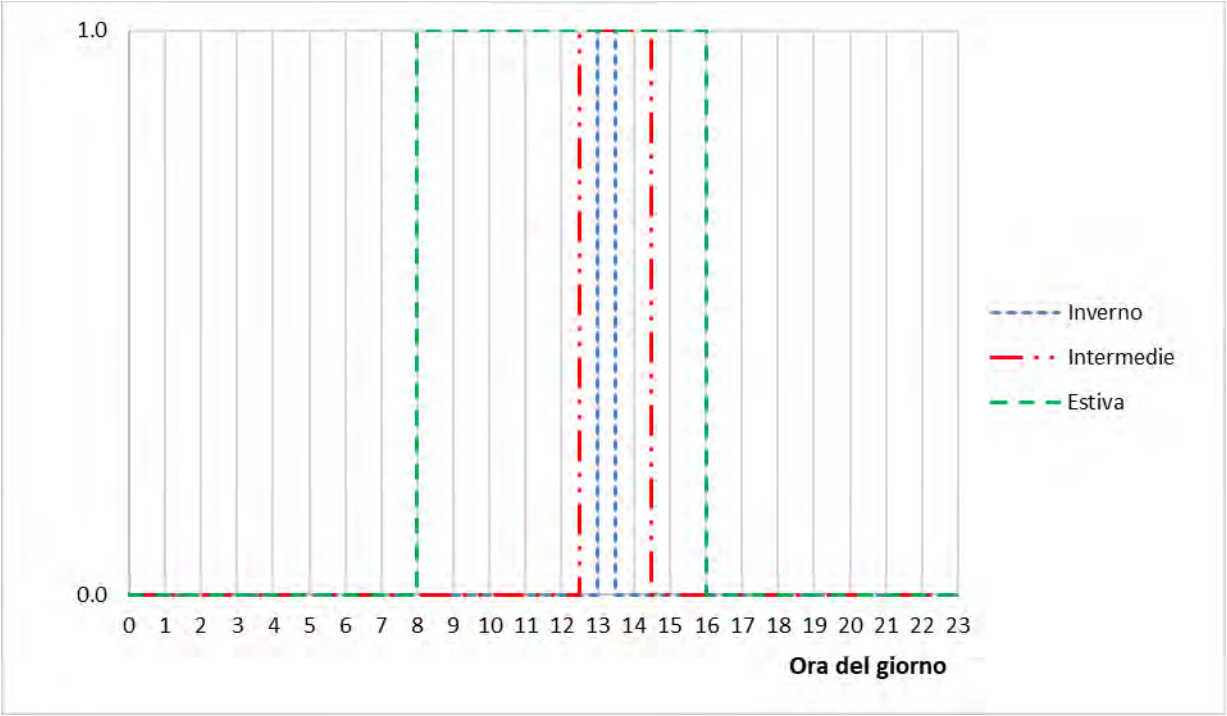


Figura 4.23. Profilo orario di utilizzo delle chiusure oscuranti (zona tipo) per stagione

Tabella 4.21. Profilo orario di utilizzo delle chiusure oscuranti (zona tipo) per stagione

Stagione di riferimento	8-8:30	8:30-9	9-9:30	9:30-10	10-10:30	10:30-11	11-11:30	11:30-12	12-12:30	12:30-13	13-13:30	13:30-14	14-14:30	14:30-15	15-15:30	15:30-16	16-16:30	16:30-17	17-17:30	17:30-18
Invernale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Intermedia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Estiva	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0

Gestione delle schermature solari

La Tabella 4.22 mostra, per ciascuna zona termica analizzata, il numero di ore e il periodo di utilizzo delle schermature solari in riferimento alle stagioni (invernale, intermedie ed estiva).

Tabella 4.22. Ore e periodo di utilizzo delle schermature solari

Zone termiche	Stagione invernale		Stagioni intermedie		Stagione estiva	
	Ore	Periodo ¹	Ore	Periodo ¹	Ore	Periodo ¹
1	0,5	M	0,5	PR	1	P
2	0,5	M	0,5	M	0,5	M
3	0,5	M	0,5	PR	3	P
4	0,5	M	0,5	PR	0,5	M
5	0,5	M	0,5	PR	4,5	P
6	0,5	M	0,5	M	0,5	PR
7	3	PR	3	PR	4	P
8	0,5	M	0,5	M	0,5	M
9	1	PR	2	PR	6	N
10	0,5	M	0,5	M	0,5	M
11	0,5	PR	2	PR	6	N
12	0,5	M	0,5	M	0,5	M
13	2,5	PR	2,5	PR	3,5	PR
14	9	N	9	N	9	N
¹ Sono stati individuati quattro periodi prevalenti, riportati in tabella con le sigle seguenti: M: mattino PR: orario pranzo P: pomeriggio N: nessun periodo prevalente						

Poiché il software *DesignBuilder* prevede un funzionamento del tipo “on-off” per le schermature solari, i valori riportati nel grafico e nella tabella sono 0 e 1, che corrispondono rispettivamente al non utilizzo e all’utilizzo delle schermature solari. I profili di utilizzo delle schermature solari sono stati valutati per tutte le zone termiche; sono di seguito (Figura 4.24 e Tabella 4.23) riportati i profili di utilizzo delle schermature solari di una zona termica tipo (zona 7).

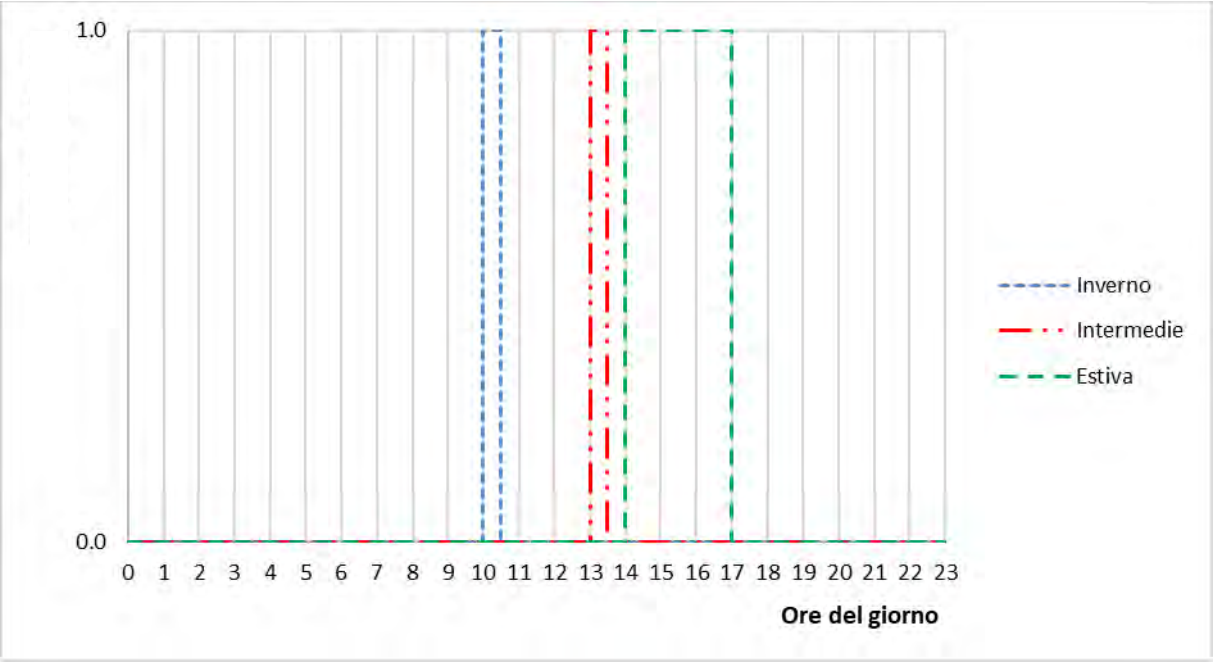


Figura 4.24. Profilo orario di utilizzo delle schermature solari (zona tipo) per stagione

Tabella 4.23. Profilo orario di utilizzo delle schermature solari (zona tipo) per stagione

Stagione di riferimento	8-8:30	8:30-9	9-9:30	9:30-10	10-10:30	10:30-11	11-11:30	11:30-12	12-12:30	12:30-13	13-13:30	13:30-14	14-14:30	14:30-15	15-15:30	15:30-16	16-16:30	16:30-17	17-17:30	17:30-18
Invernale	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Intermedia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estiva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0

Illuminazione artificiale

Sulla base dei risultati dei questionari sottoposti agli utenti è stato valutato per quanto tempo viene utilizzata l'illuminazione artificiale nell'arco della giornata, e il periodo della giornata prevalente in cui viene utilizzata.

A differenza di quanto accade per le chiusure oscuranti e le schermature solari, per quanto riguarda l'illuminazione artificiale *DesignBuilder* prevede un profilo di funzionamento con fattori di utilizzo compresi tra 0 e 1, accettando quindi valori intermedi. Questo tipo di profilo permette di frazionare su base oraria la potenza elettrica installata. I profili di utilizzo sono stati valutati per ciascuna zona termica; sono di seguito (Figura 4.25 e Tabella 4.24) riportati i profili di utilizzo dell'illuminazione artificiale di una zona termica tipo (zona 3).

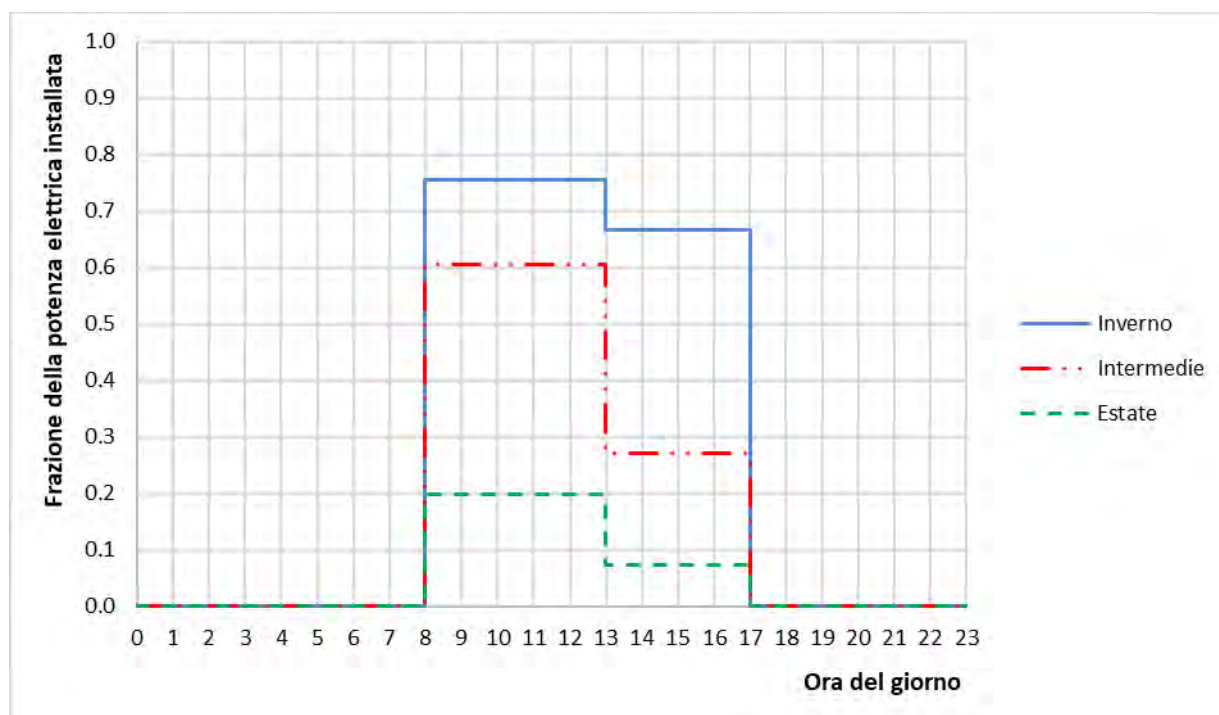


Figura 4.25. Profilo orario di utilizzo dell'illuminazione artificiale (zona tipo) per stagione (frazione della potenza elettrica installata utilizzata ora per ora)

Tabella 4.24. Profilo orario di utilizzo dell'illuminazione artificiale (zona tipo) per stagione

Stagione di riferimento	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
Invernale	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0
Intermedia	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0
Estiva	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0

4.2.4 Parametri impiantistici

Impianto di riscaldamento

Sulla base dei risultati dei questionari sottoposti agli occupanti, è stato possibile ricavare per ogni zona termica i parametri di controllo dell'impianto di riscaldamento. In particolare, sono state definite le temperature di set-point invernale per ciascuna zona termica e se il controllo viene effettuato dall'utente sul termostato ambiente o sul terminale di emissione. I risultati dei questionari sono riportati di seguito (Tabella 4.25).

Tabella 4.25. Parametri di controllo dell'impianto di riscaldamento

Zona termica	Tipo di controllo	Temperatura di set-point ¹ [°C]
1	Termostato ambiente	22
2	Termostato ambiente	21
3	Termostato ambiente	21
4	Terminale (termostato assente)	20
5	Termostato ambiente	20
6	Termostato ambiente	26
7	Termostato ambiente	20
8	Termostato ambiente	20
9	Termostato ambiente	23
10	Termostato ambiente	20
11	Termostato ambiente	21
12	Termostato ambiente	21
13	Termostato ambiente	22
14	Terminale (termostato assente)	20
15	Terminale (termostato assente)	20
16	Terminale (termostato assente)	18
17	Terminale (termostato assente)	18

¹ Per le zone termiche in cui è assente il termostato ambiente per la regolazione della temperatura interna di set-point, sono stati utilizzati valori standard ricavati dalla UNI TS 11300-1 [4].

Impianto di illuminazione artificiale

La potenza elettrica per ogni tipologia di sorgente luminosa presente nell'edificio è mostrata in Tabella 4.26.

Tabella 4.26. Potenza elettrica dei dispositivi di illuminazione artificiale

Dispositivo di illuminazione artificiale	Potenza elettrica
[-]	[W]
Lampade fluorescenti (tipo 1)	36
Lampade fluorescenti (tipo 2)	58

In base ai dispositivi presenti negli ambienti appartenenti alla medesima zona termica è stato ricavato il valore della potenza totale installata per illuminazione in ogni zona (Tabella 4.27). Non sono presenti sistemi di controllo automatico dell'illuminazione.

Tabella 4.27. Potenza installata per illuminazione

Zona termica	Potenza installata per illuminazione	Potenza installata per illuminazione (per unità di superficie)
	P_n	P_n/A
[-]	[W]	[W/m ²]
1	792	4,41
2	720	8,60
3	1152	7,36
4	720	8,60
5	1152	7,36
6	432	8,46
7	1224	5,86
8	720	8,60
9	1152	7,36
10	720	8,60
11	1152	7,36
12	180	4,28
13	432	5,40
14	612	6,88
15	7956	5,40
16	2680	4,84
17	5336	6,32

Ventilazione naturale

In assenza di un impianto di ventilazione meccanica, la ventilazione è garantita dalla sola aerazione naturale, la quale avviene grazie all'apertura delle finestre e alle infiltrazioni. Per quanto riguarda la definizione dei parametri riguardanti la ventilazione naturale, si è fatto riferimento ai due metodi previsti dal software *DesignBuilder*. Questo prevede due modelli di ventilazione naturale, "programmata" e "calcolata".

Nella ventilazione naturale "programmata", la portata di ventilazione è calcolata come frazione di un valore massimo di ricambi orari, modulata sulla base di un profilo di funzionamento. La valutazione del valore massimo di ricambi orari è stata condotta in relazione alla necessità di garantire un certo livello di qualità dell'aria interna, sulla base di quanto prescritto dalla norma UNI EN 15251 [24]: i valori calcolati per ciascuna zona termica secondo la norma corrispondono al valore massimo in condizioni di massima

occupazione, successivamente modulati sulla base dei profili di occupazione. In Tabella 4.28 vengono riportati i ricambi orari relativi a ciascuna zona termica.

Tabella 4.28. Ricambi d'aria per ciascuna zona termica (UNI EN 15251 [24]).

Zona termica	Superficie utile di pavimento A_f [mq]	Indice di affollamento [ab/mq]	Numero ricambi orari [h ⁻¹]
1	181,4	0,022	1,0
2	84,9	0,094	1,6
3	158,3	0,088	1,6
4	84,9	0,094	1,6
5	158,3	0,088	1,6
6	51,7	0,077	1,5
7	211,3	0,066	1,4
8	84,9	0,094	1,6
9	158,3	0,088	1,6
10	84,9	0,094	1,6
11	158,3	0,088	1,6
12	42,7	0,070	1,4
13	81,2	0,049	1,3
14	90,0	0,044	1,2
15	1474,0	0,002	1,7
16	556,5	0,000	0,0
17	847,2	0,000	0,0

Nella ventilazione naturale “calcolata”, i tassi di ventilazione sono calcolati sulla base della velocità del vento e della differenza di pressione tra interno ed esterno, dalle dimensioni delle aperture e delle fessurazioni, utilizzando l’*Airflow Network* di EnergyPlus. In particolare, il modello della ventilazione “calcolata” fa riferimento alla dimensione delle aperture, alla percentuale di apertura e all’utilizzo delle stesse; il software prevede inoltre la possibilità di modulare l’apertura delle finestre in relazione alle condizioni climatiche al contorno. Nel modello è stata utilizzata una percentuale di apertura pari al 62%, valore calcolato secondo quanto specificato dalla norma EN 16798-7, in riferimento all’angolo di apertura delle finestre esistenti [25]. Per quanto riguarda i profili di utilizzo, si fa riferimento ai profili riportati precedentemente.

Nelle fasi di calibrazione del modello di simulazione (Sezione 4.3.2), sono state valutate entrambe le modalità di calcolo della ventilazione naturale, e le modalità di modulazione dell’apertura delle finestre per quanto riguarda la ventilazione naturale “calcolata”.

4.3 Valutazioni energetiche, ambientali ed economiche

4.3.1 Valutazione d'esercizio (*operational rating*)

La valutazione d'esercizio si basa sull'analisi del consumo reale di energia erogata annualmente per il riscaldamento dell'edificio ad uso uffici, nella stagione di riscaldamento considerata (2016/17). Si tratta di energia termica, proveniente dalla rete di teleriscaldamento, misurata all'ingresso della sottostazione di scambio termico, all'interno dell'edificio. I dati di consumo reale disponibili sono stati forniti su base mensile, dal 15 ottobre 2016 al 15 aprile 2017, ad eccezione del periodo dal 15 ottobre al 31 dicembre 2016 del quale è stato fornito un unico dato aggregato. La relazione tra l'energia termica erogata mensilmente e i gradi-giorno della città di Torino calcolati per gli stessi mesi (si veda anche la Sezione 4.1.5) è riportata graficamente in Figura 4.26.

Dall'analisi della Figura 4.26 emerge una forte correlazione tra il consumo energetico e i gradi-giorno; questa relazione è indicativa di una elevata influenza delle dispersioni termiche dell'edificio (scambi termici per trasmissione e ventilazione) sul consumo energetico, come avvalorato anche dai risultati della simulazione dinamica (si veda la Sezione 4.3.2).

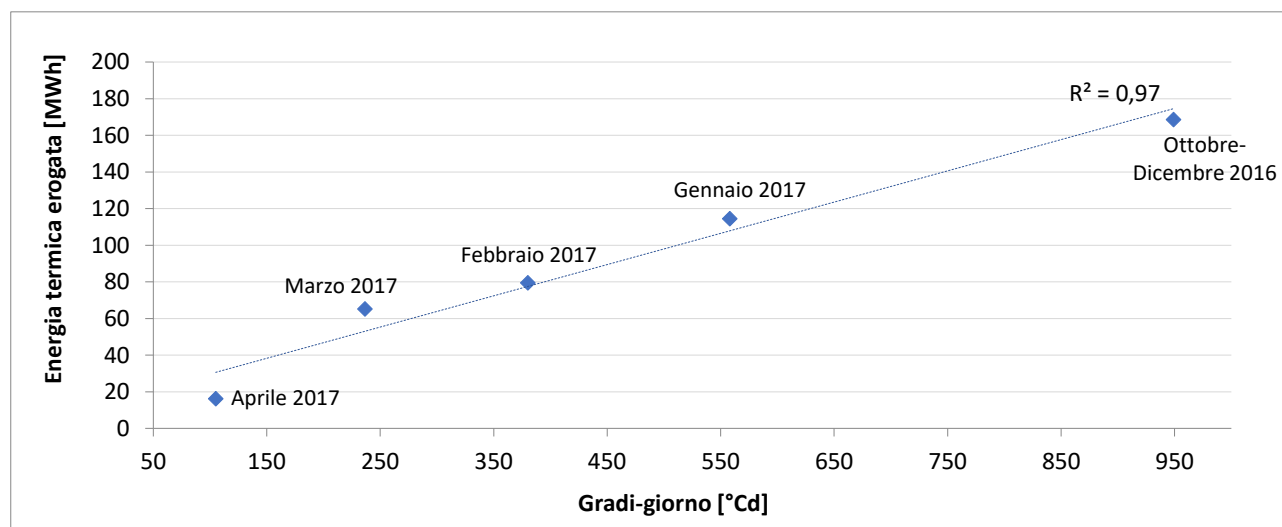


Figura 4.26. Relazione tra consumo di energia termica per il riscaldamento del caso studio e gradi-giorno di Torino, su base mensile, relativi alla stagione 2016/2017.

4.3.2 Valutazione adattata all'utenza (*tailored rating*) e calibrazione del modello

La valutazione adattata all'utenza si basa sui risultati della simulazione energetica dinamica dell'edificio nella stagione di riscaldamento 2016/17, mediante la modellazione dell'edificio nello stato di fatto (Sezione 4.2) e considerando l'utilizzo reale e il clima reale (Sezione 4.1.5).

Come presentato nella Sezione 4.2.4, la ventilazione naturale è stata modellata sia secondo il modello di ventilazione "programmata", sia secondo quello di ventilazione "calcolata" del software *DesignBuilder*. Il grafico seguente (Figura 4.27) mostra il confronto dei risultati delle simulazioni con entrambi i modelli di ventilazione (*caso 1* per la ventilazione naturale "programmata" e *caso 2* per la ventilazione naturale "calcolata"). Per poter confrontare in seguito i risultati del modello di simulazione (*tailored rating*) con quelli reali (*operational rating*), vengono riportati i valori dell'energia termica erogata dalla rete di teleriscaldamento in relazione ai gradi-giorno relativi ai periodi considerati.

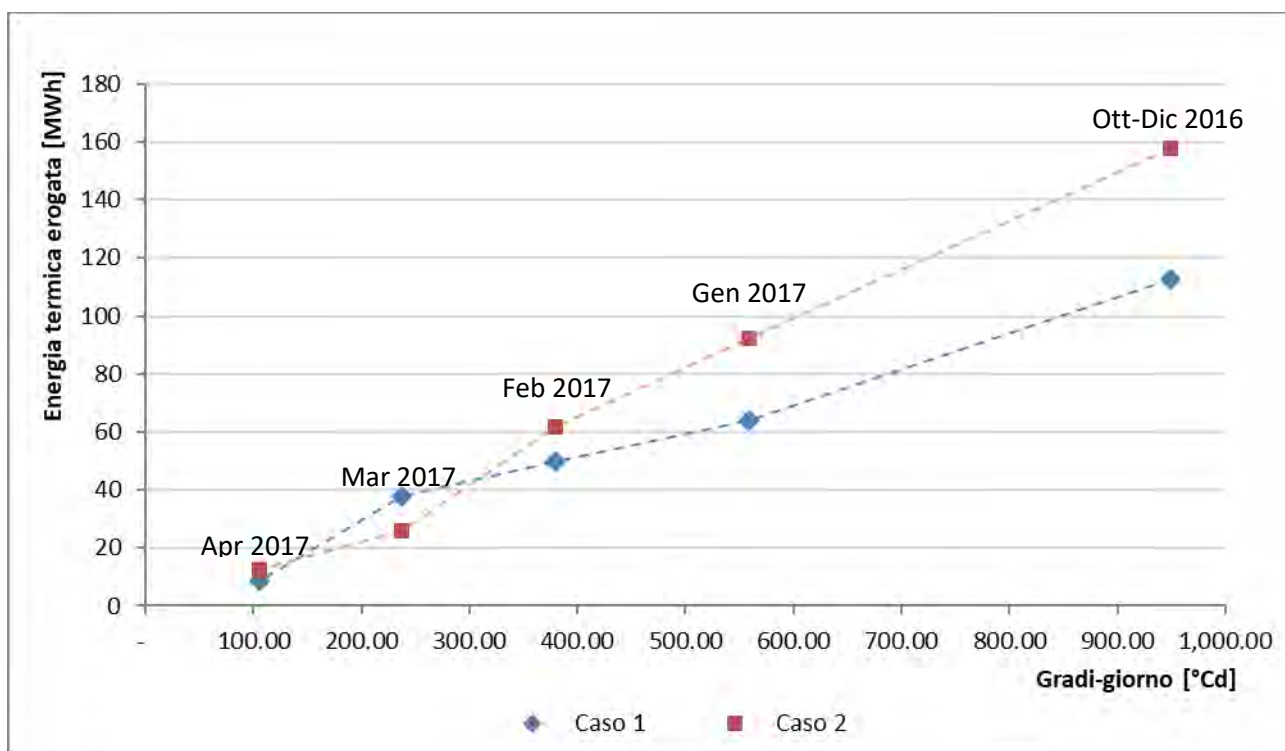


Figura 4.27. Tailored rating - Confronto tra i modelli di ventilazione naturale "programmata" e "calcolata".

Tabella 4.29. Tailored rating – Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento.

Mese	Gradi-giorno	Energia erogata Caso 1	Energia erogata Caso 2
[-]	[°C d]	[MWh]	[MWh]
15/10-31/12/2016	949,1	112,83	140,96
01/01-31/01/2017	558,2	63,99	78,63
01/02-28/02/2017	380,2	49,68	54,92
01/03-31/03/2017	236,7	37,68	24,06
01/04-04/05/2017	105,1	8,51	6,83

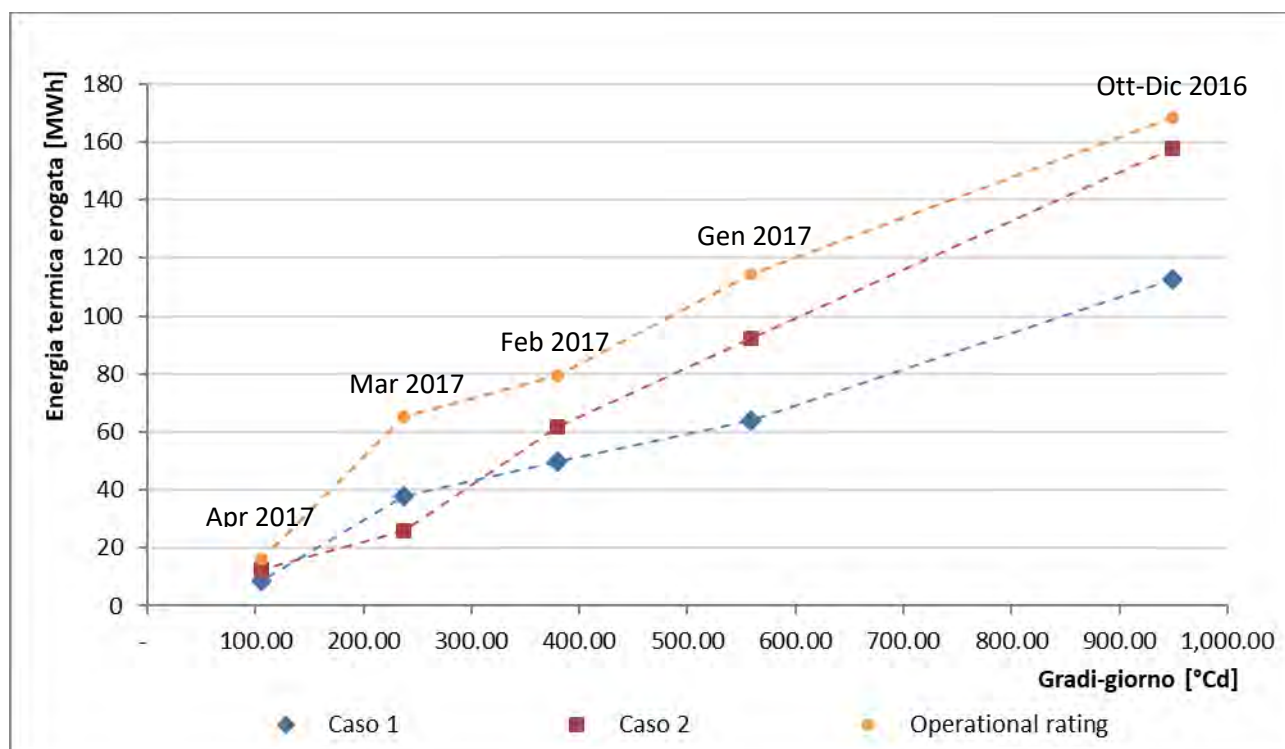


Figura 4.28. Confronto *operational rating* e *tailored rating* (caso 1 e caso 2).

Al fine della scelta del modello di ventilazione naturale utilizzare, si sono confrontati i risultati delle simulazioni con i risultati dell'*operational rating*, come mostrato in Figura 4.28. Si può notare come entrambi i casi sottostimino l'energia termica erogata nei mesi analizzati. Per rispettare il comportamento reale dell'edificio e dell'utente è stato scelto il modello con la ventilazione naturale "calcolata" che riporta consumi più simili a quelli reali.

La calibrazione del modello dell'edificio è stata effettuata mediante il confronto tra l'energia termica erogata nella valutazione d'esercizio e nella valutazione adattata all'utenza, come mostrato in Tabella 4.30 e Figura 4.29.

Tabella 4.30. Confronto tra *operational rating* e *tailored rating*

Stagione di riscaldamento	GG di riscaldamento	Consumo <i>operational rating</i> (energia erogata)	Fabbisogno <i>tailored rating</i> (energia erogata)	Scarto percentuale (<i>tailored</i> rispetto a <i>operational</i>)
[-]	[°C d]	[MWh]	[MWh]	[%]
15/10-31/12/2016	949,1	168,59	157,69	-6,5%
01/01-31/01/2017	558,2	114,39	92,42	-19,2%
01/02-28/02/2017	380,2	79,36	61,78	-22,2%
01/03-31/03/2017	236,7	65,15	25,91	-60,2%
01/04-04/05/2017	105,1	16,17	12,58	-22,2%

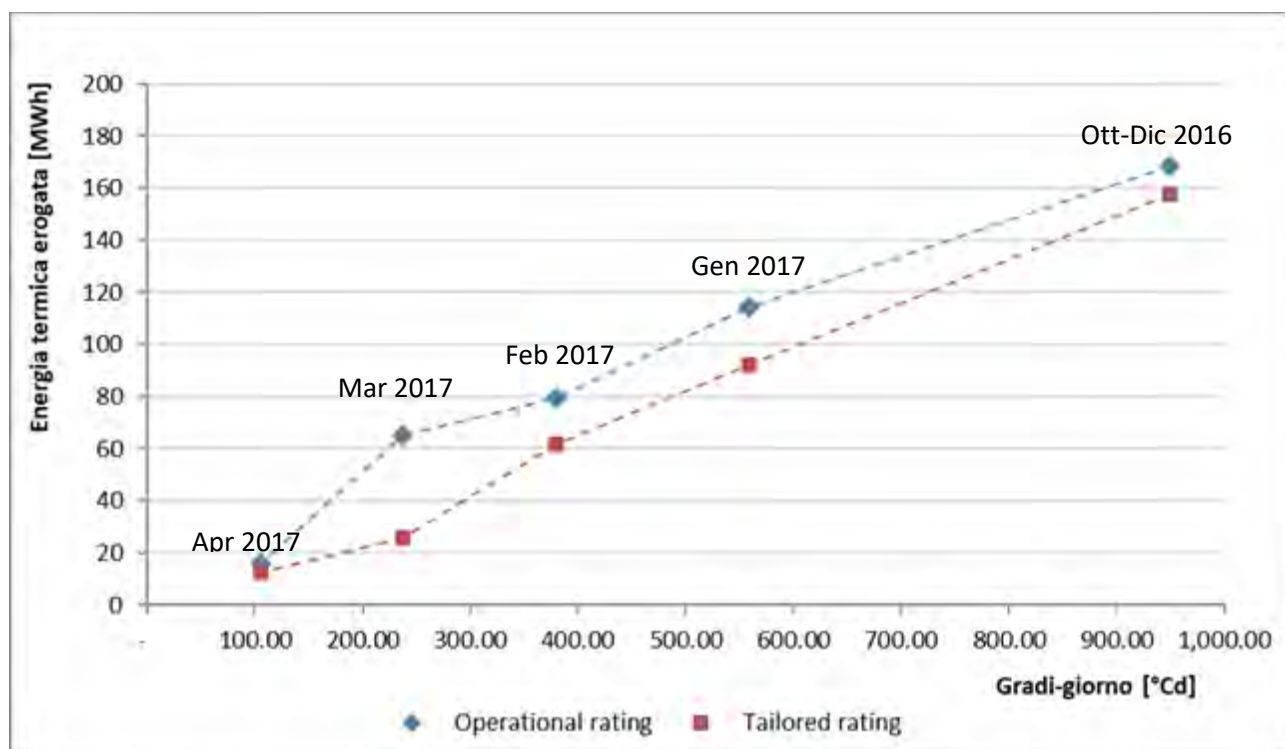


Figura 4.29. Confronto tra *operational rating* e *tailored rating*.

L'obiettivo della calibrazione del modello è far coincidere l'energia termica erogata risultante dalla valutazione adattata all'utenza con quella risultante dalla valutazione d'esercizio. A tal proposito, sono stati analizzati i termini del bilancio termico dell'edificio al fine di valutare quali termini hanno più influenza sul fabbisogno energetico dell'edificio, e su di essi sono state effettuate correzioni finalizzate a meglio adattare il modello alla situazione reale.

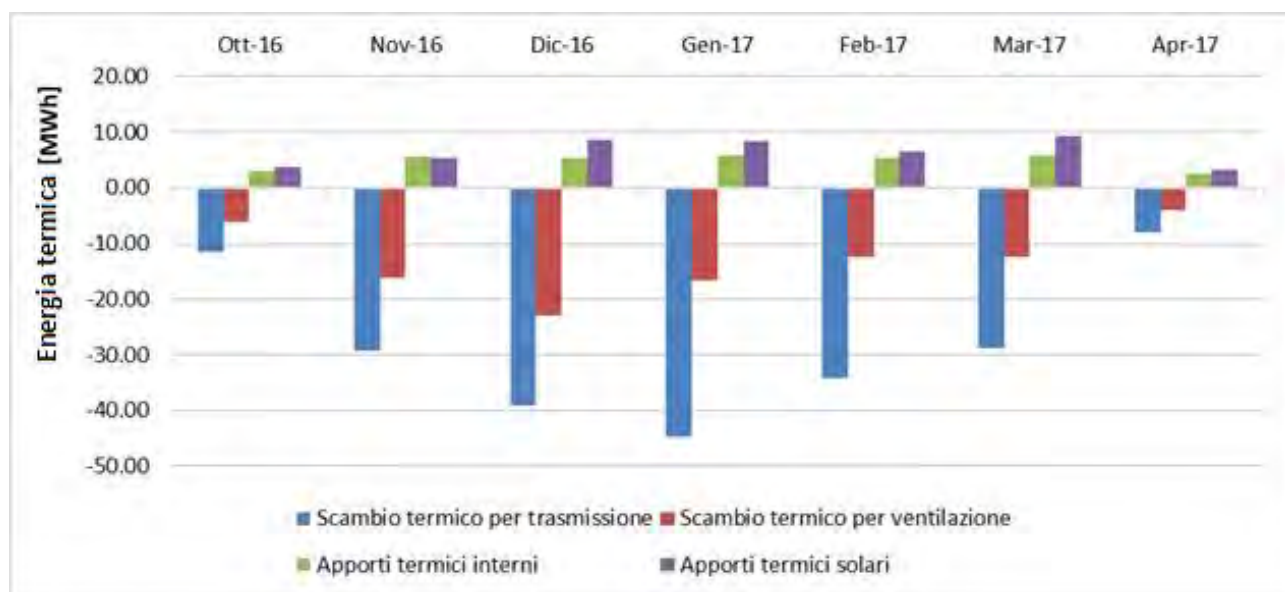


Figura 4.30. Termini del bilancio termico (*tailored rating*)

Il grafico in Figura 4.30 riporta per i mesi della stagione di riscaldamento analizzata i termini del bilancio termico: come si può notare, gli scambi termici per ventilazione sono molto inferiori rispetto a quelli per

trasmissione. Date le caratteristiche di scarsa tenuta all'aria dell'involucro edilizio, si è ritenuto necessario intervenire nella calibrazione del modello soprattutto sulla quota relativa agli scambi termici per ventilazione.

I termini che sono stati considerati per la calibrazione sono i seguenti:

- 1) Parametri relativi alla ventilazione naturale "calcolata";
- 2) Temperatura di mandata dell'acqua nel circuito primario dell'impianto.

Di seguito verranno descritti, per ciascun punto dell'elenco precedente, i criteri utilizzati per la calibrazione.

Le correzioni sui parametri relativi alla ventilazione naturale (punto 1) riguardano i profili di utilizzo e la modulazione dell'apertura delle finestre. I profili utilizzati comportavano tassi di ventilazione molto alti nel periodo di utilizzo, dovuti ad un'apertura totale delle finestre, con conseguente abbassamento delle temperature dell'aria interna fino a valori non accettabili dal punto di vista del confort termico. Si è deciso, quindi, di considerare un metodo di modulazione dell'apertura delle finestre in relazione delle temperature dell'aria esterna ed un aggiustamento dei profili di utilizzo. Il metodo di modulazione fa riferimento ad un ΔT tra la temperatura dell'aria interna e dell'aria esterna e comporta tre situazioni:

- 1) Con $\Delta T < 0$ ($T_{in} < T_{out}$), si ha un'apertura delle finestre pari al 100%;
- 2) Con $0 < \Delta T < \Delta T_{lim,i}$, si ha un'apertura delle finestre modulata in riferimento al valore di ΔT ;
- 3) Con $\Delta T > \Delta T_{lim,i}$, la finestra è chiusa (ventilazione naturale assente).

Considerando un valore limite della temperatura esterna pari a 10 °C, sono stati calcolati di $\Delta T_{lim,i}$ per ciascuna zona termica come differenza tra la temperatura di set-point della zona termica e il valore limite di temperatura dell'aria esterna. La Tabella 4.31 riporta i valori di $\Delta T_{lim,i}$ utilizzati nella calibrazione del modello.

Tabella 4.31. Valori di $\Delta T_{lim,i}$

Zona termica ¹	Temperatura di set-point [°C]	$\Delta T_{lim,i}$ [°C]
1	22	12
2	21	11
3	21	11
4	20	10
5	20	10
6	26	16
7	20	10
8	20	10
9	23	13
10	20	10
11	21	11
12	21	11
13	22	12
14	20	10
16	20	10
¹ Per le zone non occupate (zona 15 e zona 17), ad eccezione della zona 16 (servizi igienici), si considera assente la ventilazione naturale.		

Sebbene l'utilizzo di un metodo di modulazione delle aperture risolvesse in parte il problema di bassi valori delle temperature interne, in molte zone risultava assente totalmente la ventilazione nei mesi invernali, poiché non veniva mai soddisfatta la condizione al punto 2 nei periodi di utilizzo delle aperture. I profili di utilizzo sono stati leggermente riadattati, pur rispettando l'indicazione degli utenti sul periodo prevalente di utilizzo delle aperture nell'arco della giornata. Questa modifica permette di soddisfare la condizione al punto 2 e di avere, quindi, ventilazione naturale in tutte le zone (assunzione plausibile). La Tabella 4.32 mostra i periodi di apertura delle finestre utilizzati nella calibrazione del modello.

È stata inoltre modellata la ventilazione naturale per la zona 16 (servizi igienici), precedentemente esclusa.

Tabella 4.32. Periodi di apertura delle finestre (calibrazione del modello).

Zona termica	Apertura delle finestre ¹ – mesi invernali	Apertura delle finestre ¹ – mesi intermedi	Apertura delle finestre ¹ – mesi estivi
1	Mezza mattina	Mezza mattina	Tutto il giorno
2	Mezza mattina	Mattina	Mattina/Pranzo
3	Mezza mattina	Mattina	Tutto il giorno
4	Mezza mattina	Mattina	Tutto il giorno
5	Mezza mattina	Mattina	Tutto il giorno
6	Mezza mattina	Pomeriggio	Pomeriggio
7	Mezza mattina	Pranzo/pomeriggio	Tutto il giorno
8	Mezza mattina	Pranzo	Pranzo
9	Mezza mattina	Mattina	Mattina/pranzo
10	Mezza mattina	Pranzo	Tutto il giorno
11	Mezza mattina	Mattina	Tutto il giorno
12	Mezza mattina	Pranzo	Tutto il giorno
13	Mezza mattina	Mattina	Mattina
14	Mezza mattina	Mattina	Tutto il giorno
¹ Si considerano i seguenti periodi: Mezza mattina: 08:00-10:00 Mattina: 08:00-13:00 Mattina/Pranzo: 08:00-14:00 Pranzo: 13:00-14:00 Pranzo/Pomeriggio: 13:00-16:00 Pomeriggio: 14:00-18:00 Tutto il giorno: 08:00-18:00			

La modifica della temperatura di mandata del circuito primario di riscaldamento (punto 2) consente di risolvere il problema del controllo della temperatura interna durante alcune ore lavorative. La temperatura di mandata di progetto, che è pari a 60 °C e a 75 °C per temperatura esterna, rispettivamente, di 15 °C e -5 °C, è stata modificata portandola a 85 °C quando la temperatura esterna è -5 °C.

La Tabella 4.33 e la Figura 4.31 mostrano i risultati derivanti dalla calibrazione del modello di simulazione.

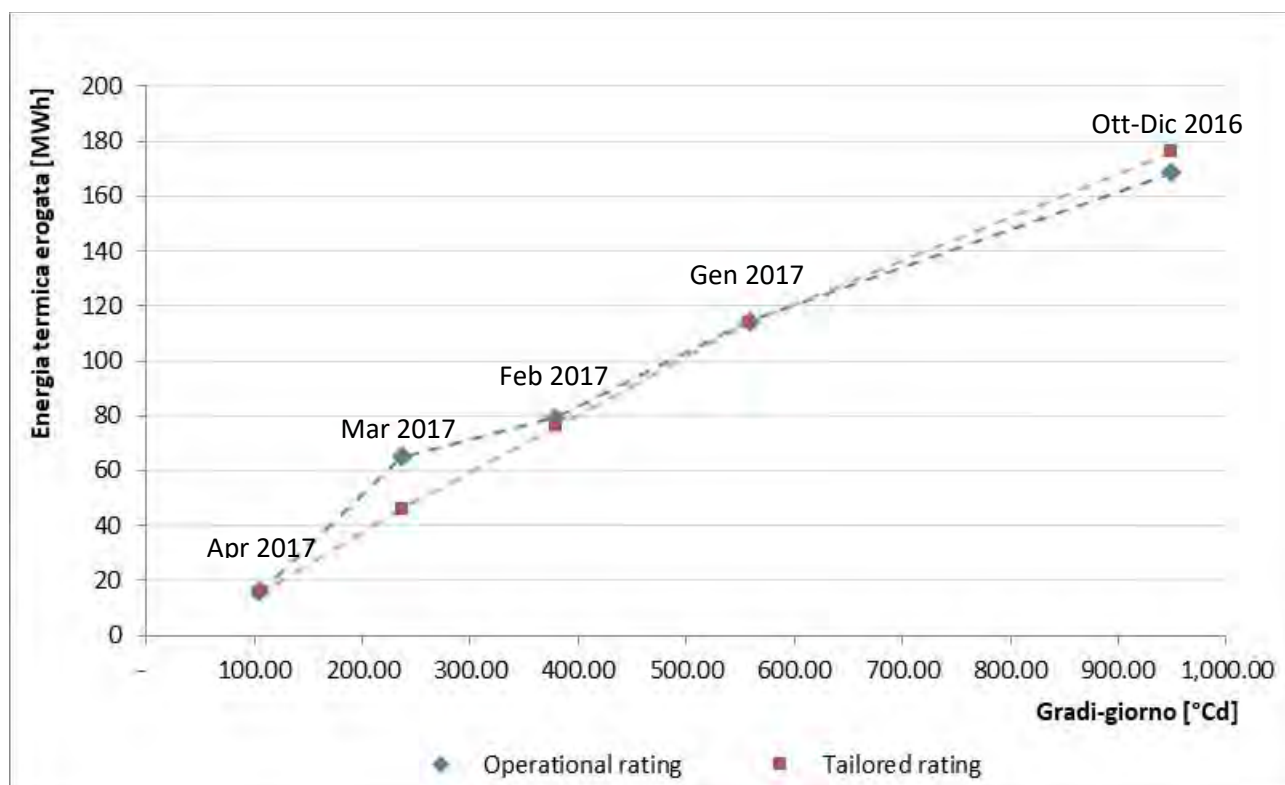


Figura 4.31. Confronto tra l'energia termica erogata in relazione ai gradi-giorno (*operational rating* e *tailored rating*).

Tabella 4.33. Confronto tra l'energia termica erogata

Mese	Energia termica erogata		Scarto %
	Reale [kWh]	Modello di simulazione [kWh]	
Ott-Dic 2016	168.588,45	176.195,29	4,5%
Gen 2017	114.388,95	113.962,30	-0,4%
Feb 2017	79.359,27	76.271,05	-3,9%
Mar 2017	65.149,40	46.263,48	-29,0%
Apr 2017	16.169,85	15.529,37	-4,0%

Per valutare l'accuratezza della calibrazione sono stati utilizzati alcuni indici statistici riportati in letteratura [37]. Questi indici non costituiscono tanto una metodologia per calibrare modelli quanto piuttosto rappresentano una misura del livello di adattabilità del modello all'edificio reale, attraverso il confronto tra i valori di consumo energetico stimato e i dati disponibili sul consumo energetico reale, entrambi riferiti allo stesso periodo temporale. A livello internazionale, gli indici statistici per la validazione dei modelli calibrati sono stati definiti dai seguenti organismi e nei relativi documenti:

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), "Guideline 14 - Measurement of Energy, Demand, and Water Savings" [38];
- U.S. Department of Energy, Federal Energy Management Program (FEMP), "M&V Guidelines: Measurement and Verification for Performance-Based Contracts" [39];

- Efficiency Valuation Organisation (EVO), “International Performance Measurement & Verification Protocol (IPMVP)” [40].

Gli indici statistici utilizzati sono la variazione percentuale media (*mean bias error*, *MBE*) e il coefficiente di variazione dell'errore quadratico medio (*Cv(RMSE)*), calcolati rispettivamente secondo le equazioni (1) e (2):

$$MBE (\%) = \frac{\sum_{\text{period}} (S - M)_{\text{interval}}}{\sum_{\text{period}} M_{\text{interval}}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$Cv(RMSE_{\text{period}}) (\%) = \frac{RMSE_{\text{period}}}{A_{\text{period}}} \cdot 100 \quad (2)$$

dove, *S* ed *M* rappresentano, rispettivamente, il consumo energetico stimato e misurato, riferiti a ciascun intervallo temporale (es. mese, ora) all'interno periodo considerato (es. stagione di riscaldamento); *A_{period}* rappresenta la media aritmetica, nel periodo considerato, dei valori di consumo misurati.

L'errore quadratico medio (*RMSE_{period}*) si calcola secondo l'equazione (3):

$$RMSE_{\text{period}} = \sqrt{\frac{\sum (S - M)_{\text{interval}}^2}{n_{\text{interval}}}} \quad (3)$$

dove, *n_{interval}* è il numero di intervalli temporali all'interno del periodo considerato.

Il coefficiente di variazione dell'errore quadratico medio è introdotto per ovviare alla presenza di effetti compensativi (valori positivi e negativi di *S* ed *M* in intervalli temporali differenti ridurrebbero l'indice *MBE*); rappresenta una misura normalizzata della variabilità tra dati misurati e simulati, riflettendo l'ampiezza dell'errore e l'entità della dispersione del campione.

A seconda del tipo di intervallo temporale considerato (orario o mensile) i riferimenti bibliografici definiscono i valori massimi ammissibili dei due indici statistici, come riportato in Tabella 4.34. Per la calibrazione condotta nel presente lavoro, su base mensile, sono stati assunti i valori limite più restrittivi tra le fonti citate, ossia quelli fissati dall'ASHRAE e dal FEMP.

Tabella 4.34. Valori limite degli indici utilizzati per valutare l'accuratezza del modello.

Indici statistici	Calibrazione mensile			Calibrazione oraria		
	ASHRAE [38]	FEMP [39]	IPMVP [40]	ASHRAE [38]	FEMP [39]	IPMVP [40]
<i>MBE</i> [%]	±5	±5	±20	±10	±10	±5
<i>Cv(RMSE)</i> [%]	15	15	-	30	30	20

In

Tabella 4.35 sono riportati gli indici statistici calcolati per il modello del caso studio: essi rispettano i valori limite, pertanto il modello si considera validato.

Tabella 4.35. Indici statistici del modello di simulazione.

Indici statistici	Modello di simulazione
<i>MBE</i> [%]	-3,5%
<i>Cv(RMSE)</i> [%]	10,4%

La prestazione energetica dell'edificio nello stato di fatto risultante dall'applicazione della valutazione adattata all'utenza calibrata (*calibrated tailored rating*) è riportata in Tabella 4.36, in Tabella 4.37 e in Figura 4.32.

**Tabella 4.36. Prestazione energetica dell'edificio (fabbisogno netto)
(valutazione adattata all'utenza calibrata).**

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno netto
[-]	[-]	[kWh/m ² a]
Riscaldamento	<i>EP_{H,nd}</i>	108,7

**Tabella 4.37. Prestazione energetica dell'edificio (energia primaria)
(valutazione adattata all'utenza calibrata).**

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno di energia primaria		
		Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale
[-]	[-]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Riscaldamento	<i>EP_H</i>	148,8	0	148,8
Illuminazione	<i>EP_L</i>	18,6	4,5	23,1
Globale	<i>EP_{gl}</i>	167,4	4,5	171,6

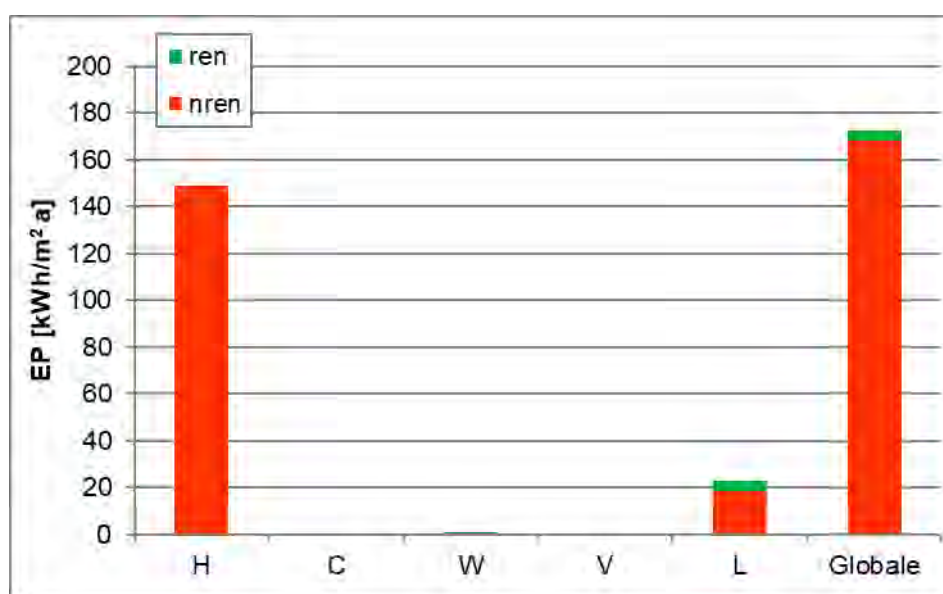


**Figura 4.32. Prestazione energetica dell'edificio
(valutazione adattata all'utenza calibrata).**

4.3.3 Valutazione adattata all'utenza calibrata (*calibrated tailored rating*) con dati climatici standard

La valutazione adattata all'utenza calibrata è stata poi eseguita utilizzando all'interno della simulazione dinamica i dati climatici standard di Torino, costituiti dai dati orari dell'anno tipo climatico sviluppato dal Comitato Termotecnico Italiano (CTI) [46]. Questa valutazione è necessaria per ottenere un modello che consideri un uso reale, ma non sia dipendente da un anno specifico; partendo da tale modello verranno successivamente applicate le misure di efficienza energetica, come indicato nello schema sulla procedura di calcolo nella Sezione 3.1, Figura 3.1.

Pertanto è stato effettuato il calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio lasciando invariati, all'interno del modello di simulazione, i dati relativi alle caratteristiche proprie del sistema fabbricato-impianto e all'utenza reale (apporti termici interni, ventilazione etc.), ma applicando i dati climatici orari standard (Figura 4.33 e Figura 4.34). Il valore dei gradi giorno di riscaldamento standard è pari a 2648 (da UNI 10349-3 [26]).

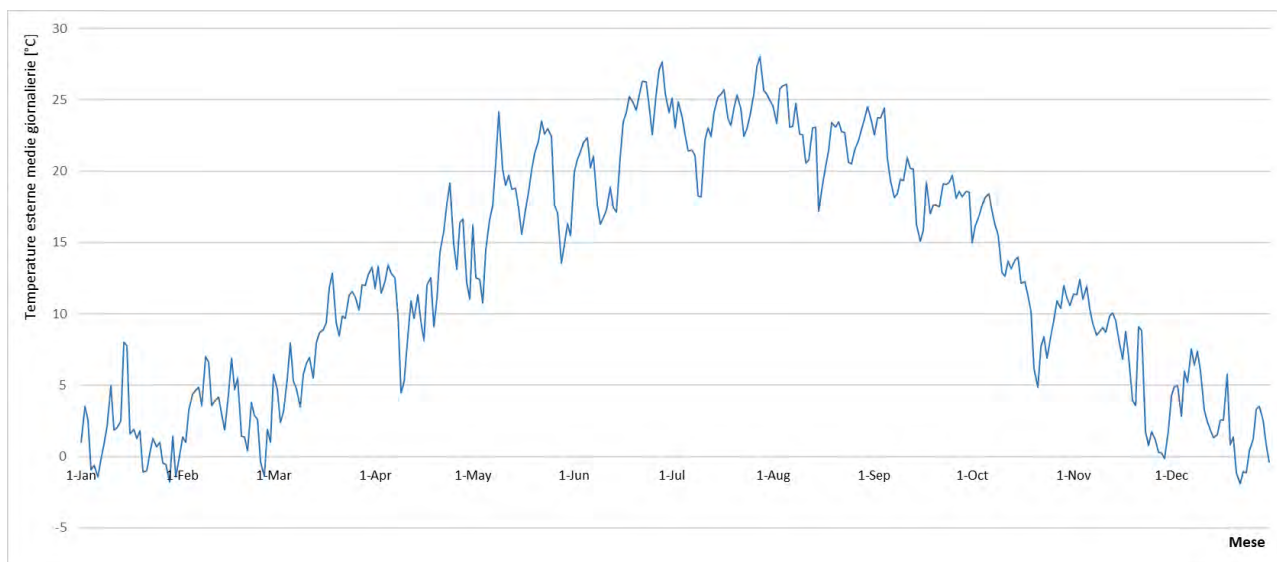


Figura 4.33. Andamento della temperatura esterna media giornaliera (Torino) – anno tipo climatico CTI.

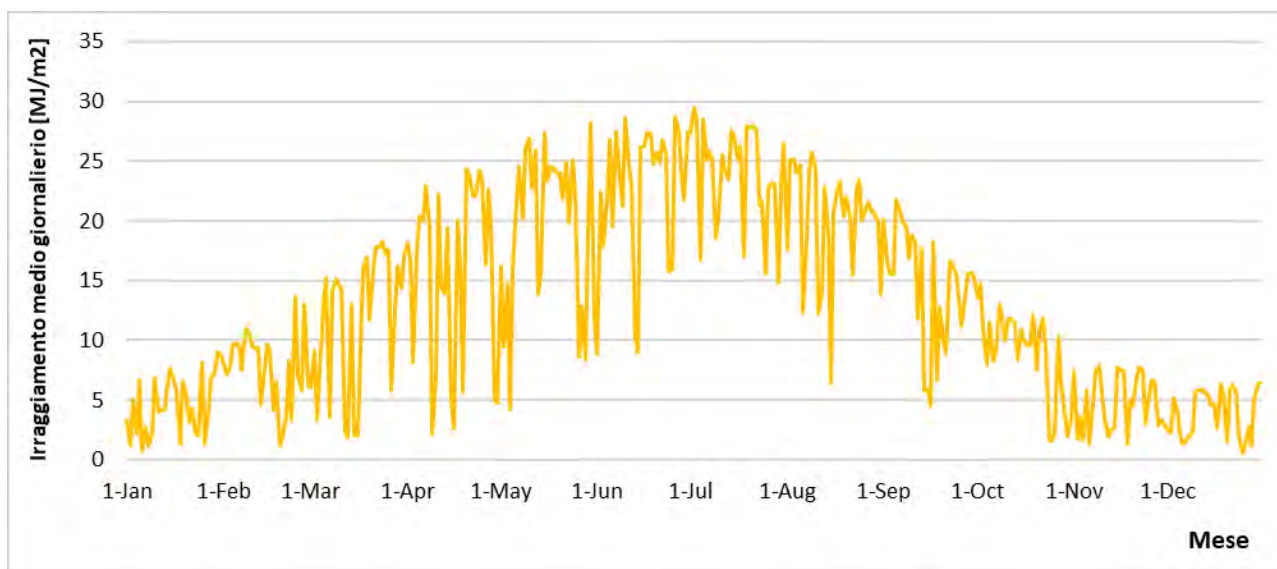


Figura 4.34. Andamento dell'irradiazione solare globale media giornaliera sul piano orizzontale (Torino) – anno tipo climatico CTI.

Gli indici di prestazione energetica, risultanti dall'applicazione della valutazione adattata all'utenza calibrata con dati climatici standard, sono riportati in Tabella 4.38, Tabella 4.39 e Figura 4.35.

Tabella 4.38. Prestazione energetica dell'edificio (fabbisogno netto)
(valutazione adattata all'utenza calibrata con dati climatici standard).

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno netto
[-]	[-]	[kWh/m ² a]
Riscaldamento	$EP_{H,nd}$	139,2

Tabella 4.39. Prestazione energetica dell'edificio (energia primaria)
(valutazione adattata all'utenza calibrata con dati climatici standard).

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno di energia primaria		
		Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale
[-]	[-]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Riscaldamento	EP_H	208,8	0	208,8
Illuminazione	EP_L	18,7	4,5	23,1
Globale	EP_{gl}	227,4	4,5	231,9

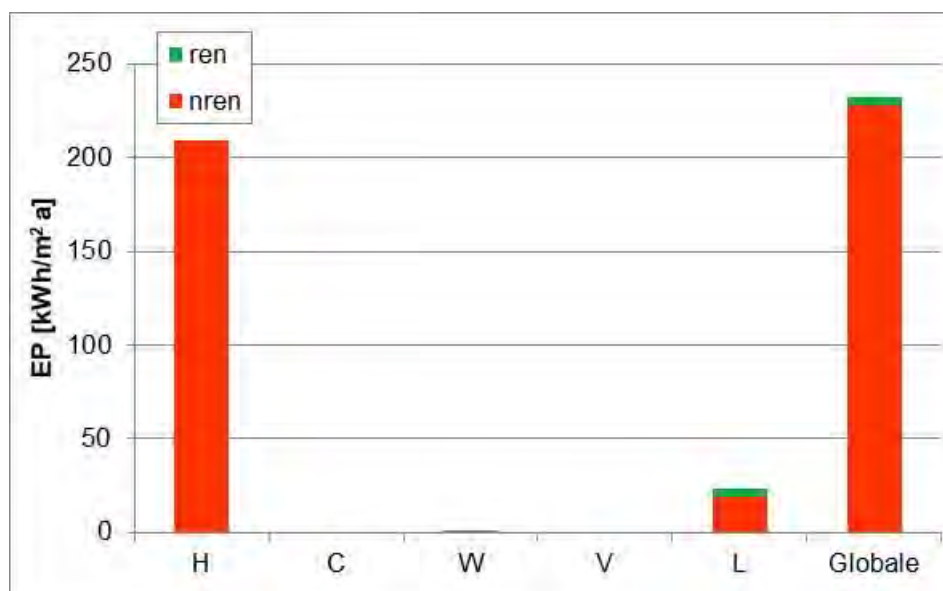


Figura 4.35. Prestazione energetica dell'edificio
(valutazione adattata all'utenza calibrata con dati climatici standard).

Attraverso questa valutazione energetica è stata poi determinato l'impatto ambientale dell'edificio nello stato di fatto, in termini di emissioni annue di CO₂, che risultano pari a 40,2 kg/m².

Il costo globale, stimato in un periodo di 30 anni (considerando i soli costi energetici e di manutenzione), è pari a 446,2 €/m².

4.3.4 Valutazione standard e classificazione energetica

Secondo quanto richiesto dal D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi [1], per la classificazione energetica dell'edificio occorre effettuare una valutazione energetica di tipo standard mediante l'applicazione delle specifiche tecniche della serie UNI/TS 11300. La valutazione standard considera, oltre ai dati climatici standard, anche un uso standard dell'edificio e quindi non legato all'utenza specifica considerata nelle valutazioni di tipo *tailored*.

I dati geometrici, costruttivi e impiantistici del modello dell'edificio analizzato precedentemente mediante simulazione dinamica sono stati imputati all'interno dei fogli di calcolo in formato Excel che implementano la UNI/TS 11300. I dati relativi all'utenza standard sono ricavati dalla UNI/TS 11300-1 [4] e i dati climatici, su base mensile, dalla UNI 10349-1 [22]. Gli indici di prestazione energetica dell'edificio risultanti dalla valutazione standard con UNI/TS 11300 sono illustrati in Tabella 4.40 e in Tabella 4.41.

**Tabella 4.40. Prestazione energetica dell'edificio (fabbisogno netto)
(valutazione standard) – UNI/TS 11300.**

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno netto
[-]	[-]	[kWh/m ² a]
Riscaldamento	$EP_{H,nd}$	145

Tabella 4.41. Prestazione energetica dell'edificio (valutazione standard) – UNI/TS 11300.

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno di energia primaria		
		Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale
[-]	[-]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Riscaldamento	EP_H	258	2	260
Illuminazione	EP_L	35	8	43
Globale	EP_{gl}	292	11	303

Per la classificazione energetica dell'edificio [3], i valori limite che determinano il passaggio di classe energetica sono definiti a partire dall'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento ($EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$), calcolato secondo quanto previsto dall'Allegato 1, capitolo 3 del Decreto Requisiti Minimi [1], ipotizzando che in esso siano installati elementi edilizi e impianti standard, dotati dei requisiti minimi di legge in vigore dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici, e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri. Tale indice è posto quale limite di separazione tra le classi A1 e B. Gli intervalli di prestazione che identificano le altre classi sono ricavati attraverso coefficienti moltiplicativi di riduzione/maggiorazione dell' $EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$.

Nel caso in esame, il valore di $EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$ calcolato per l'edificio di riferimento è pari a 73 (kWh/m²a) e il valore di $EP_{gl,nren}$ dell'edificio reale è pari a 292 (kWh/m²a). Pertanto l'edificio risulta essere in classe energetica G (v. Tabella 4.42).

Tabella 4.42. Classificazione energetica (pre-retrofit)

			Classe A4	≤	29,0	kWh/m ²
kWh/m ²	29,0	<	Classe A3	≤	43,6	kWh/m ²
kWh/m ²	40,8	<	Classe A2	≤	58,1	kWh/m ²
kWh/m ²	58,1	<	Classe A1	≤	72,6	kWh/m ²
kWh/m ²	72,6	<	Classe B	≤	87,1	kWh/m ²
kWh/m ²	87,1	<	Classe C	≤	108,9	kWh/m ²
kWh/m ²	108,9	<	Classe D	≤	145,2	kWh/m ²
kWh/m ²	145,2	<	Classe E	≤	188,7	kWh/m ²
kWh/m ²	188,7	<	Classe F	≤	254,1	kWh/m ²
			Classe G	>	254,1	kWh/m ²

5 Analisi degli interventi di riqualificazione

5.1 Definizione degli interventi

Le misure di efficienza energetica (EEM) considerate riguardano sia l'involucro sia gli impianti tecnici, ipotizzando di effettuare una riqualificazione globale dell'edificio, nota anche con la dicitura "ristrutturazione importante di primo livello" in ottemperanza al D.M. 26 giugno 2015 [1]. In aggiunta è stata ipotizzata l'installazione dell'impianto di acqua calda sanitaria e dell'impianto di raffrescamento.

Ogni misura di efficienza energetica è rappresentata da almeno un parametro che ne caratterizza la prestazione energetica (es. la trasmittanza termica per la misura di isolamento dell'involucro opaco).

In dettaglio, con riferimento alla Tabella 5.1:

- le EEM da 1 a 5 considerano l'involucro (ad es. isolamento termico, sostituzione dei serramenti, installazione di dispositivi di schermatura solare);
- le EEM 6 e 7 riguardano gli impianti termici (ad es. sostituzione del generatore di calore);
- le EEM 8 e 9 riguardano la produzione di energia da fonti rinnovabili (collettori solari termici e pannelli fotovoltaici);
- la EEM 10 riguarda l'installazione di sistema di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore;
- le EEM 11 e 12 riguardano la sostituzione delle lampade e la modifica del sistema di regolazione dell'illuminazione artificiale nei locali (sensore di presenza e di luce naturale).

Tabella 5.1. Misure di efficienza energetica (EEM).

No.	Misure di efficienza energetica	Parametri	Unità di misura
1	Isolamento termico di pareti verso l'esterno	U_p	$[W/m^2K]$
2	Isolamento termico di pareti verso ambienti non riscaldati	$U_{p,u}$	$[W/m^2K]$
3	Isolamento termico della copertura	U_r	$[W/m^2K]$
4	Sostituzione delle finestre	U_w	$[W/m^2K]$
5	Installazione di schermature solari	g_{gl+sh}	[-]
6	Installazione di chiller	EER	[-]
7	Sostituzione del generatore di calore per riscaldamento (e produzione combinata di ACS)	$\eta_{gn,Pn,H}$ o COP	[-]
8	Installazione di collettori solari termici	A_{coll}	$[m^2]$
9	Installazione di pannelli fotovoltaici	W_p	[kW]
10	Installazione del sistema di ventilazione con recupero di calore	η_{ve}	[-]
11	Sostituzione delle lampade	P_n	$[W/m^2]$
12	Sostituzione del sistema di regolazione dell'illuminazione	F_D, F_C, F_O	[-]

5.2 Soluzioni tecnologiche e costi

Per ognuna delle misure di efficienza energetica elencate in Tabella 5.1, si considerano da uno a quattro livelli prestazionali differenti (EEO). Al fine di soddisfare tali livelli prestazionali sono state scelte differenti tecnologie presenti sul mercato, sia con riferimento al solo fabbricato, sia con riferimento alle soluzioni impiantistiche. Le scelte sono state effettuate in base alla necessità di soddisfare i requisiti riportati dal D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi [1]. In Tabella 5.2 si riportano per ogni EEM le tecnologie considerate, mentre in Tabella 5.3 per ogni tecnologia, si riporta la prestazione energetica ed il rispettivo costo, il quale comprende il costo della tecnologia, dell'installazione e della ipotetica dismissione della soluzione allo stato di fatto.

Le tecnologie proposte sono di tipo avanzato e comunque coerenti con i principi di fattibilità tecnico-ambientale-economica e replicabilità su larga scala. A tal proposito, non è stato considerato l'intervento di isolamento termico dei pavimenti controterra per infattibilità tecnica. Tra le soluzioni tecnologiche dei generatori di energia termica sono state considerate le seguenti alternative: teleriscaldamento (invariabilità rispetto allo stato di fatto), pompa di calore e generatore a biomassa. I terminali di emissione dell'impianto di riscaldamento sono stati, in ogni caso, sostituiti con ventilconvettori per garantire il loro utilizzo sia per il riscaldamento sia per il raffrescamento.

Si è assunto un fabbisogno di acqua calda sanitaria in coerenza con la specifica tecnica UNI/TS 11300-2 [5].

Tabella 5.2. Elenco delle tecnologie considerate per la riqualificazione energetica dell'edificio.

N. EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Livelli di prestazione energetica EEO			
		1	2	3	4
1	Isolamento involucro opaco verticale	0,09 m lana di roccia	0,12 m lana di roccia	0,14 m lana di roccia	
2	Isolamento involucro opaco verticale vs ambienti non riscaldati	0,05 m lana di roccia	0,06 m lana di roccia	0,10 m lana di roccia	
3	Isolamento della copertura	0,12 m lana di roccia	0,14 m lana di roccia	0,16 m lana di roccia	
4	Serramenti	doppio vetro low-e 4-12-4 aria PVC	doppio vetro low-e 4-12-4 argon legno	triplo vetro low-e 4-12-4-12-4 aria legno	triplo vetro low-e 4-12-4-12-4 argon PVC
5	Schermature solari	tende esterne mobili			
6	Chiller	sistema a split	sistema a split		
7	Generatore per riscaldamento e ACS	teleriscaldamento ¹	caldaia a biomassa solida	pompa di calore aria-acqua	
8	Collettori solari termici	collettori solari a tubi sottovuoto per ACS	collettori solari a tubi sottovuoto per ACS	collettori solari a tubi sottovuoto per ACS	
9	Pannelli fotovoltaici	pannelli in silicio monocristallino	pannelli in silicio monocristallino	pannelli in silicio monocristallino	
10	Recuperatore di calore	UTA con recuperatore di calore			

N. EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Livelli di prestazione energetica EEO			
		1	2	3	4
11	Sistema di illuminazione	lampade fluorescenti	lampade fluorescenti	lampade a led	lampade a led
12	Sistema di controllo dell'illuminazione	controllo automatico di luce diurna e occupazione	controllo automatico di luce diurna e occupazione	senza controllo	controllo automatico di luce diurna e occupazione

¹ Si considera come una soluzione anche l'esistente generatore di calore (teleriscaldamento) per valutarne la prestazione energetica associato alle altre soluzioni.

Tabella 5.3. Prestazioni e costi relativi alle tecnologie considerate per la riqualificazione energetica dell'edificio espressi, in dipendenza dei casi, in €/m² (C/A_{f,n}) o in € (C).

N. EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Parametro	Livelli di prestazione energetica EEO			
			1	2	3	4
1	Isolamento involucro opaco verticale	U_p [W/m ² K] C/A _{f,n}	0,30 96,75	0,26 105,75	0,20 111,75	
2	Isolamento involucro opaco verticale vs ambienti non riscaldati	$U_{p,u}$ [W/m ² K] C/A _{f,n}	0,50 74,75	0,43 77,75	0,33 89,75	
3	Isolamento del tetto/ultimo solaio	U_r [W/m ² K] C/A _{f,n}	0,25 37,30	0,22 41,80	0,20 46,28	
4	Isolamento involucro trasparente	U_w [W/m ² K] C/A _{f,n}	1,90 275,56	1,80 329,04	1,40 358,70	1,16 318,27
5	Schermature solari	g_{gl+sh} [-] C/A _{f,n}	0,35 40			
6	Chiller ¹	EER [-] C	5 40700	6 58490		
7	Generatore per riscaldamento ¹	$\eta_{gn,H}$ o COP [-] C	Esistente -	0,8 84000 ²	3,5 120000	
8	Collettori solari termici	A_{coll} [m ²] C	6 5275	10 8791	15 13187	
9	Pannelli fotovoltaici	W_p [kW] C	10 35359	12 42430	15 53038	
10	Recuperatore di calore	η_{ve} [-] C	0,70 30740			
11	Sistema di illuminazione	P_n [W/m ²] F_o [-] F_c [-]	Esistente 0,9 0,9	13 0,9 0,9	4,6 1 1	4,6 0,9 0,9
12	Sistema di controllo dell'illuminazione	F_d [-] C/A _{f,n}	0,8 25	0,8 29,8	1 36,1	0,8 45,2

¹ Al costo del generatore devono essere aggiunti i costi per l'installazione dei nuovi terminali di emissione (fan coils), pari a 250 €/kWp installata del generatore.

² I costi variano a seconda della potenza installata. I dati sono ricavati da indagini di mercato secondo i grafici riportati di seguito.

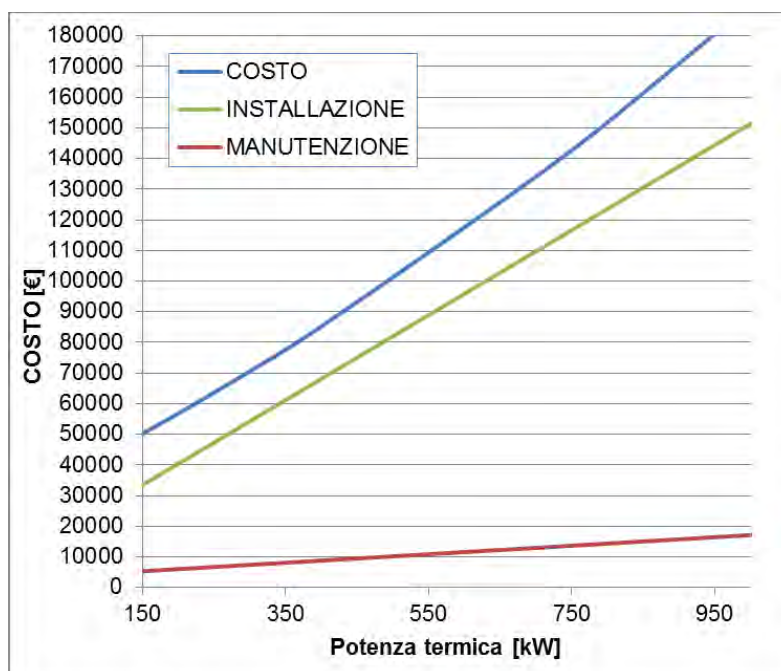


Figura 5.1. Costo caldaia a biomassa in funzione della potenza termica installata [41].

I costi riportati in Tabella 5.3 sono stati ricavati dal report del Ministero dello Sviluppo Economico sull'applicazione della metodologia di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica [42]. I costi sono comprensivi dei costi delle tecnologie e d'installazione; per quanto riguarda le soluzioni impiantistiche, il costo dei collettori solari è comprensivo della tecnologia, dei circuiti e dell'accumulo, i costi del fotovoltaico sono comprensivi della tecnologia, dell'inverter e dei quadri di controllo, ed infine, i costi del recuperatore di calore sono comprensivi di scambiatore e canalizzazioni, come riportato nel report [42].

A causa di alcune limitazioni del software di calcolo, nell'analisi economica è stato necessario ricorrere a delle semplificazioni riguardanti i costi di sostituzione e di manutenzione. Nei dati di input, *DesignBuilder* prevede l'imputazione di costi di sostituzione e manutenzione slegati dal tipo di tecnologia scelta. Sono stati quindi calcolati dei costi medi totali di sostituzione e manutenzione, riferiti alla vita utile e ai costi di manutenzione delle singole tecnologie.

5.3 Valutazioni energetiche, ambientali ed economiche

5.3.1 Cost-optimal analysis

La modellazione necessaria per l'individuazione della soluzione *cost-optimal* con il software *DesignBuilder* prevede la creazione di un modello base di partenza sul quale applicare le singole soluzioni tecnologiche per le varie misure di efficienza energetica, le quali devono essere a loro volta create singolarmente all'interno del modello. Poiché il software non permette di ottimizzare le proprietà di tenuta all'aria dell'involucro e l'effetto dei ponti termici lineari in relazione alla misura di efficienza energetica adottata, nel modello base è stato necessario variare preliminarmente il livello di tenuta all'aria dell'involucro ed eliminare il contributo dei ponti termici, ipotizzandone la loro risoluzione con le misure di efficienza energetica e la corretta posa in opera del materiale isolante.

In Tabella 5.4 sono descritte le operazioni sviluppate per modellare le misure di efficienza energetica.

Tabella 5.4. Modellazione delle misure di efficienza energetica.

N. EEM	EEM	Modellazione delle misure di efficienza energetica			
1	Isolamento involucro opaco verticale	Per ogni livello di prestazione energetica sull'involucro opaco è stato modellato il relativo pacchetto (partendo dal pacchetto esistente e aggiungendo lo strato isolante). Per ogni pacchetto è stato inserito il costo della tecnologia, compreso del costo di installazione, riferito al solo inserimento degli strati isolanti.			
2	Isolamento involucro opaco verticale vs ambienti non riscaldati				
3	Isolamento della copertura				
4	Serramenti	Per ogni livello di prestazione energetica sull'involucro trasparente è stato modellato il template delle aperture (comprensivo di infisso e vetro). Per ogni template è stato inserito il costo della tecnologia, della rimozione dell'esistente e dell'installazione.			
5	Schermature solari	Avendo valutato solo un livello prestazionale, le schermature sono state modellate nell'edificio base. I costi sono stati inseriti nel componente all'interno del modello base.			
6	Chiller	È stato modellato un unico chiller. Nelle impostazioni di ottimizzazione sono stati inseriti i due livelli di EER. I costi del chiller sono stati inclusi nei costi di ciascuna combinazione di impianto (vedi sotto).			
7	Generatore per riscaldamento e ACS	Sono stati creati i template dell'impianto associando a ciascun generatore di calore il chiller, il recuperatore di calore e i tre livelli di solare termico. Sono stati quindi modellati 3 impianti per ciascun generatore, ognuno collegato ad un livello di solare termico. I costi sono stati inseriti a livello di template, e comprendono i costi del generatore (riscaldamento e raffrescamento), il solare termico, il recuperatore di calore e le unità terminali (ventilconvettori).	Teleriscaldamento + chiller + recuperatore + 1° livello solare termico	Teleriscaldamento + chiller + recuperatore + 2° livello solare termico	Teleriscaldamento + chiller + recuperatore + 3° livello solare termico
8	Collettori solari termici		Caldaia a biomassa + chiller + recuperatore + 1° livello solare termico	Caldaia a biomassa + chiller + recuperatore + 2° livello solare termico	Caldaia a biomassa + chiller + recuperatore + 3° livello solare termico
10	Recuperatore di calore		Pompa di calore + recuperatore + 1° livello solare termico	Pompa di calore + recuperatore + 2° livello solare termico	Pompa di calore + recuperatore + 3° livello solare termico
9	Pannelli fotovoltaici	Sono stati modellati in copertura i singoli pannelli fotovoltaici. È stato necessario attivare la sezione "generazione" nelle finestre di dialogo del software, creando tre livelli di "load centre" associando a ciascuno il numero di pannelli per ciascun livello della misura. I costi sono stati inseriti a livello di singolo pannello.			
11	Sistema di illuminazione	Sono stati modellati i quattro livelli di sistema di illuminazione e controllo creando dei template dell'illuminazione. I costi sono stati inseriti a livello di template e comprendono i costi degli apparecchi luminosi e del sistema di controllo.			
12	Sistema di controllo dell'illuminazione				

I calcoli di ottimizzazione sono stati svolti separatamente per ciascun generatore di calore: sono state ottenute, quindi, tre soluzioni *cost-optimal*. I grafici seguenti (Figura 5.2, Figura 5.3 e Figura 5.4) mostrano i risultati delle ottimizzazioni, rispettivamente per la soluzione con teleriscaldamento, pompa di calore e biomassa. I punti di colore rosso rappresentano le soluzioni del fronte di Pareto determinato dalle ultime generazioni dell'algoritmo di ottimizzazione. Il punto rosso più evidente rappresenta, per ciascuna tecnologia impiantistica, la soluzione ottimale dal punto di vista del costo globale.

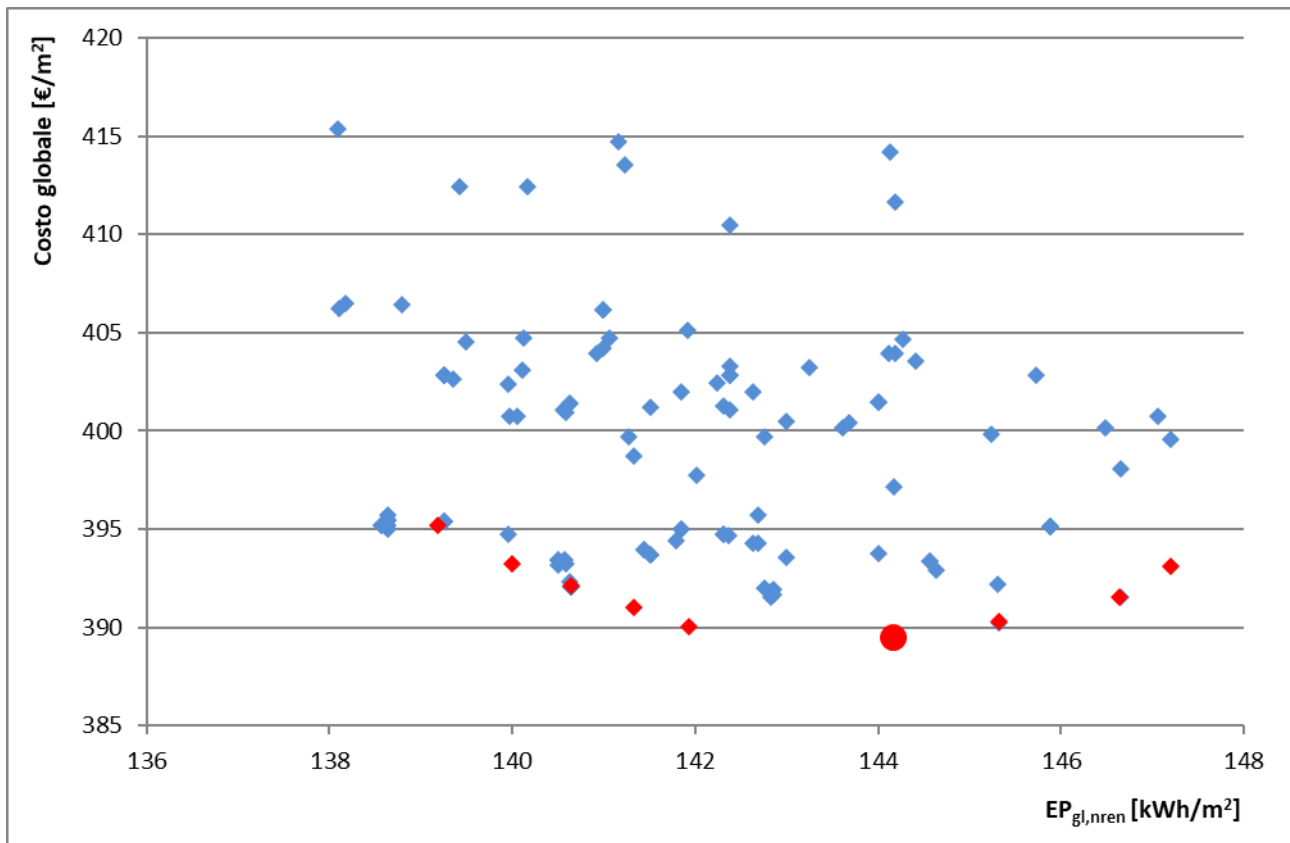


Figura 5.2. Soluzioni corrispondenti alle generazioni dell'algoritmo di ottimizzazione – Teleriscaldamento.

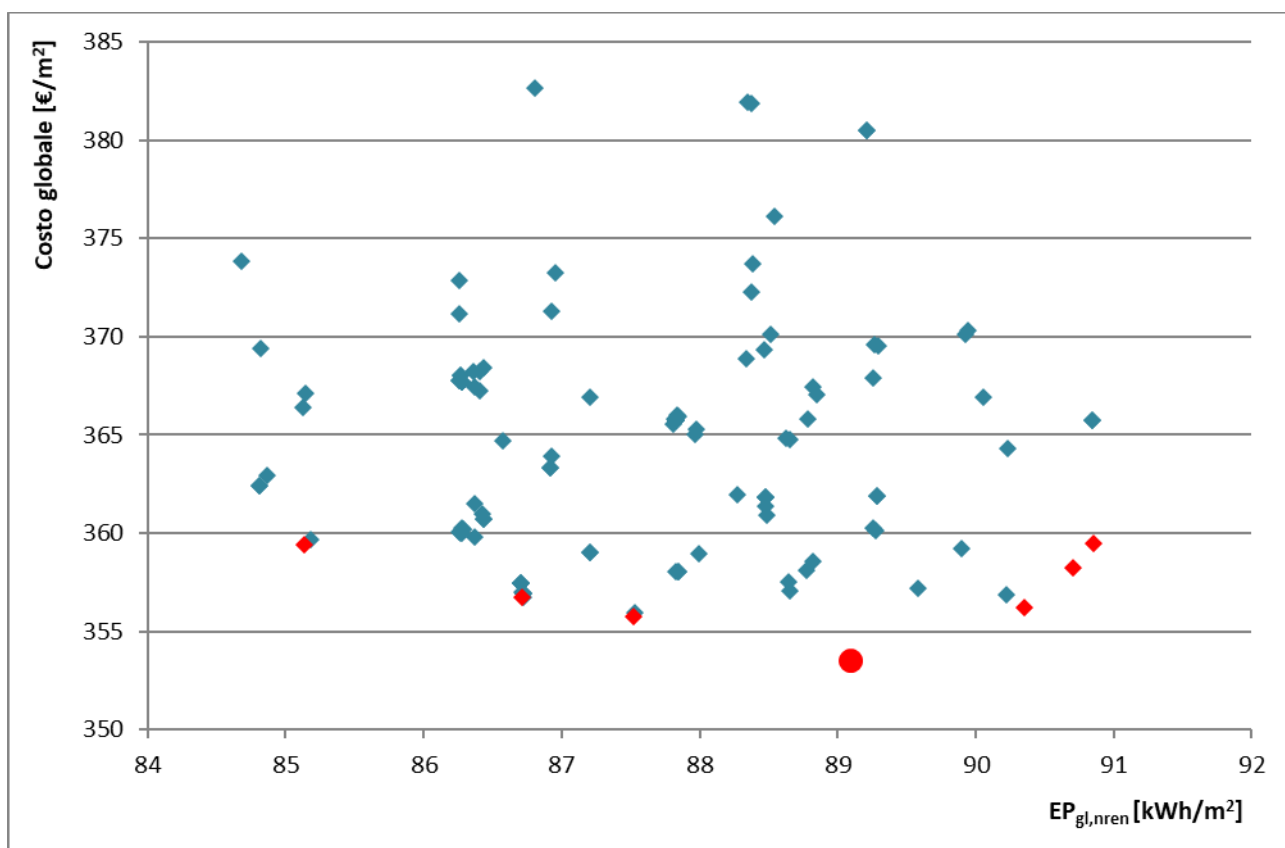


Figura 5.3. Soluzioni corrispondenti alle generazioni dell'algoritmo di ottimizzazione – Pompa di calore.

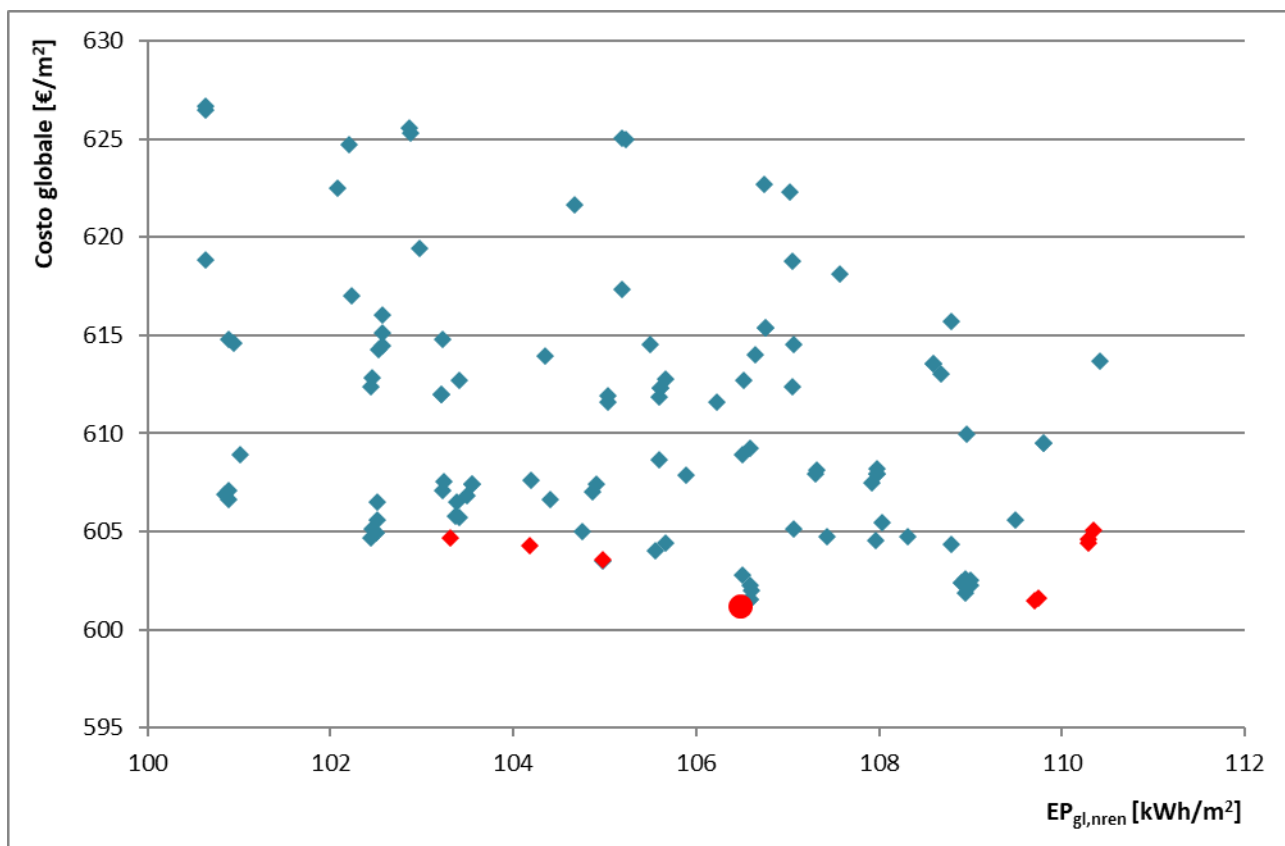


Figura 5.4. Soluzioni corrispondenti alle generazioni dell'algoritmo di ottimizzazione – Caldaia a biomassa solida.

La Figura 5.5 riporta il differenziale di costo globale, rispetto allo stato di fatto, delle soluzioni *cost-optimal* per i tre generatori di calore analizzati. Dall'immagine si evince che, per una valutazione su 30 anni, la soluzione ottimale in funzione dei costi è rappresentata dalla pompa di calore: con questa soluzione si ottiene una riduzione del costo globale pari a 92 €/m² rispetto allo stato di fatto. In aggiunta, questa soluzione è quella che tra tutte determina i maggiori risparmi energetici (61%). La soluzione che prevede l'utilizzo del generatore a biomassa ottiene un ΔGC positivo, e quindi non può essere considerata *cost-effective*.

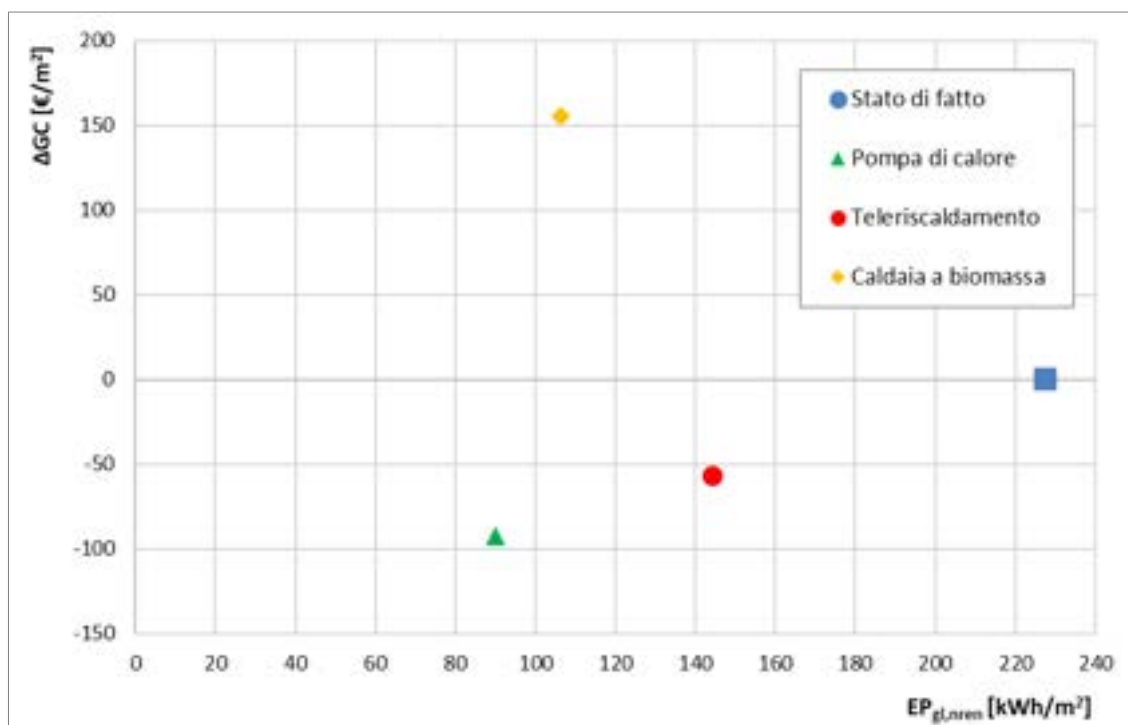


Figura 5.5. Differenziale del costo globale (rispetto allo stato di fatto) in relazione all'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile.

Sulla base di queste considerazioni, la soluzione *cost-optimal*, che prevede l'utilizzo della pompa di calore come generatore di calore, è stata assunta come riferimento per sviluppare analisi successive volte al raggiungimento del target nZEB. La Tabella 5.5 riporta per ciascuna misura di efficienza (EEM), i livelli di prestazione energetica (EEO) corrispondenti alla soluzione *cost-optimal*.

Tabella 5.5. Misure di efficienza energetica adottate (soluzione *cost-optimal*).

N. EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Parametro	Simbolo	Soluzione <i>cost-optimal</i>	
				Valore	N. EEO
1	Isolamento involucro opaco verticale	Trasmittanza termica	U_p [W/m ² K]	0,30	1
2	Isolamento involucro opaco verticale vs ambienti non riscaldati	Trasmittanza termica	$U_{p,u}$ [W/m ² K]	0,43	2
3	Isolamento del tetto/ultimo solaio	Trasmittanza termica	U_r [W/m ² K]	0,22	2

N. EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Parametro	Simbolo	Soluzione <i>cost-optimal</i>	
				Valore	N. EEO
4	Isolamento involucro trasparente	Trasmittanza termica	U_w [W/m ² K]	1,9	1
5	Schermature solari	Fattore solare vetro+schermatura	g_{gl+sh} [-]	0,35	-
6	Chiller	Energy efficiency ratio (condizioni di progetto)	EER [-]	6	2
7	Generatore per riscaldamento	COP pompa di calore	$\eta_{gn,Pn}$ [-]	3,5	3
8	Collettori solari termici	Superficie dei collettori solari	A_{coll} [m ²]	15	3
9	Pannelli fotovoltaici	Potenza di picco	W_p [kW]	7	1
10	Recuperatore di calore	Efficienza del recuperatore di calore	η_r [-]	0,7	1
11	Sistema di illuminazione	Potenza specifica installata (condizioni di progetto)	P_n [W/m ²]	-	1
12	Sistema di controllo dell'illuminazione	Fattore di occupazione	$F_o-F_c-F_D$ [-]	0,9-0,9-0,8	1

Gli indici di prestazione energetica dell'edificio riqualificato con la soluzione *cost-optimal* sono riportati in Tabella 5.6 e Tabella 5.7.

Tabella 5.6. Prestazione energetica dell'edificio (fabbisogno netto) (*cost-optimal analysis*).

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno netto
[-]	[-]	[kWh/m ² a]
Riscaldamento	$EP_{H,nd}$	26,5
Raffrescamento	$EP_{C,nd}$	5,7
Acqua calda sanitaria	$EP_{W,nd}$	0,4

Tabella 5.7. Prestazione energetica dell'edificio (energia primaria) (*cost-optimal analysis*).

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno di energia primaria		
		Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale
[-]	[-]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Riscaldamento	EP_H	51,7	40,2	91,9
Raffrescamento	EP_C	11,1	3,6	14,7
Acqua calda sanitaria	EP_W	0,8	0,3	0,11
Ventilazione	EP_V	11,8	2,8	14,6
Illuminazione	EP_L	13,6	3,2	16,8
Globale	EP_{gl}	88,9	50,1	139,0

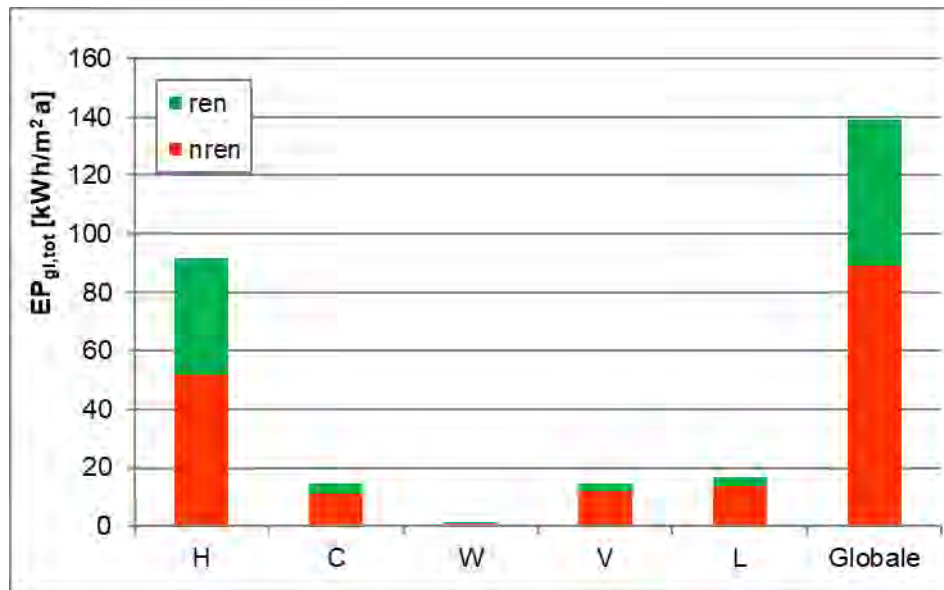


Figura 5.6. Prestazione energetica dell'edificio (cost-optimal analysis).

Come per l'edificio reale (pre-retrofit), è stata valutata la classificazione energetica per la soluzione cost-optimal: nel caso in esame, il valore di $EP_{gl,nren,rif,standard}$ (2019/21) calcolato per l'edificio di riferimento è pari a 67 (kWh/m²a) e il valore di $EP_{gl,nren}$ dell'edificio reale è pari a 44 (kWh/m²a). Pertanto l'edificio risulta essere in classe energetica A2 (v. Tabella 4.42).

Tabella 5.8. Classificazione energetica (soluzione cost-optimal)

			Classe A4	≤	27,0	kWh/m²
kWh/m²	27,0	<	Classe A3	≤	40,4	kWh/m²
kWh/m²	40,4	<	Classe A2	≤	53,9	kWh/m²
kWh/m²	53,9	<	Classe A1	≤	67,4	kWh/m²
kWh/m²	67,4	<	Classe B	≤	80,9	kWh/m²
kWh/m²	80,9	<	Classe C	≤	101,1	kWh/m²
kWh/m²	101,1	<	Classe D	≤	134,8	kWh/m²
kWh/m²	134,8	<	Classe E	≤	175,2	kWh/m²
kWh/m²	175,2	<	Classe F	≤	235,9	kWh/m²
			Classe G	>	235,9	kWh/m²

5.3.2 Soluzioni conformi al D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi

Al fine di verificare la conformità alle prescrizioni in caso di ristrutturazione importante di primo livello secondo il Decreto [1], l'edificio ottenuto mediante il processo di ottimizzazione (soluzione *cost-optimal*) è stato modellato assumendo un'utenza standard (*asset rating*) secondo il modello della UNI/TS 11300 ed è stato poi confrontato con l'edificio di riferimento. Per confrontare l'indice di prestazione termica utile per il

riscaldamento ($EP_{H,nd}$) ed il raffrescamento ($EP_{C,nd}$) tra la soluzione ipotizzata e l'edificio di riferimento, è stato necessario considerare la ventilazione di riferimento (aerazione) anche in presenza di ventilazione meccanica; l'indice di prestazione energetica globale totale ($EP_{gl,tot}$) è invece stato calcolato per entrambi gli edifici con ventilazione effettiva, come indicato nella UNI/TS 11300-1 [4].

La Tabella 5.9 riporta gli indici di prestazione energetica della soluzione *cost-optimal* determinati con la UNI/TS 11300 (*asset rating*) e i medesimi indici calcolati per l'edificio di riferimento al 2015 e al 2019.

Tabella 5.9. Confronto fra gli indici di prestazione energetica (soluzione *cost-optimal*).

Indici	Valori limite	Edificio reale (<i>cost-optimal</i>)	Valori limite - edificio di riferimento al 2015	Valori limite - edificio di riferimento al 2019
H'_T [W/m ² K]	0,75	0,410	-	-
$A_{sol,est}/A_{sup,utile}$ [-]	0,04	0,013	-	-
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	-	39,7	42,2	35,2
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ² a]	-	13,4	12,7	14,2
$EP_{gl,tot}$ [kWh/m ² a]	-	69,9	82,0	73,6
η_H	-	0,58	0,53	0,52
η_C	-	1,03	0,87	0,87
η_W	-	0,86	0,53	0,53
RER_W	55%	96%	-	-
RER_{H+C+W}	55%	43%	-	-

Come si nota, la soluzione *cost-optimal* non rispetta al 2015 il limite dell'indice di prestazione termica utile per il raffrescamento, mentre al 2019 (target nZEB) non rispetta il limite dell'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento. Inoltre, la copertura minima da fonti rinnovabili relativa alla somma dei fabbisogni di climatizzazione invernale, climatizzazione estiva e produzione di acqua calda sanitaria non viene soddisfatta.

5.3.3 Soluzione nZEB

Sulla base dei risultati derivanti dalla verifica di conformità alle prescrizioni del D.M. 26 giugno 2015 [1], si è proceduto a modificare i livelli delle misure di efficienza energetica affinché l'edificio rispetti i valori limite degli indici di prestazione energetica determinati con i parametri dell'edificio di riferimento vigenti dal 1° gennaio 2019. Nello specifico, è stato aumentato il livello di isolamento termico delle pareti perimetrali e dei serramenti, è stata considerata l'installazione di schermature solari più performanti ($g_{gl+sh} = 0,20$) solo per gli orientamenti sud, est ed ovest, è stato assunto il livello più alto della potenza di picco del sistema fotovoltaico.

La Tabella 5.10 riporta per ogni EEM le opzioni di efficienza energetica che permettono di raggiungere il target nZEB.

Tabella 5.10. Misure di efficienza energetica adottate (soluzione nZEB).

N. EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Parametro	Simbolo	Soluzione nZEB	
				Valore	N. EEO
1	Isolamento involucro opaco verticale	Trasmittanza termica	U_p [W/m ² K]	0,23	3
2	Isolamento involucro opaco verticale vs ambienti non riscaldati	Trasmittanza termica	$U_{p,u}$ [W/m ² K]	0,43	2
3	Isolamento del tetto/ultimo solaio	Trasmittanza termica	U_r [W/m ² K]	0,22	2
4	Isolamento involucro trasparente	Trasmittanza termica	U_w [W/m ² K]	1,40	4
5	Schermature solari	Coefficiente di trasmissione solare	g_{gl+sh} [-]	0,2*	-
6	Chiller	Energy efficiency ratio (condizioni di progetto)	EER [-]	6	2
7	Generatore per riscaldamento	COP pompa di calore	$\eta_{gn,pn}$ [-]	3,5	3
8	Collettori solari termici	Superficie dei collettori solari	A_{coll} [m ²]	15	3
9	Pannelli fotovoltaici	Potenza di picco	W_p [kW]	15	3
10	Recuperatore di calore	Efficienza del recuperatore di calore	η_r [-]	0,7	1
11	Sistema di illuminazione	Potenza specifica installata (condizioni di progetto)	P_n [W/m ²]	-	1
12	Sistema di controllo dell'illuminazione	Fattore di occupazione	$F_o-F_c-F_D$ [-]	0,9-0,9-0,8	1

*solo sui serramenti a sud, est ed ovest

Gli indici di prestazione energetica dell'edificio determinati con *DesignBuilder* per la soluzione *cost-optimal* adattata a nZEB sono riportate in Tabella 5.11, in Tabella 5.12 e in Figura 5.7.

La soluzione nZEB determina un ridotto risparmio energetico (4%) rispetto alla soluzione *cost-optimal* in termini di EP globale non rinnovabile. Tuttavia, presenta un costo globale superiore alla soluzione *cost-optimal* di 62 €/m².

Dal punto di vista ambientale, le emissioni annue di CO₂ riferite all'edificio riqualificato in nZEB ammontano a 16,6 kg/m².

Tabella 5.11. Prestazione energetica dell'edificio (fabbisogno netto) (soluzione nZEB).

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno netto
[-]	[-]	[kWh/m ² a]
Riscaldamento	$EP_{H,nd}$	24,6
Raffrescamento	$EP_{C,nd}$	7,4
Acqua calda sanitaria	$EP_{W,nd}$	0,4

Tabella 5.12. Prestazione energetica dell'edificio (energia primaria) (nZEB).

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno di energia primaria		
		Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale
[-]	[-]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Riscaldamento	EP_H	48,1	34,0	83,9
Raffrescamento	EP_C	14,5	4,2	18,7
Acqua calda sanitaria	EP_W	0,8	0,3	0,11
Ventilazione	EP_V	8,6	2,0	10,7
Illuminazione	EP_L	13,6	3,2	16,8
Globale	EP_{gl}	85,4	45,5	130,9

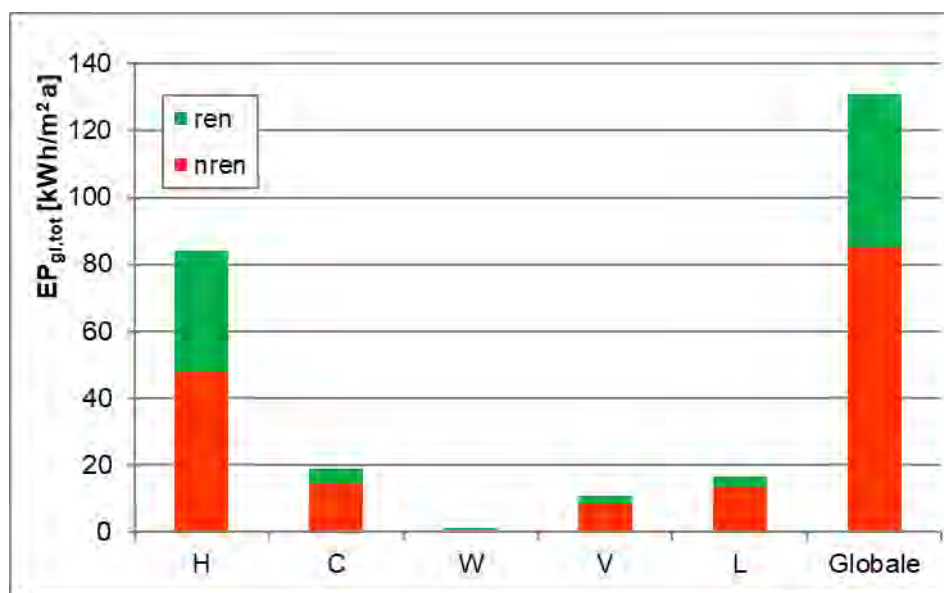


Figura 5.7. Prestazione energetica dell'edificio (nZEB).

Il confronto della soluzione nZEB con i requisiti legislativi è riportato in Tabella 5.13. Si evidenzia una criticità nella verifica della copertura da fonti rinnovabili della somma dei fabbisogni energetici per la climatizzazione invernale, la climatizzazione estiva e la produzione di ACS. Pur avendo portato la potenza di picco dell'impianto fotovoltaico al valore massimo tecnicamente fattibile (determinato dalla dimensione del tetto dell'edificio), la percentuale minima di copertura non è soddisfatta.

Tabella 5.13. Confronto fra gli indici di prestazione energetica (soluzione nZEB).

Indici	Valori limite	Edificio reale (nZEB)	Valori limite - edificio di riferimento al 2015	Valori limite - edificio di riferimento al 2019
H'_T [W/m ² K]	0,75	0,35	-	-
$A_{sol,est}/A_{sup,utile}$ [-]	0,04	0,013	-	-

Indici	Valori limite	Edificio reale (nZEB)	Valori limite - edificio di riferimento al 2015	Valori limite - edificio di riferimento al 2019
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	-	34,8	42,2	35,2
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ² a]	-	13,5	12,7	14,2
$EP_{gl,tot}$ [kWh/m ² a]	-	58,3	78,9	73,3
η_H	-	0,59	0,54	0,52
η_C	-	1,23	0,92	0,87
η_W	-	0,87	0,54	0,53
RER_W	55%	96%	-	-
RER_{H+C+W}	55%	46%	-	-

Come per la soluzione *cost-optimal*, è stata determinata la classe energetica della soluzione nZEB: il valore di $EP_{gl,nren,rif,standard}$ (2019/21) calcolato per l'edificio di riferimento è pari a 67 (kWh/m²a) e il valore di $EP_{gl,nren}$ dell'edificio reale è pari a 34,7 (kWh/m²a). Pertanto l'edificio risulta essere in classe energetica A3 (v. Tabella 5.14).

Tabella 5.14. Classificazione energetica (nZEB)

			Classe A4	≤	27,0	kWh/m ²
kWh/m ²	27,0	<	Classe A3	≤	40,4	kWh/m ²
kWh/m ²	40,4	<	Classe A2	≤	53,9	kWh/m ²
kWh/m ²	53,9	<	Classe A1	≤	67,4	kWh/m ²
kWh/m ²	67,4	<	Classe B	≤	80,9	kWh/m ²
kWh/m ²	80,9	<	Classe C	≤	101,1	kWh/m ²
kWh/m ²	101,1	<	Classe D	≤	134,8	kWh/m ²
kWh/m ²	134,8	<	Classe E	≤	175,2	kWh/m ²
kWh/m ²	175,2	<	Classe F	≤	235,9	kWh/m ²
			Classe G	>	235,9	kWh/m ²

5.3.4 Analisi economica con SEAS 3.0

Per la soluzione nZEB è stata svolta l'analisi economica con la routine di calcolo "Analisi Economica" del software SEAS 3.0, nato da una collaborazione fra ENEA e DESTEC dell'Università di Pisa.

I dati di input richiesti dal software sono riferiti agli usi energetici pre e post-intervento, i dati del nuovo sistema e dell'esistente e i tassi annui. Nel calcolo sono stati utilizzati gli stessi dati usati nel corso del lavoro. Nello specifico, sono stati inputati i seguenti dati:

- per gli usi energetici, sono stati inseriti i consumi relativi alla valutazione adattata all'utenza calibrata con dati climatici standard per il sistema esistente, e quelli relativi alla soluzione nZEB per il nuovo sistema;

- per il nuovo sistema, è stata inputata una vita utile pari a 30 anni e i prezzi relativi all'investimento iniziale e alla manutenzione annua pari a quelli inputati nel calcolo di ottimizzazione con *DesignBuilder*;
- per il sistema esistente, sono state considerate le seguenti assunzioni:
 - prezzo del sistema esistente: riferimento ai costi relativi ai soli componenti per cui si prevede una sostituzione nell'intervento di riqualificazione. Nel caso in esame si considera la sostituzione degli infissi, del generatore di calore, delle sorgenti luminose e dei terminali di emissione;
 - vita residua: sostituzione dei componenti di cui sopra all'anno 1;
 - vita utile: 20 anni, come da assunzioni generali;
 - prezzo della manutenzione [€/anno]: variabile da 0% a 4% del costo dell'investimento a seconda della tecnologia, secondo quanto specificato nella EN 15459 [15].

I risultati dell'analisi economica sono riportati in Figura 5.8.

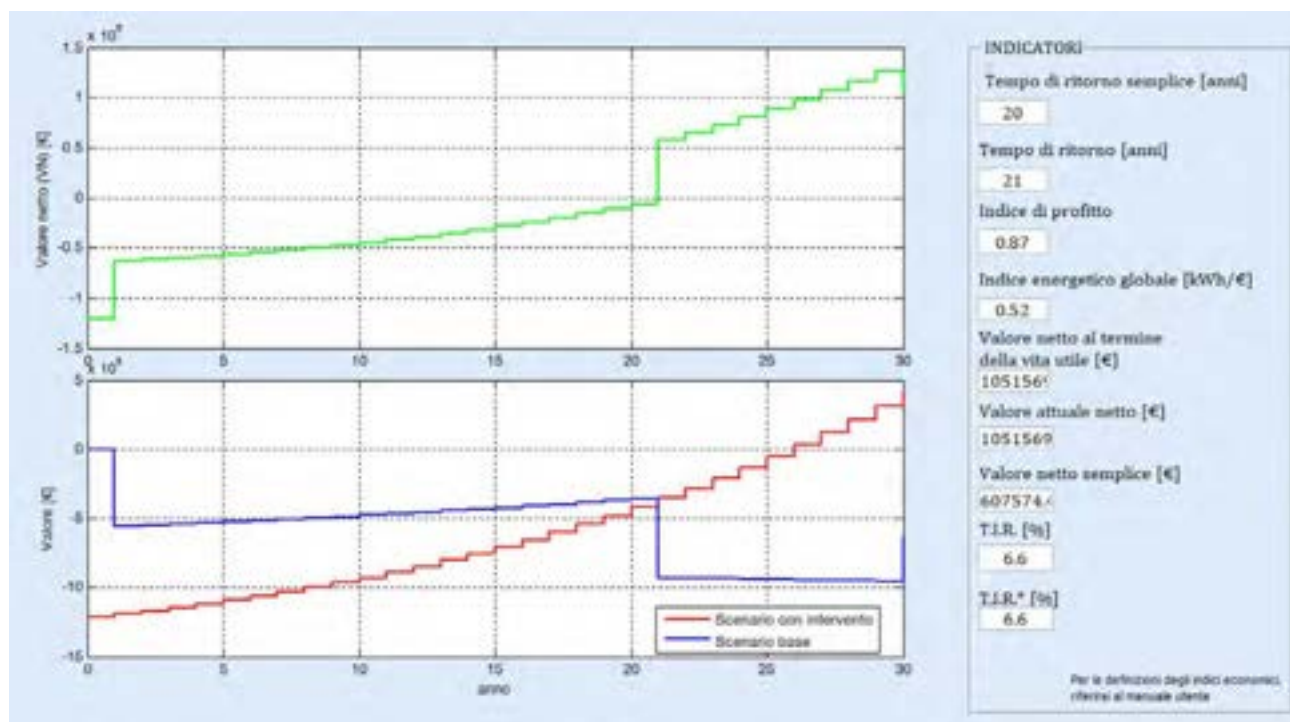


Figura 5.8. Risultati dell'analisi economica con il software SEAS 3.0 per la soluzione nZEB.

Nell'utilizzo del software sono state riscontrate alcune criticità relative alla difficoltà di reperire alcune informazioni, come ad esempio il prezzo del sistema esistente. Nella descrizione del software riportata in un report ENEA [43], il prezzo del componente esistente oggetto dell'intervento dovrebbe essere pari a quello del componente esistente, come se ne dovesse acquistare uno di analoghe caratteristiche tecniche, allo stato attuale. Trattandosi di componenti obsoleti, è risultato impossibile ricavare i prezzi dei componenti allo stato attuale: si è ipotizzato, quindi, di sostituire con elementi nuovi. Si fa riferimento, in particolare, alla sostituzione degli infissi.

5.4 Analisi di sensibilità

Attraverso un'analisi di sensibilità è stata verificata l'influenza di interventi specifici di riqualificazione sul fabbisogno energetico globale dell'edificio. Dell'edificio riqualificato con la soluzione *cost-optimal*

individuata precedentemente, sono state analizzate separatamente le misure di efficienza energetica, così come segue:

- riqualificazione energetica del solo fabbricato (isolamento termico dell'involucro opaco e trasparente, inserimento di schermature solari);
- riqualificazione energetica del solo impianto (sostituzione del generatore di calore, efficientamento del sistema di regolazione della temperatura ambiente per il riscaldamento);
- utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (collettori solari termici e pannelli fotovoltaici).

I risultati sono riportati in Figura 5.9 dove si confrontano i valori dell'EP globale, quota non rinnovabile, e dell'EP globale, quota rinnovabile, per i casi analizzati. Si evince che il solo intervento sul fabbricato riduce di circa il 50% il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile rispetto allo stato di fatto. La soluzione nZEB, rispetto all'intervento sul solo fabbricato, pur avendo lo stesso livello di EP globale totale, presenta una quota elevata di fabbisogno coperto da fonti rinnovabili. La sola integrazione delle fonti rinnovabili riduce il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile del 5%, dato che va ad incidere solo sui consumi elettrici diversi dalla climatizzazione che sono molto ridotti.

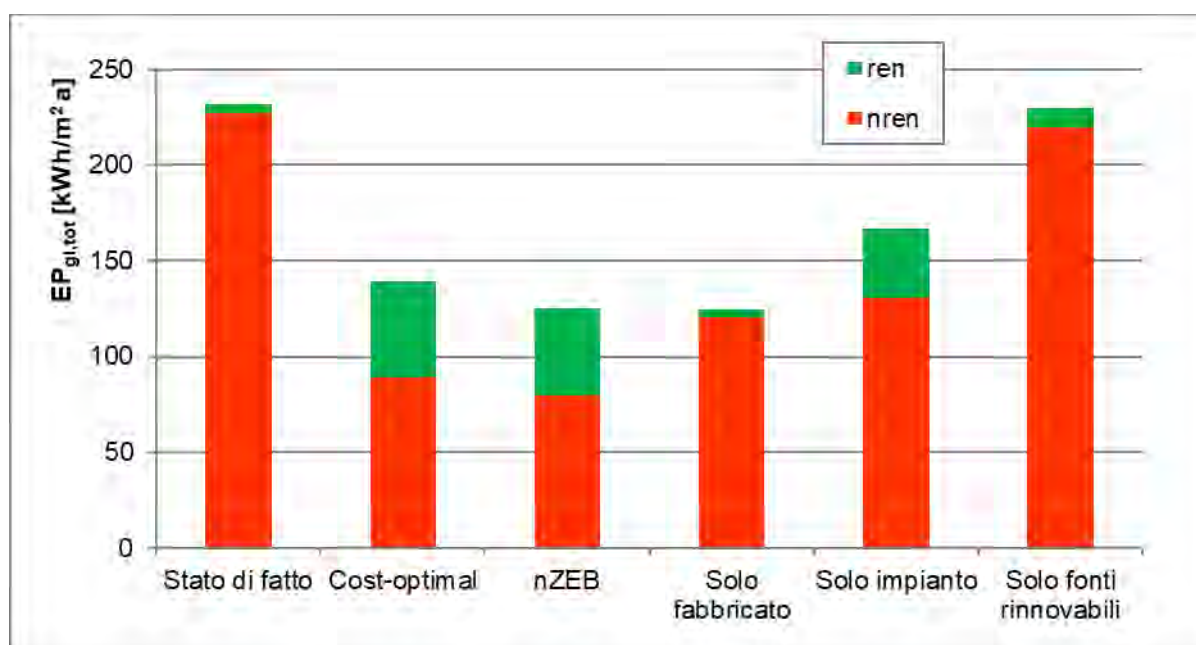


Figura 5.9. Risultati dell'analisi di sensibilità per interventi singoli.

6 Conclusioni

L'attività svolta ha riguardato la diagnosi energetica di un edificio situato a Torino rappresentativo del parco edilizio ad uso uffici in zona climatica E.

Lo scopo dell'attività era individuare gli interventi di retrofit energetico inquadrati in una ristrutturazione globale dell'edificio secondo le attuali disposizioni legislative in materia. Delle soluzioni di riqualificazione energetica si è verificata sia la rispondenza ai requisiti del D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi sia la fattibilità economica. Le valutazioni hanno riguardato l'analisi energetica, economica ed ambientale.

Dopo aver sviluppato il modello numerico dell'edificio, si è effettuata un'accurata calibrazione dello stesso sulla base dei dati relativi all'uso reale dell'edificio e al contesto climatico.

Le misure di efficienza energetica adottabili in un processo di ristrutturazione globale dell'edificio sono state selezionate mediante l'applicazione della procedura *cost-optimal* associata alla simulazione dinamica dettagliata, individuando così la soluzione di riqualificazione energetica che comporta il minore costo globale stimato nell'arco di un periodo fissato in 30 anni.

Tra le soluzioni analizzate sono state considerate tre tipologie di generatore di calore (a biomassa, con pompa di calore e allacciamento al teleriscaldamento), diversi livelli di efficienza dell'involucro edilizio opaco e trasparente, differenti taglie degli impianti a fonti rinnovabili (solare termico e fotovoltaico) e diverse soluzioni tecnologiche relative all'illuminazione artificiale.

La soluzione *cost-optimal* individuata prevede un pacchetto di misure di efficienza energetica associate a un sistema di generazione a pompa di calore per tutti i servizi energetici. Tale soluzione però non rispetta i requisiti degli nZEB, perciò il pacchetto *cost-optimal* è stato migliorato scegliendo soluzioni più efficienti per l'involucro opaco e trasparente (incremento dell'isolamento termico) e schermature solari più performanti.

Dalle analisi condotte emergono le seguenti considerazioni:

- la soluzione con generatore a biomassa risulta non economicamente conveniente (*cost-ineffective*), oltre a comportare problematiche relative alle emissioni inquinanti;
- poiché la soluzione *cost-optimal* è pressoché in linea con i requisiti fissati per l'edificio di riferimento al 2015, i requisiti al 2019 riguardanti gli edifici a energia quasi zero andrebbero rivisti qualora si vogliano adottare soluzioni mirate ad un'analisi dove costi e benefici siano in equilibrio;
- il valore limite di copertura dei consumi previsti per il riscaldamento, l'acqua calda sanitaria e il raffrescamento con energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili (55% per gli edifici pubblici, 50% per gli altri edifici) risulta difficilmente raggiungibile, come nel caso in esame, in quanto la potenza di picco del fotovoltaico necessaria richiederebbe ampie superfici di installazione non compatibili con alcune tipologie edilizie (ad esempio gli edifici a torre);
- al fine della verifica degli indici di prestazione energetica termica utile per riscaldamento e raffrescamento ($EP_{H,nd}$, $EP_{C,nd}$) secondo quanto previsto dal D.M. 26/06/2015, è necessario ricercare un adeguato equilibrio prestazionale tra il livello di isolamento dell'involucro edilizio e la prestazione delle schermature solari.

In riferimento ai costi, la soluzione nZEB individuata prevede un incremento del costo globale di 62 €/m² rispetto alla soluzione *cost-optimal*, pur con una riduzione limitata dell' $EP_{gl,nren}$ (4%).

Infine è stata condotta un'analisi di sensibilità per verificare l'influenza sul fabbisogno energetico globale dell'edificio di interventi specifici sull'involucro, sul sistema di generazione e di integrazione delle fonti rinnovabili. I risultati mostrano che, tra tutti gli interventi specifici, l'isolamento termico e l'installazione di schermature solari determinano i risparmi energetici più cospicui (50%) rispetto all'edificio nello stato di fatto.

7 Riferimenti bibliografici

Legislazione

- [1] Repubblica Italiana, Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015, Supplemento Ordinario n. 39.
- [2] Repubblica Italiana, Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 “Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, pubblicato sulla Gazzetta ufficiale n. 71 del 28 marzo 2011 – Supplemento Ordinario n. 81.
- [3] Repubblica Italiana, Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 “Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.”, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015, Supplemento Ordinario n. 39.

Norme tecniche

- [4] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TS 11300-1, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, 2014.
- [5] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TS 11300-2, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali, 2014.
- [6] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TS 11300-3, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva, 2014.
- [7] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TS 11300-4, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, 2014.
- [8] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TS 11300-5, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili, 2016.
- [9] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN 15603, Prestazione energetica degli edifici - Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica, 2008.
- [10] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI CEI/TR 11428, Gestione dell'energia - Diagnosi energetiche - Requisiti generali del servizio di diagnosi energetica, 2011
- [11] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI CEI EN 16247-1, Diagnosi energetiche - Parte 1: Requisiti generali, 2012.
- [12] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI CEI EN 16247-2, Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici, 2014.
- [13] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI CEI EN 16247-3, Diagnosi energetiche - Parte 3: Processi, 2014.
- [14] International Organisation for Standardisation, ISO 52003-1, Energy performance of buildings - Indicators, requirements, ratings and certificates - Part 1: General aspects and application to the overall energy performance, 2017.

- [15] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN 15459, Prestazione energetica degli edifici - Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici, 2008.
- [16] International Organisation for Standardisation, ISO 52000-1, Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment - Part 1: General framework and procedures, 2017.
- [17] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10351, Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà termoigrometriche - Procedura per la scelta dei valori di progetto, 2015.
- [18] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10355, Murature e solai, Valori della resistenza termica e metodo di calcolo, 1994.
- [19] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 10456, Materiali e prodotti per l'edilizia, Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto, 2008.
- [20] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 13786, Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo, 2008.
- [21] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 6946, Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo, 2008.
- [22] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10349-1, 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, 2016.
- [23] International Organisation for Standardisation, ISO 18523-1, Energy performance of buildings - Schedule and condition of building, zone and space usage for energy calculation - Part 1: Non-residential buildings, 2016.
- [24] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN 15251, Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica, 2008.
- [25] Comité Européen de Normalisation, EN 16798-7, Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 7: Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration, 2017.
- [26] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10349-3 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 3: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno) ed altri indici sintetici", 2016.

Pubblicazioni scientifiche

- [27] CRESME, RIUSO03. "Ristrutturazione edilizia, riqualificazione energetica, rigenerazione urbana". Estratto della ricerca CRESME, 2014.
- [28] L. Radulov, N. Kaloyanov, H. Petran, "D2.1 Report On The Preliminary Assessment Of Public Building Stock", RePublic_ZEB, Novembre 2014.
- [29] AA.VV., Refurbishment of the public building stock towards NZEB, "Report D2.2: Method And Results In Defining National Reference Buildings For Each Building Category", RePublic_ZEB, Febbraio 2015.
- [30] M. Citterio, G. Fasano, "Indagine sui consumi degli edifici pubblici (direzionale e scuole) e potenzialità degli interventi di efficienza energetica", Report RSE/2009/165, Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA), Febbraio 2009.
- [31] Cresme Consulting S.r.l., "Miglioramento Dell'efficienza Energetica Degli Edifici Pubblici, Linee guida per l'attuazione", Programma Operativo interregionale Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013, Marzo 2011.

- [32] Cresme Consulting S.r.l., “Miglioramento Dell’efficienza Energetica Degli Edifici Pubblici, Volume I Lo Studio”, Programma Operativo interregionale Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013, Marzo 2011.
- [33] Ministero dello Sviluppo Economico, in collaborazione con ENEA, RSE e CTI, “PANZEB - Piano d’Azione Nazionale per incrementare gli edifici ad energia quasi zero”, Allegato 2, Novembre 2015.
- [34] K. Deb, S. Agrawal, A. Pratap, T. Meyarivan, “Fast Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-objective Optimization: NSGA-II”. Lecture Notes in Computer Science, 2000, 849-858.
- [35] F. Moretti, S. Panzieri, “Metodologia di ottimizzazione multi-obiettivo della climatizzazione termica di edifici. Validazione su sistema di simulazione”, Report RdS/2013/122, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Roma, 2013.
- [36] V. Corrado, I. Ballarini, S. Paduos, “Sviluppo della metodologia comparativa cost-optimal secondo Direttiva 2010/31/UE”, Report RdS/2013/144, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Roma, 2013.
- [37] E. Fabrizio, V. Monetti, “Methodologies and Advancements in the Calibration of Building Energy Models”, Energies 8, 2548-2574, 2015.
- [38] American Society for Heating Refrigerating Air-conditioning Engineers (ASHRAE), Guideline 14 - Measurement of Energy, Demand, and Water Savings, 2014.
- [39] Federal Energy Management Program, M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 3.0; U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program: Washington, DC, USA, 2008.
- [40] IPMVP New Construction Subcommittee, International Performance Measurement & Verification Protocol: Concepts and Option for Determining Energy Savings in New Construction, Volume III; Efficiency Valuation Organization (EVO): Washington, DC, USA, 2003.
- [41] V. Corrado, I. Ballarini, S. Paduos, L. Tulipano, P. Signoretti, “Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB. Studio dell’edificio scolastico di riferimento nel Nord Italia (zona climatica E: $2.100 < GG \leq 3.000$)”, Report RdS/PAR2015/120, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Roma, 2016.
- [42] Ministero dello Sviluppo Economico, “Applicazione della metodologia di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica (Direttiva 2010/31/UE Art. 5)”, 2013. http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/doc/2013_it_cost-optimal_en.zip
- [43] D. Testi, D. Della Vista, E. Schito, E. Menchetti, P. Conti, W. Grassi, G. Fasano, P. Signoretti, “Sviluppo del Software SEAS per le diagnosi energetiche di ambienti ospedalieri dedicati alla degenza”, Report RdS/PAR2013/113, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Roma, 2014.

Sitografia e software

- [44] EnergyPlus - <https://energyplus.net/>
- [45] DesignBuilder - <https://www.designbuilder.co.uk/>
- [46] Comitato Termotecnico Italiano (CTI) – Anni tipo climatici - <https://www.cti2000.it/index.php?controller=news&action=show&newsid=34848>
- [47] ARPA Piemonte – Banca dati meteorologica - https://www.arpa.piemonte.gov.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html

Allegato A.Relazione tecnica, Provincia di Torino



PROVINCIA DI TORINO – INDAGINE ENERGETICA SUL PATRIMONIO EDILIZIO

PROVVEDITORATO – VIA COAZZE, 18 – TORINO

2. Stato attuale del sistema edificio - impianto

2.1 Dati dell'edificio

Denominazione		Cod.	Comune		Indirizzo		
Provveditorato		126	Torino		Via Coazze, 18		
Combustibile utilizzato	Potenzialità impianto	Volume edificio	Superficie esterna	Durata periodo riscaldamento	Temp. media ambiente	Temp. media stagionale	Ricambi (Vol/h)
Gasolio	930,4 kW	22427 m ³	7566 m ²	183 gg	20 °C	5,5 °C	0,5

2.2 Analisi dell'involucro dell'edificio

L'edificio oggetto della presente diagnosi energetica è ubicato in Torino, Via Coazze, 18 ed ospita il Provveditorato agli studi della Provincia di Torino.



Da una prima analisi visiva, si può ipotizzare che l'edificio, costituito da due corpi di fabbrica principali, sia stato costruito intorno agli anni Sessanta.



PROVINCIA DI TORINO – INDAGINE ENERGETICA SUL PATRIMONIO EDILIZIO

PROVVEDITORATO – VIA COAZZE, 18 – TORINO

La struttura portante dell'edificio è costituita da un telaio di pilastri e travi in calcestruzzo armato gettato in opera, su cui si scaricano delle solette in latero-cemento, anch'esse gettate in opera.

Si segnala la presenza di una fessurazione sulla parete Nord all'altezza del 6° piano.



Le murature di tamponamento sono del tipo con intercapedine; la muratura esterna è rivestita parte con mattoni paramano di facciata e parte con intonaco mentre quella interna è in laterizio forato, intonacato sul lato interno.

Su tali pareti si aprono serramenti con telaio talvolta in legno talvolta in metallo e vetro, sia del tipo semplice sia del tipo vetro doppio, al di sotto dei quali il sottofinestra è costituito internamente da una muratura in laterizio forato e successivamente intonacato, mentre all'esterno la muratura è rivestita parte con intonaco e parte con paramano di facciata.



PROVINCIA DI TORINO – INDAGINE ENERGETICA SUL PATRIMONIO EDILIZIO

PROVVEDITORATO – VIA COAZZE, 18 – TORINO



La copertura del fabbricato è costituita da una soletta piana in calcestruzzo su cui è posato un manto di impermeabilizzazione in asfalto e bitume: il sottotetto praticabile non è stato coibentato.



L'attacco a terra dell'edificio è realizzato su un piano interrato.

Sotto l'aspetto manutentivo, l'edificio presenta una condizione generale discreta.



PROVINCIA DI TORINO – INDAGINE ENERGETICA SUL PATRIMONIO EDILIZIO

PROVVEDITORATO – VIA COAZZE, 18 – TORINO

La stratigrafia di tutte le strutture disperdenti rilevate nell'involucro dell'edificio e prese in considerazione per le verifiche secondo Legge 10/91, suddivise in componenti finestrati e strutture opache (murature, pavimenti e soffitti) sono analizzate all'interno dell'Allegato 1.

2.3 Analisi dei sistemi di produzione

La centrale termica, ad acqua calda, è posta in un locale al piano interrato con accesso da intercapedine a cielo libero.



In centrale sono installati due generatori di calore in acciaio ad acqua calda.

Entrambi sono della ditta ECOFLAM mod. Ecomax 40 2F di potenzialità locale 465,2 kW ciascuno.



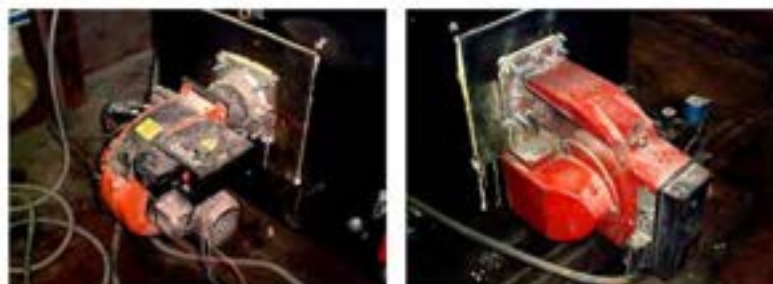
PROVINCIA DI TORINO – INDAGINE ENERGETICA SUL PATRIMONIO EDILIZIO

PROVVEDITORATO – VIA COAZZE, 18 – TORINO



Le condizioni di utilizzo appaiono sufficienti.

Il bruciatore, ad aria soffiata di gasolio, del tipo bistadio, a servizio del primo generatore è della ditta BALTUR mod. BT 34 DSG mentre quello a servizio del secondo generatore, è della ditta JOANNES: l'anno di installazione è il 1996.



Le condizioni di utilizzo appaiono sufficienti.

Il combustibile di funzionamento è il gasolio.

Il sistema di espansione è a vaso aperto.



PROVINCIA DI TORINO – INDAGINE ENERGETICA SUL PATRIMONIO EDILIZIO

PROVVEDITORATO – VIA COAZZE, 18 – TORINO

I camini sono costruiti in muratura: si sviluppano verticalmente fin oltre la copertura dell'edificio e si presentano in discrete condizioni.



In uscita dai 2 generatori, le tubazioni di mandata alimentano, nell'ordine, i seguenti circuiti:

- Aria primaria - Termoventilanti
- Fan Coils
- Radiatori

La circolazione dell'acqua per il circuito "Aria primaria – Termoventilanti" è assicurata da una coppia di elettropompe singole della ditta VERGANI mod. MADE 40-201.



PROVINCIA DI TORINO – INDAGINE ENERGETICA SUL PATRIMONIO EDILIZIO

PROVVEDITORATO – VIA COAZZE, 18 – TORINO



La circolazione dell'acqua all'interno del circuito "Fan Coils" è assicurata da una coppia di elettropompe singole della ditta VERGANI mod. MADE 50-263.



All'interno del circuito "Radiatori" la circolazione dell'acqua è garantita da una coppia di elettropompe singole della ditta VERGANI.



PROVINCIA DI TORINO – INDAGINE ENERGETICA SUL PATRIMONIO EDILIZIO

PROVVEDITORATO – VIA COAZZE, 18 – TORINO



Il circuito "Anticondensa" a servizio di entrambi i generatori è asservito ad una elettropompa singola della ditta VERGANI mod. T80-121.



La coibentazione delle tubazioni appare buona.



2.4 Analisi della tipologia di emissione del calore

I terminali dell'impianto termico sono prevalentemente costituiti da fan coils e si presentano in condizioni manutentive buone.



2.5 Analisi dei sistemi di regolazione

Sia il circuito "Radiatori", sia il circuito "Fan Coils" sono dotati di termoregolazioni costituite da valvole miscelatrici a tre vie della ditta LANDIS&GYR collegate tramite centraline climatiche a sonde esterne e di mandata acqua.





PROVINCIA DI TORINO – INDAGINE ENERGETICA SUL PATRIMONIO EDILIZIO

PROVVEDITORATO – VIA COAZZE, 18 – TORINO

2.6 Analisi dei sistemi di distribuzione

Le colonne montanti ed i raccordi con i terminali di erogazione sono situati totalmente all'interno degli ambienti riscaldati, e le tubazioni orizzontali che collegano la centrale termica alle colonne montanti sono disposte nello scantinato.

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: PORTA IN METALLO 1,3M X 2,3M	Codice struttura M1
--	---------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m²K	ρ kg/m³	$\delta\alpha$ 10 ⁻³ m²/mPa	δu 10 ⁻³ m²/mPa	R m²K/W
1	Acciaio	0,00200	52,0	26000	7800	,0001	,0001	0,00004
2	intercapedine d'aria verticale 10 mm	0,01000	0,076	7,600	1	193	193	0,13158
3	Acciaio	0,00200	52,0	26000	7800	,0001	,0001	0,00004

Conduttanza unitaria
superficiale interna
Conduttanza unitaria
superficiale esterna

7,700

25,000

Resistenza unitaria
superficiale interna
Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,130

0,040

SPESSORE TOTALE (m)

0,014

TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)

3,316

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)

0,302

Simbologia:

s spessore dello strato

C conduttanza unitaria

$\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %

R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale

ρ massa volumica

δu permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 95 %

Verifica Igrometrica

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1062	-9,0	266
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -257 Pa.

☐ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 0 g/m².

Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.

☐ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -14 Pa.

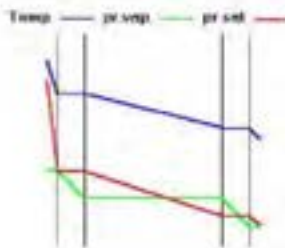
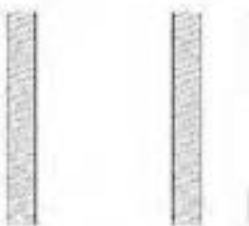
Simbologia:

Ti temperatura interna

Pi pressione interna

Te temperatura esterna

Pe pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: PORTA IN METALLO 0,75M X 1,85M	Codice struttura: M2
--	----------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m ² K	ρ kg/m ³	$\delta\alpha$ 10 ⁻³ W/m ² Pa	δu 10 ⁻³ W/m ² Pa	R m ² /KW
1	Acciaio	0,00200	52,0	25000	7800	.0001	.0001	0,00004
2	intercapedine d'aria verticale 10 mm	0,01000	0,076	7,600	1	193	193	0,13158
3	Acciaio	0,00200	52,0	26000	7800	.0001	.0001	0,00004

Conduttanza unitaria
superficiale interna
Conduttanza unitaria
superficiale esterna

7,700
25,000

Resistenza unitaria
superficiale interna
Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,130
0,040

SPESSORE TOTALE (m)

0,014

TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)

3,316

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)

0,302

Simbologia:

s spessore dello strato

C conduttanza unitaria

$\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %

R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale

ρ massa volumica

δu permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 95 %

Verifica Igrometrica

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	-9,0	256
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -257 Pa.

☐ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 0 g/m².
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.

☐ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -14 Pa.

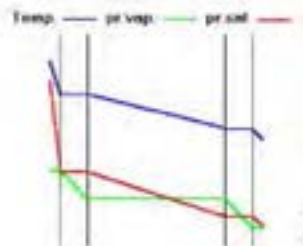
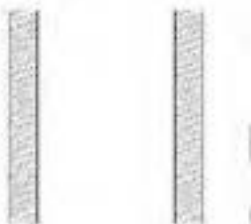
Simbologia:

Ti temperatura interna

Pi pressione interna

Te temperatura esterna

Pe pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE
 DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO
 secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: PARETE ESTERNA 1	Codice struttura: M3
----------------------------------	----------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m²K	ρ kg/m³	δa 10 ⁻¹⁰ kg/m²Pa	δu 10 ⁻¹⁰ kg/m²Pa	R m²K/W
1	Intonaco di calce e gesso	0,01500	0,700	46,667	1400	17,545	17,545	0,02143
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	0,06000	0,430	7,167	1200	27,571	27,571	0,13953
3	Intercapedine d'aria	0,16500	0,220	1,333	1	193	193	0,75000
4	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	0,12000	0,430	3,583	1200	27,571	27,571	0,27907
5	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	0,12000	0,800	6,667	1800	27,571	27,571	0,15000
6	Intonaco di calce e gesso	0,02000	0,700	35,000	1400	17,545	17,545	0,02857

Conduttanza unitaria superficiale interna	7,700	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130
Conduttanza unitaria superficiale esterna	25,000	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,040

SPESSORE TOTALE (m)	0,500	TRASMITTANZA TOTALE (W/m²K)	0,650	RESISTENZA TERMICA TOTALE (m²K/W)	1,539
---------------------	-------	-----------------------------	-------	-----------------------------------	-------

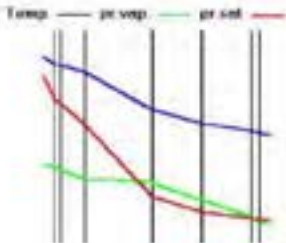
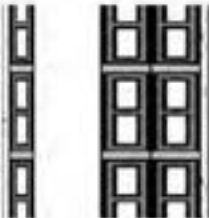
Simbologia:			
s	spessore dello strato	λ	conduttività termica del materiale
C	conduttanza unitaria	ρ	massa volumica
δa	permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %	δu	permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 95 %
R	resistenza termica dei singoli strati		

Verifica Igrometrica
 Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	-9,0	256
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

- ☐ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
 La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -199 Pa.
- ☒ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 375 g/m².
 Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- ☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
 La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 954 Pa.

Simbologia:			
Ti	temperatura interna	Te	temperatura esterna
Pi	pressione interna	Pe	pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: SOTTOFINESTRA 1	Codice struttura: M4
---------------------------------	----------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m ² K	ρ kg/m ³	$\delta\alpha$ 10 ⁻³ W/m ² Pa	$\delta\alpha$ 10 ⁻³ W/m ² Pa	R m ² /KW
1	Intonaco di calce e gesso	0,01500	0,700	46,667	1400	17,545	17,545	0,02143
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0,5%)	0,06000	0,430	7,167	1200	27,571	27,571	0,13953
3	Intercapedine d'aria	0,03500	0,220	6,286	1	193	193	0,15909
4	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1,5%)	0,12000	0,800	6,667	1800	27,571	27,571	0,15000
5	Intonaco di calce e gesso	0,02000	0,700	35,000	1400	17,545	17,545	0,02857

Conduttanza unitaria
superficiale interna
Conduttanza unitaria
superficiale esterna

7,700
25,000

Resistenza unitaria
superficiale interna
Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,130
0,040

SPESSORE TOTALE (m)

0,250

TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)

1,496

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)

0,669

Simbologia:

s spessore dello strato
C conduttanza unitaria
 $\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %
R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale
 ρ massa volumica
 $\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 90 %

Verifica Igrometrica

Condizioni di contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	-9,0	256
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

☐ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -126 Pa.

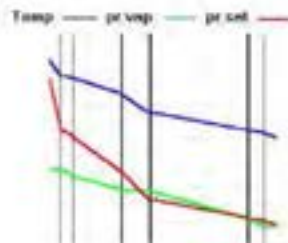
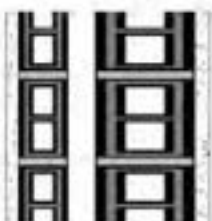
☒ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 233 g/m².
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 585 Pa.

Simbologia:

Ti temperatura interna
Pi pressione interna

Te temperatura esterna
Pe pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE
 DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: PARETE ESTERNA 2	Codice struttura: M5
----------------------------------	----------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m²K	ρ kg/m³	δ _α 10 ⁻³ kg/m²hPa	δ _v 10 ⁻³ kg/m²hPa	R m²K/W
1	Intonaco di calce e gesso	0,01500	0,700	46,667	1400	17,545	17,545	0,02143
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	0,12000	0,430	3,583	1200	27,571	27,571	0,27907
3	Intercapedine d'aria	0,12500	0,220	1,760	1	193	193	0,56618
4	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	0,12000	0,800	6,667	1800	27,571	27,571	0,15000
5	Paramano per esterni	0,12000	0,410	3,417	800	27,571	27,571	0,29268

Conduttanza unitaria
 superficiale interna
 Conduttanza unitaria
 superficiale esterna

7,700
 25,000

Resistenza unitaria
 superficiale interna
 Resistenza unitaria
 superficiale esterna

0,130
 0,040

SPESSORE TOTALE (m)

0,500

TRASMITTANZA
 TOTALE (W/m²K)

0,675

RESISTENZA TERMICA
 TOTALE (m²K/W)

1,481

Simbologia:

s spessore dello strato
 C conduttanza unitaria
 δ_α permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %
 R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale
 ρ massa volumica
 δ_v permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 90 %

Verifica Igrometrica

Condizioni di contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	-9,0	256
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

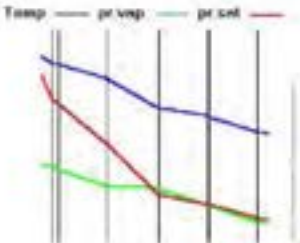
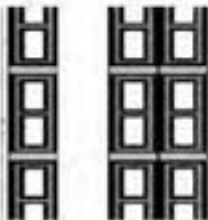
☐ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
 La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -101 Pa.

☒ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 92 g/m².
 Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
 La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 943 Pa.

Simbologia:

Ti temperatura interna
 Pi pressione interna
 Te temperatura esterna
 Pe pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: SOTTOFINESTRA 2	Codice struttura: M6
---------------------------------	----------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m ² K	p kg/m ³	$\delta\alpha$ 10 ⁻¹⁰ W/m ² Pa	$\delta\mu$ 10 ⁻¹⁰ W/m ² Pa	R m ² /W
1	Intonaco di calce e gesso	0,01500	0,700	46,667	1400	17,545	17,545	0,02143
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0,5%)	0,12000	0,430	3,583	1200	27,571	27,571	0,27907
3	Paramano per esterni	0,12000	0,410	3,417	800	27,571	27,571	0,29268

Conduttanza unitaria
superficiale interna
Conduttanza unitaria
superficiale esterna

7,700
25,000

Resistenza unitaria
superficiale interna
Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,130
0,040

SPESSORE TOTALE (m)

0,255

TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)

1,311

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)

0,763

Simbologia:

s spessore dello strato

C conduttanza unitaria

$\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %

R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale

p massa volumica

$\delta\mu$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 90 %

Verifica Igrometrica

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	-9,0	256
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 28 Pa.

☐ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 0 g/m².
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 661 Pa.

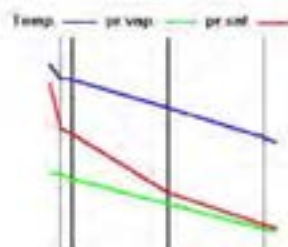
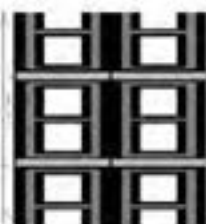
Simbologia:

Ti temperatura interna

Pi pressione interna

Te temperatura esterna

Pe pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE
 DEI COMPONENTI OPACI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: PARETE INTERNA 3				Codice struttura M7			
----------------------------------	--	--	--	---------------------	--	--	--

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m²K	ρ kg/m³	δa 10⁻¹²m²/s	δu 10⁻¹²m²/s	R m²/W
1	Intonaco di calce e gesso	0,01500	0,700	46,667	1400	17,545	17,545	0,02143
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	0,12000	0,430	3,583	1200	27,571	27,571	0,27907
3	Intonaco di calce e gesso	0,01500	0,700	46,667	1400	17,545	17,545	0,02143

Conduttanza unitaria
 superficiale interna
 Conduttanza unitaria
 superficiale esterna

7,700

Resistenza unitaria
 superficiale interna
 Resistenza unitaria
 superficiale esterna

0,130

0,130

SPESSORE TOTALE (m)

0,150

TRASMITTANZA
 TOTALE (W/m²K)

1,719

RESISTENZA TERMICA
 TOTALE (m²K/W)

0,581

Simbologia:

s spessore dello strato

C conduttanza unitaria

δa permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %

R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale

ρ massa volumica

δu permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 90 %

Verifica Igrometrica

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	7,0	251
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 752 Pa.

☐ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 0 g/m².
 Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 898 Pa.

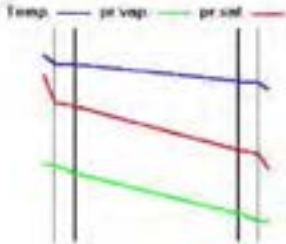
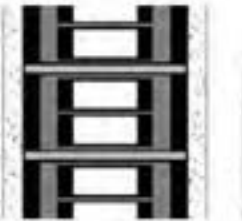
Simbologia:

Ti temperatura interna

Pi pressione interna

Te temperatura esterna

Pe pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: CASSONETTO	Codice struttura: M9
----------------------------	----------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m²K	ρ kg/m³	$\delta\alpha$ 10⁻⁹ W/m²Pa	δu 10⁻⁹ W/m²Pa	R m²K/W
1	Legno di pino fusso parall. alle fibre	0,02000	0,220	11,000	550	4,488	4,488	0,09091
2	intercapedine d'aria	0,23000	0,220	0,957	1	193	193	1,045
3	Matta di calce o di calce e cemento	0,01000	0,900	90,000	1800	7,148	7,148	0,01111
4	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1,5%)	0,12000	0,800	6,567	1800	27,571	27,571	0,15000
5	Paramano per esterni	0,12000	0,410	3,417	800	27,571	27,571	0,29268

Conduttanza unitaria
superficiale interna
Conduttanza unitaria
superficiale esterna

7,700

25,000

Resistenza unitaria
superficiale interna
Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,130

0,040

SPESSORE TOTALE (m)

0,500

TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)

0,568

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)

1,760

Simbologia:

s spessore dello strato
C conduttanza unitaria
 $\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %
R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale
 ρ massa volumica
 δu permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 90 %

Verifica Igrometrica

Condizioni di contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	-9,0	256
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

☐ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -197 Pa.

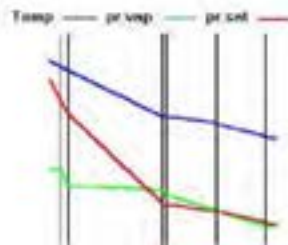
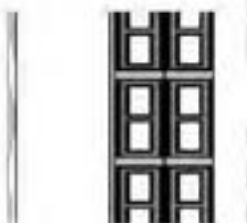
☒ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 316 g/m².
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 994 Pa.

Simbologia:

Ti temperatura interna
Pi pressione interna

Te temperatura esterna
Pe pressione esterna



**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO DOPPIO SERR. LEGNO 110x160

Codice componente: F1

Nr.	Ag m²	Af m²	Lg m	Ug W/m²K	Uf W/m²K	Ui W/m²K	Uw W/m²K
1	1,26	0,50	4,60	3,10	2,00	0,03	2,866

Resistenza unitaria
superficiale interna Conduttanza unitaria
superficiale interna

Resistenza unitaria
superficiale esterna Conduttanza unitaria
superficiale esterna

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Considerando inoltre 5,40 m di ponte termico con Ki = 0,15 W/mK
si ottiene:

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Simbologia:

Ag Area del vetro
Af Area del telaio
Lg Perimetro della superficie vetrata
Ug Trasmissione termica dell' elemento vetrato
Uf Trasmissione termica del telaio
Ui Trasmissione lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw Trasmissione termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINISTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO DOPPIO SERR. LEGNO 110x160

Codice componente: F2

Nr.	Ag m²	Af m²	Lg m	Ug W/m²K	Uf W/m²K	Ui W/m²K	Uw W/m²K
1	1,26	0,50	4,60	3,10	2,60	0,03	3,036

Resistenza unitaria
superficiale interna

0,125

Conduttanza unitaria
superficiale interna

8,00

Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,040

Conduttanza unitaria
superficiale esterna

25,00

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)**

0,39

**TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)**

2,54

Considerando inoltre 5,40 m di ponte termico con $K_I = 0,15$ W/mK
si ottiene:

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)**

0,33

**TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)**

3,00

Simbologia:

Ag	Area del vetro
Af	Area del telaio
Lg	Perimetro della superficie vetrata
Ug	Trasmittanza termica dell' elemento vetrato
Uf	Trasmittanza termica del telaio
Ui	Trasmittanza lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw	Trasmittanza termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO DOPPIO SERR. LEGNO 110x245

Codice componente: F3

Nr.	Ag m²	Af m²	Lg m	Ug W/m²K	Uf W/m²K	Ui W/m²K	Uw W/m²K
1	1,98	0,71	6,20	3,10	2,60	0,03	3,037

Resistenza unitaria
superficiale interna Conduttanza unitaria
superficiale interna

Resistenza unitaria
superficiale esterna Conduttanza unitaria
superficiale esterna

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Considerando inoltre 7,10 m di ponte termico con Ki = 0,15 W/mK
si ottiene:

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Simbologia:

Ag Area del vetro
Af Area del telaio
Lg Perimetro della superficie vetrata
Ug Trasmissione termica dell' elemento vetrato
Uf Trasmissione termica del telaio
Ui Trasmissione lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw Trasmissione termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINISTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO SINGOLO SERR. METALL. 110x245

Codice componente: F4

Nr.	Ag m ²	Af m ²	Lg m	Ug W/m ² K	Uf W/m ² K	Ui W/m ² K	Uw W/m ² K
1	1,98	0,71	6,20	5,92			6,205

Resistenza unitaria
superficiale interna

0,125

Conduttanza unitaria
superficiale interna

8,00

Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,040

Conduttanza unitaria
superficiale esterna

25,00

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)**

0,21

**TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)**

4,65

Considerando inoltre 7,10 m di ponte termico con Ki = 0,15 W/mK
si ottiene:

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)**

0,20

**TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)**

5,05

Simbologia:

- Ag Area del vetro
- Af Area del telaio
- Lg Perimetro della superficie vetrata
- Ug Trasmissione termica dell' elemento vetrato
- Uf Trasmissione termica del telaio
- Ui Trasmissione termica lineica (nulla in caso di vetro singolo)
- Uw Trasmissione termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO SINGOLO SERR. METALL. 560x335

Codice componente: F5

Nr.	Ag m²	Af m²	Lg m	Ug W/m²K	Uf W/m²K	Ui W/m²K	Uw W/m²K
1	15,30	3,46	16,20	5,92	7,00		6,119

Resistenza unitaria
superficiale interna Conduttanza unitaria
superficiale interna

Resistenza unitaria
superficiale esterna Conduttanza unitaria
superficiale esterna

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Considerando inoltre 17,90 m di ponte termico con K_I = 0,15 W/mK
si ottiene:

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Simbologia:

Ag Area del vetro
Af Area del telaio
Lg Perimetro della superficie vetrata
Ug Trasmissione termica dell' elemento vetrato
Uf Trasmissione termica del telaio
Ui Trasmissione lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw Trasmissione termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO SINGOLO SERR. METALL. 75x150

Codice componente: F6

Nr.	Ag m ²	Af m ²	Lg m	Ug W/m ² K	Uf W/m ² K	Ui W/m ² K	Uw W/m ² K
1	0,81	0,32	3,90	5,92	7,00		6,226

Resistenza unitaria
superficiale interna

0,125

Conduttanza unitaria
superficiale interna

8,00

Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,040

Conduttanza unitaria
superficiale esterna

25,00

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)**

0,21

**TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)**

4,67

Considerando inoltre 4,50 m di ponte termico con Ki = 0,15 W/mK
si ottiene:

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)**

0,19

**TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)**

5,27

Simbologia:

Ag	Area del vetro
Af	Area del telaio
Lg	Perimetro della superficie vetrata
Ug	Trasmittanza termica dell' elemento vetrato
Uf	Trasmittanza termica del telaio
Ui	Trasmittanza lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw	Trasmittanza termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO SINGOLO SERR. METALL. 245x170

Codice componente: F7

Nr.	Ag m²	Af m²	Lg m	Ug W/m²K	Uf W/m²K	Ui W/m²K	Uw W/m²K
1	3,30	0,86	7,40	5,92	7,00		6,143

Resistenza unitaria
superficiale interna 0,125 Conduttanza unitaria
superficiale interna 8,00

Resistenza unitaria
superficiale esterna 0,040 Conduttanza unitaria
superficiale esterna 25,00

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) 0,22 **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K) 4,62

Considerando inoltre 8,30 m di ponte termico con Ki = 0,15 W/mK
si ottiene:

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) 0,20 **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K) 4,92

Simbologia:

Ag Area del vetro
Af Area del telaio
Lg Perimetro della superficie vetrata
Ug Trasmissione termica dell' elemento vetrato
Uf Trasmissione termica del telaio
Ui Trasmissione lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw Trasmissione termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO DOPPIO SERR. LEGNO 110x160

Codice componente: F9

Nr.	Ag m²	Af m²	Lg m	Ug W/m²K	Uf W/m²K	Ui W/m²K	Uw W/m²K
1	1,26	0,50	4,60	3,10	2,00	0,03	2,866

Resistenza unitaria
superficiale interna

0,125

Conduttanza unitaria
superficiale interna

8,00

Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,040

Conduttanza unitaria
superficiale esterna

25,00

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)**

0,41

**TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)**

2,41

Considerando inoltre 5,40 m di ponte termico con $K_I = 0,15$ W/mK
si ottiene:

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)**

0,35

**TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)**

2,87

Simbologia:

Ag	Area del vetro
Af	Area del telaio
Lg	Perimetro della superficie vetrata
Ug	Trasmittanza termica dell' elemento vetrato
Uf	Trasmittanza termica del telaio
Ui	Trasmittanza lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw	Trasmittanza termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO SINGOLO SERR. METALL. 140x320

Codice componente: F11

Nr.	Ag	Af m ²	Lg m	Ug W/m ² K	Uf W/m ² K	Ui W/m ² K	Uw W/m ² K
1	3,48	1,00	8,20	5,92	7,00		6,161

Resistenza unitaria superficiale interna Conduttanza unitaria superficiale interna

Resistenza unitaria superficiale esterna Conduttanza unitaria superficiale esterna

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

RESISTENZA TERMICA TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA TOTALE (W/m²K)**

Considerando inoltre 9,20 m di ponte termico con Ki = 0,15 W/mK si ottiene:

RESISTENZA TERMICA TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA TOTALE (W/m²K)**

Simbologia:

Ag Area del vetro
Af Area del telaio
Lg Perimetro della superficie vetrata
Ug Trasmissione termica dell' elemento vetrato
Uf Trasmissione termica del telaio
Ui Trasmissione lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw Trasmissione termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO SINGOLO SERR. METALL. 285x320

Codice componente: F12

Nr.	Ag m²	Af m²	Lg m	Ug W/m²K	Uf W/m²K	Ui W/m²K	Uw W/m²K
1	7,68	1,76	11,10	5,92	7,00		6,121

Resistenza unitaria
superficiale interna Conduttanza unitaria
superficiale interna

Resistenza unitaria
superficiale esterna Conduttanza unitaria
superficiale esterna

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Considerando inoltre 12,30 m di ponte termico con $K_l = 0,15$ W/mK
si ottiene:

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Simbologia:

Ag Area del vetro
Af Area del telaio
Lg Perimetro della superficie vetrata
Ug Trasmissione termica dell' elemento vetrato
Uf Trasmissione termica del telaio
Ui Trasmissione lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw Trasmissione termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO SINGOLO SERR. METALL. 280x320

Codice componente: F13

Nr.	Ag m²	Af m²	Lg m	Ug W/m²K	Uf W/m²K	Ui W/m²K	Uw W/m²K
1	7,25	1,71	10,80	5,92	7,00		6,126

Resistenza unitaria
superficiale interna Conduttanza unitaria
superficiale interna

Resistenza unitaria
superficiale esterna Conduttanza unitaria
superficiale esterna

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Considerando inoltre 12,00 m di ponte termico con K_I = 0,15 W/mK
si ottiene:

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Simbologia:

Ag Area del vetro
Af Area del telaio
Lg Perimetro della superficie vetrata
Ug Trasmissione termica dell' elemento vetrato
Uf Trasmissione termica del telaio
Ui Trasmissione lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw Trasmissione termica totale del serramento

**CARATTERISTICHE TERMICHE
DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL' INVOLUCRO**
secondo D.M. 13.12.93 - Tabella 2 e UNI 10345

Tipo componente: VETRO SINGOLO SERR. METALL. 130x300

Codice componente: F15

Nr.	Ag m²	Af m²	Lg m	Ug W/m²K	Uf W/m²K	Ui W/m²K	Uw W/m²K
1	2,97	0,93	7,60	5,92	7,00		6,178

Resistenza unitaria
superficiale interna Conduttanza unitaria
superficiale interna

Resistenza unitaria Conduttanza unitaria
superficiale esterna

Si considera inoltre presente per 12 ore/giorno
una resistenza unitaria addizionale di 0,16 m²K/W

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Considerando inoltre 8,60 m di ponte termico con Ki = 0,15 W/mK
si ottiene:

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W) **TRASMITTANZA**
TOTALE (W/m²K)

Simbologia:

Ag Area del vetro
Af Area del telaio
Lg Perimetro della superficie vetrata
Ug Trasmissione termica dell' elemento vetrato
Uf Trasmissione termica del telaio
Ui Trasmissione lineica (nulla in caso di vetro singolo)
Uw Trasmissione termica totale del serramento

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: SOFFITTO ESTERNO P. 1° INTERR.

Codice struttura S1

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	ρ kg/m ³	$\delta\alpha$ 10 ⁻¹⁰ kg/m ² sPa	δu 10 ⁻¹⁰ kg/m ² sPa	R m ² /KW	
1	intonaco di calce e gesso	0,01000	0,700	70,000	1400	17,545	17,545	0,01429
2	Solella in laterizio spess. 18-20 - inter. 50	0,18000	0,660	3,667	1100	27,571	27,571	0,27273
3	C.i.s. di sabbia e ghiaia per solella	0,04000	2,150	53,750	2400	2,757	2,757	0,01860
4	Impermeabilizzazione con bitume	0,00300	0,170	56,667	1200	,00965	,00965	0,01765
5	Impermeabilizzazione in asfalto	0,03000	0,700	23,333	2100	,00965	,00965	0,04286

Conduttanza unitaria
superficiale interna
Conduttanza unitaria
superficiale esterna

7,700

25,000

Resistenza unitaria
superficiale interna
Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,130

0,040

SPESSORE TOTALE (m)

0,263

TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)

1,866

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)

0,537

Simbologia:

s spessore dello strato

C conduttanza unitaria

$\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %

R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale

ρ massa volumica

δu permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 95 %

Verifica Igrometrica

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	-9,0	256
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

☐ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -593 Pa.

☒ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 278 g/m².

Tale quantità non può rievaporare durante la stagione estiva.

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -444 Pa.

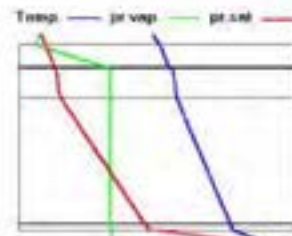
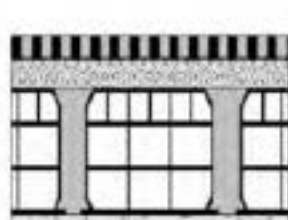
Simbologia:

Ti temperatura interna

Pi pressione interna

Te temperatura esterna

Pe pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: TETTO PIANO	Codice struttura: S2
-----------------------------	----------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m ² K	ρ kg/m ³	$\delta\alpha$ 10 ⁻³ W/m ² Pa	$\delta\alpha$ 10 ⁻³ W/m ² Pa	R m ² /W
1	Intonaco di calce e gesso	0,01000	0,700	70,000	1400	17,545	17,545	0,01429
2	Soletta in laterizio spess. 18-20 - inter. 50	0,18000	0,660	3,667	1100	27,571	27,571	0,27273
3	C.i.s. di sabbia e ghiaia per soletta	0,04000	2,150	53,750	2400	2,757	2,757	0,01860
4	Sottofondo di cemento magro	0,07000	0,700	10,000	1600	9,65	9,65	0,10000
5	Impermeabilizzazione con bitume	0,00300	0,170	56,667	1200	,00965	,00965	0,01765

Conduttanza unitaria
superficiale interna
Conduttanza unitaria
superficiale esterna

7,700
25,000

Resistenza unitaria
superficiale interna
Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,130
0,040

SPESSORE TOTALE (m)

0,303

TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)

1,686

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)

0,594

Simbologia:

s spessore dello strato
C conduttanza unitaria
 $\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %
R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale
 ρ massa volumica
 $\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 90 %

Verifica Igrometrica

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	-9,0	256
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

☐ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a -622 Pa.

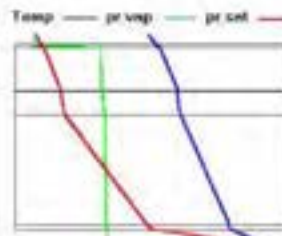
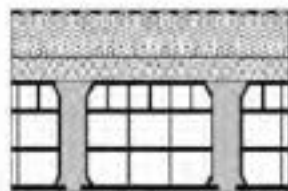
☒ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 251 g/m².
Tale quantità non può rievaporare durante la stagione estiva.

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 511 Pa.

Simbologia:

Ti temperatura interna
Pi pressione interna

Te temperatura esterna
Pe pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: SOFFITTO VS LOC. NON RISC.	Codice struttura: S3
--	----------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m ² K	ρ kg/m ³	$\delta\alpha$ 10 ⁻³ W/m ² Pa	δu 10 ⁻³ W/m ² Pa	R m ² /W
1	Intonaco di calce e gesso	0,01000	0,700	70,000	1400	17,545	17,545	0,01429
2	Soletta in laterizio spess. 18-20 - inter. 50	0,18000	0,660	3,667	1100	27,571	27,571	0,27273
3	C.i.s. di sabbia e ghiaia per soletta	0,04000	2,150	53,750	2400	2,757	2,757	0,01860
4	Sottotondo di cemento magro	0,07000	0,700	10,000	1600	9,65	9,65	0,10000
5	Sottotondo per pavimento	0,03000	0,700	23,333	1600	9,65	9,65	0,04286
6	Piastrelle in ceramica	0,01000	1,000	100,000	2300	,965	,965	0,01000

Conduttanza unitaria
superficiale interna
Conduttanza unitaria
superficiale esterna

7,700
7,700

Resistenza unitaria
superficiale interna
Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,130
0,130

SPESSORE TOTALE (m)

0,340

TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)

1,392

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)

0,719

Simbologia:

s spessore dello strato

C conduttanza unitaria

$\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %

R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale

ρ massa volumica

δu permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 95 %

Verifica Igrometrica

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	8,0	258
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 583 Pa.

☐ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 0 g/m².
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 990 Pa.

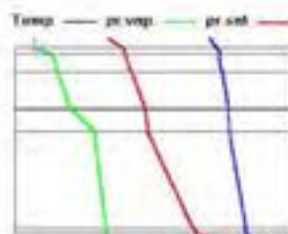
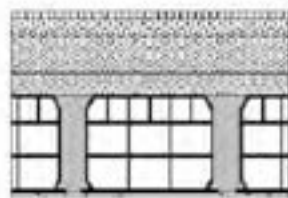
Simbologia:

Ti temperatura interna

Pi pressione interna

Te temperatura esterna

Pe pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: PAVIMENTO SU TERRENO	Codice struttura P1
--------------------------------------	---------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m ² K	ρ kg/m ³	$\delta\alpha$ 10 ⁻³ W/m ² Pa	δu 10 ⁻³ W/m ² Pa	R m ² /W
1	Piastrelle in ceramica	0,01000	1,000	100,000	2300	.965	.965	0,01000
2	Sottotondo per pavimento	0,03000	0,700	23,333	1600	9,65	9,65	0,04286
3	Sottotondo in Leca	0,07000	0,140	2,000	600	38,6	38,6	0,50000
4	C.i.s. di sabbia e ghiaia per soletta	0,15000	2,150	14,333	2400	2,757	2,757	0,06977
5	Ghiaia grossa senza argilla (um. 5%)	0,30000	1,200	4,000	1700	38,6	38,6	0,25000

Conduttanza unitaria
superficiale interna
Conduttanza unitaria
superficiale esterna

7,700
25,000

Resistenza unitaria
superficiale interna
Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,130
0,040

SPESSORE TOTALE (m)

0,560

TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)

0,959

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)

1,043

Simbologia:

s spessore dello strato
C conduttanza unitaria
 $\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %
R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale
 ρ massa volumica
 δu permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 90 %

Verifica Igrometrica

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	5,0	253
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 349 Pa.

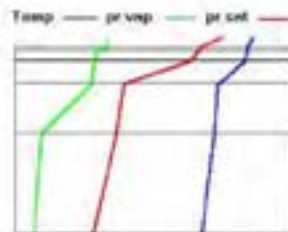
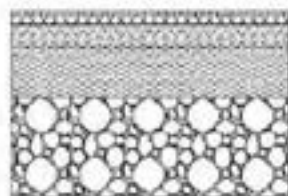
☐ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 0 g/m².
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.

☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 1029 Pa.

Simbologia:

Ti temperatura interna
Pi pressione interna

Te temperatura esterna
Pe pressione esterna



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL' INVOLUCRO

secondo D.M. 13.12.93 -Tabella 1 e UNI 10344

Tipo struttura: PAVIMENTO VS LOC. NON RISC.	Codice struttura P2
---	---------------------

Nr.	Descrizione	s m	λ W/mK	C W/m ² K	ρ kg/m ³	$\delta\alpha$ 10 ⁻³ W/m ² Pa	δu 10 ⁻³ W/m ² Pa	R m ² /W
1	Piastrelle in ceramica	0,01000	1,000	100,000	2300	.965	.965	0,01000
2	Sottotondo per pavimento	0,03000	0,700	23,333	1600	9,65	9,65	0,04286
3	Sottotondo di cemento magro	0,07000	0,700	10,000	1600	9,65	9,65	0,10000
4	C.i.s. di sabbia e ghiaia per soletta	0,04000	2,150	53,750	2400	2,757	2,757	0,01860
5	Soletta in laterizio spess. 18-20 - inter. 50	0,18000	0,660	3,667	1100	27,571	27,571	0,27273
6	Intonaco di calce e gesso	0,01000	0,700	70,000	1400	17,545	17,545	0,01429

Conduttanza unitaria
superficiale interna
Conduttanza unitaria
superficiale esterna

7,700
7,700

Resistenza unitaria
superficiale interna
Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,130
0,130

SPESSORE TOTALE (m)

0,340

TRASMITTANZA
TOTALE (W/m²K)

1,392

RESISTENZA TERMICA
TOTALE (m²K/W)

0,719

Simbologia:

s spessore dello strato
C conduttanza unitaria
 $\delta\alpha$ permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 0 - 50 %
R resistenza termica dei singoli strati

λ conduttività termica del materiale
 ρ massa volumica
 δu permeabilità al vapore nell' intervallo di umidità relativa 50 - 95 %

Verifica Igrometrica

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti °C	Pi Pa	Te °C	Pe Pa
Invernale	20,0	1052	5,0	253
Estiva	20,0	1870	20,0	1637

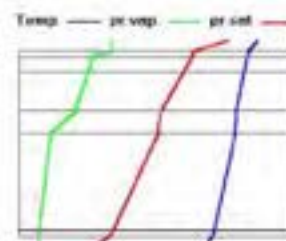
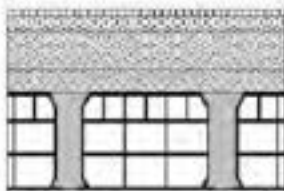
☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 620 Pa.

☐ La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 0 g/m².
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.

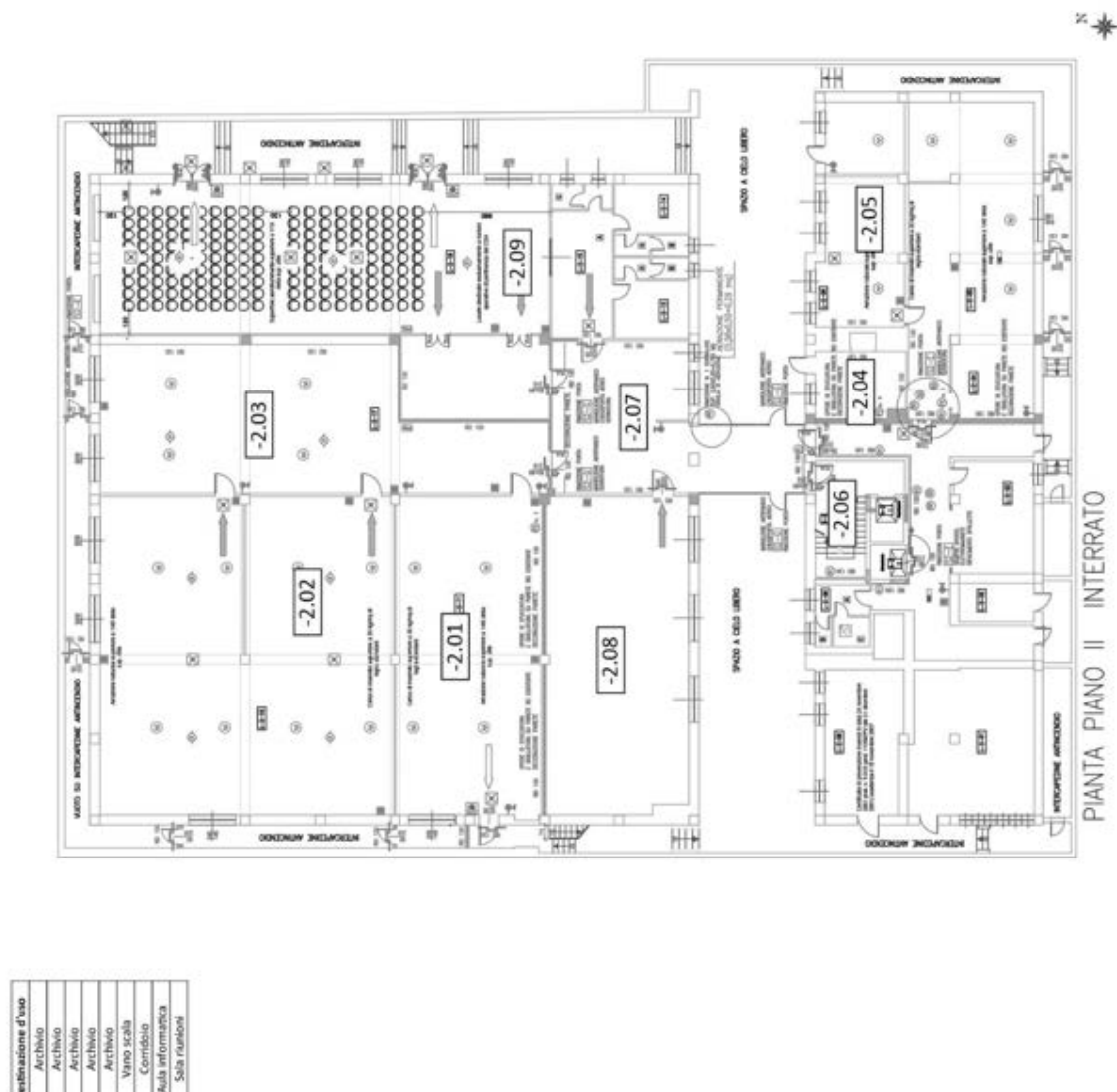
☒ La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 921 Pa.

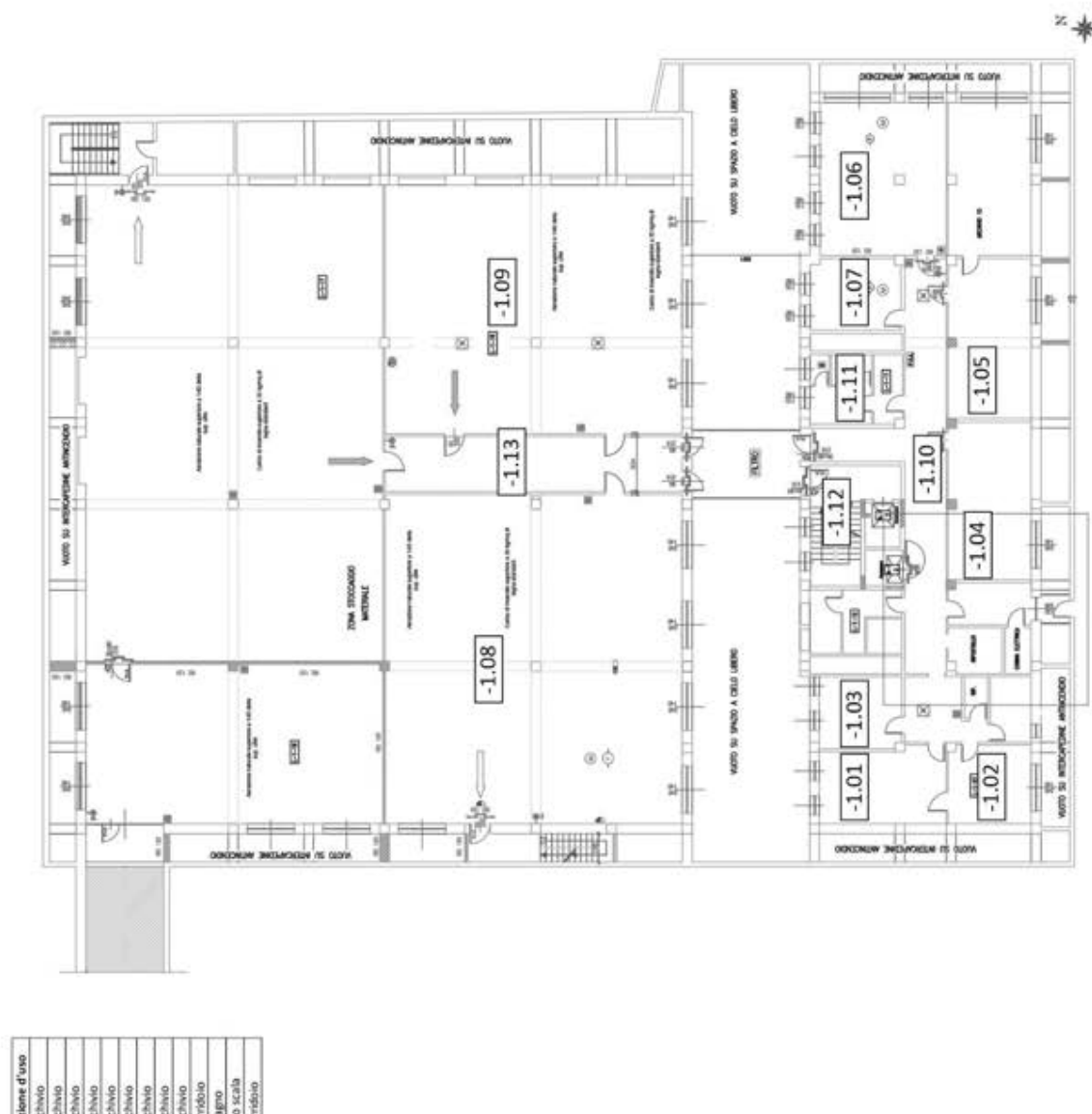
Simbologia:

Ti temperatura interna
Pi pressione interna
Te temperatura esterna
Pe pressione esterna



Allegato B. Elaborati progettuali – planimetrie con identificazione dei locali

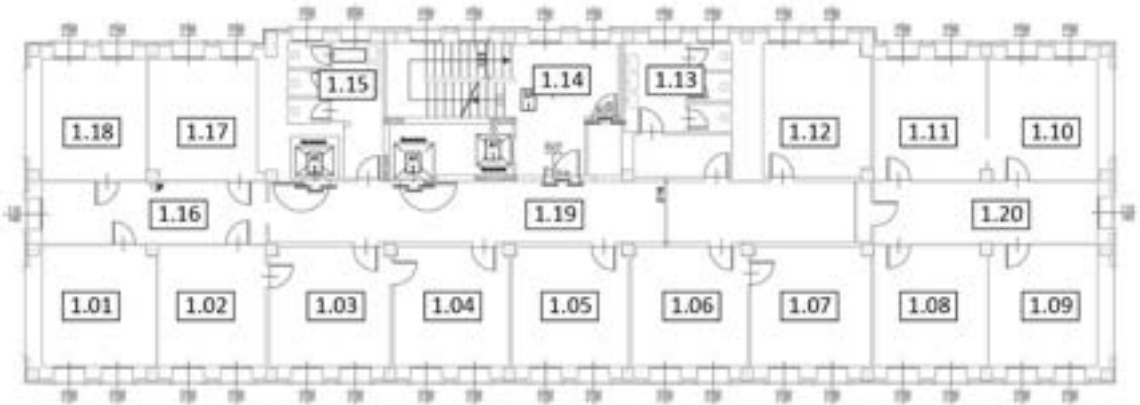






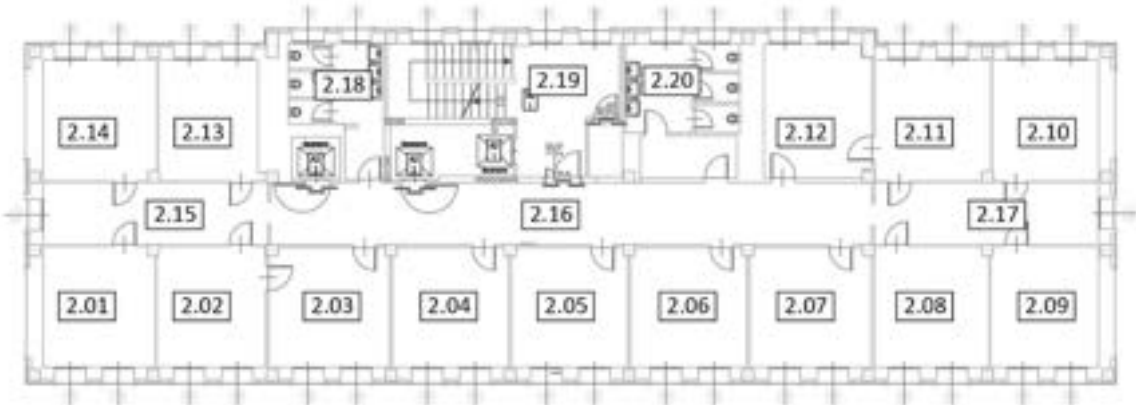
Codice identificativo	Destinazione d'uso
1.01	Ufficio
1.02	Ufficio
1.03	Ufficio
1.04	Ufficio
1.05	Ufficio
1.06	Ufficio
1.07	Ufficio
1.08	Ufficio
1.09	Ufficio
1.10	Ufficio
1.11	Ufficio
1.12	Ufficio
1.13	Ufficio
1.14	Bagno
1.15	Vano scala
1.16	Bagno
1.17	Corridolo
1.18	Ufficio
1.19	Ufficio
1.20	Corridolo

PIANO PRIMO



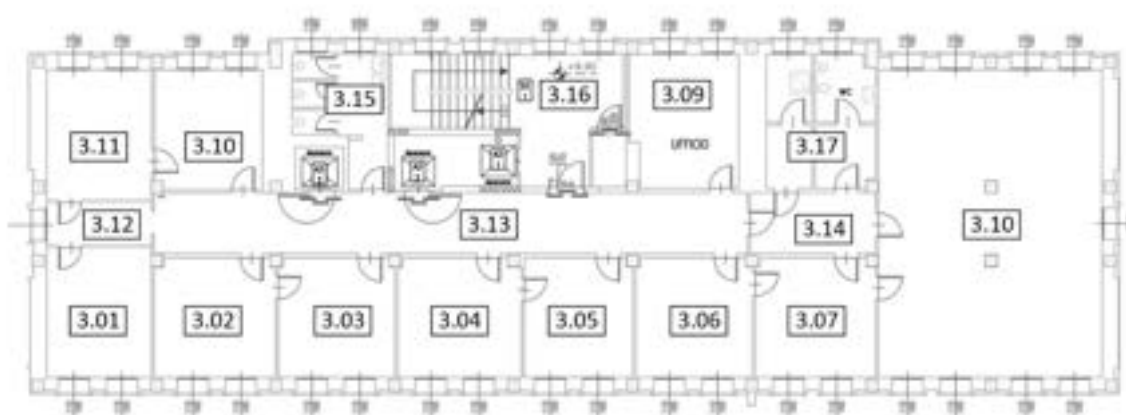
Codice identificativo	Destinazione d'uso
2.01	Ufficio
2.02	Ufficio
2.03	Ufficio
2.04	Ufficio
2.05	Ufficio
2.06	Ufficio
2.07	Ufficio
2.08	Ufficio
2.09	Ufficio
2.10	Ufficio
2.11	Ufficio
2.12	Ufficio
2.13	Ufficio
2.14	Ufficio
2.15	Corridolo
2.16	Corridolo
2.17	Corridolo
2.18	Bagno
2.19	Vano scala
2.20	Bagno

PIANO SECONDO



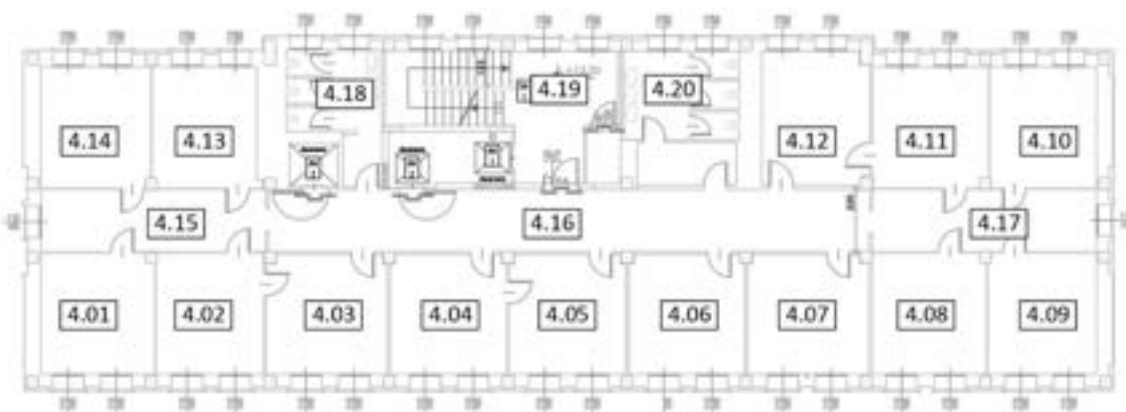
Codice identificativo	Destinazione d'uso
3.01	Ufficio
3.02	Ufficio
3.03	Ufficio
3.04	Ufficio
3.05	Ufficio
3.06	Ufficio
3.07	Ufficio
3.08	Ufficio
3.09	Ufficio
3.10	Ufficio
3.11	Ufficio
3.12	Corridoio
3.13	Corridoio
3.14	Corridoio
3.15	Bagno
3.16	Corridoio
3.17	Bagno

PIANO TERZO



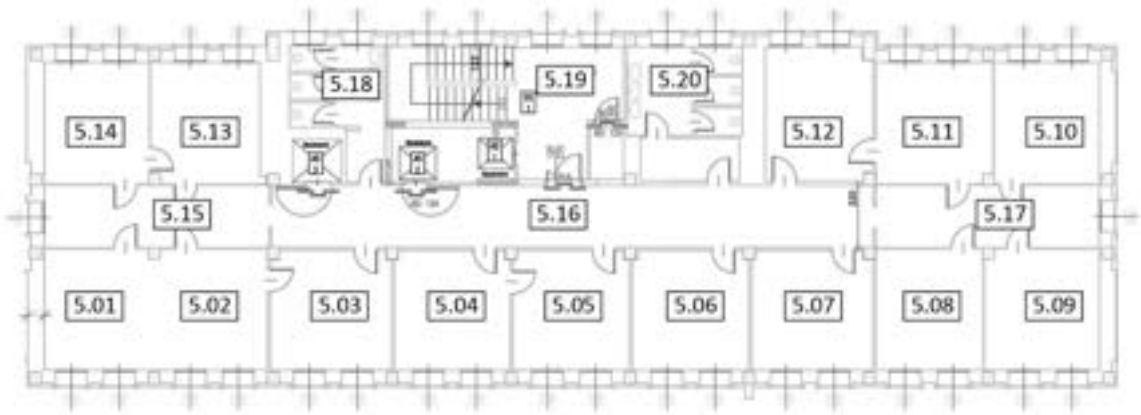
Codice identificativo	Destinazione d'uso
4.01	Ufficio
4.02	Ufficio
4.03	Ufficio
4.04	Ufficio
4.05	Ufficio
4.06	Ufficio
4.07	Ufficio
4.08	Ufficio
4.09	Ufficio
4.10	Ufficio
4.11	Ufficio
4.12	Ufficio
4.13	Ufficio
4.14	Ufficio
4.15	Corridoio
4.16	Corridoio
4.17	Corridoio
4.18	Bagno
4.19	Vano scala
4.20	Bagno

PIANO QUARTO



Codice identificativo	Destinazione d'uso
5.01	Ufficio
5.02	Ufficio
5.03	Ufficio
5.04	Ufficio
5.05	Ufficio
5.06	Ufficio
5.07	Ufficio
5.08	Ufficio
5.09	Ufficio
5.10	Ufficio
5.11	Ufficio
5.12	Ufficio
5.13	Ufficio
5.14	Ufficio
5.15	Corridoio
5.16	Corridoio
5.17	Corridoio
5.18	Ragno
5.19	Vano scala
5.20	Ragno

PIANO QUINTO



Codice identificativo	Destinazione d'uso
6.01	Ufficio
6.02	Ufficio
6.03	Ufficio
6.04	Ufficio
6.05	Ufficio
6.06	Ufficio
6.07	Ufficio
6.08	Corridoio
6.09	Ragno
6.10	Ragno
6.11	Vano scala

PIANO SESTO



Allegato C. Questionario sull'utilizzo degli spazi lavorativi



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento
Energia

Questionario sull'utilizzo degli spazi lavorativi per una diagnosi energetica

Ufficio Scolastico Regionale per il Piemonte – Ufficio Scolastico Provinciale, Via Coazze, 18 Torino

Data di compilazione: __/__/__

Informazioni generali sull'ufficio

A quale piano è localizzato l'ufficio?

☐ interr. -2 ☐ interr. -1 ☐ terra ☐ primo ☐ secondo ☐ terzo ☐ quarto ☐ quinto ☐ sesto

Quante persone lavorano nell'ufficio?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 o più

Quante finestre sono presenti nell'ufficio?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 o più

Qual è l'orientamento principale della/e finestra/e dell'ufficio?

☐ nord (su parcheggio interno) ☐ sud (su Via Coazze) ☐ entrambi (sia nord sia sud) ☐ est/ovest

Giorni e orari lavorativi

Per quante ore lavorative viene generalmente utilizzato l'ufficio?

lunedì ____ martedì ____ mercoledì ____ giovedì ____ venerdì ____

Nelle ore centrali della giornata (es. orario pranzo), l'ufficio è generalmente occupato?

Lunedì: ☐ sì ☐ no Martedì: ☐ sì ☐ no Mercoledì: ☐ sì ☐ no Giovedì: ☐ sì ☐ no Venerdì: ☐ sì ☐ no

Apertura delle finestre

In media per quanto tempo le finestre vengono tenute aperte nell'arco della giornata?

Inverno	Primavera/autunno	Estate
☐ meno di 30 minuti	☐ meno di 30 minuti	☐ meno di 30 minuti
☐ da 30 minuti a 1 ora	☐ da 30 minuti a 1 ora	☐ da 30 minuti a 1 ora
☐ da 1 ora a 4 ore	☐ da 1 ora a 4 ore	☐ da 1 ora a 4 ore
☐ più di 4 ore	☐ più di 4 ore	☐ più di 4 ore

Prevalentemente in quale periodo della giornata vengono tenute aperte le finestre?

Inverno	Primavera/autunno	Estate
☐ mattino	☐ mattino	☐ mattino
☐ orario pranzo	☐ orario pranzo	☐ orario pranzo
☐ pomeriggio	☐ pomeriggio	☐ pomeriggio
☐ non c'è un periodo prevalente	☐ non c'è un periodo prevalente	☐ non c'è un periodo prevalente

Gestione delle tapparelle

In media per quanto tempo le tapparelle avvolgibili, se presenti, vengono tenute abbassate (almeno la metà dell'altezza della finestra) nell'arco della giornata?

Inverno	Primavera/autunno	Estate
☐ meno di 30 minuti	☐ meno di 30 minuti	☐ meno di 30 minuti
☐ da 30 minuti a 1 ora	☐ da 30 minuti a 1 ora	☐ da 30 minuti a 1 ora
☐ da 1 ora a 4 ore	☐ da 1 ora a 4 ore	☐ da 1 ora a 4 ore
☐ più di 4 ore	☐ più di 4 ore	☐ più di 4 ore

Prevalentemente in quale periodo della giornata vengono tenute abbassate (almeno la metà dell'altezza della finestra) le tapparelle avvolgibili?

Inverno	Primavera/autunno	Estate
☐ mattino	☐ mattino	☐ mattino
☐ orario pranzo	☐ orario pranzo	☐ orario pranzo
☐ pomeriggio	☐ pomeriggio	☐ pomeriggio
☐ non c'è un periodo prevalente	☐ non c'è un periodo prevalente	☐ non c'è un periodo prevalente

Gestione delle schermature solari

In media per quanto tempo le schermature solari (es. veneziane, tende a rullo, ecc.), se presenti, vengono utilizzate nell'arco della giornata?

Inverno	Primavera/autunno	Estate
☐ meno di 30 minuti	☐ meno di 30 minuti	☐ meno di 30 minuti
☐ da 30 minuti a 1 ora	☐ da 30 minuti a 1 ora	☐ da 30 minuti a 1 ora
☐ da 1 ora a 4 ore	☐ da 1 ora a 4 ore	☐ da 1 ora a 4 ore
☐ più di 4 ore	☐ più di 4 ore	☐ più di 4 ore

Prevalentemente in quale periodo della giornata vengono utilizzate le schermature solari (se presenti)?

Inverno	Primavera/autunno	Estate
☐ mattino	☐ mattino	☐ mattino
☐ orario pranzo	☐ orario pranzo	☐ orario pranzo
☐ pomeriggio	☐ pomeriggio	☐ pomeriggio
☐ non c'è un periodo prevalente	☐ non c'è un periodo prevalente	☐ non c'è un periodo prevalente

Illuminazione artificiale

In media per quanto tempo l'illuminazione artificiale viene utilizzata nell'arco della giornata?

Inverno	Primavera/autunno	Estate
☐ meno di 30 minuti	☐ meno di 30 minuti	☐ meno di 30 minuti
☐ da 30 minuti a 1 ora	☐ da 30 minuti a 1 ora	☐ da 30 minuti a 1 ora
☐ da 1 ora a 4 ore	☐ da 1 ora a 4 ore	☐ da 1 ora a 4 ore
☐ più di 4 ore	☐ più di 4 ore	☐ più di 4 ore

Prevalentemente in quale periodo della giornata viene utilizzata l'illuminazione artificiale?

Inverno	Primavera/autunno	Estate
☐ mattino	☐ mattino	☐ mattino
☐ orario pranzo	☐ orario pranzo	☐ orario pranzo
☐ pomeriggio	☐ pomeriggio	☐ pomeriggio
☐ non c'è un periodo prevalente	☐ non c'è un periodo prevalente	☐ non c'è un periodo prevalente

Riscaldamento

Per il riscaldamento dell'ufficio indicare se sono presenti i seguenti corpi scaldanti:

☐ termosifone/radiatore ☐ ventilconvettore ☐ entrambi ☐ nessuno dei due

Per regolare la temperatura dell'ambiente generalmente si agisce su:

- ☐ corpo scaldante ☐ termostato ambiente ☐ entrambi ☐ nessuno dei due
(termosifone/ventilconvettore)

Se nell'ufficio viene utilizzato un termostato ambiente e quest'ultimo indica la temperatura, su quale valore viene generalmente impostato? _____ °C

Nei mesi più freddi (dicembre/gennaio/febbraio), una volta agito sul termostato e/o sul corpo scaldante, generalmente la sensazione finale relativa alla temperatura nell'ufficio è:

- ☐ troppo freddo ☐ né caldo né freddo ☐ troppo caldo

Raffrescamento (solo per gli uffici con condizionatore estivo)

Per quanto tempo viene acceso il condizionatore estivo?

- ☐ meno di 30 minuti ☐ da 30 minuti a 1 ora ☐ da 1 ora a 4 ore ☐ più di 4 ore

Prevalentemente in quale periodo della giornata viene acceso il condizionatore estivo?

- ☐ mattino ☐ orario pranzo ☐ pomeriggio ☐ non c'è un periodo prevalente

Ventilatori a pale a soffitto

Se l'ufficio è dotato di uno o più ventilatori a pale a soffitto, in media per quanto tempo vengono utilizzati nell'arco della giornata?

Inverno

- ☐ meno di 30 minuti
☐ da 30 minuti a 1 ora
☐ da 1 ora a 4 ore
☐ più di 4 ore

Primavera/autunno

- ☐ meno di 30 minuti
☐ da 30 minuti a 1 ora
☐ da 1 ora a 4 ore
☐ più di 4 ore

Estate

- ☐ meno di 30 minuti
☐ da 30 minuti a 1 ora
☐ da 1 ora a 4 ore
☐ più di 4 ore

Seguono alcune schermate del questionario on-line.

Questionario sull'utilizzo degli spazi lavorativi per una diagnosi energetica

Informazioni generali sull'ufficio

A quale piano è localizzato l'ufficio?

☐ Interrato -2

☐ Interrato -1

☐ Terra

☐ Primo

☐ Secondo

☐ Terzo

☐ Quarto

☐ Quinto

☐ Sesto

Quante persone lavorano nell'ufficio?

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5 o più

Quante finestre sono presenti nell'ufficio?

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5 o più

Qual è l'orientamento principale della/e finestra/a dell'ufficio?

☐ Nord (su parcheggio interno)

☐ Sud (su Via Coarzze)

☐ Entrambi (sia nord sia sud)

☐ Est/Ovest

INDIETRO AVANTI

Pagina 2 di 10

Non inviare mai le password tramite Moduli Google.

Questionario sull'utilizzo degli spazi lavorativi per una diagnosi energetica

Giorni e orari lavorativi

Per quante ore lavorative viene generalmente utilizzato l'ufficio?

	1 ora	2 ore	3 ore	4 ore	5 ore	6 ore	7 ore	8 ore o più
Lunedì	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Martedì	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Mercoledì	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Giovedì	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Venerdì	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Nelle ore centrali della giornata (es. orario pranzo), l'ufficio è generalmente occupato?

	Sì	No
Lunedì	☐	☐
Martedì	☐	☐
Mercoledì	☐	☐
Giovedì	☐	☐
Venerdì	☐	☐

INDIETRO AVANTI

Pagina 3 di 10

Non inviare mai le password tramite Moduli Google.

Questionario sull'utilizzo degli spazi lavorativi per una diagnosi energetica

Apertura delle finestre

In media per quanto tempo le finestre vengono tenute aperte nell'arco della giornata?

	Mai o meno di 30 minuti	Da 30 minuti a 1 ora	Da 1 ora a 4 ore	Più di 4 ore
Inverno	☐	☐	☐	☐
Primavera/autunno	☐	☐	☐	☐
Estate	☐	☐	☐	☐

Prevalentemente in quale periodo della giornata vengono tenute aperte le finestre?

	Mattino	Orario pranzo	Pomeriggio	Non c'è un periodo prevalente
Inverno	☐	☐	☐	☐
Primavera/autunno	☐	☐	☐	☐
Estate	☐	☐	☐	☐

INDIETRO **AVANTI**

Pagina 4 di 10

Non tracciare mai le password tramite Microsoft Google.

Questionario sull'utilizzo degli spazi lavorativi per una diagnosi energetica

Gestione delle tapparelle avvolgibili

In media per quanto tempo le tapparelle avvolgibili, se presenti, vengono tenute abbassate (almeno la metà dell'altezza della finestra) nell'arco della giornata?

	Mai o meno di 30 minuti	Da 30 minuti a 1 ora	Da 1 ora a 4 ore	Più di 4 ore
Inverno	☐	☐	☐	☐
Primavera/autunno	☐	☐	☐	☐
Estate	☐	☐	☐	☐

Prevalentemente in quale periodo della giornata vengono tenute abbassate (almeno la metà dell'altezza della finestra) le tapparelle avvolgibili?

	Mattino	Orario pranzo	Pomeriggio	Non c'è un periodo prevalente
Inverno	☐	☐	☐	☐
Primavera/autunno	☐	☐	☐	☐
Estate	☐	☐	☐	☐

Al termine dell'orario lavorativo, generalmente le tapparelle vengono totalmente abbassate?

- ☐ Sì
☐ No

INDIETRO **AVANTI**

Pagina 5 di 10

Non tracciare mai le password tramite Microsoft Google.