



Ricerca di Sistema elettrico

Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB

Studio di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento
nella zona climatica Nord Italia (zona E: $2.100 < GG \leq 3.000$)

V. Corrado, I. Ballarini, A. Lorenzati, G. De Luca, D. Iatauro



RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI PUBBLICIESISTENTI: DIREZIONE NZEB

Studio di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento nella zona climatica Nord Italia (zona E: $2.100 < GG \leq 3.000$)

V. Corrado, I. Ballarini, A. Lorenzati, G. De Luca (Politecnico di Torino, Dipartimento Energia)
D. Iatauro (ENEA)

30 settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici"

Progetto: Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici (scuole, ospedali, uffici della PA centrale e locale) mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (nZEB)

Obiettivo: Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nzeb

Responsabile del Progetto: ing. Domenico Iatauro, 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 di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento nella zona climatica Nord Italia (zona E: $2.100 < GG \leq 3.000$)"*

Responsabile scientifico ENEA: ing. Domenico Iatauro.

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

Sommario

In una politica europea fortemente incentrata sul risparmio energetico e sulla riduzione dei consumi attuali, il ruolo del patrimonio edilizio esistente sta, di anno in anno, acquistando sempre più importanza. In questo contesto, ENEA e Politecnico di Torino hanno avviato una serie di progetti in collaborazione, relativi alla riqualificazione energetica dell'edilizia pubblica esistente (intesa come scuole, ospedali, uffici della PA ed edilizia residenziale pubblica), aventi come obiettivo finale il soddisfacimento dei requisiti degli edifici a energia quasi zero (nZEB). In particolare, questa specifica ricerca è incentrata sull'analisi di un edificio tipo di edilizia residenziale pubblica nella zona climatica Nord Italia (zona E: $2100 < GG \leq 3000$). La metodologia adottata in questa ricerca consente, una volta individuate le diverse ipotesi di intervento sull'edificio esistente, di valutarne in contemporanea la fattibilità tecnica (risparmi energetici che ne conseguirebbero) ed economica (costo dell'intervento), nonché la verifica del soddisfacimento dei requisiti richiesti per un nZEB, come definito nell'attuale D.M. 26 giugno 2015 (Decreto Requisiti Minimi) [1]. L'approccio si basa sull'esecuzione di simulazioni dinamiche dettagliate, finalizzate ad eseguire una diagnosi energetica dell'edificio, abbinate a strumenti di ottimizzazione, che consentono di individuare tra i possibili interventi di ristrutturazione importante di primo livello quelli che determinerebbero il minor costo globale nell'arco di vita utile dell'edificio (**Sezione 1**).

Il caso studio da analizzare deve essere scelto in modo da essere rappresentativo della tipologia edilizia in cui si colloca. È quindi necessario condurre delle analisi statistiche accurate, in modo da individuare la tipologia edilizia più rappresentativa di un particolare contesto (**Sezione 2**). Nello specifico, è stato individuato un condominio (facente parte di un lotto di due condomini gemelli) di edilizia popolare nella periferia Nord di Torino. Tale condominio inoltre, essendo stato costruito nei primi anni '90, è un edificio già discretamente virtuoso da un punto di vista energetico: ciò, da un lato comporta una certa difficoltà ad individuare delle soluzioni di intervento che siano economicamente convenienti, mentre dall'altro consente di evidenziare alcune criticità che si possono incontrare in edifici di questo tipo e che determinano, nonostante la recente costruzione, un notevole margine di rinnovamento energetico.

Una volta individuato il caso studio, si è proceduto alla sua modellazione per poter eseguire le simulazioni dinamiche per la diagnosi energetica dell'edificio, allo stato di fatto e post-retrofit. Gli interventi di retrofit sono stati ipotizzati nell'ottica di rispettare i valori limite forniti dal Decreto Requisiti Minimi [1] al 2015 e al 2021 e di raggiungere il target nZEB, senza perdere mai di vista la questione costi (**Sezione 3**).

Essendo un edificio dotato unicamente di impianti di riscaldamento e produzione di ACS autonomi, si è deciso di agire, in una fase preliminare, a livello di una singola zona termica. I dati necessari per la modellazione dell'utenza reale sono stati raccolti tramite questionari sottoposti ai condomini: in tal modo si sono potuti identificare la composizione della famiglia tipo, i loro profili di occupazione e di gestione dell'appartamento e i loro consumi energetici. Sulla base del confronto tra consumi reali raccolti (*operational rating*) e consumi simulati con utenza e clima reali (*tailored rating*), si è proceduto alla calibrazione del modello (*calibrated tailored rating*).

Non avendo a disposizione profili di occupazione e gestione attendibili, e consumi energetici di tutte le unità immobiliari, i dati di utenza relativi all'appartamento-tipo studiato in fase di calibrazione sono stati attribuiti a tutto l'edificio. Così facendo, le successive analisi relative alla fase di retrofit energetico sono state condotte non più a scala di singolo appartamento, ma a scala dell'intero edificio. Sono stati calcolati i fabbisogni di energia e gli indici di prestazione energetica dello stato di fatto, applicando i dati climatici standard del Comitato Termotecnico Italiano (CTI), in modo tale che le successive analisi previsionali di risparmio energetico non fossero influenzate dalle condizioni climatiche verificatesi in un anno specifico. È stata infine determinata sull'appartamento-tipo, in ottemperanza alla metodologia di classificazione energetica prevista a livello nazionale (*standard energy rating*) [1], la classe di prestazione energetica. L'appartamento tipo allo stato di fatto è risultato essere in classe energetica D, con parziale rispetto dei requisiti minimi [1] (**Sezione 4**).

Gli interventi migliorativi ipotizzati hanno riguardato la sostituzione dell'impianto di generazione termica, il miglioramento del livello di isolamento dell'involucro, l'utilizzo di fonti rinnovabili (fotovoltaico e solare termico). Per ogni intervento si è valutato il costo complessivo (rimozione, installazione, ripristino, manutenzione...), considerando un periodo di calcolo di 30 anni. Tra questi pacchetti se ne sono individuati due in particolare: una soluzione *cost-optimal* ed una soluzione nZEB (**Sezione 5**). Siccome l'edificio considerato è già discretamente performante (discreto livello di isolamento termico, serramenti con vetro-camera e generatori di calore di recente sostituzione), la quasi totalità degli interventi di efficientamento energetico non risulta essere economicamente conveniente. I migliori risultati sono stati osservati nel caso in cui si decidesse di mantenere il sistema di generazione attuale. In tal caso, si è osservato che, agendo sull'involucro opaco (applicando strategie per la riduzione dei ponti termici), e installando sistemi ombreggianti e l'impianto solare termico per la produzione di ACS, è possibile ottenere una soluzione ottimale che consente una riduzione del costo globale pari a 5 €/m² (*cost-effective*) a fronte di un risparmio energetico pari al 28% rispetto allo stato di fatto.

Le singole tipologie di intervento (involucro e solare termico) sono state poi analizzate separatamente, tramite un'analisi di sensibilità, per individuare quale delle due avesse maggior effetto sulla riduzione dei consumi (35% involucro e 30% solare termico). La soluzione *cost-optimal* così ottenuta rientra nella classe energetica B, pur senza rispettare circa la metà dei requisiti minimi [1].

La configurazione nZEB è stata invece ottenuta considerando come sistema di generazione (sia riscaldamento che integrazione ACS da solare termico) una pompa di calore invertibile, e conseguente sostituzione dei terminali di emissione. L'utilizzo di pompe di calore consente, da un lato, un maggiore sfruttamento di fonti rinnovabili (sia solare termico sia fotovoltaico), dall'altro di prevedere anche il raffrescamento estivo degli appartamenti (il cui contributo va ad influenzare la prestazione energetica globale dell'edificio). La pompa di calore è poi abbinata a tutti i livelli più performanti di intervento sugli altri elementi dell'edificio, escluso l'isolamento dell'involucro opaco. La classe energetica conseguente è A2, e i requisiti minimi possono considerarsi verificati. La soluzione nZEB comporta un ulteriore risparmio energetico circa del 45% rispetto alla soluzione *cost-optimal*, che corrisponde però ad un aumento in termini di costi circa dell'80% (senza incentivi).

Indice

SOMMARIO.....	1
1 INTRODUZIONE	5
1.1 INQUADRAMENTO DELL'ATTIVITÀ	5
1.2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	5
1.3 METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA.....	7
2 TIPOLOGIA EDILIZIA AD USO RESIDENZIALE E <i>SOCIAL HOUSING</i>	10
2.1 ANALISI DELLA LETTERATURA	10
2.1.1 <i>Social housing in Italia, Piemonte e Torino</i>	15
2.2 STRATEGIE DI INTERVENTO SUGLI EDIFICI RESIDENZIALI ESISTENTI VERSO IL TARGET NZEB.....	17
2.3 INDIVIDUAZIONE DEL CASO STUDIO	18
3 DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA DI CALCOLO	19
3.1 CARATTERISTICHE GENERALI DELLA PROCEDURA.....	19
3.1.1 <i>La determinazione del fabbisogno energetico dell'edificio</i>	20
3.1.2 <i>L'analisi costi-benefici</i>	21
3.1.3 <i>La definizione di soluzioni nZEB</i>	22
3.2 ASSUNZIONI GENERALI DI CALCOLO	24
4 ANALISI DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO	26
4.1 CARATTERIZZAZIONE DELL'EDIFICIO	26
4.1.1 <i>Informazioni generali e contesto esterno</i>	26
4.1.2 <i>Fabbricato</i>	28
4.1.3 <i>Impianti</i>	31
4.1.4 <i>Utenza</i>	34
4.1.5 <i>Consumi energetici</i>	37
4.2 COSTRUZIONE DEL MODELLO	40
4.2.1 <i>Definizione delle zone termiche</i>	41
4.2.2 <i>Profili di occupazione - apporti interni</i>	42
4.2.3 <i>Profili di utilizzo: aperture, sistemi oscuranti, schermature solari e illuminazione artificiale</i>	43
4.2.4 <i>Parametri impiantistici</i>	46
4.3 VALUTAZIONI ENERGETICHE ED ECONOMICHE.....	49
4.3.1 <i>Valutazione d'esercizio (operational rating)</i>	49
4.3.2 <i>Valutazione adattata all'utenza (tailored rating) e calibrazione del modello</i>	50
4.3.3 <i>Valutazione adattata all'utenza calibrata (calibrated tailored rating) con dati climatici standard</i>	55
4.3.4 <i>Valutazione standard e classificazione energetica</i>	57
4.3.5 <i>Livello edificio - Valutazione adattata all'utenza calibrata (calibrated tailored rating) con dati climatici standard</i>	58
4.3.6 <i>Livello edificio - Analisi di conformità al D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi</i>	59
5 ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE	61

5.1	DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI	61
5.2	SOLUZIONI TECNOLOGICHE E COSTI	61
5.2.1	<i>Verifica termo igrometrica delle misure di isolamento degli elementi di involucro opaco</i>	63
5.3	VALUTAZIONI ENERGETICHE ED ECONOMICHE.....	65
5.3.1	<i>Cost-optimal analysis</i>	65
5.3.2	<i>Soluzioni conformi al D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi</i>	69
5.3.3	<i>Soluzione nZEB</i>	70
5.4	ANALISI DI SENSIBILITÀ	73
6	CONCLUSIONI.....	74
7	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	76
ALLEGATO A.	ESTRATTO DI CAPITOLATO - ATC	80
ALLEGATO B.	ESTRATTO SCHEDA TECNICA CALDAIA ARISTON T2 23 MI	91
ALLEGATO C.	ELABORATI PROGETTUALI – EDIFICIO A	99
ALLEGATO D.	QUESTIONARIO SULL’UTILIZZO DEGLI SPAZI LAVORATIVI	105

1 Introduzione

1.1 Inquadramento dell'attività

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 2017, all'Area D "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici", tema di ricerca "D.2 Edifici a energia quasi zero (nZEB)", progetto D.2.1 "Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici (scuole, ospedali, uffici della PA centrale e locale) mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (nZEB)", obiettivo a.1 "Studio di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento nella zona climatica Nord Italia (zona E: $2100 < GG \leq 3000$)". Il tema sviluppato nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento Energia (DENERG) del Politecnico di Torino ha riguardato la riqualificazione energetica di edifici di edilizia residenziale pubblica, in applicazione del DM 26 giugno 2015 sulle nuove prescrizioni e i requisiti minimi [1].

L'attività è consistita nell'individuazione di un caso studio rappresentativo delle tipologie di edifici uso residenziale e *social housing*, nell'effettuazione di una diagnosi energetica e nella definizione d'interventi di retrofit inquadabili 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]. In ultimo è stata effettuata un'analisi di sensibilità, considerando interventi singoli o pacchetti di interventi di riqualificazione, al fine di valutarne l'incidenza sulla prestazione energetica globale dell'edificio. È necessario quindi 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 è essenziale per 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, sia la generazione efficiente di energia termica ed elettrica (tramite l'utilizzo di fonti rinnovabili). 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, i quali possono essere disaggregati per servizio e per vettore energetico. L'analisi di fattibilità economica comprende invece il calcolo del costo globale, pre- e post-retrofit, ed è finalizzata all'individuazione delle misure di efficienza energetica ottimali in funzione dei costi (soluzioni *cost-optimal*).

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]).

Il calcolo energetico è stato altresì svolto mediante il software di simulazione dinamica *DesignBuilder 5.0.3* [47], che adotta il motore di calcolo *Energy Plus 8.5.0* [46].

1.2 Descrizione delle attività svolte

Il lavoro è strutturato nelle seguenti fasi:

- A. Attività preliminari
 - a. Analisi della letteratura sulla tipologia di edifici uso residenziale e *social housing*
 - b. Individuazione del caso studio
- B. Analisi dello stato di fatto
 - a. Caratterizzazione del caso studio

- b. Modellazione dello stato di fatto
- c. Analisi energetica ed 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 energetica ed 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 residenziale e social housing

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 referenti dell'Agenzia Territoriale per la Casa (ATC) del Piemonte Centrale 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 Pianezza (TO), è parte del patrimonio di residenza sociale della provincia di Torino, ed è rappresentativo dell'edilizia residenziale in zona climatica E.

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 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 (2017/18).

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, è stato modellato l'edificio con individuazione delle zone termiche. Nel caso studio in oggetto ogni unità abitativa è dotata di un impianto autonomo per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, mentre non è presente l'impianto di raffrescamento. Sono stati definiti i profili di occupazione e ricavati gli apporti interni legati agli occupanti, i profili di apertura delle finestre e d'uso delle apparecchiature elettriche.

B.c Analisi energetica ed economica dello stato di fatto

È stata eseguita una valutazione energetica adattata all'utenza calibrata (*calibrated tailored energy rating*) secondo la norma UNI EN ISO 52000-1 [9]. La calibrazione del modello è stata svolta al fine di far coincidere l'indice di prestazione energetica operativo, determinato mediante simulazione energetica in regime dinamico, e quello effettivo, derivante dall'analisi dei consumi reali (secondo quanto previsto dalle UNI CEI EN 16247 parti 1-3 [10],[11],[12]).

Sono stati analizzati i termini di bilancio di energia dell'edificio, disaggregati per servizio e vettore energetico, e determinata la classe energetica tramite calcolo secondo UNI/TS 11300-1 [4].

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], che fornisce prescrizioni e requisiti per il miglioramento delle prestazioni energetiche e il raggiungimento degli standard previsti al 2015 e al 2021, oltre che per gli edifici 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

Sono stati simulati differenti scenari di intervento, in relazione alle misure di efficienza energetica individuate precedentemente, tramite il software di simulazione dinamica *DesignBuilder*. Inoltre, 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])).

C.d Analisi energetica ed economica degli interventi di retrofit

Sono stati valutati i diversi indicatori energetici ed economici in relazione agli interventi di retrofit ipotizzati. Sono presi in considerazione sia interventi singoli, sia pacchetti di interventi, per i quali si sono verificati il rispetto dei requisiti minimi e la classe energetica (relativi alla soluzione cost-optimal e nZEB).

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 2021, 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 con sostituzione del generatore di calore);
- utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (collettori solari termici e pannelli fotovoltaici).

1.3 Metodologia di diagnosi energetica

L'attività illustrata nella presente relazione riguarda lo studio dell'edificio di edilizia residenziale pubblica 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([10],[11],[12])– 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 norma UNI CEI EN 16247 - 3 [12], è mostrato in Figura 1.1.

I punti 3, 4, 5 e 6 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. Per prima cosa sono necessarie la raccolta dei dati relativi alle bollette di fornitura energetica, la ricostruzione dei consumi effettivi di elettricità e combustibili, per uno o più anni considerati

significativi, e l'identificazione e la raccolta dei fattori di correzione a cui fare riferimento per una corretta analisi dei consumi energetici. Viene quindi calcolato un indice di prestazione energetica effettivo.

I punti 7 e 8 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 i due indici convergono, si prosegue l'analisi, altrimenti è necessario tornare ai passi 3 e 4, procedendo 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'indicatore obiettivo di prestazione energetica; se i valori espressi dagli indicatori (indice di prestazione operativo e indice di prestazione obiettivo) sono tra loro comparabili, la diagnosi è conclusa (punto 15), se invece esiste uno scarto significativo tra i due, si individuano le misure di miglioramento dell'efficienza. Per tali misure devono essere analizzate tramite studi fattibilità tecnico-economica. Le misure individuate sono ordinate in funzione degli indici concordati.

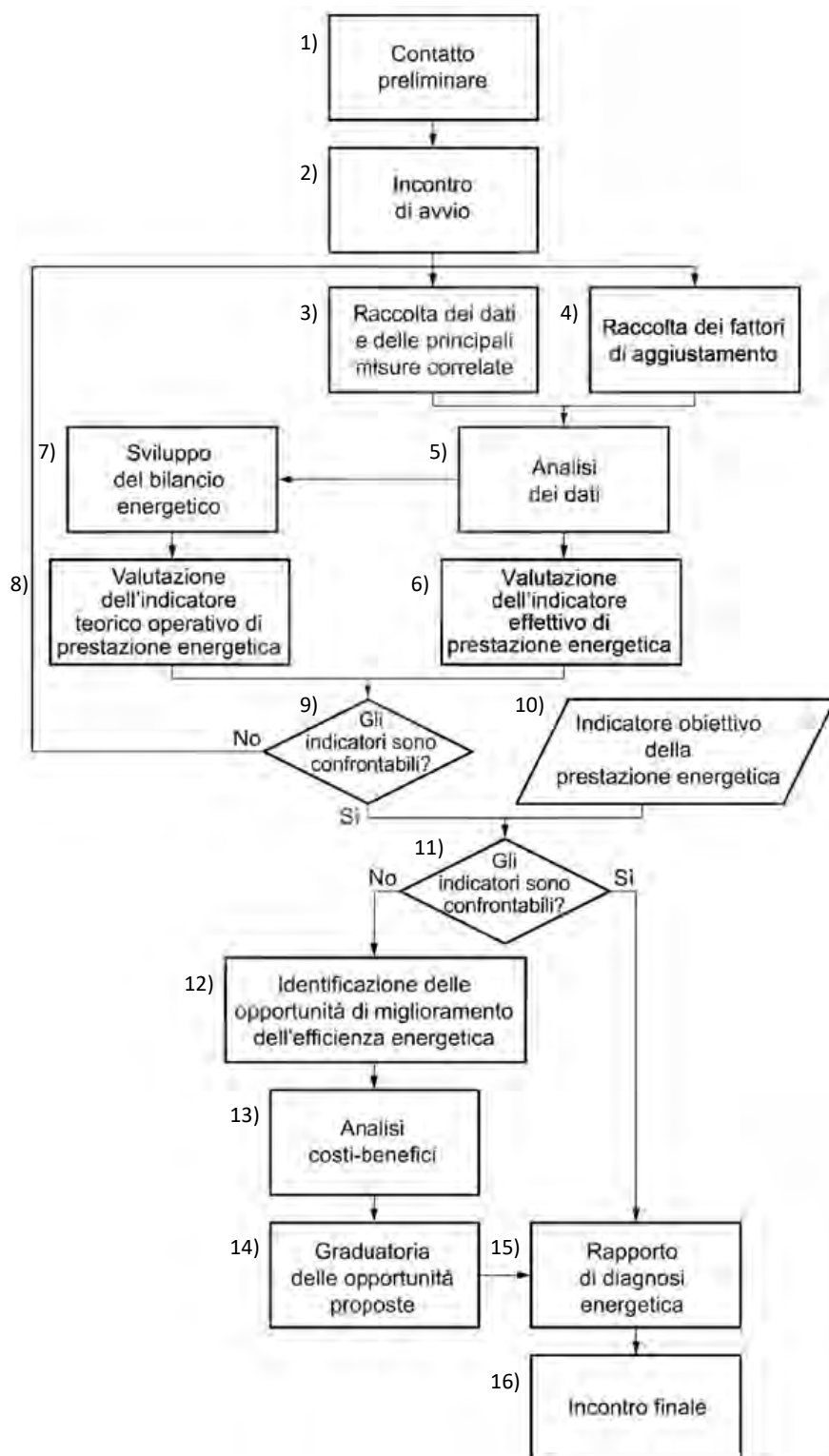


Figura 1.1. Schema procedurale per lo svolgimento di una diagnosi energetica (Fonte UNI CEI EN 16247 - 3 [12]).

2 Tipologia edilizia ad uso residenziale e *social housing*

2.1 Analisi della letteratura

Secondo l'ultimo censimento ISTAT 2011 [48], il patrimonio edilizio italiano a destinazione residenziale ammonta a quasi 12'200'000 di edifici (circa l'84% degli edifici presenti sul territorio italiano), con una superficie complessiva pari a circa 2950 Mm² (al 2011 [49]). Secondo una recente ricerca CRESME [27], l'Italia spende 45.2 miliardi di euro ogni anno per consumi termici ed elettrici negli edifici residenziali esistenti (corrispondenti a circa 30 Mtep di energia [50]).

I principali dati sulla consistenza numerica e le caratteristiche costruttive ed impiantistiche del patrimonio edilizio nazionale ad uso residenziale sono riportati da Figura 2.1 a Figura 2.4. Le informazioni sono state ricavate prevalentemente dai risultati del progetto di ricerca EPISCOPE [28], oltre che da elaborazioni statistiche di banche dati ISTAT [51] ed europee [50].

Per coerenza con il progetto EPISCOPE [28], i dati sono stati raggruppati, ove possibile, secondo il criterio riportato in Tabella 2.1:

Tabella 2.1. Criterio di classificazione dati (Fonte: EPISCOPE [28]).

ZONA CLIMATICA		REGIONI	Criterio di classificazione	
Mediterranea	<i>A, B, C, D</i>	Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Lazio, Liguria, Puglia, Sardegna, Sicilia, Toscana	Maggior parte dei comuni con numero di Gradi-Giorno	fino a 2100
Media	<i>E</i>	Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lombardia, Marche, Molise, Piemonte, Umbria, Veneto		da 2100 a 3000
Alpina	<i>F</i>	Trentino Alto Adige, Valle d'Aosta		più di 3000

In Italia, quasi la metà degli edifici residenziali è localizzata nelle zone climatiche E ed F (sopra i 2100 Gradi-Giorno, Figura 2.1). Il 26% degli edifici residenziali è stato costruito prima della Seconda Guerra Mondiale; circa un 60% è stato costruito tra il 1945 e il 1990, mentre solo il restante 14% è stato edificato nel periodo successivo al 1991 (Figura 2.2). In Figura 2.3 è riportata la distribuzione degli edifici residenziali per periodo di costruzione, per ciascuna zona climatica.



Figura 2.1. Edifici residenziali per zona climatica italiana (Fonte dati: EPISCOPE [28]).

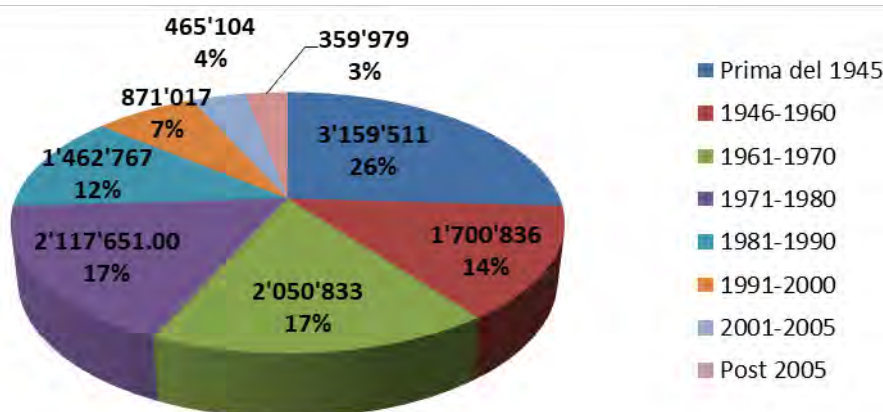


Figura 2.2. Edifici residenziali per periodo di costruzione (Fonte dati: EPISCOPE [28]).

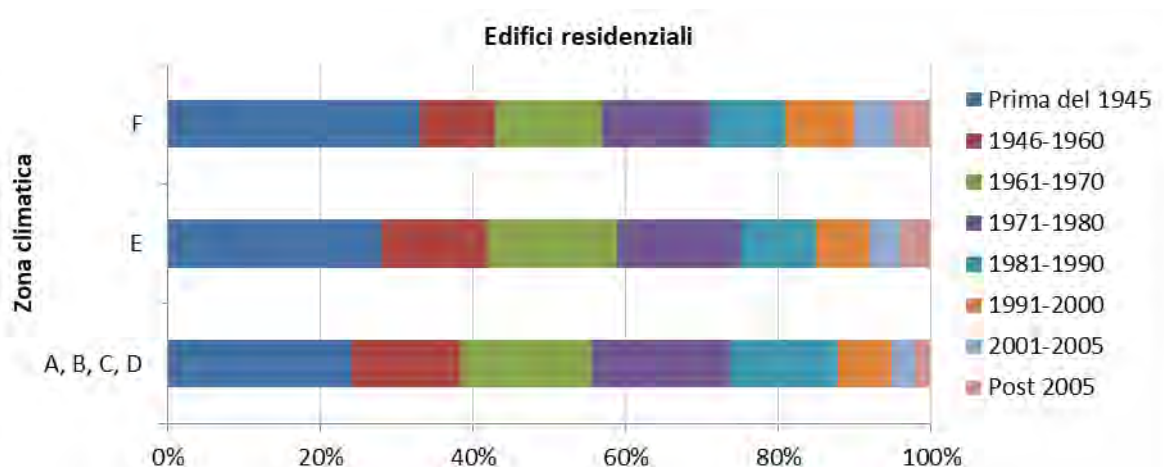


Figura 2.3. Distribuzione degli edifici residenziali per periodo di costruzione, per zona climatica (Fonte dati: EPISCOPE [28]).

In riferimento alla dimensione degli edifici residenziali, intesa come numero di appartamenti di cui sono composti, a livello nazionale il 21% è costituito da edifici monofamiliari, il 33% è composto da 2 - 4 appartamenti, il 26% da medi condomini (5 - 15 appartamenti), mentre il 19% da grandi condomini (più di 16 appartamenti) [28].

La trasmittanza termica dei componenti di involucro si è notevolmente ridotta negli anni, con valori medi di circa 2.8 W/m²K prima del 1945 e di 1.8 W/m²K tra il 2000 e il 2010. In particolare, da prima del 1945 al 2014 (anno a cui si riferisce il dato fornito da [52]), la conducibilità termica dei muri perimetrali esterni e dei pavimenti si è ridotta rispettivamente del 77% e del 78%, quella delle coperture dell'85% e per quanto riguarda i serramenti tale riduzione è pari al 52%. Ulteriori dettagli sono osservabili in Figura 2.4.

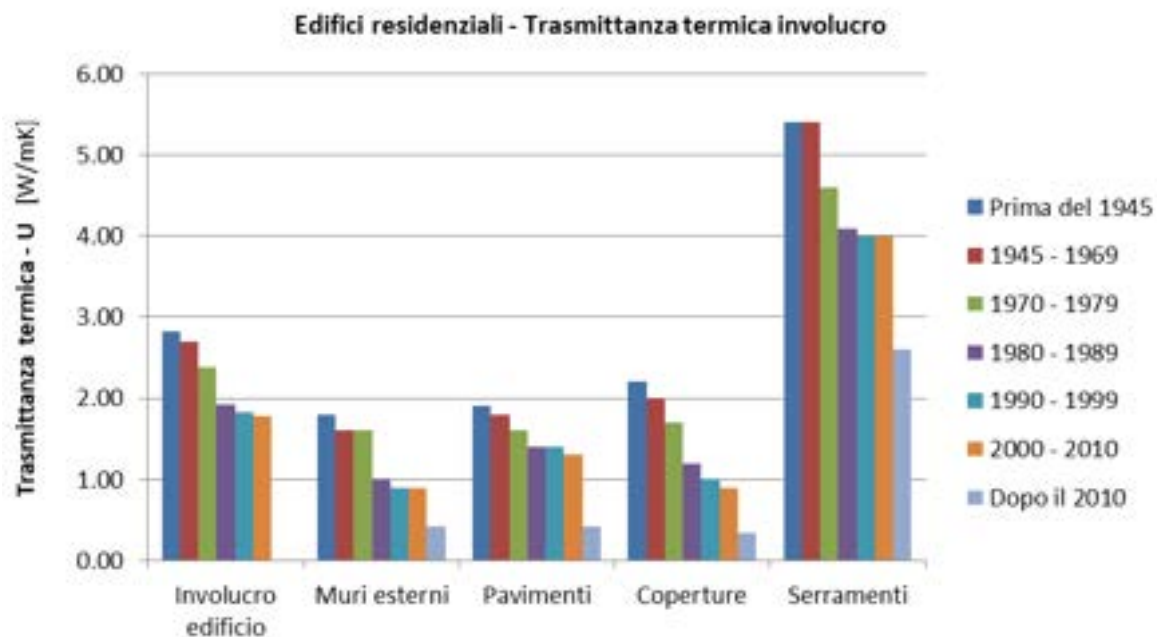


Figura 2.4. Trasmittanza termica involucro degli edifici residenziali, per periodo di costruzione (Fonte dati: Eu-building-database/EEAP2014 [52]).

Facendo un focus sulla Regione Piemonte (zona climatica E), è possibile notare che circa il 60% (relativo alla superficie utile di pavimento) degli edifici progettati e costruiti appena prima del 1991 (e quindi prima della Legge 10/1991), ha una trasmittanza termica dell'involucro opaco maggiore di $1.04 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Figura 2.5), in analogia con quanto osservato sul territorio nazionale (Figura 2.4).

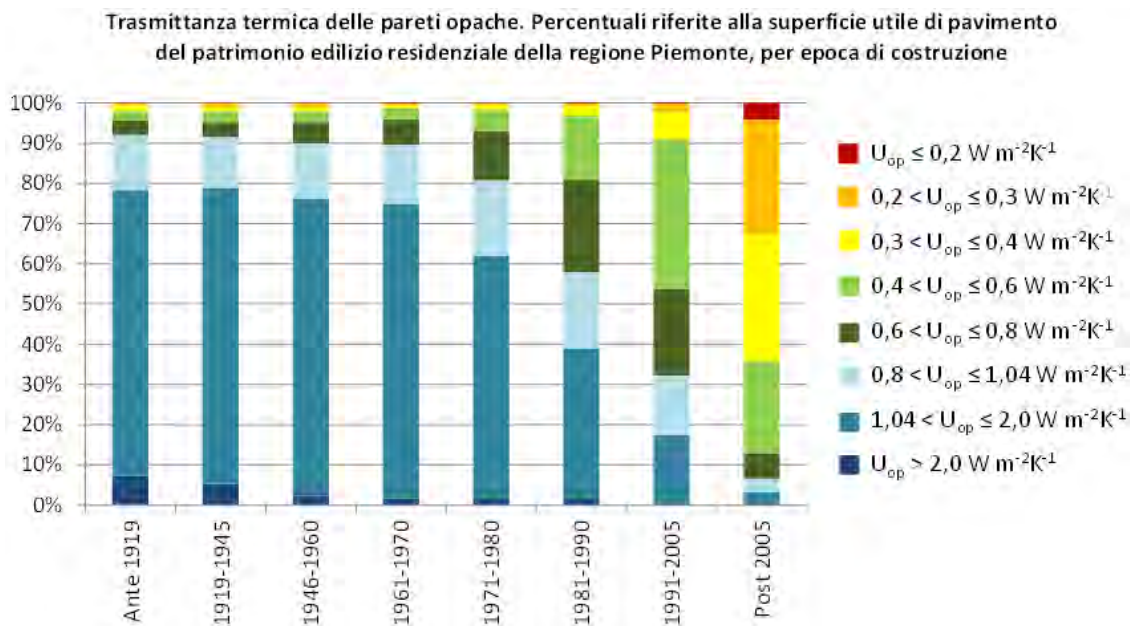


Figura 2.5. Regione Piemonte - Trasmittanza termica involucro opaco degli edifici residenziali, per periodo di costruzione (Fonte: EPISCOPE [28]).

Per quanto riguarda i serramenti invece, in Piemonte, già al 1990 circa il 75% (relativo alla superficie utile di pavimento) degli edifici residenziali erano provvisti di infissi con valori di trasmittanza termica compresa tra i 3.8 e i 2.2 W/m²K (Figura 2.6), contro un valore medio nazionale pari a circa 4 W/m²K (Figura 2.4).

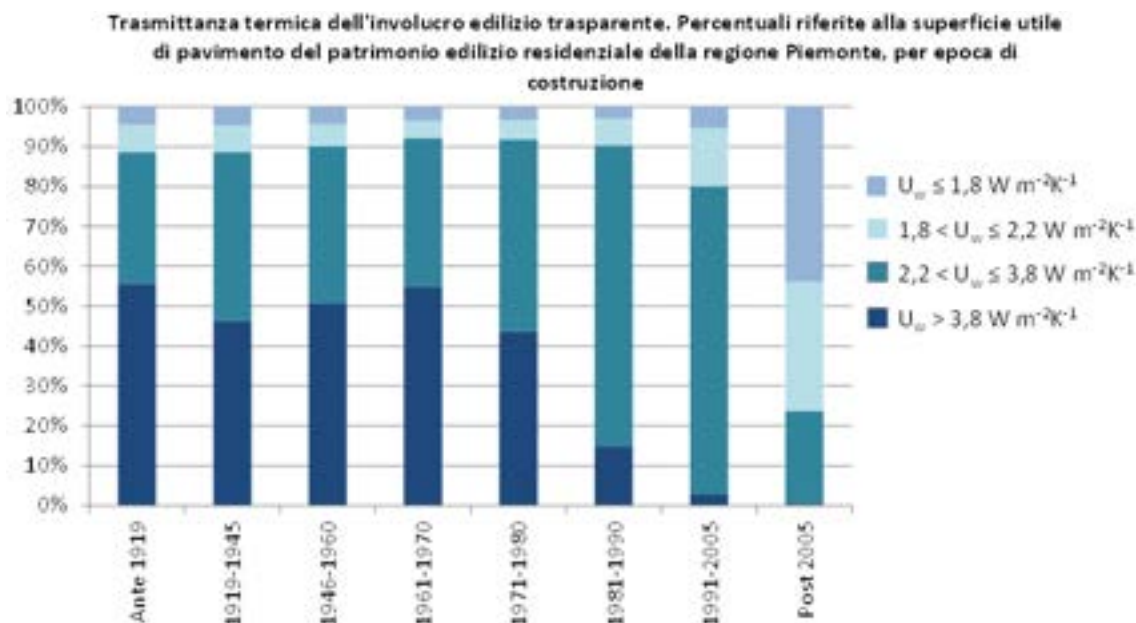


Figura 2.6. Regione Piemonte - Trasmittanza termica involucro trasparente degli edifici residenziali, per periodo di costruzione (Fonte: EPISCOPE [28]).

Per quanto riguarda le tipologie di impianto di riscaldamento e produzione di Acqua Calda Sanitaria, lo 0.6% delle abitazioni esistenti con persone residenti è dotato del solo impianto di riscaldamento, circa il 75% ha un impianto unico per riscaldamento e produzione di ACS, mentre il restante 25% circa è provvisto di impianti di generazione separati (Tabella 2.2 [28]). Il principale metodo di produzione dell'ACS, quando ottenuta con un impianto separato da quello del riscaldamento, è quello che utilizza l'energia elettrica (42% circa), mentre l'impiego di energia solare ne copre circa il 6% della produzione totale (Tabella 2.2 [28]).

Tabella 2.2. Tipologia impianto di generazione ACS (Fonte: EPISCOPE [28]).

ZONA CLIMATICA	Solo riscaldamento	Riscaldamento + ACS stesso impianto	Riscaldamento + ACS impianti diversi	Riscaldamento + ACS impianti diversi		
				ACS da energia elettrica	ACS da energia solare	ACS da un altro tipo di impianto
Mediterranea (A, B, C, D)	0.7%	71.1%	28.2%	54.3%	4.1%	41.6%
Media (E)	0.6%	78.1%	21.4%	27.3%	7.0%	65.7%
Alpina (F)	1.0%	77.8%	21.2%	30.4%	30.4%	39.3%
TOTALE	0.6%	74.8%	24.5%	41.7%	5.9%	52.4%

La tipologia di impianto di riscaldamento più frequente sul territorio nazionale è di tipo autonomo (61% circa delle abitazioni), seguito da impianti centralizzati (19%) e apparecchi singoli fissi solo in alcuni ambienti (13%), come osservabile in Tabella 2.3 [28].

Tabella 2.3. Tipologia impianto di generazione per riscaldamento (Fonte: EPISCOPE [28]).

ZONA CLIMATICA	Impianto centralizzato (più abitazioni)	Impianto autonomo (singola abitazione)	Apparecchi singoli fissi (intera abitazione, o la maggior parte di essa)	Apparecchi singoli fissi (alcune parti dell'abitazione)
Mediterranea (A, B, C, D)	14.7%	61.6%	10.3%	13.4%
Media (E)	21.5%	60.7%	6.4%	11.4%
Alpina (F)	35.3%	36.4%	8.9%	19.5%
TOTALE	18.8%	60.5%	8.2%	12.5%

Analogamente a quanto osservato per la zona climatica E, nella Regione Piemonte circa il 60%(relativo alla superficie utile di pavimento) degli edifici residenziali sono attualmente dotati di impianti di riscaldamento di tipo autonomo (Figura 2.7).

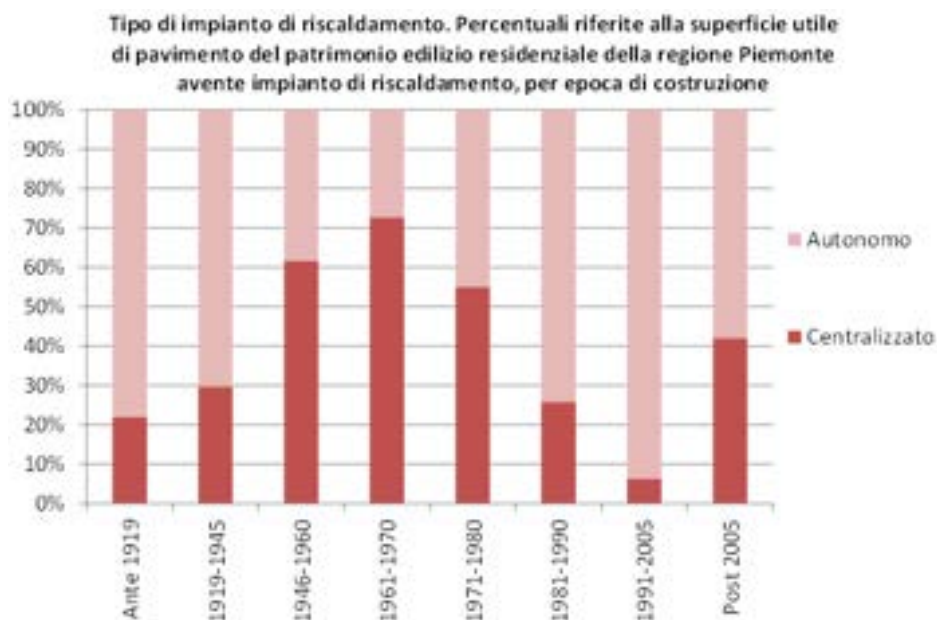


Figura 2.7. Regione Piemonte - Tipologia di impianto di riscaldamento degli edifici residenziali, per periodo di costruzione (Fonte: EPISCOPE [28]).

Dalla Tabella 2.4 [28], si può notare che il gas metano è la sorgente maggiormente utilizzata negli impianti di riscaldamento (69%), seguito da combustibili solidi (14%) ed energia elettrica (5%, pari a circa l'utilizzo di gasolio e GPL).

Tabella 2.4. Tipologia sorgenti per impianto di riscaldamento (Fonte: EPISCOPE [28]).

ZONA CLIMATICA	Metano, gas naturale	Gasolio	GPL (Gas Petrolio Liquefatto)	Combustibile solido (legna, carbone, ecc.)	Olio combustibile	Energia elettrica	Altro combustibile o energia
Mediterranea (A, B, C, D)	64.1%	4.7%	6.5%	15.1%	0.1%	8.0%	1.6%
Media (E)	73.9%	4.7%	3.0%	12.9%	0.1%	3.0%	2.4%
Alpina (F)	43.0%	16.4%	3.9%	28.9%	1.2%	1.5%	5.1%
TOTALE	68.7%	4.9%	4.6%	14.3%	0.1%	5.2%	2.1%

2.1.1 Social housing in Italia, Piemonte e Torino

In Italia, la popolazione a forte rischio povertà sfiora il 44% (dati Eurostat 2015 [50]), contro il 24% medio europeo, il che le conferisce il nono posto tra le nazioni più povere in Europa (oltre al sesto posto per disagio abitativo, che interessa quasi il 10% della popolazione [50]).

In tali condizioni si rendono fondamentali delle adeguate politiche sociali per la casa, altrimenti definite come politiche di *Social Housing*. Attualmente non esiste a livello europeo una definizione ufficiale di Social Housing. Secondo la definizione del CECHODAS (European Federation of Public, Cooperative & Social Housing), con *Social Housing* si intendono quelle “soluzioni abitative per quei nuclei familiari i cui bisogni non possono essere soddisfatti alle condizioni di mercato e per le quali esistono regole di assegnazione” [53]. Tale definizione può essere completata con quanto espresso nel 2010 dalla Commissione Europea, relativa allo scopo dell’edilizia sociale: “lo sviluppo, la locazione/vendita e manutenzione di abitazioni a prezzi accessibili e la loro assegnazione e gestione, compresa eventualmente la gestione dei complessi residenziali e quartieri; [...] può comprendere servizi di assistenza coinvolti in programmi di edilizia abitativa o di risistemazione di gruppi specifici o di gestione del debito di famiglie a basso reddito”. Di conseguenza, ogni nazione europea ha elaborato un modello di edilizia sociale che rispondesse al meglio alle proprie necessità e possibilità. In particolare, il modello italiano si basa sulla realizzazione di contratti di locazione convenzionata o agevolata, in funzione della condizione reddituale del nucleo familiare beneficiario. Si parla in questo caso di modello *targeted* (gli obiettivi delle politiche abitative individuati devono essere perseguiti principalmente basandosi sulle capacità del mercato, mentre sono da intendersi beneficiari di *Social Housing* solo quelle famiglie che in condizioni di mercato non possono permettersi un’abitazione dignitosa) e *generalista* (l’assegnazione degli alloggi interessa le famiglie che sono al di sotto di un certo reddito, tali famiglie possono avere diritto ad un’indennità abitativa che copra parte dell’affitto, il quale ha comunque un livello massimo fissato).

Le prime significative politiche italiane per l’edilizia residenziale pubblica risalgono al 1938 (“Testo unico delle disposizioni dell’edilizia popolare ed economica”). Nel 1949 (Legge Fanfani) è stato poi istituito il “Piano Ina - Casa” (costruzione di nuove case per i lavoratori finanziate tramite un sistema misto Stato, datori di lavoro e lavoratori), in seguito evoluto nel “Fondo GESCAL” - Gestione Case per i Lavoratori (1963). Negli anni ‘70 le GESCAL vengono soppresse, viene istituita l’“Edilizia Residenziale Pubblica” - ERP, e viene trasferite rispettivamente a Regioni e Comuni la gestione e l’assegnazione degli alloggi in locazione. Vista la difficoltà dell’ERP a soddisfare la sempre crescente domanda di edilizia sociale (incremento del 283% di richieste dal 1993 al 2008 [29]), nel 2008 è stato introdotto il “Piano Casa”, il quale prevedeva nuove forme di integrazione di capitali pubblici e privati per la realizzazione di nuove abitazioni e/o la valorizzazione di quelle esistenti (individuando tra i criteri progettuali anche quello dell’efficienza energetica degli alloggi). A seguito di questo piano, nel 2011 i contratti di locazione a prezzo calmierato o a titolo gratuito hanno raggiunto il 12% degli appartamenti esistenti (a fronte del 15% relativo ai contratti di locazione a prezzo di mercato, del 73% di appartamenti di proprietà del 17% di appartamenti con un finanziamento in corso) [50]. Nel 2014 il “Piano Casa” è stato revisionato, in modo tale da sostenere e rilanciare ulteriormente l’offerta di ERP.



Figura 2.8. Titolo di possesso appartamenti(Fonte dati: Eurostat 2011 [50]).

La ripartizione delle risorse tra le varie regioni italiane è definita secondo gli accordi di programma (2008 - 2009), i quali stabiliscono anche dei target di previsione relativi alla quantità di alloggi da realizzare o

ristrutturare. Nello specifico, alla Regione Piemonte è stato assegnato l'8.7% delle risorse statali, le quali si prevede vengano utilizzate per la realizzazione di 318 nuovi appartamenti e la ristrutturazione di 415, per un totale di 733 nuove soluzioni abitative suddivise secondo i seguenti usi:

- locazione permanente: 129 unità;
- locazione temporanea (≥ 25 anni): 217 unità;
- locazione temporanea (≥ 10 anni): 53 unità;
- edilizia libera: 334 unità [29].

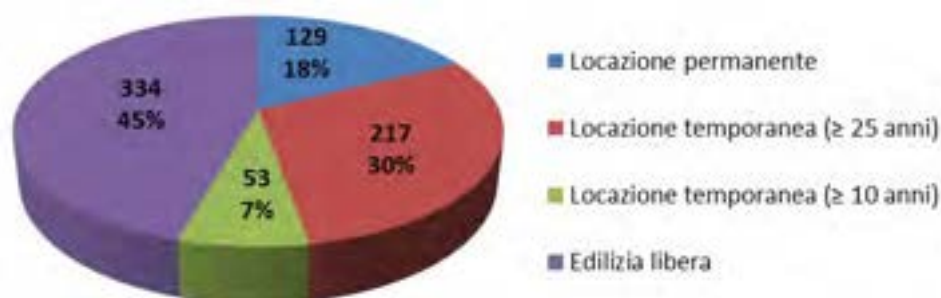


Figura 2.9. Tipologia uso soluzioni abitative definite negli accordi di programma 2008 - 2009 della Regione Piemonte(Fonte dati: [29]).

La Regione Piemonte ha inoltre varato nel 2006 il “Programma casa: 10'000 alloggi entro il 2012”, il quale prevede l'individuazione di 10'000 alloggi destinati ad edilizia sociale (nuovi e recuperati) entro il 2012.

Riducendo ulteriormente la scala di analisi, il Comune di Torino ha istituito dal 2001 un'Immobiliare Sociale Comunale, chiamata Lo.C.A.Re. (Locazioni Convenzionate Assistite Residenziali), con lo scopo di intervenire nel mercato privato delle locazioni per mediare tra domanda e offerta, fornendo consulenza sia a proprietari che a famiglie in disagio abitativo. Oltre a questa attività basata su rapporti diretti con i privati, dal 2004 ha avuto periodica disponibilità anche di alloggi pubblici o appartenenti all'Agenzia Territoriale per la Casa - ATC (ente pubblico non economico, ausiliario della Regione Piemonte, che ha il compito di costruire e gestire alloggi di edilizia popolare), riservati a locazioni convenzionate di lunga durata. Nello specifico, tra il 2004 e il 2016 ha avuto a disposizione 373 abitazioni, delle quali 290 a gestione ATC (135 proprietà Comune di Torino e gestione ATC, 155 sia proprietà che gestione ATC) e altre 74 alloggi gestiti direttamente dalla Direzione Edifici Municipali, Patrimonio e Verde - Area Patrimonio - Servizio - Contratti Attivi - Associazioni) [30].

Le cifre principali relative alle politiche pubbliche del capoluogo piemontese, al 2016, sono [30]:

- 17.771 appartamenti di *social housing*;
- 16.040 domande di assegnazione della casa popolare presentate con l'ultimo bando (più che raddoppiate rispetto al 2004);
- 892 le domande di emergenza abitativa (riduzione di circa il 13% rispetto al 2011);
- 402 alloggi sociali assegnati, dei quali il 48% tramite bando, il 28% a seguito di segnalazione dei Servizi Socio-Assistenziali e il 24% per condizioni di emergenza abitativa;
- 381 alloggi affittati tramite Lo.C.A.Re. (con una locazione media mensile di 329 €);

Di seguito sono riportati tre grafici (Figura 2.10, Figura 2.11 e Figura 2.12) che meglio caratterizzano il patrimonio di edilizia sociale disponibile a Torino:

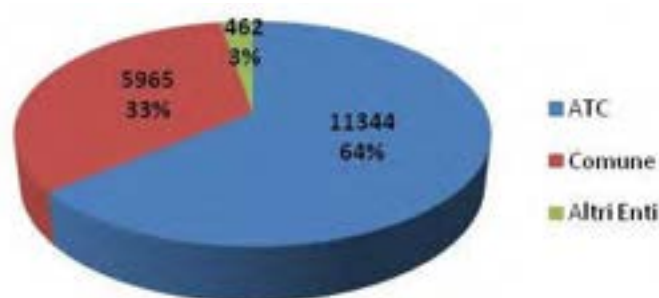


Figura 2.10. Proprietà e gestione degli alloggi di edilizia sociale torinese(Fonte dati: [29]).

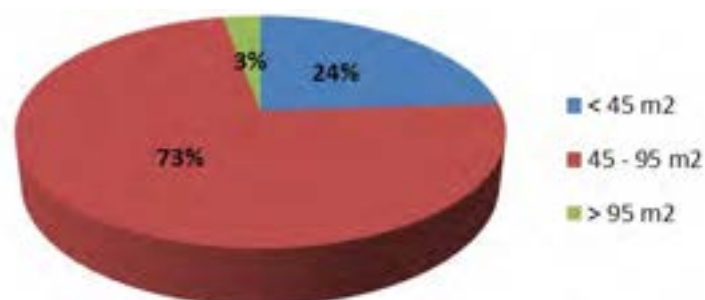


Figura 2.11. Dimensione degli alloggi di edilizia sociale disponibili a Torino(Fonte dati: [29]).

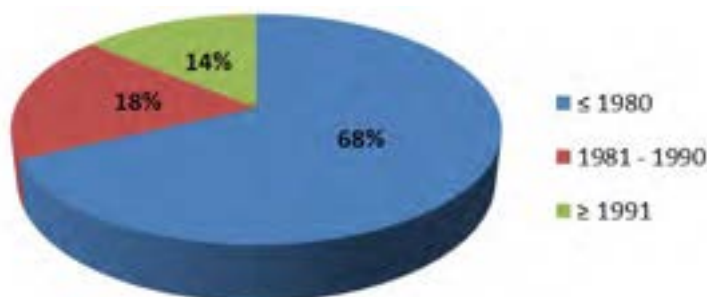


Figura 2.12. Epoca di costruzione degli alloggi di edilizia sociale disponibili a Torino(Fonte dati: [29]).

2.2 Strategie di intervento sugli edifici residenziali esistenti verso il target nZEB

Un'ipotesi di strategia di intervento per incrementare gli edifici ad energia quasi zero (nZEB) è riportata nell'Allegato 2 del Piano d'Azione Nazionale (di seguito denominato PANZEB [32]), oltre che nel PAEE 2017 [31]. In Tabella 2.5 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 residenziali si è tenuto conto delle valutazioni ISTAT 2011 e CRESME in riferimento ai trend del mercato negli ultimi anni. È possibile stimare che, fino al 2020, si realizzeranno ogni anno riqualificazioni energetiche su circa 11.2 milioni di m²(circa lo 0.5% degli edifici esistenti), delle quali circa il 35% saranno relativi a edifici plurifamiliari e circa il 65% a edifici monofamiliari. In particolare, è presumibile che circa l'1% di tali riqualificazioni avranno l'obiettivo di rendere nZEB gli edifici interessati [32].

Tabella 2.5. Previsione di riqualificazione di edifici residenziali in nZEB e conseguenti risparmi energetici al 2020 (Fonte: [31],[32]).

Edifici residenziali		Superficie totale	Superficie annua da riqualificare in nZEB (percentuale ipotizzata 1%)	Risparmio specifico rispetto a edifici dotati dei requisiti vigenti	Superficie edifici NZEB che produce risparmio nel periodo 2015-2020*	Stima Risparmi al 2020
Tipologia	Zona climatica	m ²	m ² /anno	kWh/m ² anno	m ²	TEP
Monofamiliari	A - B- C	1'469'000	14'0690	7	88'140	183
	D	2'203'000	22'030	14	132'180	549
	E - F	3'672'000	36'720	21	220'320	1'373
Sub Totale		7'344'000	73'440		440'640	2'104
Plurifamiliari	A - B- C	791'000	7'910	6	47'460	81
	D	1'186'000	11'860	11	71'160	243
	E - F	1'938'000	19'380	17	116'280	595
Sub Totale		3'915'000	39'150		124'900	919
TOTALE		11'259'000	112'590		675'540	3'024

(*) Valore cumulato per le annualità dal 2015 al 2020

La Regione Piemonte è attualmente molto attiva nel campo della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente. In particolare, nel 2013 ne ha approvato il Programma Operativo Regionale, denominato "POR FESR 2014 - 2020" in materia di "riduzione dei consumi energetici negli edifici e nelle strutture pubbliche o ad uso pubblico, residenziali e non residenziali e integrazione di fonti rinnovabili" [54]. Tra i diversi obiettivi del progetto, spicca il voler dimostrare la fattibilità tecnica ed economica di interventi di riqualificazione profonda degli edifici esistenti, anche attraverso la realizzazione di interventi-pilota, incentivando il raggiungimento dei *target* nZEB, ed esplorando eventualmente la possibilità di ottenere edifici ad energia attiva.

2.3 Individuazione del caso studio

L'edificio oggetto del presente studio è un edificio di edilizia popolare localizzato nella periferia di Torino, in zona climatica E ($2100 < GG \leq 3000$), costruito tra la fine degli anni Ottanta e l'inizio degli anni Novanta.

Tale edificio è stato selezionato in quanto emblematico di un gran numero di edifici che, per quanto costruiti dopo la prima legge sul risparmio energetico (Legge 10/1991), presentano criticità dal punto di vista termigrometrico (non uniformità e discontinuità dello strato isolante, ad esempio in corrispondenza di solai, setti e pilastri, problemi di muffe in corrispondenza dei ponti termici, ecc.). Oltre questi aspetti, l'edificio rappresenta più del 60% delle abitazioni nazionali in zona climatica E per quanto riguarda l'utilizzo dell'impianto termico autonomo (Tabella 2.3), e rientra nei dati statistici presentati in Figura 2.10 e Figura 2.11 (gestione ATC e appartamenti di superficie circa compresa tra i 45 e i 95 m²).

Non essendo stato oggetto di importanti interventi di riqualificazione energetica nel corso degli anni (fatta eccezione per la sostituzione delle caldaie tra il 2007 e il 2008), il caso studio scelto si presta a proposte di interventi di retrofit, con l'intento di trasformare l'edificio in un edificio ad energia quasi zero, nel rispetto dei requisiti minimi previsti dal D.M. 26 giugno 2015 [1] (ristrutturazione importante di I livello).

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*.

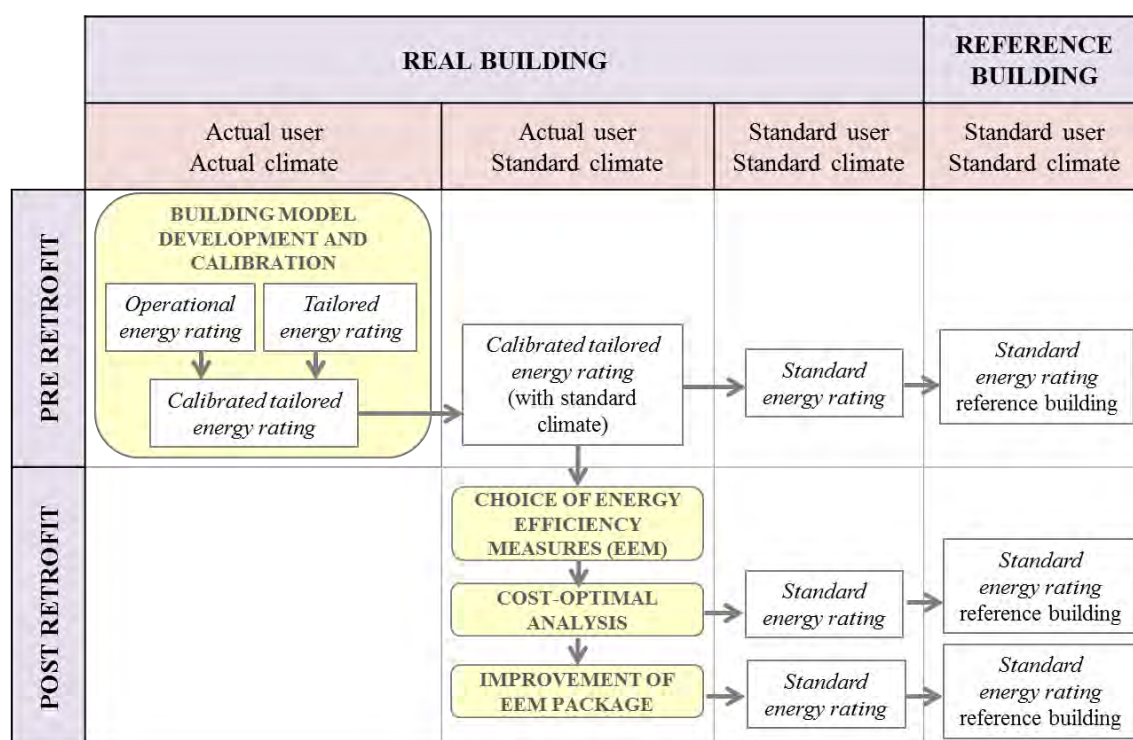


Figura 3.1. Procedura di diagnosi energetica [33].

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 UNI EN ISO 52003-1 [13]. Attraverso il confronto dei risultati delle due valutazioni viene effettuata la calibrazione del modello.

L'*operational energy rating* è relativo all'analisi dei dati sui consumi energetici annuali dell'edificio, che, se disponibili, sono riferiti solitamente alle tre stagioni di riscaldamento più recenti. La valutazione *tailored*, prevede il calcolo della prestazione energetica attesa dell'edificio, applicando i dati climatici reali misurati, e il comportamento reale dell'utenza dell'edificio. Si operano opportuni aggiustamenti del modello di calcolo, in modo tale da calibrare il modello ed ottenere risultati quanto più vicini al consumo reale dell'edificio. La calibrazione e la verifica della sua accuratezza (tramite indici statistici) è condotta secondo le indicazioni fornite dall'ASHRAE "Guideline 14 - Measurement of Energy, Demand, and Water Savings" [41].

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

Nella fase di *post-retrofit* sono incluse le analisi energetiche ed economiche volte allo studio dell'effetto di possibili misure di efficienza energetica finalizzate alla 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 economicamente ottimali, 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 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

Il calcolo della prestazione energetica dell'edificio, necessario per lo sviluppo della procedura di diagnosi, è stato effettuato con l'algoritmo di simulazione dinamica dettagliata *EnergyPlus* [46]. La modellazione del sistema fabbricato-impianto e dell'utenza è stata condotta con il software *DesignBuilder*, versione 5.0 [47].

La verifica dei requisiti minimi di prestazione energetica a livello nazionale è stata condotta 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):

$$E_{P,gl,tot} = E_{P,H,tot} + E_{P,C,tot} + E_{P,W,tot} + E_{P,V,tot} + E_{P,L,tot} + E_{P,T,tot} \quad 1$$

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.

Essendo l'edificio ad uso residenziale, i contributi di energia primaria effettivamente valutati sono riferiti alla climatizzazione invernale, estiva e alla produzione di acqua calda sanitaria (se effettivamente presenti nell'edificio).

Gli indici di prestazione energetica EP sono valutati in kWh/m² anno e rappresentano il fabbisogno di energia primaria diviso per la superficie netta climatizzata dell'edificio:

$$EP = \frac{E_P}{A} \quad 2$$

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

$$RER = \frac{EP_{ren}}{EP_{tot}} \quad 3$$

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 complessivo di energia primaria;
- emissioni di CO₂.

Sono stati valutati i servizi energetici presenti nell'edificio, ossia climatizzazione invernale e ACS, escludendo quelli non presenti (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 dell'Agenzia Territoriale per la Casa di Torino (ATC Piemonte Centrale), come descritto successivamente nelle Sezioni 4.1.2 e 4.1.3. Mediante questionari sottoposti all'utenza 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) [58].

3.1.2 L'analisi costi-benefici

La valutazione economica si basa sul calcolo del costo globale, come specificato dalla norma UNI EN 15459 [14]. 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*. L'algoritmo NSGA-II (*Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm*) è stato introdotto nel 2000 da K. Deb [37]. Esso rappresenta una revisione evoluta di NSGA, in cui viene utilizzato l'elitismo abbinato alla *crowding distance* (una nuova metodologia di mantenimento della diversità). In NSGA-II viene utilizzata una classificazione delle soluzioni secondo un ordine di dominanza (livello o fronte). Le soluzioni non-dominate all'interno di tutta la popolazione avranno *rank 1*. Le soluzioni non-dominate 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 [38].

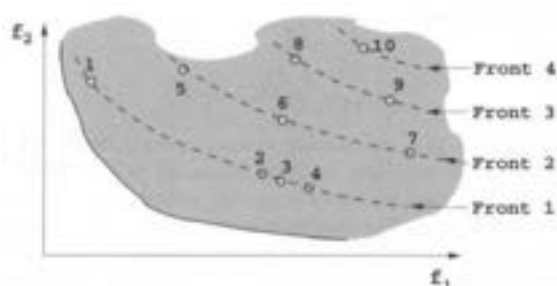


Figura 3.2. Esempio di ordinamento in NSGA-II (Fonte ENEA [38]).

3.1.3 La definizione di soluzioni nZEB

I requisiti di edificio ad energia quasi zero (nZEB: *nearlyZero 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/m²K]
$A_{sol,est}/A_{sup,utile}$	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/m²]
$EP_{C,nd}$	Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	$EP_{C,nd} < EP_{C,nd,limite} (2019,2021)^2$	[kWh/m²]
$EP_{gl,tot}$	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/m²]
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 · 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/m^2 sia inferiore a quello determinato con la metodologia *cost-optimal* [39] (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 3.1e 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).

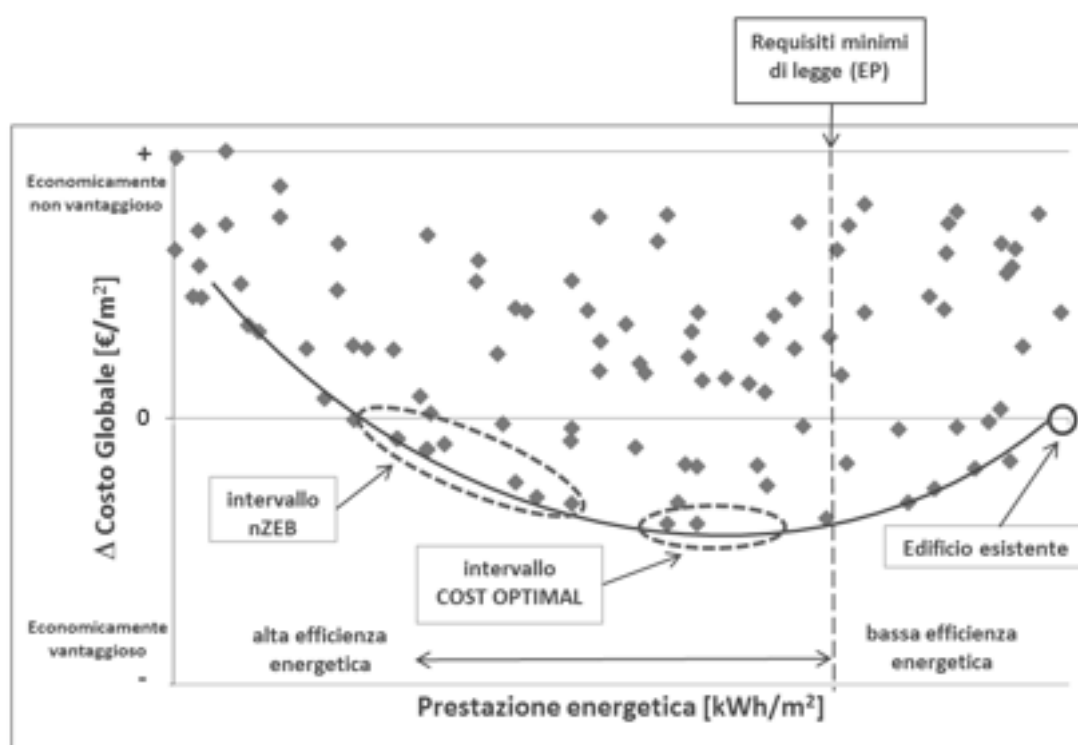


Figura 3.3. Relazione tra costo globale e prestazione energetica [34],[35].

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 (l'edificio esistente è assunto come base di riferimento);
- a seguito della ristrutturazione, la prestazione energetica migliora (l' EP si riduce), mentre, per gli interventi che sono economicamente convenienti, il differenziale di costo globale è negativo;
- il livello ottimale in funzione dei costi coincide il livello di prestazione energetica della soluzione avente 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.

- 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 [9], 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[9]).

Vettore energetico	Fattore di conversione in energia primaria			Fattore di produzione di CO_2 [g/kWh] <i>K</i>
	Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale	
	$f_{P,nren}$	$f_{P,ren}$	$f_{P,tot}$	
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 4%;
- costi di energia elettrica e gas naturale forniti dall'Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il sistema idrico (AEEG);
- 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

Nei presenti paragrafi 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 (2017 e 2018), in relazione ai rispettivi dati climatici.

La documentazione fornita da ATC 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

L'edificio scelto come caso studio è sito nella periferia nord di Pianezza (a nord - ovest di Torino), in prossimità del comune di Sangano (Figura 4.1).



Figura 4.1. Inquadramento territoriale (da Google Maps).

L'edificio è composto da due corpi di fabbrica, identici e speculari, costituiti ciascuno da 6 piani fuori terra. L'edificio è orientato rispetto all'asse nord-sud, con un'inclinazione di 13° verso sud - ovest. Il lotto su cui sorgono gli edifici è rivolto verso nord e verso est su due ampie vie, mentre a sud e ovest è circondato da giardini (Figura 4.2). Siccome i due edifici sono uguali, si è deciso di analizzare solo il lotto A, ovvero quello esposto a ovest (Figura 4.2).

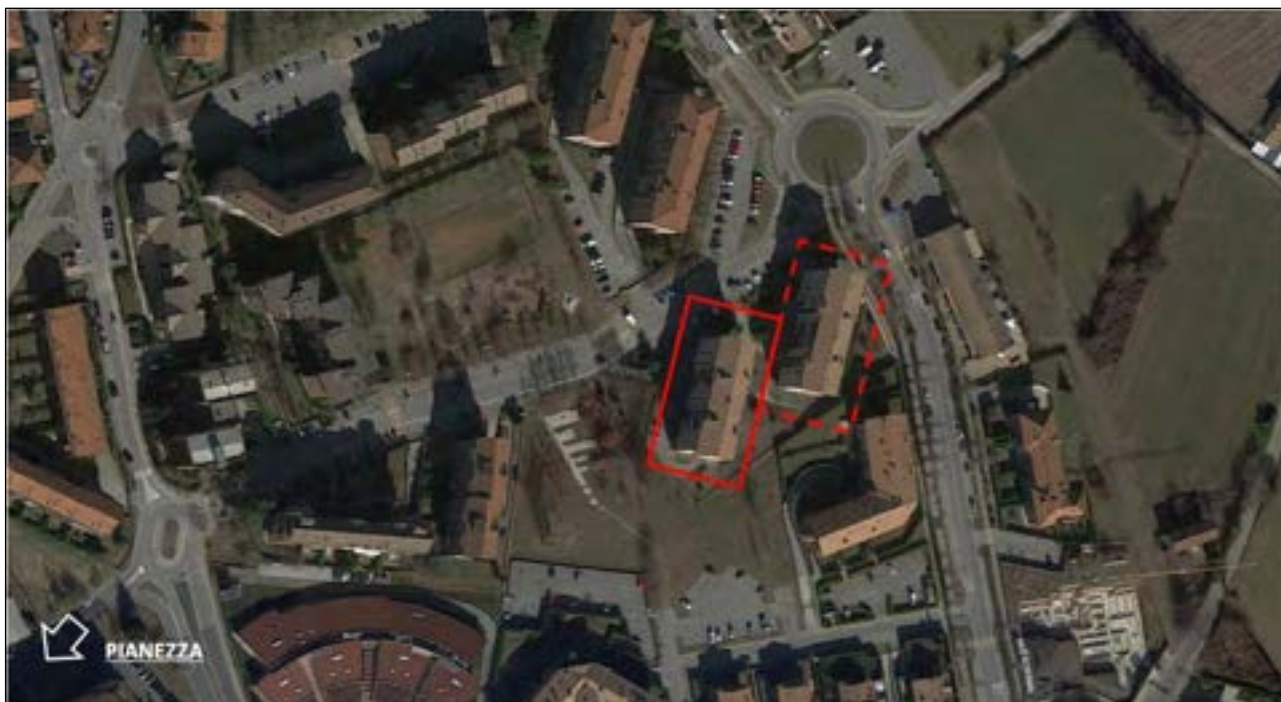


Figura 4.2. Vista dall'alto dell'isolato con individuazione degli edifici (elaborazione da *Google Maps*).



Figura 4.3. Viste 3d dell'inserimento dell'edificio nel contesto (elaborazione da *Google Maps*).

Il contesto in cui è inserito l'edificio è caratterizzato dalla presenza di prati e bassi edifici prevalentemente a destinazione residenziale o misto terziario/residenziale. Gli edifici posti ad est e sud sono composti rispettivamente da uno e da tre piani fuori terra (altezza inferiore rispetto al caso studio), mentre gli edifici posti a nord sono del tutto analoghi agli edifici analizzati (6 piani fuori terra). Di conseguenza, l'edificio

oggetto di studio risulta generalmente poco ombreggiato, se non per l'effetto del lotto B del caso studio. La Figura 4.3 mostra l'inserimento del fabbricato nel contesto.

4.1.2 Fabbricato

L'edificio, costruito nei primi anni '90, è caratterizzato da una struttura portante in pilastri in calcestruzzo armato e tamponamenti in cassavuota, nella quale è stato inserito uno strato di 4 cm isolamento termico, e con strato esterno di mattoni rifiniti a faccia vista (Figura 4.4).



Figura 4.4. Facciate edificio. a) Lotto A - Est; b) Lotto A - Nord; c) Lotto A - Ovest; d) Lotto A - Sud.

L'edificio è costituito da sei piani fuori terra, dei quali il primo non è abitato ed è adibito ad ingresso, più un piano sottotetto non abitabile. Non esiste piano interrato, in quanto le cantine sono collocate al piano terreno. Il solaio inferiore dell'edificio è controterra, mentre parte del solaio tra primo e secondo piano fuori terra è esposto all'ambiente esterno (solaio a sbalzo).

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	5'967
Superficie netta di pavimento	A_f	m^2	2'166
Superficie dell'involucro disperdente	A_e	m^2	1'966
Superficie dell'involucro finestrato	A_w	m^2	247
Rapporto di forma	S/V	m^{-1}	0.33

Durante i sopralluoghi sono stati rilevati i componenti di involucro opaco e trasparente. Per la caratterizzazione dei componenti dell'involucro si è fatto riferimento al capitolato di progetto (del quale uno stralcio è riportato nell'Allegato A). 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 [15], UNI 10355 [16], UNI EN ISO 10456 [17], UNI EN ISO 13786 [18] e UNI EN ISO 6946 [19]). Le principali caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi opachi sono riportate in Tabella 4.2, Tabella 4.3 e Tabella 4.4.

Le pareti perimetrali esterne del piano tipo, di spessore complessivo pari a 30 cm, sono costituite da muratura a cassa vuota in laterizio, intonacate internamente, con intercapedine d'aria parzialmente isolata tramite polistirene espanso - EPS, con strato esterno di mattoni rifiniti a faccia vista. Le pareti perimetrali del piano terra sono invece realizzati tramite blocchi di calcestruzzo intonacati da entrambi i lati interno ed esterno, per uno spessore totale di 22 cm. Le pareti che ospitano i cassonetti delle persiane avvolgibili hanno uno spessore ridotto al solo strato di mattoni esterno (al quale si aggiunge il contributo del cassonetto). In Tabella 4.2 sono riportate le caratteristiche termofisiche dei componenti opachi verticali (partizioni interne comprese). Nello specifico, le pareti verticali interne verso il vano scala non isolato prevedono la presenza di uno strato isolante al loro interno, di spessore 4 cm.

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	K_e	K_i	Y_{ie}
		[m]	$[W/m^2K]$	$[kJ/m^2K]$	$[kJ/m^2K]$	$[W/m^2K]$
M1	Parete Piano Tipo	0.30	0.450	65.0	57.6	0.211
M2	Parete Piano Terra	0.22	1.702	96.6	64.6	0.778
M3	Parete su vano scala	0.22	0.634	52.9	52.9	0.344
M4	Parete Interna Appartamento	0.10	2.047	39.0	39.0	1.812
M5	Cassonetto Avvolgibili	0.50	1.425	58.7	24.9	1.171

Poiché il software di simulazione non permette di modellare i ponti termici, i pilastri presenti nei muri perimetrali, nonché i setti del vano scala sporgenti in facciata, sono stati modellati separatamente, con proprie caratteristiche termo-igrometriche (Tabella 4.3), in modo tale da valutarne le discontinuità presenti in facciata.

Tabella 4.3. Caratteristiche dei pilastri perimetrali.

Codice	Descrizione	Spessore	Trasmittanza termica
		s	U_c
		[m]	[W/m ² K]
P1	Pilastro Piano Tipo su Parete Esterna	0.30	1.987
P2	Pilastro Piano Terra	0.22	3.332
P3	Pilastro Piano Tipo su Vano Scale	0.20	2.634

Gli ulteriori ponti termici presenti (finestre, solai e copertura) sono stati stimati tramite l'ausilio di un abaco dei ponti termici [36].

Per quanto riguarda i componenti opachi orizzontali, i solai disperdenti (superiore verso il sottotetto e inferiore verso il piano terra) sono tutti in laterocemento coibentati. La copertura è costituita anch'essa da una struttura in laterocemento (opportunamente impermeabilizzata), sulla quale è posato un manto di rivestimento in tegole. Il solaio contro terra è invece un solaio in calcestruzzo. In Tabella 4.4 sono riportate le caratteristiche termofisiche dei componenti opachi orizzontali.

Tabella 4.4. 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 Piano Tipo verso esterno	0.33	1.449	26.3	51.5	0.091
S2	Solaio Interpiano	0.33	1.468	57.5	65.4	0.259
S3	Solaio Piano Tipo verso Piano Terra	0.33	0.709	21.3	59.3	0.095
S4	Solaio Sottotetto	0.33	0.796	24.6	53.5	0.102
S5	Solaio Piano Terra Cantine	0.40	1.808	161.9	69.9	0.392
S6	Solaio Piano Terra Vano Scale	0.42	1.764	160.9	66.3	0.334
S7	Copertura tetto a falde	0.45	1.925	-	-	-

I serramenti presenti nel fabbricato sono composti da telaio in legno e doppio vetro (con gas argon all'interno), e sono classificabili nelle seguenti sei tipologie:

1. porta-finestra ad anta singola su balcone;
2. porta-finestra ad anta singola apribile solo nella metà superiore;
3. finestra a doppia anta;
4. finestra ad anta singola;
5. porta-finestra a doppia anta su balcone;
6. porta-finestra a doppia anta apribile solo nella metà superiore.

È inoltre presente una vetrata a tutta altezza, che rappresenta l'involucro edilizio del vano scala verso l'esterno. Essa è composta da un vetro singolo sorretto da sottili montanti metallici.

Le chiusure oscuranti sono costituite da tapparelle avvolgibili. Sono inoltre presenti schermature solari quali tende parasole sulla maggior parte dei balconi. La gestione degli elementi oscuranti (chiusure e schermature) è stata valutata tramite questionari sottoposti agli occupanti per individuare comportamenti ricorrenti.



Figura 4.5. Alcune tipologie di infissi.

In Tabella 4.5 le sette tipologie di serramenti sono state ulteriormente differenziate in base alle dimensioni e alla presenza di schermature solari.

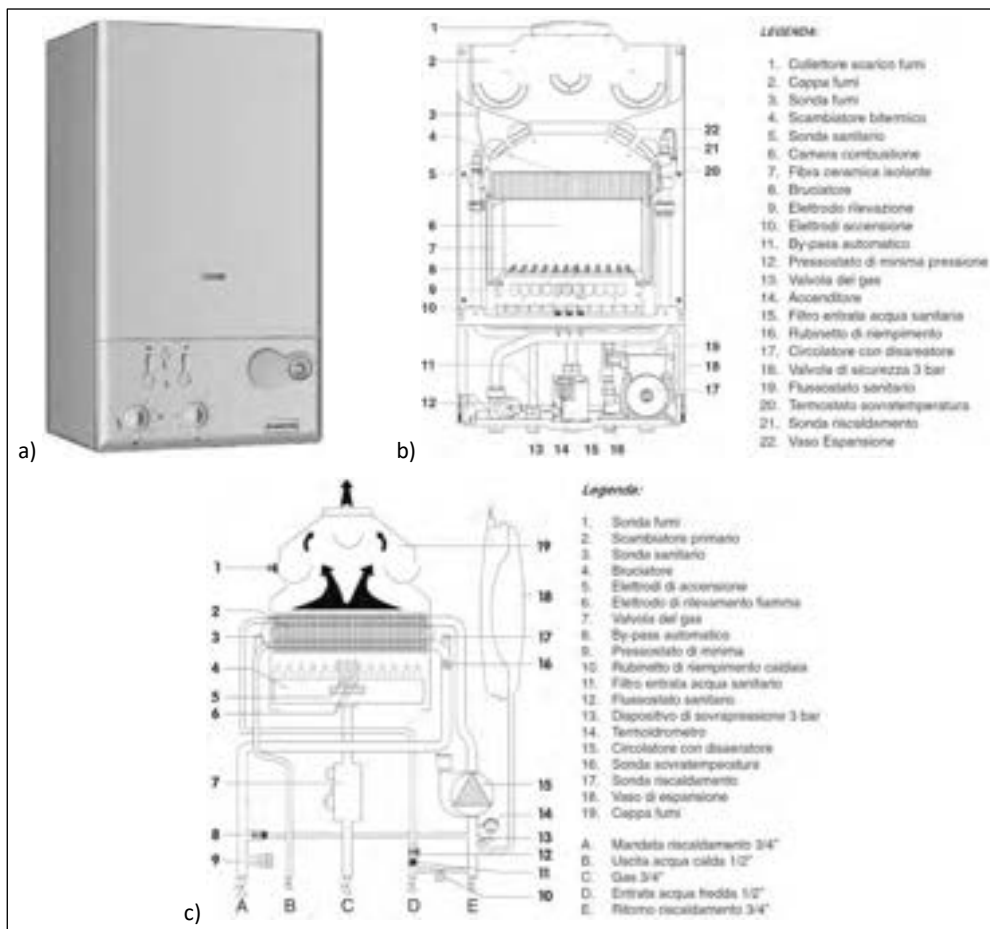
Tabella 4.5. Caratteristiche dei componenti trasparenti.

Codice	Descrizione	Schermatura solare	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)
			A	F _F	U _w	U _{w+shut}	g _{gl,n}	g _{gl+sh}
			[m ²]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[-]	[-]
PFsb_1	porta-finestra anta singola balcone	Si	2.00	0.75	3.190	2.418	0.75	0.56
PFs_2	Porta-finestra anta singola	No	2.00	0.78	3.191	2.419	0.75	-
Fd_3	Finestra doppia anta	No	1.15	0.73	3.188	2.418	0.75	-
Fs_4	Finestra anta singola	No	0.68	0.74	3.160	2.401	0.75	-
PFdb_5	Porta-finestra doppia anta balconi	Si	2.82	0.76	3.121	2.378	0.75	0.56
PFd_6	Porta-finestra doppia anta	No	2.82	0.82	3.177	2.411	0.75	-
FV_7	Vetrata vano scala	No	6.75	0.85	3.057	2.342	0.75	-

4.1.3 Impianti

Impianto di riscaldamento + Acqua Calda Sanitaria

Ogni appartamento è servito da un impianto di tipo autonomo, per la produzione combinata di riscaldamento e ACS: L'attuale impianto di riscaldamento è stato rinnovato tra il 2007 e il 2008, a seguito di un'ampia sostituzione delle caldaie a livello di condominio. Le caldaie installate sono, per la maggior parte, caldaie murali istantanee a camera aperta, tipo B11bs, con tiraggio naturale, potenza termica pari a 23 kW (modello ARISTON T2 23 MI [55], vedere scheda tecnica fornita nell'Allegato B), ed alimentate a gas metano.



Le caldaie sono installate sui balconi (installazione a muro esterno), dotate di bruciatore atmosferico e tiraggio naturale. L'evacuazione dei prodotti di combustione avviene tramite una canna fumaria collettiva posta in facciata davanti al vano scala o attraverso i balconi (Figura 4.7).



Figura 4.7. Posizioni canna fumaria collettiva.

Alle prima verifica dell'impianto è stato riscontrato un rendimento di combustione pari a circa 95% (in Figura 4.8 è riportato un esempio di stralcio del libretto di caldaia), mentre il rendimento dichiarato da scheda tecnica è pari al 91.4% alla potenza termica nominale, e al 89.3% quando la potenza termica è pari al 30% di quella nominale [55].



Figura 4.8. Estratto di un libretto di caldaia.

La presente caldaia è dotata di un potenziometro di regolazione che consente l'eventuale riduzione della potenza di riscaldamento in funzione della richiesta dell'impianto. La regolazione di default è impostata al 70%, e può essere regolata seguendo la relazione esistente tra la potenza della caldaia in modalità riscaldamento e la pressione del gas al bruciatore riportata in Figura 4.9.

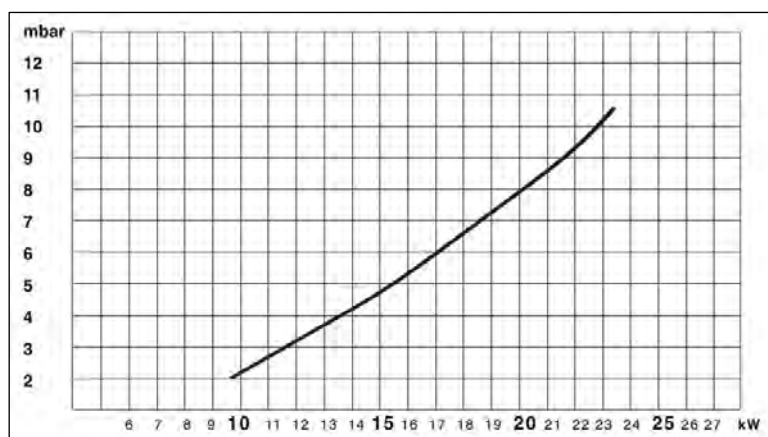


Figura 4.9. Regolazione potenza di riscaldamento.

Attualmente la regolazione dell'impianto di riscaldamento è gestita tramite termostato ambientale. La valutazione della gestione dell'impianto (impostazione della temperatura di set-point in ambiente) da parte dell'utente è stata condotta sulla base di questionari sottoposti ai residenti.

I terminali di emissione sono costituiti da radiatori (Figura 4.10), installati in ogni ambiente degli appartamenti (eccetto nei disimpegni), su pareti interne, quindi non in posizione sottofinestra.



Figura 4.10. Esempio di radiatore.

A seguito dei sopralluoghi si è constatato che gli impianti di climatizzazione estiva sono presenti in quantità estremamente limitata (3 appartamenti su 30), pertanto si è deciso di trascurarne i contributi.

L'impianto di riscaldamento ha funzionamento continuo, con temperatura di set-back impostabile dall'utenza.

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 ed alle infiltrazioni. La frequenza generale di apertura delle finestre è stata valutata sulla base dei questionari sottoposti ai residenti.

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, in cui sono state richieste informazioni generali sull'appartamento, sulla composizione del nucleo familiare e informazioni riguardanti i giorni e gli orari di occupazione, l'apertura delle finestre, la gestione delle tapparelle avvolgibili, la gestione delle schermature solari e la gestione del riscaldamento. L'Allegato D riporta lo schema di questionario sottoposto agli occupanti.

Purtroppo non è stato possibile reperire le informazioni relative a tutti gli appartamenti, e pertanto si è definito un profilo di occupazione tipo, sulla base dei dati raccolti, relativo al nucleo familiare medio presente nei condomini analizzati.

Nello specifico, si è osservato che circa il 60% degli abitanti è composto da donne (classificazione in base al sesso, Figura 4.11 a)) e da adulti di età compresa tra i 35 e i 64 anni (classificazione in base all'età, Figura 4.11 b)).

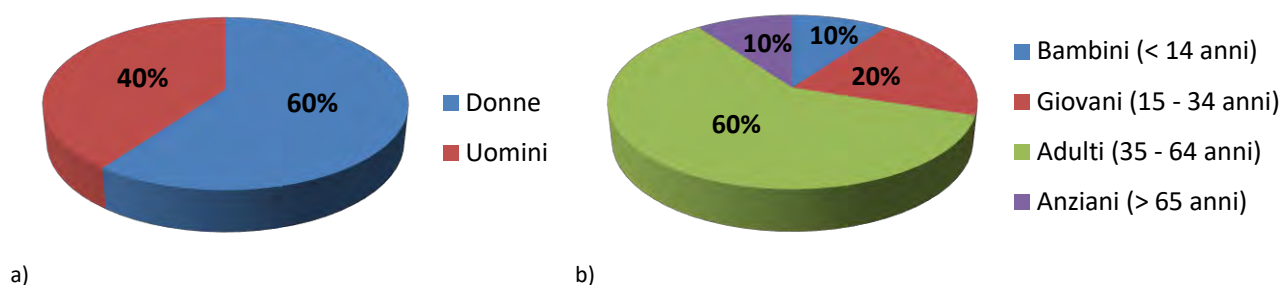


Figura 4.11. Tipologie residenti. a) Classificazione in base al sesso; b) Classificazione in base all'età.

A seguito di questa indagine, si è ritenuto opportuno considerare la famiglia tipo composta da due genitori adulti e una figlia giovane. Si è quindi individuata, all'interno del caso studio, una famiglia reale corrispondente a tali requisiti, della quale si sono poi andate a reperire tutte le informazioni necessarie per lo svolgimento della ricerca. Conseguentemente, il relativo appartamento (terzo piano fuori terra, esposizione nord - ovest) è stato definito appartamento tipo, ed è stato oggetto delle prime simulazioni energetiche condotte.

Per la valutazione dei comportamenti degli occupanti dei 30 appartamenti durante il giorno, relativi ad occupazione, apertura finestre, e gestione di chiusure oscuranti e schermature, nei questionari valutativi distribuiti all'utenza sono state definite le seguenti fasce orarie:

- Prima mattina (ore 6 - 8);
- Mattina (ore 8 - 12);
- Orario pranzo (ore 12 - 14);
- Pomeriggio (ore 14-18);
- Sera (ore 18-22);
- Notte (ore 22-6).

Tra i dati raccolti si sono individuati quelli meglio rappresentativi dei comportamenti dell'appena descritta tipologia familiare media.

Occupazione

Per verificare il tasso di occupazione orario degli appartamenti, si è richiesto di indicare il numero di componenti familiari presenti in casa durante le sei fasce orarie definite, sia durante i giorni settimanali che durante i weekend. La principale differenza tra le due porzioni di settimana è mediamente riscontrabile nelle ore pomeridiane, durante le quali il tasso di occupazione si riduce sensibilmente.

I risultati del questionario relativi alla famiglia tipo sono illustrati in Tabella 4.6.

Tabella 4.6. Numero di occupanti appartamento tipo per fascia oraria.

	Settimana	Weekend
Prima mattina (ore 6 - 8);	3	3
Mattina (ore 8 - 12);	0	0
Orario pranzo (ore 12 - 14);	2	3
Pomeriggio (ore 14-18);	3	0
Sera (ore 18-22);	3	3
Notte (ore 22-6).	3	3

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 relativi alla famiglia tipo sono illustrati in Tabella 4.7.

Tabella 4.7. Tempi di apertura delle finestre.

		Stagione		
		Inverno	Primavera/autunno	Estate
		(gen., feb., mar., nov., dic.)	(apr., mag., set., ott.)	(giu., lug., ago.)
Tempi di apertura	[h/giorno]	< 1	1 - 4	> 4
Periodo prevalente		Prima mattina	Prima mattina Sera	Prima mattina Sera Notte

Gestione delle chiusure oscuranti

Dai questionari proposti all'utenza emerge che le chiusure oscuranti (tapparelle avvolgibili) vengono utilizzate, oltre che nelle fasce orarie serali e notturne, anche nelle ore pomeridiane durante i mesi estivi (con lo scopo di ridurre gli apporti solari). I risultati del questionario sono riassunti in Tabella 4.8.

Tabella 4.8. Tempi di utilizzo delle chiusure oscuranti.

		Stagione		
		Inverno	Primavera/autunno	Estate
		(gen., feb., mar., nov., dic.)	(apr., mag., set., ott.)	(giu., lug., ago.)
Tempi di apertura	[h/giorno]	> 4	> 4	> 4
Periodo prevalente		Sera Notte	Sera Notte	Pomeriggio Sera Notte
		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 (tende da sole a rullo installate sui balconi), dai questionari proposti all'utenza emerge che queste vengono utilizzate tutto l'anno, e non solo nel periodo estivo, principalmente nelle ore centrali e pomeridiane della giornata. I risultati del questionario relativi alla famiglia tipo sono riassunti in Tabella 4.9.

Tabella 4.9. Tempi di utilizzo delle schermature solari.

		Stagione		
		Inverno	Primavera/autunno	Estate
		(gen., feb., mar., nov., dic.)	(apr., mag., set., ott.)	(giu., lug., ago.)
Tempi di apertura	[h/giorno]	< 4	< 4	> 4
Periodo prevalente		No	Pomeriggio	No

4.1.5 Consumi energetici

I consumi energetici per il riscaldamento dell'edificio sono stati ricavati dalle bollette raccolte durante i sopralluoghi, per la stagione di riscaldamento analizzata (2017 - 2018).

L'impianto di riscaldamento è utilizzato anche per la produzione di ACS, di conseguenza i consumi termici ricavati tramite raccolta delle bollette, devono essere depurati della quota relativa all'Acqua Calda Sanitaria, oltre che della quota di gas metano utilizzata per la cottura cibi.

Per procedere nella correzione, si sono integrate due diverse procedure (in modo da sopperire parzialmente alla carenza di dati raccolti), che hanno portato risultati del tutto confrontabili:

1. Si sono andati a verificare i consumi da bolletta durante i mesi estivi (tra i 18 e i 20smc al mese, equivalenti a circa 180 kWh) i quali sono attribuibili al solo consumo relativo ad ACS e cottura cibi;
2. Si è fatta un'indagine tra i fornitori di energia, tramite i quali si sono ottenuti dei valori medi di consumo per famiglie composte da tre persone, distinti tra ACS e cottura (16 Smc $\approx$ 154 kWh mensili e 8 Smc $\approx$ 67 kWh mensili rispettivamente, per un totale di circa 220 kWh) [56].

Data l'analogia tra i due metodi, si è deciso di seguire la seconda procedura, in modo da mettersi in un caso più generale ed allo stesso tempo più dettagliato.

I valori in Tabella 4.10 si riferiscono ai consumi di energia termica (reperiti tramite la consultazione delle bollette) per la stagione di riscaldamento 2017-2018, relativi ad un solo appartamento (famiglia tipo). Il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento, essendo in zona climatica E, è fissato dal 15 ottobre al 15 aprile.

Tabella 4.10. Consumi energetici per riscaldamento.

Periodo di riferimento	Consumo totale rilevato	Consumo ACS + Cottura	Consumo riscaldamento
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
19/10/2017 - 15/12/2017	2775.2	468	2307.2
16/12/2017 - 09/02/2018	3379.2	448	2931.2
10/02/2018 - 19/04/2018	3580.8*	448	3132.8
(*) Consumi stimati			

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 da ARPA Piemonte (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale). Si è fatta richiesta dei dati della rete di monitoraggio per la stazione meteorologica di "Torino

Alenia”, in quanto la più prossima al luogo in analisi, e la più simile in termini di altitudine (Figura 4.12). 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 [20].



Figura 4.12. Inquadramento territoriale della stazione metereologica ARPA considerata (elaborazione da Google Maps)

Per semplicità di rappresentazione, si riportano, rispettivamente in Tabella 4.11 e in Tabella 4.12 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 4.13 e in Figura 4.14, è messo a confronto l’andamento della temperatura media giornaliera e l’andamento dell’irraggiamento solare globale medio giornaliero sul piano orizzontale nei due anni solari analizzati. Le informazioni sui dati climatici medi giornalieri sono stati ricavati dall’archivio dati meteorologici messo a disposizione da ARPA Piemonte [57], relativo alla stazione climatica “Torino Alenia”.

Tabella 4.11. Temperatura giornaliera media mensile dell’aria esterna, Torino (Fonte dati: ARPA [57]).

	Anno	Mese											
		gen.	feb.	mar.	apr.	mag.	giu.	lug.	ago.	set.	ott.	nov.	dic.
Temperatura aria esterna	2017	2.1	6.1	12.1	14.3	18.5	23.8	24.6	24.8	18.2	15.3	8.0	2.1
	2018	5.8	3.1	7.2	15.5	17.6	22.7	-	-	-	-	-	-

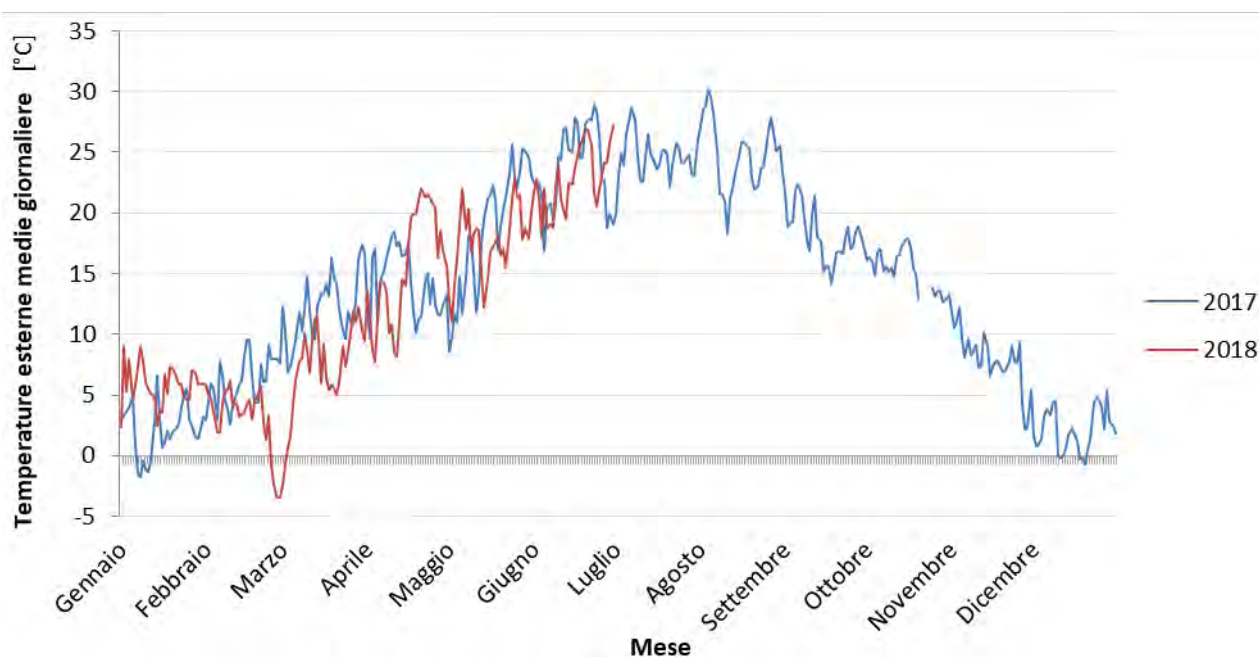


Figura 4.13. Andamento della temperatura esterna media giornaliera, Torino. I dati relativi alla seconda metà dell'anno 2018 sono al momento non disponibili (Fonte dati: ARPA [57]).

Tabella 4.12. Valori medi mensili dell'irraggiamento solare globale giornaliero sul piano orizzontale, Torino (Fonte dati: ARPA [57]).

	Anno	Mese											
		gen.	feb.	mar.	apr.	mag.	giu.	lug.	ago.	set.	ott.	nov.	dic.
Irraggiamento solare giornaliero [MJ/m ²]	2017	6.5	7.4	13.9	19.4	22.3	23.9	24.3	20.7	15.9	11.3	6.8	5.6
	2018	5.9	7.4	11.1	16.7	17.8	23.4	-	-	-	-	-	-

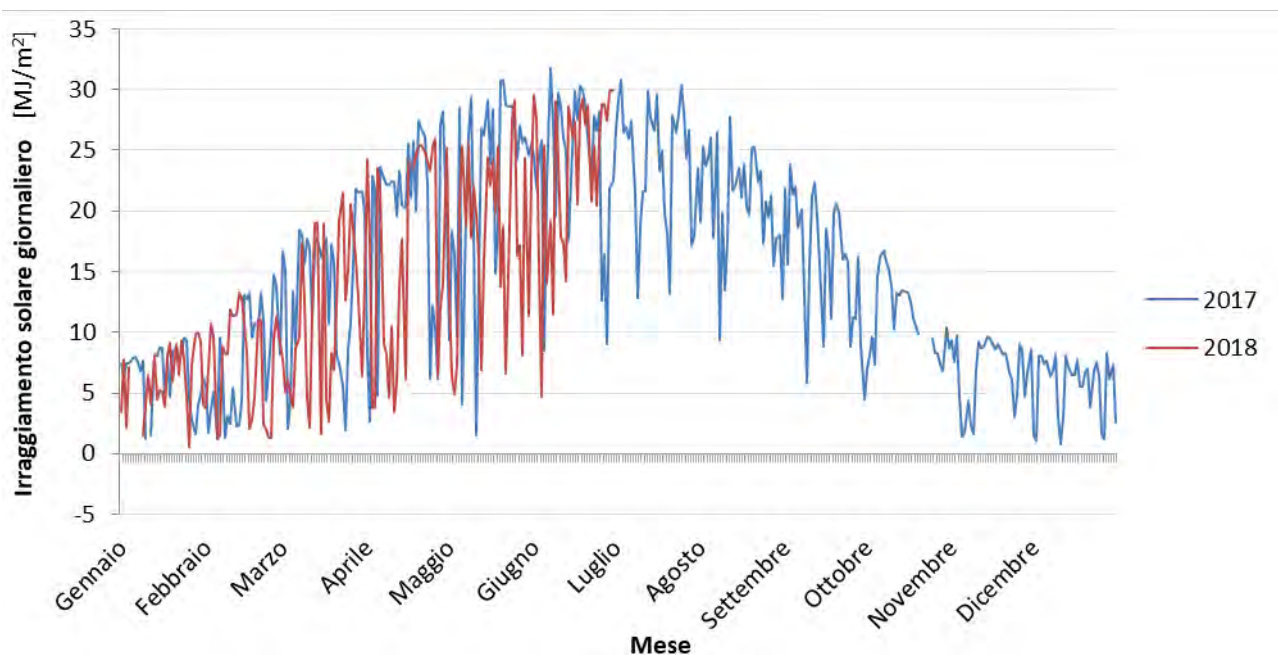


Figura 4.14. Andamento dell'irradiazione solare globale media giornaliera sul piano orizzontale, Torino. I dati relativi alla seconda metà dell'anno 2018 sono al momento non disponibili. (Fonte dati: ARPA [57]).

In Tabella 4.13 sono riportati i gradi-giorno reali del periodo di riscaldamento.

Tabella 4.13. Gradi-Giorno del periodo di riscaldamento.

Periodo di riferimento	Gradi - Giorno
	[°C d]
19/10/2017 - 15/12/2017	717
16/12/2017 - 09/02/2018	865
10/02/2018 - 19/04/2018	866

Consumi e GG sono stati successivamente ridefiniti su base mensile (vedere §4.3.1).

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, etc.).

Il modello geometrico dell'edificio è stato costruito sulla base della documentazione fornita da ATC, riportata nell'Allegato A.

I componenti di involucro opaco e trasparente del fabbricato sono stati modellati sulla base della descrizione dei materiali costituenti riportata nel capitolato di progetto. 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 (UNI 10351 [15], UNI 10355 [16], UNI EN ISO 10456 [17], UNI EN ISO 13786 [18] e UNI EN ISO 6946 [19]). 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 calcestruzzo armato è avvenuta mediante l'inserimento di sottosuperfici sulle facciate. I restanti ponti termici sono stati valutati attraverso le indicazioni fornite dall'abaco dei ponti termici [36].

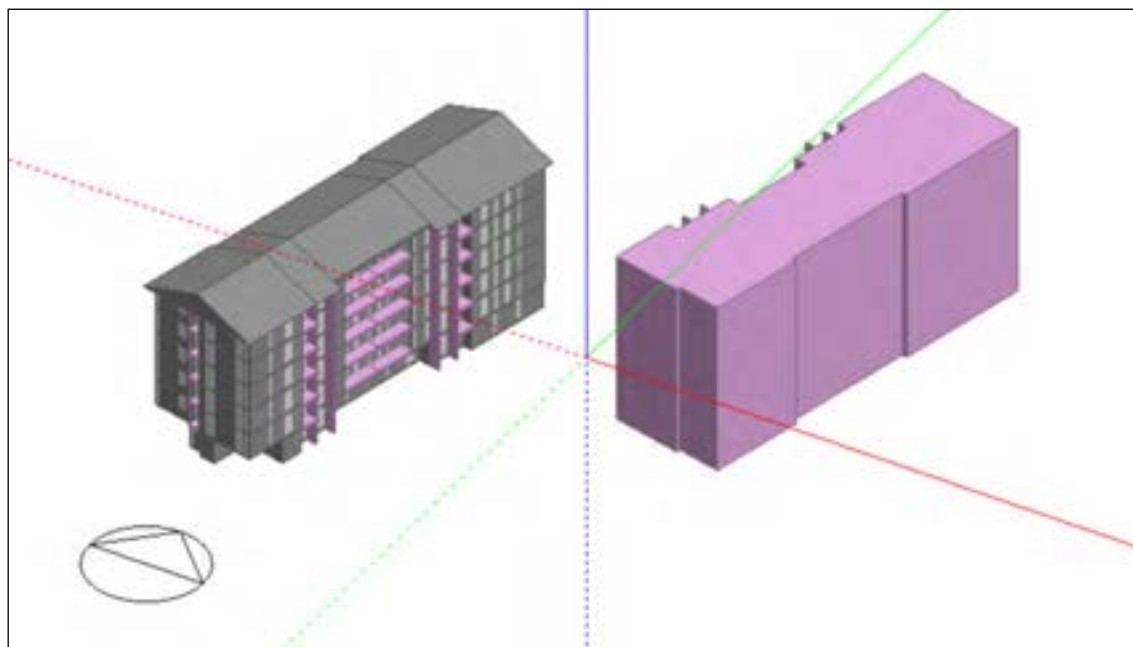


Figura 4.15. Modello dell'edificio in DesignBuilder.

Per sviluppare una corretta modellazione termo-energetica dell'edificio, è necessario suddividere l'edificio in zone termiche nel rispetto di specifici requisiti. Essendo l'impianto di tipo autonomo per ogni appartamento, si è deciso di assegnare una zona termica ad ogni tipologia di appartamento del piano tipo (per un totale di 6 zone termiche).

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

4.2.1 Definizione delle zone termiche

Come già più volte menzionato, l'intero condominio è servito da impianti di riscaldamento e produzione di ACS autonomi per ogni appartamento. Per tale motivo, ad ogni tipologia di appartamento presente è stata assegnata una diversa zona termica, le cui superfici interne nette sono riportate in Tabella 4.14.

Tabella 4.14. Superficie netta zone termiche.

	A_{netta}
	[m²]
Zona 1*	96.6
Zona 2	67.0
Zona 3	75.6
Zona 4	75.3
Zona 5	62.0
Zona 6	56.6
(*) Appartamento di riferimento	

La distribuzione delle 6 zone termiche nel piano tipo è riportata in Figura 4.16.



Figura 4.16. Individuazione zone termiche.

4.2.2 Profili di occupazione - apporti interni

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 l'appartamento di riferimento, durante i giorni settimanali e i weekend (Tabella 4.15 e Figura 4.17).

Tabella 4.15. Fattore di occupazione orario.

	Ora del giorno																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Lun. - Ven.	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0.67	0.67	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sab. e Dom.	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

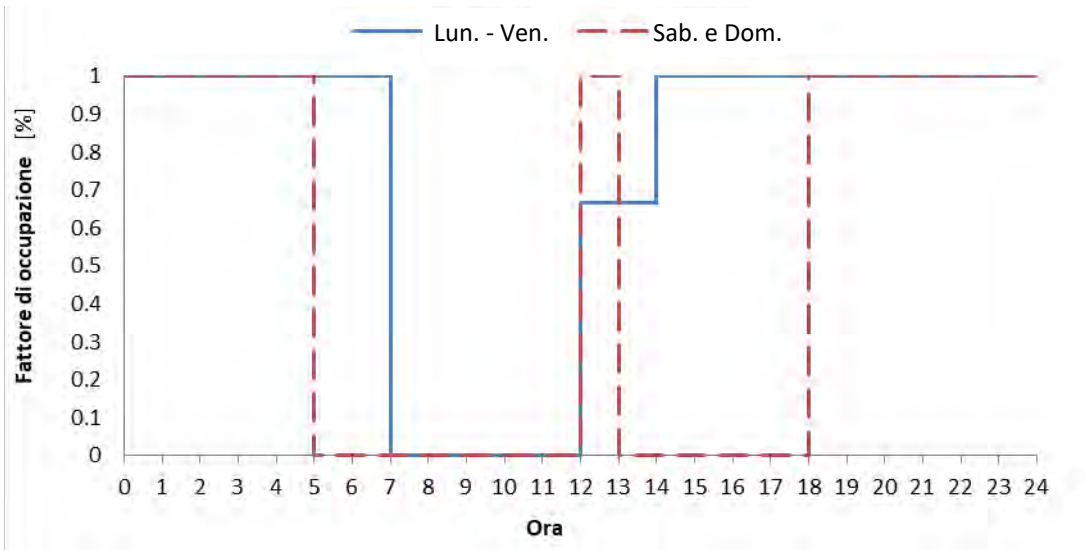


Figura 4.17. Fattore di occupazione orario medio giornaliero.

Per una più comprensiva analisi degli apporti interni medi si è però deciso di utilizzare il profilo di distribuzione fornito dal prospetto 14 della UNI/TS 11300-1 [4], in quanto caratterizzato da un profilo di occupazione più frequente nella famiglia media italiana (appartamento non occupato durante le ore giornaliere lavorative). Tale prospetto fornisce, per edifici residenziali, il profilo giornaliero e settimanale degli apporti interni dovuti ad occupanti ed apparecchiature, in W/m^2 , per tipo di locale interno all'abitazione (soggiorno + cucina, e altre aree climatizzate). I valori riportati devono però essere corretti, in modo tale da ottenere un valore medio mensile il più prossimo possibile al risultato ottenibile tramite l'equazione 48 della UNI/TS 11300-1 [4], la quale fornisce il valore globale degli apporti interni (espresso in W) in caso di superficie utile di pavimento (A_f) minore di $170 m^2$:

$$\Phi_{int} = 5.294 \cdot A_f - 0.01557 \cdot A_f^2$$

4

La Tabella 4.16 riporta i profili giornalieri e settimanali degli apporti interni per unità di superficie utile utilizzati durante le simulazioni, a seconda del tipo di locale dell'abitazione e dei giorni considerati.

Tabella 4.16. Profilo giornaliero e settimanale degli apporti interni utilizzato per l'analisi.

Giorni	Ore	Soggiorno + Cucina	Altre aree climatizzate
		[W/m ²]	[W/m ²]
Lunedì-Venerdì	7:00-17:00	7.12	0.89
	17:00-23:00	17.8	0.89
	23:00-7:00	1.78	5.34
	Media	8.01	2.37
Sabato-Domenica	7:00-17:00	7.12	1.78
	17:00-23:00	17.8	3.56
	23:00-7:00	1.78	5.34
	Media	8.01	3.41
Media Settimanale		8.01	2.67
Media Settimanale Totale		4.59	
Valore da equazione 48 - UNI/TS 11300 - 1		4.58	

Il contributo degli apporti interni di calore, ai fini della simulazione numerica dettagliata, è stato poi scomposto in quota radiante (60%) e quota convettiva (40%), in accordo con la ISO 52016-1 [21].

L'analisi è stata effettuata sull'alloggio tipo di riferimento, e il valore della densità degli apporti interni ottenuto è poi stato applicato a tutte le 6 zone termiche presenti (aventi diversa superficie).

Questo approccio rappresenta un punto di partenza, perché il reale contributo degli apporti interni è difficile valutare. I dati relativi all'occupazione portano in sé un margine di adattamento che potrebbe rivelarsi necessario nella successiva attività di calibrazione del modello.

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

Anche per quanto riguarda i profili di utilizzo di aperture, sistemi oscuranti e schermature solari, 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 la zona termica 1, i profili orari stagionali di utilizzo delle varie categorie.

Così come per dati relativi all'occupazione, anche questi profili di utilizzo sono caratterizzati da notevoli approssimazioni, che consentiranno un loro eventuale adattamento durante la fase di calibrazione del modello di simulazione.

Apertura delle finestre

La Tabella 4.17 mostra il numero massimo di ore e il periodo di apertura delle finestre in riferimento alle stagioni (invernale, intermedie ed estiva). 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.

Tabella 4.17. Tempi massimi di apertura delle finestre.

	Ora del giorno																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Inverno	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Intermedia	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estate	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

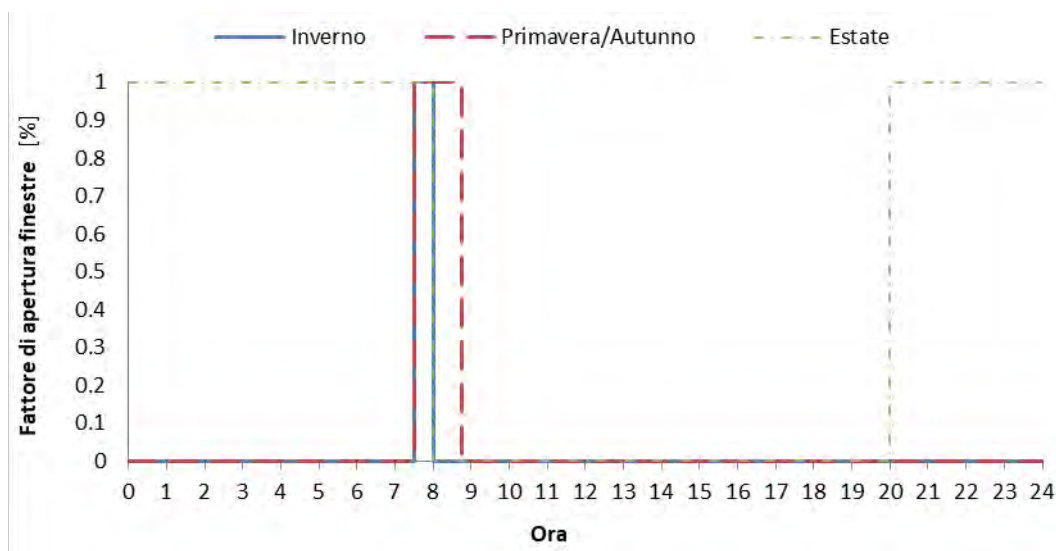


Figura 4.18. Profilo orario di apertura delle finestre (zona tipo) per stagione.

Il software *DesignBuilder* prevede due metodologie per la valutazione della ventilazione naturale, di seguito menzionati e spiegati in dettaglio nel prossimo paragrafo:

- Ventilazione "Calcolata", la quale prevede il calcolo dei tassi di ventilazione da parte del software, basandosi sui profili di apertura delle finestre (Figura 4.18), la percentuale di vetro apribile, la velocità del vento e la differenza di pressione tra ambiente interno ed esterno;
- Ventilazione "Programmata", la cui portata di ventilazione è definita secondo quanto indicato dalla UNI EN 15251 [22], tramite una procedura simile a quella vista per gli apporti interni.

Preliminarmente l'analisi è stata condotta tramite entrambi gli approcci, per poi andare a selezionare, in fase di calibrazione del modello, quello meglio adattabile al caso studio.

Gestione 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 4.18 e la Figura 4.19 mostrano il profilo

di utilizzo delle chiusure oscuranti in riferimento alle diverse stagioni (invernale, intermedie ed estiva). 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

Tabella 4.18. Tempi massimi di utilizzo delle chiusure oscuranti (tapparelle).

	Ora del giorno																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Inverno	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Intermedia	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Estate	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

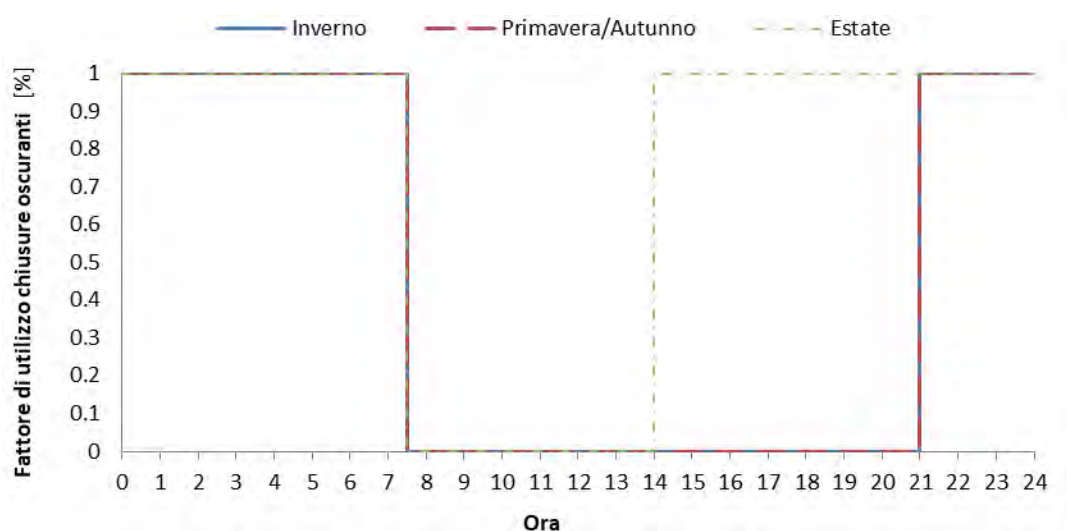


Figura 4.19. Profilo orario di utilizzo delle chiusure oscuranti (zona tipo) per stagione.

Gestione schermature

Analogamente a quanto descritto per le chiusure oscuranti, si è valutato per quanto tempo le schermature solari (tende a rullo) 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 4.19 e la Figura 4.20 mostrano il profilo di utilizzo delle schermature in riferimento alle diverse stagioni (invernale, intermedie ed estiva). Poiché il software *DesignBuilder* prevede un funzionamento del tipo “on-off” anche per le schermature, i valori riportati nel grafico e nella tabella sono 0 e 1, che corrispondono rispettivamente al non utilizzo e all’utilizzo delle schermature.

Tabella 4.19. Tempi massimi di utilizzo dei sistemi di schermatura (tende a rullo).

	Ora del giorno																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Inverno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Intermedia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0

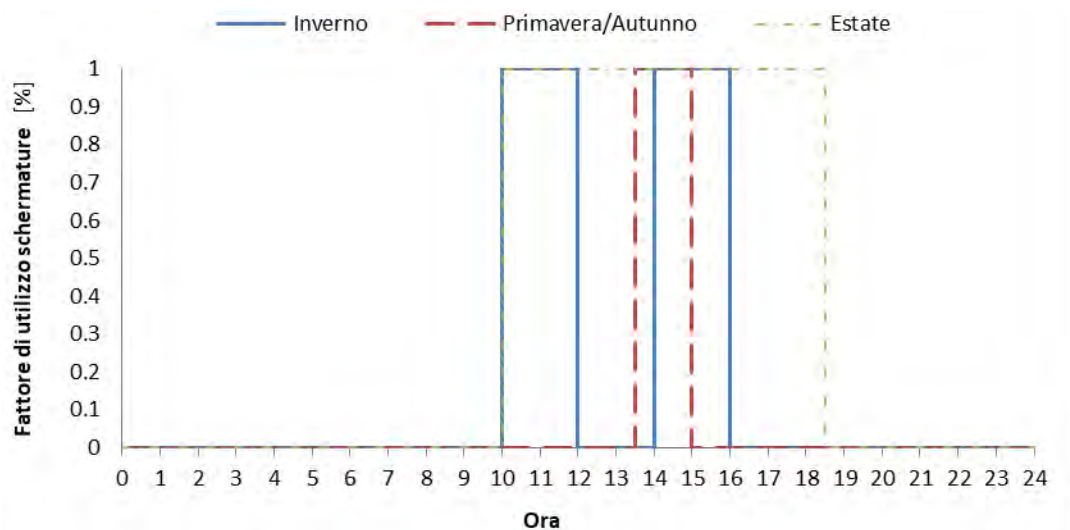


Figura 4.20. Profilo orario di utilizzo dei sistemi di schermatura (tende a rullo) per stagione.

Poiché *DesignBuilder* non permette di valutare in contemporanea gli effetti di chiusure oscuranti e schermature, si è deciso di modellare solo le chiusure oscuranti, in quanto maggiormente influenti e utilizzate dagli occupanti anche per ridurre in estate l'ingresso della radiazione solare in ambiente.

4.2.4 Parametri impiantistici

Impianto di riscaldamento + produzione ACS

Come già menzionato, la modellazione dell'impianto di riscaldamento (+ ACS) è stato effettuata tramite il metodo "HVAC dettagliato" di *DesignBuilder*. In particolare, è stato modellato il circuito ad acqua calda (*hot water loop*), costituito dal lato "sorgente" e dal lato "richiesta" (Figura 4.21).

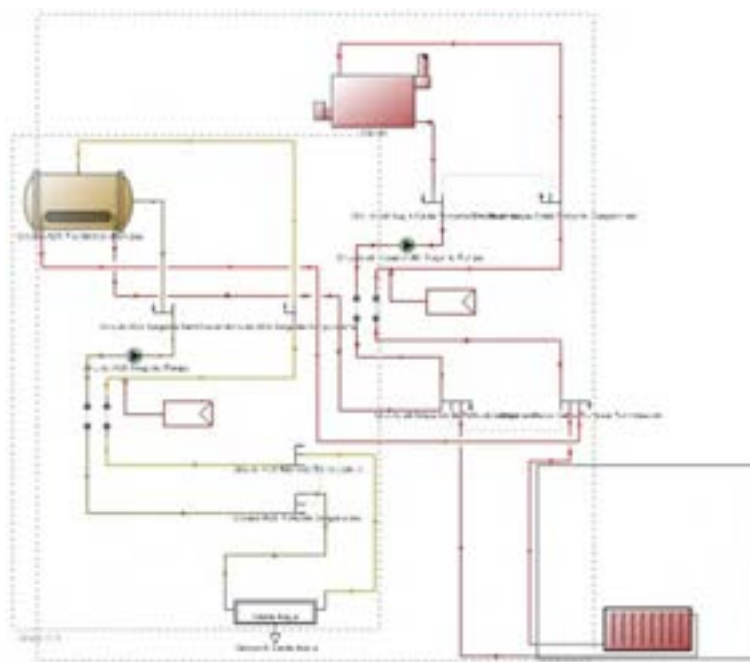


Figura 4.21. Schema impianto di riscaldamento (rosso) e produzione di ACS (giallo).

Sul lato “sorgente” è stato inserito il generatore di tipo “boiler a gas naturale”, imputando le caratteristiche reali della sottostazione (informazioni ricavate dalla scheda tecnica del prodotto). In particolare, è stata definita una curva dei rendimenti della caldaia, partendo da una curva di rendimento tipica per una caldaia tradizionale a gas metano, e corretta sulla base di quanto dichiarato da scheda tecnica e da indicazioni del software (Figura 4.22). Il valore di efficienza termica nominale così ottenuta ed inserita nel software è pari a 0.824 (valutato attraverso il Potere Calorifico Superiore ed Inferiore fornito dalla norma UNI 7129-1:2015 Appendice A.3.1 [23])

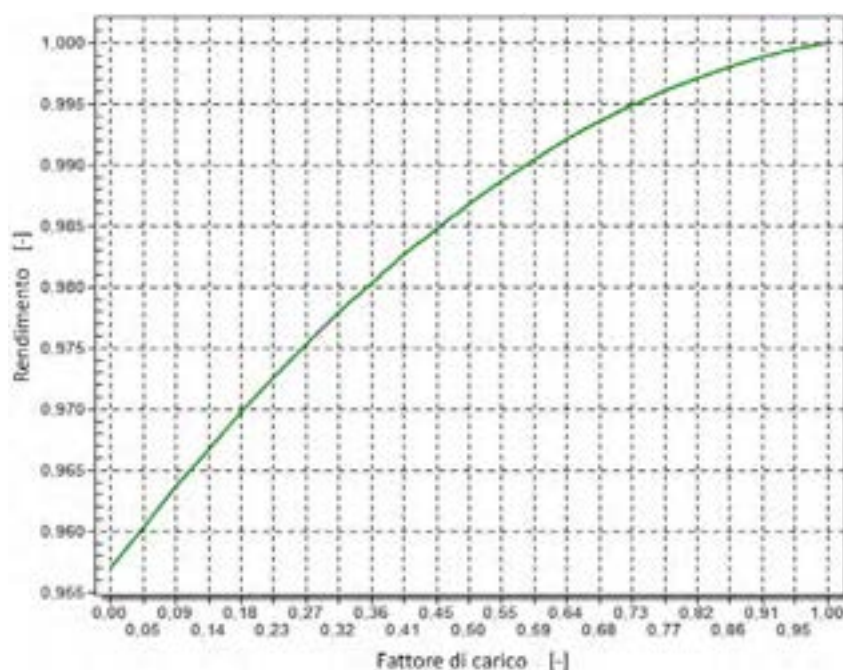


Figura 4.22. Curva di rendimento caldaia

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 (ad una temperatura esterna di - 8°C si è fatto corrispondere una temperatura di mandata pari a 80°C, mentre nel caso di temperatura esterna elevata pari a 15°C, la temperatura di mandata si riduce a 60°C).

Sul lato “richiesta” è stata invece modellata la diramazione del circuito di distribuzione che porta alla zona termica relativa. Il rendimento di distribuzione è stato assunto pari al valore di default preimpostato (0.9, il quale comprende anche il rendimenti di emissione). Non avendo informazioni specifiche, la pompa di distribuzione (sia riscaldamento che ACS), a funzionamento intermittente, è stata in oltre dimensionata con il metodo “autosize”.

Al modello dei corpi scaldanti (radiatori) è possibile attribuire le caratteristiche di ciascun terminale. In particolare, per mancanza di informazioni in merito, anche per i radiatori è stato utilizzato il metodo “autosize” per quanto riguarda la valutazione della capacità nominale del terminale e della portata massima, mentre come periodo di funzionamento è stato definito un profilo “On 24/7” durante la stagione di riscaldamento. Per i radiatori non è possibile andare ad editare il rendimento di emissione (compreso nello 0.9 citato pocanzi).

A livello di singola zona termica, la regolazione dell’emissione del calore è gestita dall’occupante tramite l’utilizzo di termostati ambiente. La temperatura tipica di set-point impostata dagli occupanti è pari a 21°C (risultato questionari), mentre la temperatura di set-back è stata impostata pari a 18°C.

Per quanto riguarda la caratterizzazione del serbatoio di accumulo ACS, è stato selezionato un *template* di funzionamento tipico residenziale, proposto dal software, con auto-dimensionamento del volume di accumulo.

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, "calcolata" e "programmata".

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 caso in esame non è stato inserito nessun blocco climatico). Nel modello è stata inserita una percentuale di vetro apribile, variabile a seconda del tipo di serramento, e calcolata secondo quanto specificato dalla norma UNI EN 16798-7 [24], in riferimento all'angolo di apertura delle finestre esistenti.

Tabella 4.20. Percentuale di vetro apribile dei serramenti.

	Porzione di vetroapribile
	[%]
PFsb_1	84%
PFs_2	47%
Fd_3	82%
Fs_4	74%
PFdb_5	88%
PFd_6	49%

Per quanto riguarda i profili di utilizzo, è stata fatta una distinzione tra zona giorno e zona notte, creando due diversi *template*, in modo tale da rendere più realistiche le modalità di apertura delle finestre. Per quanto riguarda la zona notte, si fa riferimento ai profili riportati precedentemente (Figura 4.18), mentre per la zona giorno si è supposto (sulla base dei questionari) che le finestre rimangano sempre chiuse durante la stagione invernale.

Nella ventilazione naturale "programmata", la portata di ventilazione è calcolata secondo la UNI EN 15251 [22], secondo la quale si deve calcolare il tasso di ventilazione massimo in condizioni di massima occupazione (per ogni zona termica), il quale deve essere successivamente modulato sulla base dei profili di occupazione.

La suddivisione temporale di tale profilo è stata definita in analogia con quanto effettuato nel caso degli apporti interni, riconducendoci quindi ad un'analisi avente come periodo di riferimento la settimana tipo.

La norma UNI EN 15251 [22] definisce i criteri per la valutazione del tasso minimo di ricambio d'aria dell'edificio residenziale. Innanzitutto è necessario differenziare i diversi livelli di qualità dell'aria (e quindi di ricambi d'aria) richiesti quando l'appartamento è o non è occupato. Il livello minimo di ventilazione da garantire durante le ore di non occupazione può variare da 0.05 a 0.1 l/s·m². Nel caso in esame si è considerato il massimo di questo range di ventilazione, ovvero 0.1 l/s·m².

L'analisi durante i periodi occupati è invece più complicata, ed è stata effettuata seguendo quanto indicato nell'appendice B della UNI EN 15251 [22]. Si deve andare a calcolare il tasso di ventilazione globale secondo tre diverse procedure (considerando prima la superficie di pavimento, poi il numero di occupanti ed in ultimo la superficie di soggiorni e camere da letto) applicando i valori di portate d'aria di riferimento indicati nel

prospetto B.5 della norma, per poi selezionare il valore più alto ottenuto. Altra variabile di input richiesta dal metodo, è il livello di qualità dell'aria interna desiderata, per la quale si è scelto il livello intermedio. A seguito di queste analisi, la procedura che fornisce il maggior tasso di ventilazione è quella riferita alla superficie di soggiorni e camere.

A questo punto è stato possibile modellare, per ogni zona termica, il profilo giornaliero e settimanale del tasso di ricambio d'aria, in funzione del singolo ambiente (considerato occupato o non occupato a seconda della fascia oraria). Tali profili sono diversi per ogni zona termica, perché varia la superficie di soggiorno e cucina utilizzata per il calcolo del tasso di ventilazione globale. In Tabella 4.21 si riporta a titolo esemplificativo il profilo relativo alla zona termica 1 (zona tipo di riferimento).

Tabella 4.21. Profilo giornaliero e settimanale delle portate di ventilazione naturale utilizzato per l'analisi.

Giorni	Ore	Soggiorno + Cucina	Altre aree climatizzate
		[h ⁻¹]	[h ⁻¹]
Lunedì-Venerdì	7:00-17:00	0.13	0.13
	17:00-23:00	0.93	0.13
	23:00-7:00	0.13	0.93
	Media	0.33	0.40
Sabato-Domenica	7:00-17:00	0.13	0.13
	17:00-23:00	0.93	0.13
	23:00-7:00	0.13	0.93
	Media	0.33	0.40
Media Settimanale		0.33	0.40
Media Settimanale Totale		0.38	

Nelle fasi di calibrazione del modello di simulazione (Sezione 4.3.2), è stata utilizzata la modalità di calcolo "calcolata" in quanto più facilmente editabile e controllabile in fase di input.

4.3 Valutazioni energetiche ed economiche

4.3.1 Valutazione d'esercizio (*operational rating*)

La valutazione d'esercizio si basa sull'analisi del consumo reale di energia termica erogata annualmente per il riscaldamento dell'edificio nella stagione di riscaldamento considerata (2017/18). L'analisi è stata effettuata per l'appartamento di riferimento, del quale i dati di consumo reale disponibili sono stati ottenuti dalle bollette di fornitura del gas metano. I dati raccolti si riferiscono ai seguenti periodi: dal 19/10/2017 al 15/12/2017, dal 16/12/2017 al 09/02/2018 e dal 10/02/2018 al 19/04/2018. I periodi considerati sono stati successivamente ripartiti, in funzione dei Gradi-Giorno di ciascun periodo, in modo da avere anche una distribuzione mensile dei risultati.

Dall'analisi della Figura 4.23 emerge una buona 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).

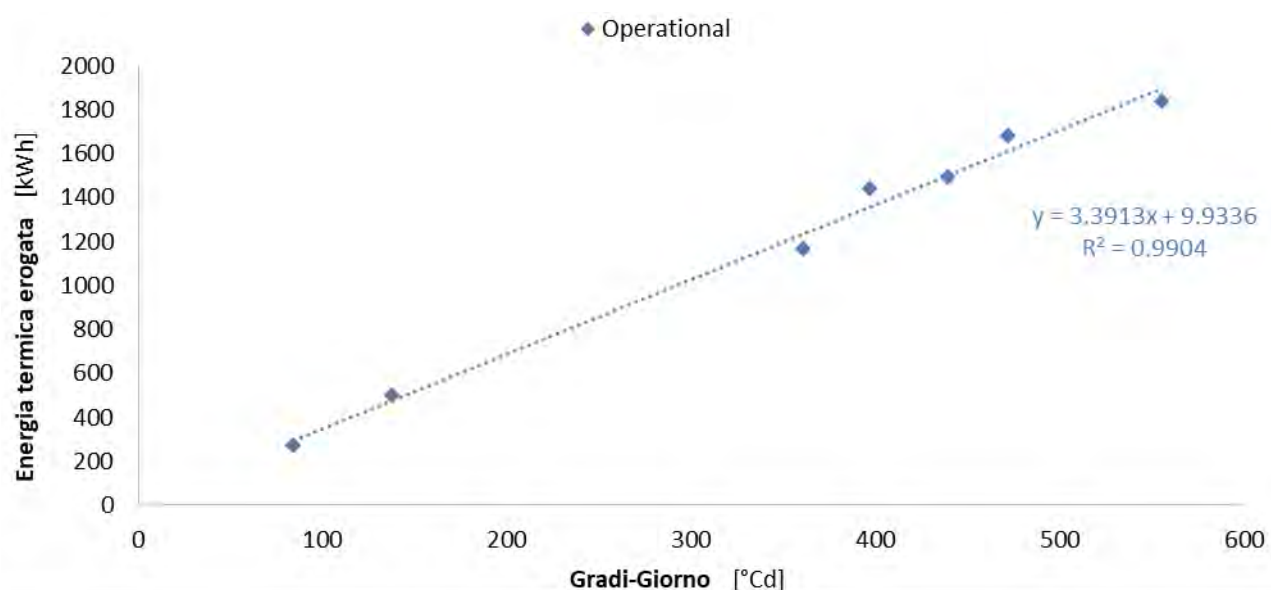


Figura 4.23. Relazione tra energia erogata per il riscaldamento del caso studio e gradi-giorno di Pianezza, su base mensile, relativi alla stagione 2017/2018.

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'appartamento di riferimento nella stagione di riscaldamento 2017/18, 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 in Figura 4.24 mostra il confronto dei risultati delle simulazioni con entrambi i modelli di ventilazione. Per poter confrontare in seguito i risultati del modello di simulazione (*tailored rating*) con i consumi reali (*operational rating*), vengono riportati i valori dell'energia termica erogata dalla caldaia in relazione ai Gradi-Giorno mensili della stagione di riscaldamento (firma energetica). I valori così ottenuti sono riportati in Figura 4.24 e Tabella 4.22.

Tabella 4.22. Tailored rating - confronto tra ventilazione "programmata" e "calcolata".

Periodo di riferimento	Gradi - Giorno	Energia erogata (no ACS) ventilazione programmata	Energia erogata (no ACS) ventilazione calcolata
	[°C d]	[kWh]	[kWh]
19/10/2017 - 31/10/2017	84.0	141.62	110.55
01/11/2017 - 30/11/2017	361.0	1097.01	1035.55
01/12/2017 - 31/12/2017	555.8	1997.00	1866.97
01/01/2018 - 31/01/2018	439.8	1500.93	1440.40
01/02/2018 - 28/02/2018	472.3	1617.21	1544.49
01/03/2018 - 31/03/2018	397.3	1151.89	1046.34
01/04/2018 - 19/04/2018	137.8	276.97	240.30

Al fine della scelta del modello di ventilazione naturale da utilizzare, si sono confrontati i risultati delle simulazioni con i risultati dell'*operational rating* (Figura 4.24). Si può notare come, in linea generale, entrambi i casi sottostimino l'energia termica erogata nei primi 4 mesi analizzati (in particolar modo a gennaio), mentre la sovrastimino durante il mese di aprile. Considerando che le due procedure per la valutazione delle portate di ventilazione hanno portato a risultati analoghi, per rispettare il comportamento reale dell'edificio e

dell'utente è stato scelto il modello con la ventilazione naturale "calcolata" che consente una migliore regolazione in fase di calibrazione.

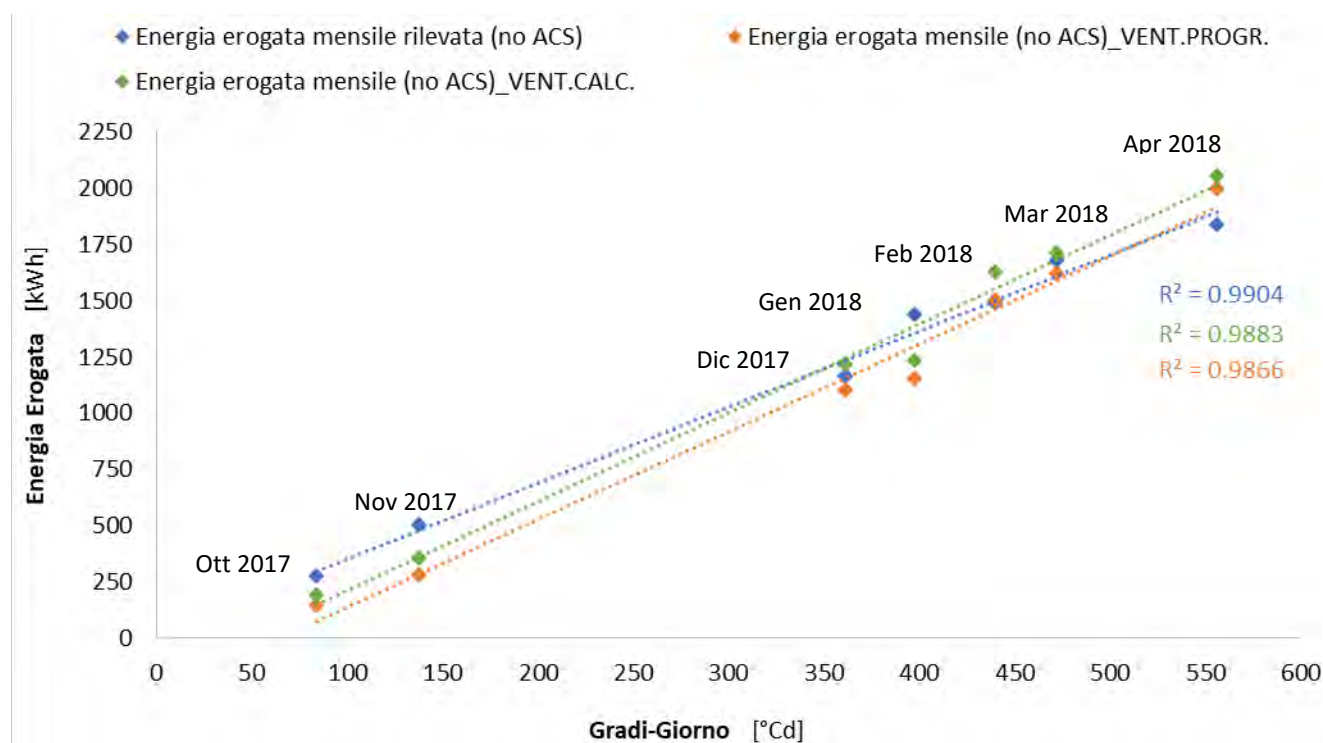


Figura 4.24. Confronto tra *operational rating* e *tailored rating* con ventilazione "programmata" e "calcolata".

La calibrazione del modello dell'appartamento tipo 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 4.23 e Figura 4.24.

Tabella 4.23. Confronto tra *operational rating* e *tailored rating*.

Periodo di riferimento	Gradi - Giorno	<i>Operational rating</i>	<i>Tailored rating</i> ventilazione calcolata	Scarto percentuale (<i>tailored</i> rispetto <i>operational</i>)
	[°C d]	[kWh]	[kWh]	[%]
19/10/2017 - 31/10/2017	84.0	270.27	141.62	-47.6%
01/11/2017 - 30/11/2017	361.0	1161.45	1097.01	-5.5%
01/12/2017 - 31/12/2017	555.8	1837.08	1997.00	8.7%
01/01/2018 - 31/01/2018	439.8	1490.37	1500.93	0.7%
01/02/2018 - 28/02/2018	472.3	1676.34	1617.21	-3.5%
01/03/2018 - 31/03/2018	397.3	1437.34	1151.89	-19.9%
01/04/2018 - 19/04/2018	137.8	498.35	276.97	-44.4%

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.

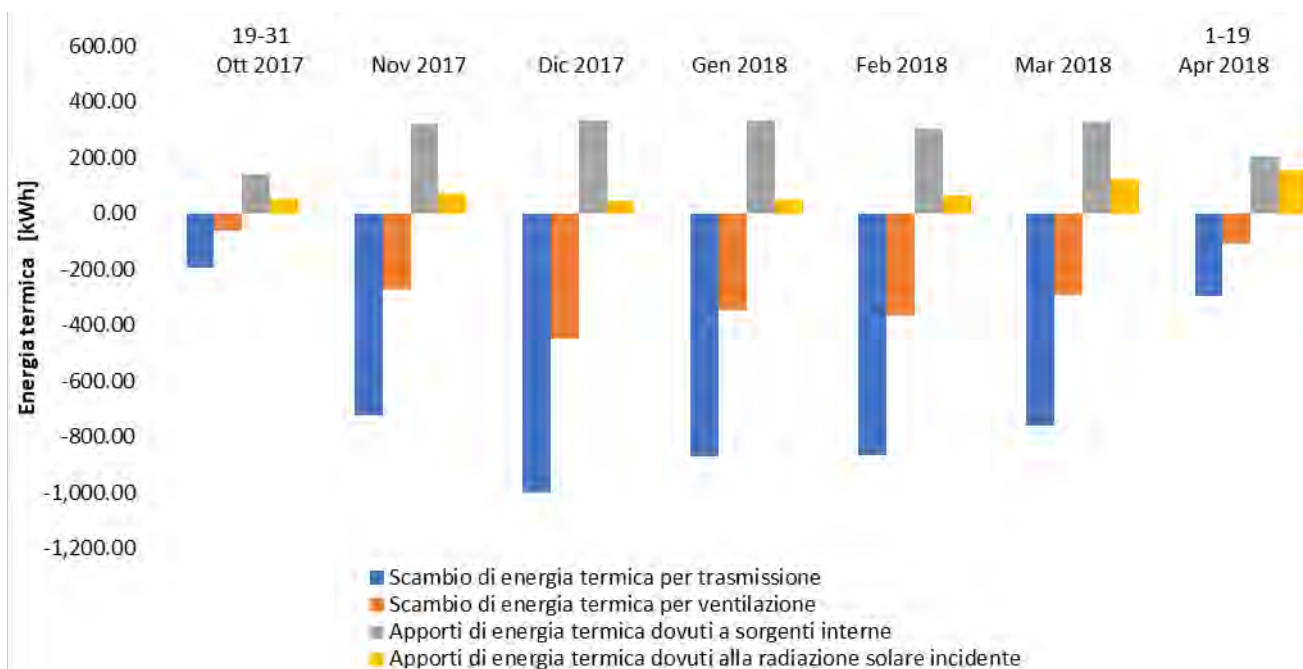


Figura 4.25. Termini del bilancio termico (*tailored rating*)

Il grafico in Figura 4.25 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 incrementando la 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"

Le correzioni sui parametri relativi alla ventilazione naturale riguardano i profili di utilizzo e la modulazione dell'apertura delle finestre. Inizialmente si era imposto un periodo di apertura delle finestre della zona notte pari a mezz'ora durante le ore del mattino (Figura 4.18). Tale assunzione è derivata dalla compilazione dei questionari, dai quali l'apertura più frequente è risultata essere "da 30 minuti a 1 ora" durante le ore del mattino. In fase di calibrazione si è andato a prolungare il periodo di apertura delle finestre durante le prime e le ultime settimane di riscaldamento, per tenere in considerazione l'effetto che una temperatura esterna ha sul comportamento dell'utente. In particolare, dal 15 marzo al 15 aprile e dal 1° al 15 ottobre, il tempo di apertura delle finestre della zona notte al mattino è passato ad 1 ora e 15 minuti (di poco superiore al tempo massimo indicato per la zona invernale, pari ad 1 ora).

2. Rendimento della caldaia

Il rendimento del sistema di generazione è stato corretto sulla base del Potere Calorifico Superiore fornito dalla ditta fornitrice del gas metano (PCS = 39.160 MJ/Smc). In questo modo si riesce a rendere più realistico l'impianto simulato. Il valore di efficienza termica nominale che si ottiene è pari a 0.807.

3. Temperatura di set-back dell'impianto di riscaldamento

Un secondo intervento a livello impiantistico ha riguardato la regolazione della temperatura di set-back dell'impianto di riscaldamento (dato non richiesto nei questionari forniti all'utenza, e quindi assunto arbitrariamente). Un aumento di mezzo grado (18.5 °C) comporta un aumento dei consumi e ad un conseguente avvicinamento ai consumi reali dell'appartamento.

4. Apporti interni

Gli apporti interni rappresentano forse la voce determinata in maniera più arbitraria, in quanto è particolarmente complesso riuscire a determinarne effettivamente il contributo. Questo conferisce loro un buon margine di lavoro per la calibrazione. Si è quindi deciso di apportare una riduzione del 3% sul profilo di tali apporti gratuiti interni.

La Tabella 4.24 e la Figura 4.26 mostrano i risultati derivanti dalla calibrazione del modello di simulazione.

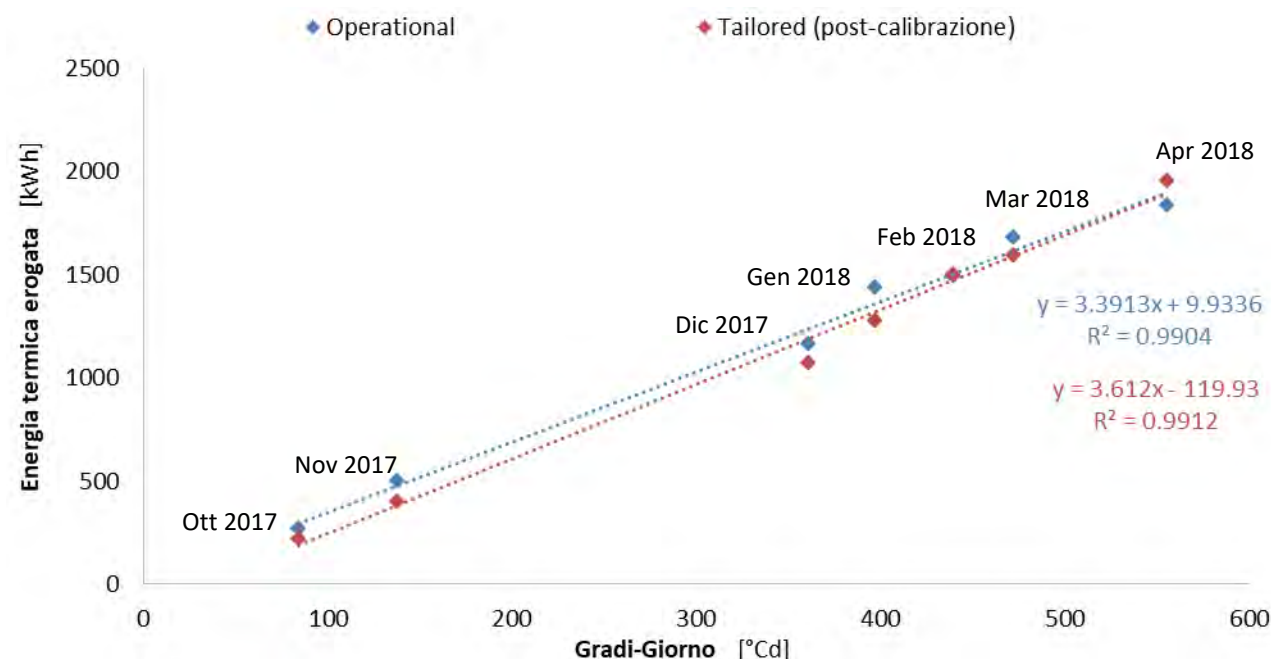


Figura 4.26. Confronto tra l'energia termica erogata in relazione ai gradi-giorno (operational rating e tailored rating calibrato).

Tabella 4.24. Confronto tra l'energia termica erogata

Periodo di riferimento	Operational rating	Tailored rating calibrato ventilazione calcolata	Scarto percentuale (tailored rispetto operational)
	[kWh]	[kWh]	[%]
19/10/2017 - 31/10/2017	270.27	218.09	-19.3%
01/11/2017 - 30/11/2017	1161.45	1070.17	-7.9%
01/12/2017 - 31/12/2017	1837.08	1954.13	6.4%
01/01/2018 - 31/01/2018	1490.37	1495.71	0.4%
01/02/2018 - 28/02/2018	1676.34	1591.36	-5.1%
01/03/2018 - 31/03/2018	1437.34	1274.84	-11.3%
01/04/2018 - 19/04/2018	498.35	398.21	-20.1%

Per valutare l'accuratezza della calibrazione sono stati utilizzati alcuni indici statistici riportati in letteratura [40]. 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" [41];

- U.S. Department of Energy, Federal Energy Management Program (FEMP), “M&V Guidelines: Measurement and Verification for Performance-Based Contracts” [42];
- Efficiency Valuation Organisation (EVO), “International Performance Measurement & Verification Protocol(IPMVP)” [43].

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 Eq. (5) e (6):

$$MBE (\%) = \frac{\sum_{\text{period}} (S - M)_{\text{interval}}}{\sum_{\text{period}} M_{\text{interval}}} \cdot 100 \quad 5$$

$$Cv(RMSE_{\text{period}}) (\%) = \frac{RMSE_{\text{period}}}{A_{\text{period}}} \cdot 100 \quad 6$$

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’Eq. (7):

$$RMSE_{\text{period}} = \sqrt{\frac{\sum (S - M)_{\text{interval}}^2}{n_{\text{interval}}}} \quad 7$$

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 4.25. 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 [41] e dal FEMP [42].

Tabella 4.25. Valori limite degli indici utilizzati per valutare l’accuratezza del modello.

Indici statistici	Calibrazione mensile			Calibrazione oraria		
	ASHRAE [41]	FEMP [42]	IPMVP [43]	ASHRAE [41]	FEMP [42]	IPMVP [43]
MBE [%]	±5	±5	±20	±10	±10	±5
Cv(RMSE) [%]	15	15	-	30	30	20

In Tabella 4.26 sono riportati gli indici statistici calcolati per il modello del caso studio: essi rispettano i valori limite, pertanto il modello si considera validato.

Tabella 4.26. Indici statistici del modello di simulazione.

Indici statistici	Modello di simulazione
MBE[%]	-4.4%
Cv(RMSE) [%]	8.3%

La prestazione energetica dell'appartamento analizzato nello stato di fatto risultante dall'applicazione della valutazione adattata all'utenza calibrata (*calibrated tailored rating*) è riportata in Tabella 4.27, in Tabella 4.28 ed in Figura 4.27.

Tabella 4.27. Prestazione energetica dell'appartamento-tipo, fabbisogno netto (valutazione adattata all'utenza calibrata).

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno netto
		[kWh/m ² a]
Riscaldamento	$EP_{H,nd}$	46.5
ACS	$EP_{w,nd}$	17

Tabella 4.28. Prestazione energetica dell'appartamento-tipo, 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	EP_H	89.3	0.5	89.8
ACS	EP_W	24.7	0.2	24.9
Globale	EP_{gl}	114.1	0.7	114.8

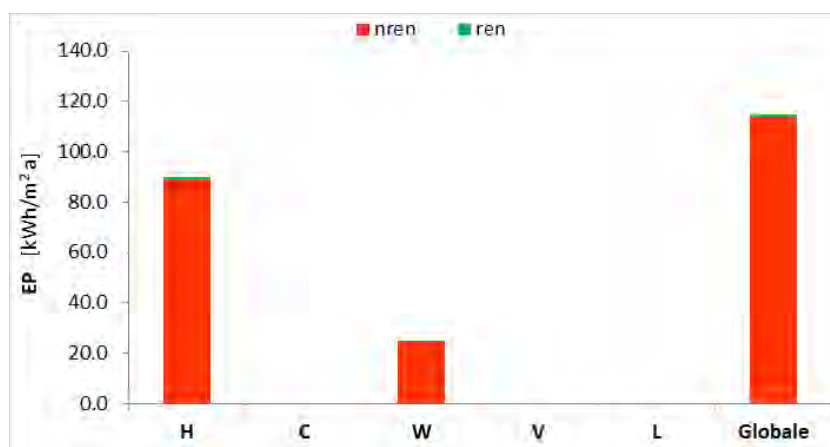


Figura 4.27. Prestazione energetica dell'appartamento-tipo (valutazione adattata all'utenza calibrata).

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) [58]. 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, prima dell'appartamento-tipo e poi dell'intero 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 4.28 e Figura 4.29). Il valore dei gradi giorno di riscaldamento standard è pari a 2648 (da UNI 10349-3 [25]).

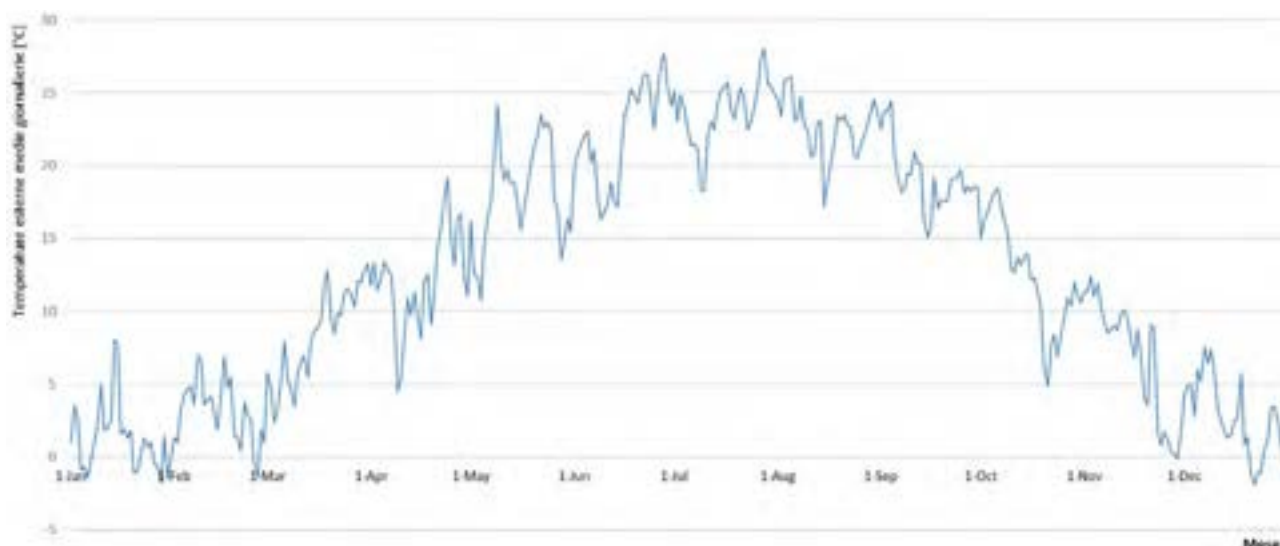


Figura 4.28. Andamento della temperatura esterna media giornaliera (Torino) – anno tipo climatico CTI [58].



Figura 4.29. Andamento dell'irradiazione solare globale media giornaliera sul piano orizzontale (Torino) – anno tipo climatico CTI [58].

Gli indici di prestazione energetica, risultanti dall'applicazione della valutazione adattata all'utenza calibrata con dati climatici standard, a livello di singolo appartamento, sono riportati in Tabella 4.29, Tabella 4.30 e Figura 4.30.

Tabella 4.29. Prestazione energetica dell'appartamento-tipo, fabbisogno netto (valutazione adattata all'utenza calibrata con dati climatici standard).

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno netto
		[kWh/m ² a]
Riscaldamento	$EP_{H,nd}$	53.2
ACS	$EP_{w,nd}$	17

Tabella 4.30. Prestazione energetica dell'appartamento-tipo, 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	102.4	0.5	102.9
ACS	EP_W	24.7	0.2	24.9
Globale	EP_{gl}	127.1	0.7	127.8

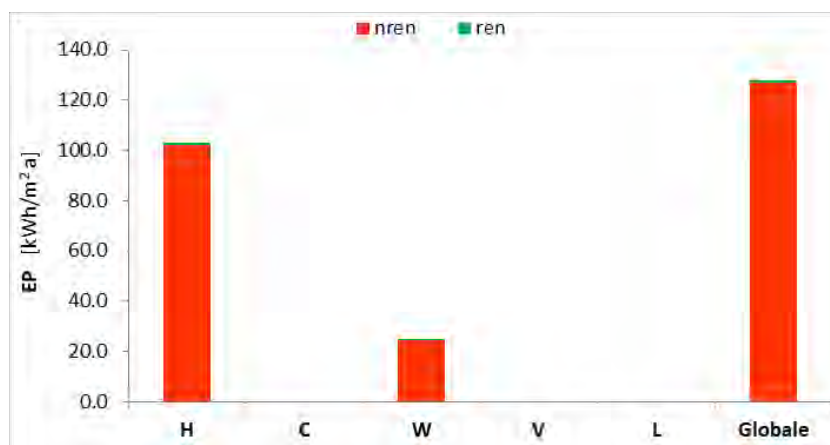


Figura 4.30. Prestazione energetica dell'appartamento-tipo (valutazione adattata all'utenza calibrata con dati climatici standard).

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'appartamento standard simulato occorre effettuare una valutazione energetica di tipo standard mediante l'applicazione delle specifiche tecniche della serie UNI/TS 11300 ([4],[5],[6],[7],[8]). 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 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 [20]. Gli indici di prestazione energetica dell'edificio risultanti dalla valutazione standard con UNI/TS 11300 sono riportati in Tabella 4.31 e in Tabella 4.32.

Tabella 4.31. Prestazione energetica dell'appartamento-tipo, fabbisogno netto (valutazione standard) – UNI/TS 11300.

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno netto
		[kWh/m ² a]
Riscaldamento	$EP_{H,nd}$	50
ACS	$EP_{w,nd}$	17

Tabella 4.32. Prestazione energetica dell'appartamento-tipo (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	78.0	1.2	79.2
ACS	EP_w	23.3	0.0	23.3
Globale	EP_{gl}	101.3	1.2	102.5

Per la classificazione energetica dell'appartamento [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, Sezione 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 2021 per gli edifici residenziali. 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 66.2 kWh/m²a e il valore di $EP_{gl,nren}$ dell'appartamento reale è pari a circa 101 kWh/m²a. Di conseguenza, l'appartamento risulta essere in classe energetica D (Tabella 4.33).

Tabella 4.33. Classificazione energetica (pre-retrofit) dell'appartamento-tipo.

			Classe A4	≤	26.5	kWh/m ²
kWh/m ²	26.5	<	Classe A3	≤	39.7	kWh/m ²
kWh/m ²	39.7	<	Classe A2	≤	53.0	kWh/m ²
kWh/m ²	53.0	<	Classe A1	≤	66.2	kWh/m ²
kWh/m ²	66.2	<	Classe B	≤	79.5	kWh/m ²
kWh/m ²	79.5	<	Classe C	≤	99.3	kWh/m ²
kWh/m ²	99.3	<	Classe D	≤	132.4	kWh/m ²
kWh/m ²	132.4	<	Classe E	≤	172.2	kWh/m ²
kWh/m ²	172.2	<	Classe F	≤	231.7	kWh/m ²
kWh/m ²	231.7	<	Classe G			

4.3.5 Livello edificio - Valutazione adattata all'utenza calibrata (*calibrated tailored rating*) con dati climatici standard

Una volta calibrato il modello a livello di singolo appartamento di riferimento, si sono eseguite le simulazioni a livello di edificio. Non avendo a disposizione profili di occupazione e gestione di tutte le unità immobiliari, i dati di utenza relativi all'appartamento-tipo studiato in fase di calibrazione sono stati attribuiti a tutte le altre zone termiche (appartamenti) dell'edificio. Così facendo, le successive analisi relative alla fase di retrofit energetico sono state condotte non più a scala di singolo appartamento, ma a scala dell'intero edificio. Gli indici di prestazione energetica a livello di edificio sono riportati in Tabella 4.29, Tabella 4.30 e Figura 4.30.

Tabella 4.34. 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	$EP_{H,nd}$	57.6
ACS	$EP_{w,nd}$	18

Tabella 4.35. 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	111.9	0.5	112.4
ACS	EP_w	26.9	0.2	27.1
Globale	EP_{gl}	138.8	0.7	139.5

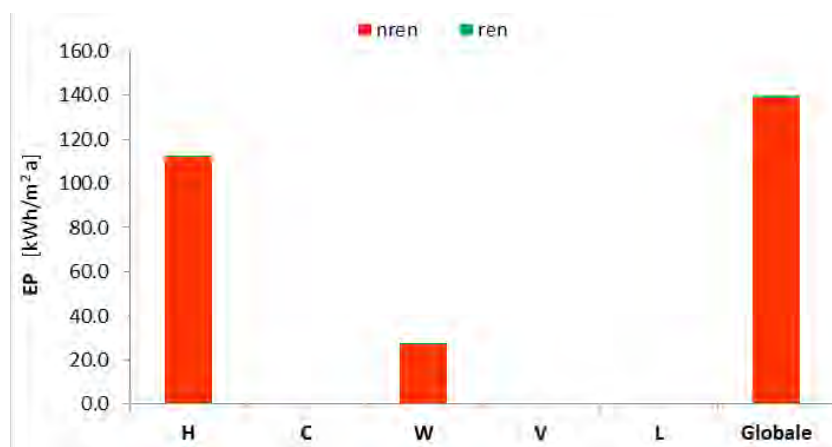


Figura 4.31. Prestazione energetica dell'edificio (valutazione adattata all'utenza calibrata con dati climatici standard).

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 28.5 kg/m².

Il costo globale, stimato in un periodo di 30 anni (considerando i costi energetici, di manutenzione e di sostituzione dopo 15 anni dei sistemi di generazione ed emissione), è pari a 413.4 €/m².

4.3.6 Livello edificio - Analisi di conformità al D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi

Viste le buone caratteristiche di isolamento termico dell'edificio allo stato attuale, si è ritenuto opportuno verificarne la conformità a quanto previsto dal Decreto dei Requisiti Minimi [1]. Per tale motivo, l'edificio è stato modellato assumendo un'utenza standard (*asset rating*) secondo il modello della UNI/TS 11300 – 1 [4] ed è stato poi confrontato con l'edificio di riferimento.

La Tabella 4.36 riporta gli indici di prestazione energetica dell'edificio allo stato di fatto, determinati secondo quanto appena descritto, e i medesimi indici calcolati per l'edificio di riferimento al 2015 e al 2021.

Tabella 4.36. Confronto fra gli indici di prestazione energetica (stato di fatto).

Indici	Valori limite	Edificio reale (stato di fatto)	Valori limite - edificio di riferimento al 2015	Valori limite - edificio di riferimento al 2021
H'_T [W/m²K]	0.75	1.10	-	-
$A_{sol.est}/A_{sup.utile}$ [-]	0.04	0.04	-	-
$EP_{H.nd}$ [kWh/m² a]	-	82.2	25.7	19.6
$EP_{gl.tot}$ [kWh/m² a]	-	100.3	80.9	71.3
η_H [-]	-	0.66	0.55	0.52
η_W [-]	-	0.72	0.53	0.53
RER_W [%]	55%	0%	-	-
RER_{H+C+W} [%]	55%	1%	-	-

Come si può notare, già allo stato di fatto si rispettano alcuni valori limite definiti dal Decreto Requisiti Minimi [1], sia al 2015 che al 2021, in particolare, l'area solare equivalente estiva per unità di superficie utile (lato involucro) e le efficienze medie stagionali dell'impianto di riscaldamento e produzione di ACS. Non vengono rispettati sia l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, sia il valore del coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (H'_T) – soprattutto a motivo dell'elevata incidenza dei ponti termici nell'edificio in esame. La copertura minima da fonti rinnovabili non viene soddisfatta, in quanto non è previsto il loro utilizzo nello stato di fatto.

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 la possibilità di installare un impianto di raffrescamento, tramite l'utilizzo di pompe di calore invertibili.

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 fissi di ombreggiamento/schermatura solare);
- l'EEM 6 riguarda gli impianti termici, ovvero la sostituzione del generatore di calore;
- le EEM 7 e 8 riguardano la produzione di energia da fonti rinnovabili (collettori solari termici e pannelli fotovoltaici).

Tabella 5.1. Misure di efficienza energetica (EEM).

n°	Misure di efficienza energetica	Parametri	Unità di misura
1	Isolamento termico dell'involucro opaco verticale	U_p	[W/m ² K]
2	Isolamento termico dell'ultimo solaio	$U_{r,u}$	[W/m ² K]
3	Isolamento termico del solaio inferiore	$U_{f,u}$	[W/m ² K]
4	Sostituzione dell'involucro trasparente appartamenti e vano scala	U_w e $U_{w,s}$	[W/m ² K]
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	$F_{sh,ob}$	[-]
6	Sostituzione del generatore di calore per riscaldamento (e produzione combinata di ACS)	$\eta_{gn,pn,H}$ o COP	[-]
7	Installazione di collettori solari termici	A_{coll}	[m ²]
8	Installazione di pannelli fotovoltaici	W_p	[kW]

5.2 Soluzioni tecnologiche e costi

Per ognuna delle misure di efficienza energetica elencate in Tabella 5.1, si considerano da uno a tre 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, della sua manutenzione ed eventuale sostituzione, 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. Tra le soluzioni tecnologiche dei generatori di energia termica sono state considerate le seguenti alternative: caldaie attuali, caldaie a condensazione e pompe di calore, sempre di tipo autonomo. I terminali di emissione dell'impianto di riscaldamento sono stati sostituiti con ventilconvettori solo nel caso di utilizzo delle pompe di calore, per garantire il loro utilizzo sia per il riscaldamento sia per il raffrescamento. Non sono state prese in considerazione soluzioni con impianto di riscaldamento centralizzato, in quanto questo avrebbe comportato un'ingente opera di adeguamento impiantistico, con conseguenti costi non competitivi rispetto alle altre soluzioni.

Nel caso di utilizzo di pannelli solari per la produzione di ACS, l'impianto richiesto è stato ipotizzato di tipo centralizzato. In tal caso, la caldaia del singolo appartamento (tradizionale, condensazione o pompa di calore) sarà destinata al solo servizio di riscaldamento ambiente, mentre la produzione di ACS di tutto il condominio sarà gestita da un impianto centralizzato composto da pannelli solari, accumulo e caldaia di integrazione (dello stesso tipo di quelle utilizzate per il riscaldamento).

L'utilizzo di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica è stato invece preso in considerazione solo nel caso di sostituzione del generatore con pompe di calore, per andarne a coprire i consumi elettrici.

Il dimensionamento dell'impianto di ACS si è basato su quanto indicato in [44], mentre per quanto riguarda il fotovoltaico, si è fatto riferimento al D. Lgs. 28/2011 [2] e alla UNI/TS 11300-4 [7].

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
1	Isolamento involucro opaco verticale	Stato di fatto	0.04 m EPS (requisiti minimi 2015)	0.06 m EPS (requisiti minimi 2021)
2	Isolamento ultimo solaio	Stato di fatto	0.09 m lana di vetro (requisiti minimi 2015)	0.10 m lana di vetro (requisiti minimi 2021)
3	Isolamento solaio vs piano terra	Stato di fatto	0.07 m EPS (requisiti minimi 2015)	0.08 m EPS (vs. non climatizzati) 0.09 m EPS (vs. esterno) (requisiti minimi 2021)
4	Isolamento involucro trasparente	Stato di fatto	Doppio vetro low-e 4-12-4 argon legno (requisiti minimi 2015)	Triplo vetro low-e 4-12-4-12-4 aria legno (requisiti minimi 2021)
	Isolamento involucro trasparente vano scala	Stato di fatto	Doppio vetro low-e 4-12-4 argon legno	
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	Stato di fatto	0.40 m frangisole	0.70 m frangisole
6	Generatore per riscaldamento e ACS	Stato di fatto	Caldaie a condensazione autonome	Pompa di calore aria-acqua + sostituzione terminali di emissione
7	Collettori solari termici	Stato di fatto	Collettori solari a tubi sottovuoto per ACS + accumulo + caldaia di integrazione (<i>cost-optimal</i> [44])	Collettori solari a tubi sottovuoto per ACS + accumulo + caldaia di integrazione (<i>cost-optimal</i> [44] + 20%)
8	Pannelli fotovoltaici	Pannelli in silicio monocristallino (Dlgs 28/2011 [2] e UNI/TS 11300-4 [7] - 20%)	Pannelli in silicio monocristallino (Dlgs 28/2011 [2] e UNI/TS 11300-4 [7])	Pannelli in silicio monocristallino (Dlgs 28/2011 [2] e UNI/TS 11300-4 [7] + 20%)

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 [44]. 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, mentre i costi del fotovoltaico sono comprensivi della tecnologia, dell'inverter e dei quadri di controllo [44].

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.

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
1	Isolamento involucro opaco verticale	U_p [W/m ² K] C/A _{f,n}	Stato di fatto	0.29 93.06	0.25 98.04
2	Isolamento ultimo solaio	$U_{r,u}$ [W/m ² K] C/A _{f,n}	Stato di fatto	0.26 9.31	0.24 9.96
3	Isolamento solaio vs piano terra	$U_{f,u}$ [W/m ² K] C/A _{f,n}	Stato di fatto	0.29 24.14	0.26 27.06
4	Isolamento involucro trasparente	U_w [W/m ² K] C/A _{f,n}	Stato di fatto	1.8 534	1.4 615
	Isolamento involucro trasparente vano scala	$U_{w,s}$ [W/m ² K] C/A _{f,n}	Stato di fatto	2.8 337	
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	$F_{sh,ob}$ [-] C/A _{f,n}	Stato di fatto	0.96 15.09	0.89 18.29
6	Generatore per riscaldamento e ACS	$\eta_{gn,H} / COPC$	Stato di fatto	1 70'500	4.1 180'000
7	Collettori solari termici	A_{coil} [m ²] C	Stato di fatto	30 24'120	36 28'944
8	Pannelli fotovoltaici	W_p [kW] C	10 12'500	12 15'000	14 17'500

5.2.1 Verifica termo igrometrica delle misure di isolamento degli elementi di involucro opaco

Gli interventi di isolamento dell'involucro opaco sono stati soggetti a verifica termo-igrometrica per escludere la formazione di condensa interstiziale durante il mese di gennaio (metodo di Glaser) e superficiale per tutti i mesi invernali (UNI EN ISO 13788 [26], confrontando la temperatura superficiale esterna con la temperatura di rugiada dell'aria esterna). La verifica è stata fatta per ogni misura, sui tre livelli di prestazione energetica considerati (compreso lo stato di fatto). Per nessuna configurazione analizzata si verificano fenomeni di condensa (né superficiale né interstiziale). Si riportano di seguito i diagrammi di Glaser per le diverse configurazioni analizzate.

- Isolamento involucro opaco verticale

M1_EEO1 (stato di fatto):

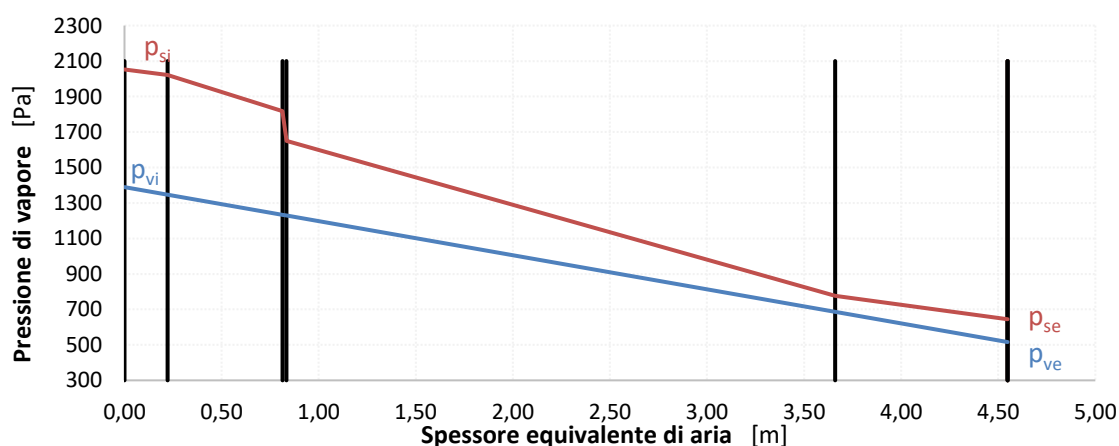


Figura 5.1. Verifica condensa interstiziale - M1_EEO1.

M1_EEO2:

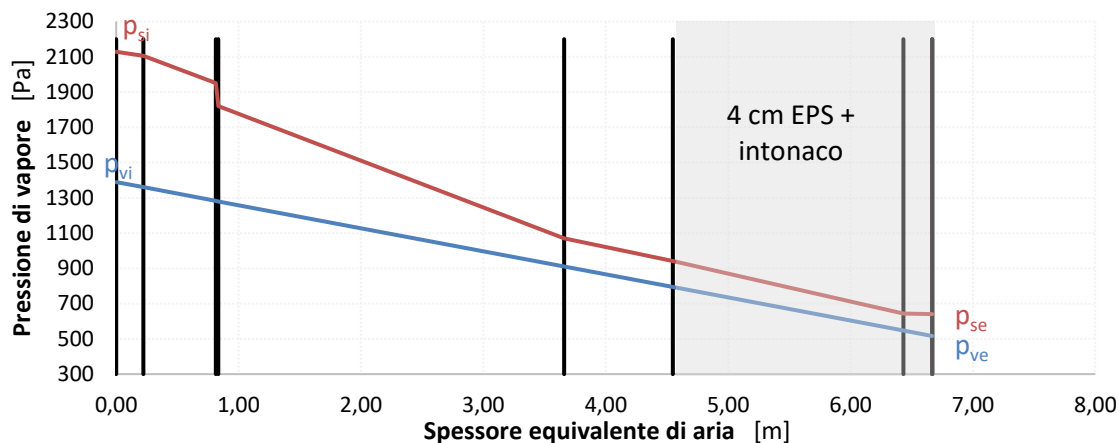


Figura 5.2. Verifica condensa interstiziale - M1_EEO2.

M1_EEO3:

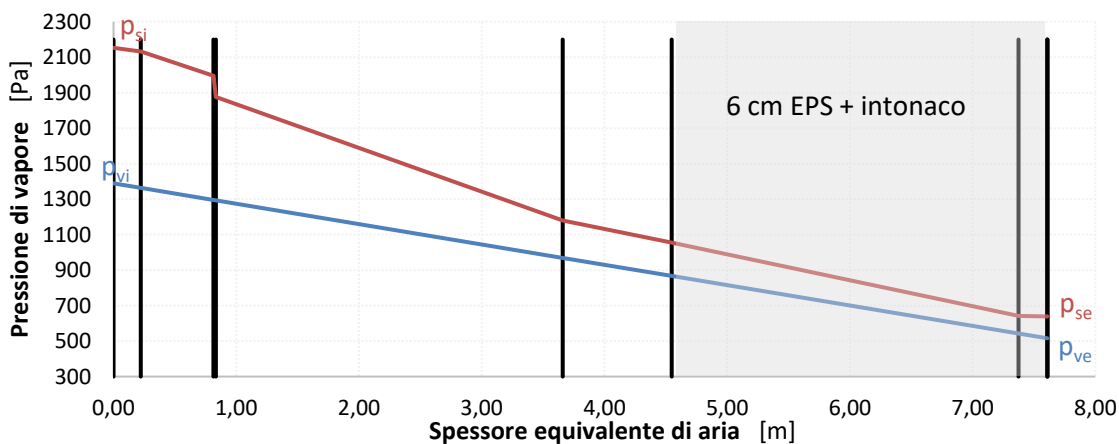


Figura 5.3. Verifica condensa interstiziale - M1_EEO3.

- Isolamento solaio inferiore (verso esterno)

S1_EEO1 (stato di fatto):

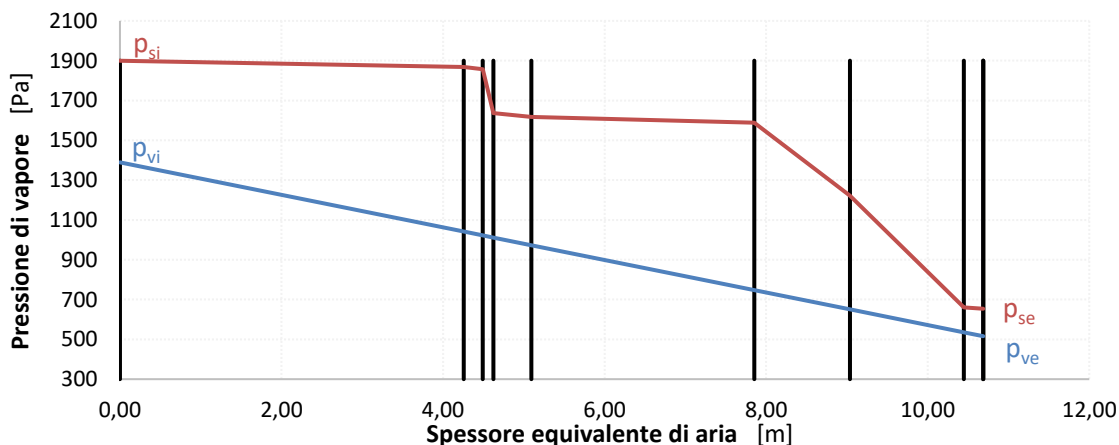


Figura 5.4. Verifica condensa interstiziale - S1_EEO1.

S1_EEO2:

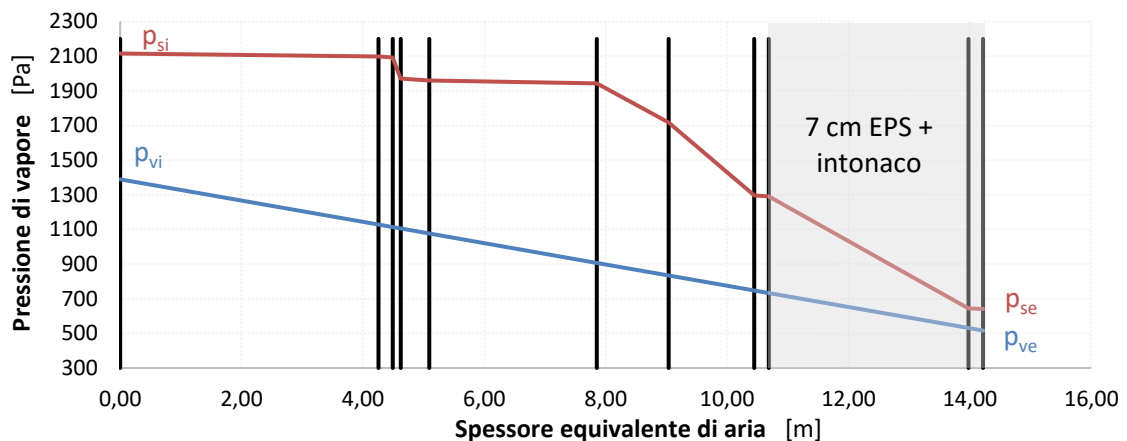


Figura 5.5. Verifica condensa interstiziale - S1_EEO2.

S1_EEO2:

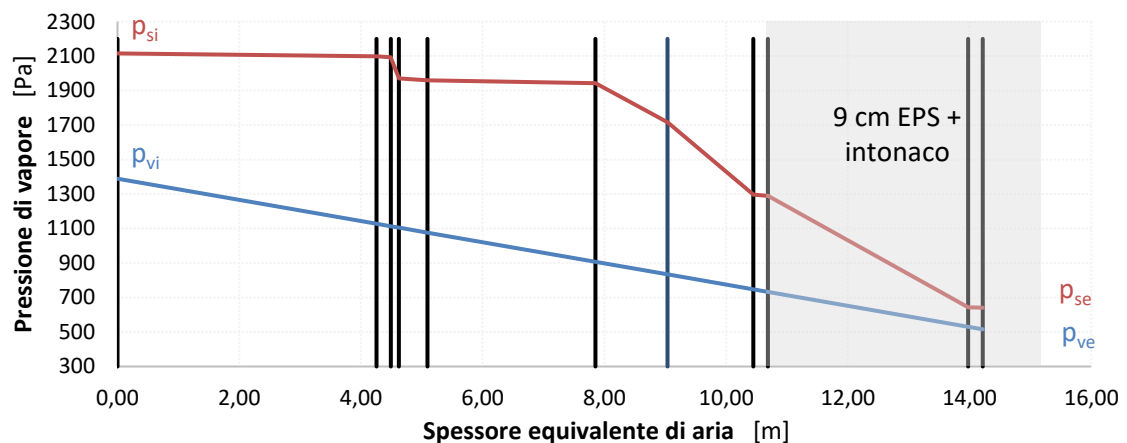


Figura 5.6. Verifica condensa interstiziale - S1_EEO2.

Si ritiene necessario evidenziare che, pur non presentando criticità di condensa, nello stato di fatto ci sono situazioni di presenza di muffe all'interno degli appartamenti, soprattutto in corrispondenza dei ponti termici. Gli interventi di isolamento (cappottatura) sono quindi preliminarmente volti alla riduzione dei ponti termici con conseguente soluzione del problema della muffa.

5.3 Valutazioni energetiche 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. Per quanto riguarda lo stato di fatto, si sono inseriti i valori dei ponti termici standard forniti dal CTI [44].

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 in DesignBuilder.

n° EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Livelli di prestazione energetica EEO		
		1	2	3
1	Isolamento involucro opaco verticale	Stato di fatto	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 + costo di ripristino tinteggiatura (eccetto EEM2).	
2	Isolamento ultimo solaio			
3	Isolamento solaio vs piano terra			
4	Isolamento involucro trasparente	Stato di fatto	Per ogni livello di prestazione energetica sull’involucro trasparente è stato modellato il <i>template</i> delle aperture (comprensivo di infisso e vetro). Per ogni <i>template</i> è stato inserito il costo della tecnologia, della rimozione dell’esistente e dell’installazione.	
	Isolamento involucro trasparente vano scala	Stato di fatto	Per la misura adottata è stato modellato il <i>template</i> delle aperture (comprensivo di infisso e vetro). Per ogni <i>template</i> è stato inserito il costo della tecnologia, della rimozione dell’esistente e dell’installazione.	
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	Stato di fatto	Per ogni misura è stato creato un pacchetto con il sistema ombreggiante fisso, con diversa profondità. Si sono considerati i costi di installazione dei ponteggi [ila] e del materiale (da prezziario Regione Piemonte []).	
6	Generatore per riscaldamento e ACS	Stato di fatto Costo di sostituzione impianto e terminali + manutenzione	Si sono realizzati diversi modelli (uno per ogni sistema di generazione), ai quali si sono associati i diversi livelli di collettori solari. I costi sono stati definiti rispettivamente per generatore e collettori, considerando la rimozione del generatore esistente, il nuovo generatore, l’installazione e la manutenzione, nonché manutenzione e sostituzione terminali di emissione.	
7	Collettori solari termici	Stato di fatto		
8	Pannelli fotovoltaici	È stata modellata la superficie di pannelli fotovoltaici, in funzione del livello desiderato. È stato necessario attivare la sezione “generazione” nelle finestre di dialogo del software, creando tre livelli di “load centre” associando a ciascuno la superficie di pannelli di ciascun livello della misura. I costi sono stati inseriti a livello di edificio, considerando installazione, manutenzione e sostituzione (dopo 20 anni).		

I calcoli di ottimizzazione sono stati svolti separatamente per ciascun generatore di calore, e per ciascun livello di solare termico. Questo si è reso necessario perché il software non è in grado di associare in maniera corretta gli impianti di generazione ed ACS a ciascuna delle 6 zone termiche presenti (6 zone termiche composte da 5 appartamenti l'una). Sono state quindi ottenute nove soluzioni *cost-optimal*.

Trattandosi di un edificio già discretamente performante (isolato, serramenti con doppio vetro e caldaie di recente sostituzione), la quasi totalità degli interventi di efficientamento energetico possibili comportano costi eccessivamente elevati rispetto al risparmio energetico che ne conseguirebbe, in particolar modo quando si vanno a considerare degli interventi che prevedono la sostituzione degli impianti di generazione (ed emissione nel caso di pompe di calore). Per tale motivo si riportano di seguito solo i risultati relativi alle simulazioni condotte mantenendo l'impianto di generazione attuale (caldaia tradizionale), in quanto i più significativi e maggiormente realizzabili (Figura 5.7).

I punti di colore rosso rappresentano le soluzioni del fronte di Pareto determinato dalle ultime generazioni dell'algoritmo di ottimizzazione, mentre il punto verde rappresenta la soluzione *cost-optimal*. Tale soluzione risulta essere composta dagli interventi di:

- Isolamento involucro opaco esterno, livello EEO3;
- Isolamento solaio sottotetto, livello EEO2;
- Aggetto ombreggiante su vano scala, livello EEO2;
- Solare termico per produzione ACS, livello EEO2.

Andando a confrontare la soluzione *cost-optimal* con lo stato di fatto (Figura 5.8), si nota subito come il valore di $EP_{gl,nren}$ sia notevolmente più alto nello stato di fatto. Questa differenza è in buona parte dovuta all'aver supposto preliminarmente che tutti i ponti termici vengano risolti nella soluzione *cost-optimal*.

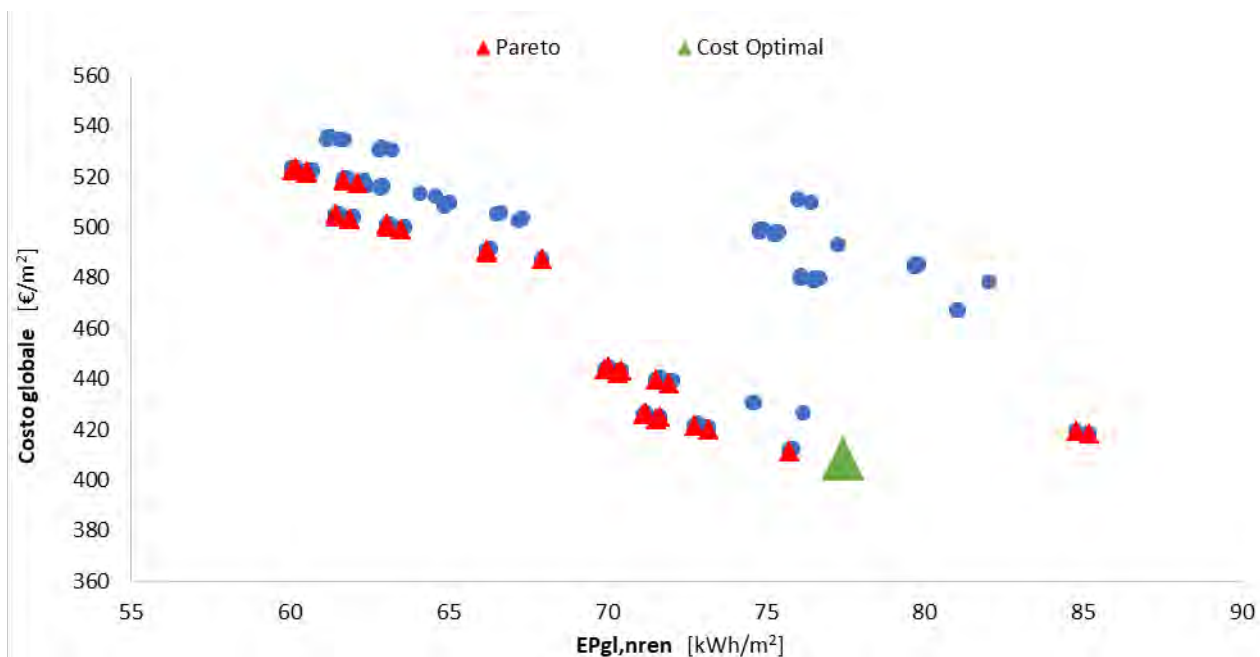


Figura 5.7. Soluzioni corrispondenti alle generazioni dell'algoritmo di ottimizzazione.

La Figura 5.8 riporta il differenziale di costo globale, rispetto allo stato di fatto, della soluzione *cost-optimal*. Nel grafico sono riportati due punti che individuano lo stato attuale, il primo (in blu) definisce lo stato di fatto reale da calibrazione, mentre il punto in giallo rappresenta lo stato di fatto dopo aver corretto i valori dei ponti termici. Quest'ultima configurazione è più significativa perché permette di valutare direttamente i costi e benefici della soluzione *cost-optimal*. Dall'immagine si evince che, considerando un periodo di analisi di 30 anni, con la soluzione ottimale in funzione dei costi si ottiene una riduzione del costo globale pari a 5 €/m² (di poco *cost-effective*) a fronte di un risparmio energetico pari al 28%.

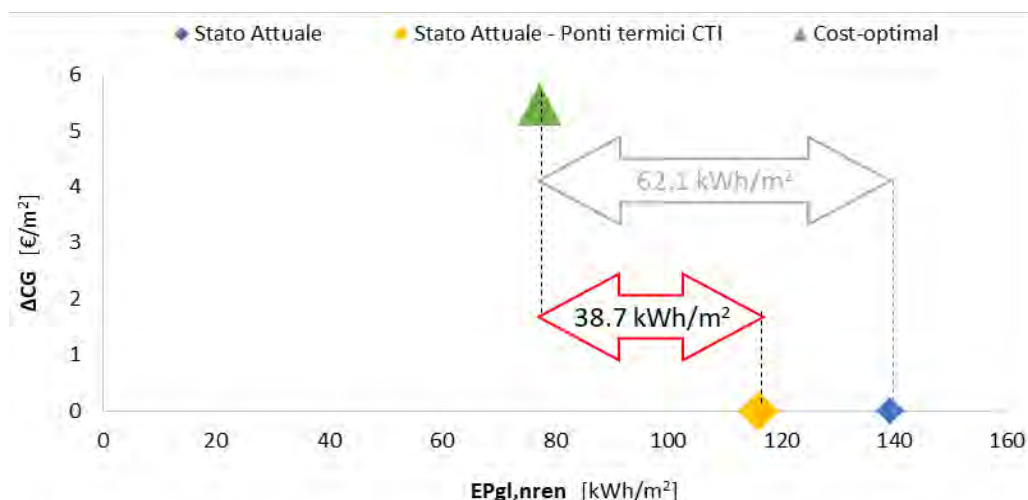


Figura 5.8. Differenziale del costo globale, rispetto allo stato attuale (punto blu) e allo stato attuale con correzione dei ponti termici (punto giallo) in relazione all'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile.

La Tabella 5.5 riassume, per ciascuna misura di efficienza (EEM), i livelli di prestazione energetica (EEO) adottati, 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	Livelli di prestazione energetica EEO	
				Valore	n° EEO
1	Isolamento involucro opaco verticale	Trasmittanza termica	U_p [W/m²K]	0.25	3
2	Isolamento ultimo solaio	Trasmittanza termica	$U_{r,u}$ [W/m²K]	0.26	2
3	Isolamento solaio vs piano terra	Trasmittanza termica	$U_{f,u}$ [W/m²K]	SdF ¹	1
4	Isolamento involucro trasparente	Trasmittanza termica	U_w [W/m²K]	SdF ¹	1
	Isolamento involucro trasparente vano scala	Trasmittanza termica	$U_{w,s}$ [W/m²K]	SdF ¹	1
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	Fattore di ombreggiamento	$F_{sh,ob}$ [-]	0.92 ²	2
6	Collettori solari termici	Superficie dei collettori solari	A_{coil} [m²]	30	2

¹ SdF = Stato di Fatto
² 0.92 è il valore medio annuale

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/m²a]
Riscaldamento	$EP_{H,nd}$	30.2
ACS	$EP_{w,nd}$	18

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	57,9	0,1	57,9
ACS	EP_W	18,5	7,1	25,7
Globale	EP_{gl}	76,4	7,2	83,6

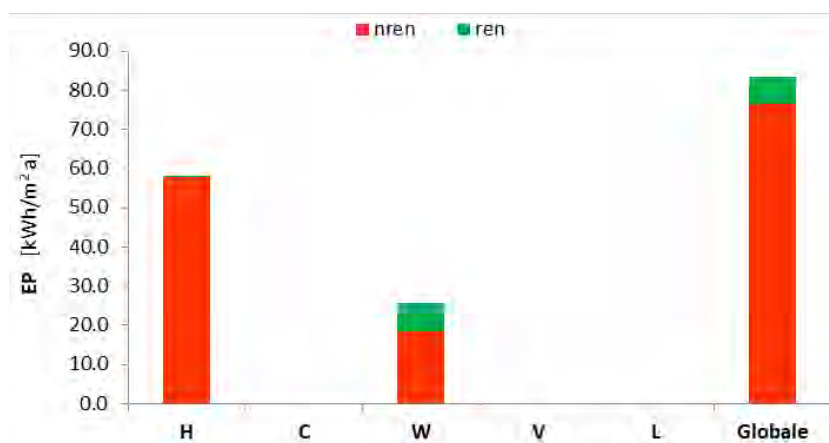


Figura 5.9. Prestazione energetica dell'edificio (*cost-optimal analysis*).

Per quanto riguarda le emissioni annue di CO₂ riferite alla configurazione *cost-optimal*, esse ammontano a circa 16 kg/m² (notevolmente inferiori rispetto allo stato di fatto).

Come per l'edificio reale (*pre-retrofit*), è stata valutata la classificazione energetica dell'appartamento tipo nel caso di soluzione *cost-optimal*. Il valore di $EP_{gl,nren,rif,standard}$ (2019/21) calcolato per l'edificio di riferimento è pari a 68.4 kWh/m²a, mentre il valore di $EP_{gl,nren}$ dell'appartamento reale post retrofit è pari a 73.4 kWh/m²a. Pertanto l'edificio risulta essere in classe energetica B (Tabella 4.33).

Tabella 5.8. Classificazione energetica (soluzione *cost-optimal*)

			Classe A4	≤	27.4	kWh/m ²
kWh/m ²	27.4	<	Classe A3	≤	41.0	kWh/m ²
kWh/m ²	41.0	<	Classe A2	≤	54.7	kWh/m ²
kWh/m ²	54.7	<	Classe A1	≤	68.4	kWh/m ²
kWh/m ²	68.4	<	Classe B	≤	82.1	kWh/m ²
kWh/m ²	82.1	<	Classe C	≤	102.6	kWh/m ²
kWh/m ²	102.6	<	Classe D	≤	136.8	kWh/m ²
kWh/m ²	136.8	<	Classe E	≤	177.8	kWh/m ²
kWh/m ²	177.8	<	Classe F	≤	239.4	kWh/m ²
kWh/m ²	239.4	<	Classe G			

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 Requisiti Minimi [1], la configurazione *cost-optimal* dell'edificio, ottenuta mediante il processo di ottimizzazione, è stata modellata assumendo un'utenza standard (*asset rating*) secondo il modello della UNI/TS 11300-1 [4]. Il risultato di tale analisi è stato poi confrontato con quanto ottenuto in maniera analoga per l'edificio di riferimento. In Tabella 5.9 sono riportati gli indici di prestazione energetica

della soluzione *cost-optimal* (*asset rating*) e i medesimi indici calcolati per l'edificio di riferimento al 2015 e al 2021.

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 2021
H'_T [W/m ² K]	0.75	0.58	-	-
$A_{sol.est}/A_{sup.utile}$ [-]	0.04	0.04	-	-
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	-	40.0	25.7	19.6
$EP_{gl,tot}$ [kWh/m ² a]	-	58.0	87.3	64.8
η_H [-]	-	0.60	0.61	0.58
η_W [-]	-	0.77	0.40	0.58
RER_W [%]	55%	14%	-	-
RER_{H+C+W} [%]	55%	46%	-	-

Come si nota, la soluzione *cost-optimal* non rispetta al 2015 né il limite dell'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento, né il valore di η_H , mentre al 2021 (target nZEB) non rispetta solo più l'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento. Inoltre, la copertura minima da fonti rinnovabili relativa alla somma dei fabbisogni di climatizzazione invernale e produzione di acqua calda sanitaria non viene mai soddisfatta.

5.3.3 Soluzione nZEB

Il processo logico per l'individuazione e l'analisi della soluzione nZEB prevedrebbe di partire dalla soluzione *cost-optimal* appena identificata, andandone ulteriormente ad aumentare i livelli di efficientamento energetico. In questo caso specifico però, per le ragioni già più volte descritte (stati di fatto già isolato e con impianto di generazione recente), la soluzione *cost-optimal* è stata vincolata all'impianto di generazione esistente (caldaia a combustione tradizionale). Tale soluzione comporta limitati spazi di manovra in un'ottica nZEB, come ad esempio uno scarso sfruttamento delle fonti rinnovabili (impianto fotovoltaico assente). Di conseguenza si è deciso di condurre questo tipo di indagine considerando come sistema di generazione (sia riscaldamento che integrazione ACS da solare termico) una pompa di calore invertibile, e conseguente sostituzione dei terminali di emissione. In questo modo è possibile analizzare, oltre che riscaldamento, ACS da solare termico e fotovoltaico, anche il contributo del raffrescamento estivo (il quale va ad influenzare la prestazione energetica globale dell'edificio). Da letteratura [45] è possibile osservare che l'utilizzo di pompe di calore abbinate a pannelli fotovoltaici consente il rispetto dei requisiti di copertura da fonti rinnovabili, secondo il D. Lgs. 28/2011 [2].

La Tabella 5.10 riporta per ogni EEM le opzioni di efficienza energetica che permettono di raggiungere il target nZEB (rispetto dei valori limite degli indici di prestazione energetica determinati con i parametri dell'edificio di riferimento vigenti dal 1° gennaio 2021 [1]). Per tutte le misure adottate, sono stati utilizzati i massimi livelli di prestazione energetica, ad eccezione dell'isolamento dell'involucro opaco verticale. In tal caso, si è deciso di non utilizzare un involucro opaco con valore di trasmittanza pari a quella dell'edificio di riferimento, secondo i risultati ottenuti in [44], in cui si è osservato che le soluzioni ottimali in termini di costi (per edifici simili al caso studio) prevedono l'uso di pompe di calore come sistema di generazione, ma abbinate ad un livello di isolamento termico meno performante. La trasmittanza termica dei serramenti è stata scelta nel rispetto dei requisiti minimi al 2021, così come la profondità degli aggetti orizzontali di ombreggiamento del vano scala è stata scelta pari a 70 cm, in modo da favorire il raggiungimento dei requisiti minimi in condizioni estive. In ultimo, le fonti rinnovabili sono state considerate al livello di prestazione massimo per garantire la copertura di fabbisogno richiesta.

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]	0.29	2
2	Isolamento ultimo solaio	Trasmittanza termica	$U_{r,u}$ [W/m ² K]	0.24	3
3	Isolamento solaio inferiore	Trasmittanza termica	$U_{f,u}$ [W/m ² K]	0.26	3
4	Isolamento involucro trasparente	Trasmittanza termica	U_w [W/m ² K]	1.4	3
	Isolamento involucro trasparente vano scala	Trasmittanza termica	$U_{w,s}$ [W/m ² K]	2.8	-
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	Fattore di ombreggiamento	$F_{sh,ob}$ [-]	0.89	3
6	Generatore per riscaldamento	COP pompa di calore	COP [-]	4.1	2
7	Collettori solari termici	Superficie dei collettori solari	A_{coil} [m ²]	36	3
8	Pannelli fotovoltaici	Potenza di picco	W_p [kW]	14	3

Gli indici di prestazione energetica dell'edificio determinati con *DesignBuilder* per la soluzione nZEB sono riportate in Tabella 5.11, in Tabella 5.12 e in Figura 5.10.

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

Prestazione energetica	Simbolo	Fabbisogno netto
		[kWh/m ² a]
Riscaldamento	$EP_{H,nd}$	32.7
Raffrescamento	$EP_{C,nd}$	14.3
ACS	$EP_{w,nd}$	18

Tabella 5.12. Prestazione energetica dell'edificio, energia primaria (soluzione 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	27.9	45.7	73.6
Raffrescamento	EP_C	4.9	13.7	18.6
ACS	EP_w	8.4	17.4	25.8
Globale	EP_{gl}	41.2	76.9	118.1

La soluzione nZEB determina un risparmio energetico circa del 45% rispetto alla soluzione *cost-optimal* in termini di EP globale non rinnovabile, a fronte però di un aumento di costo globale di circa 325 €/m² (l'80% in più).

Dal punto di vista ambientale, le emissioni annue di CO₂ riferite all'edificio riqualificato in nZEB ammontano a 8.9 kg/m² (pari a poco più della metà della soluzione *cost-optimal*).

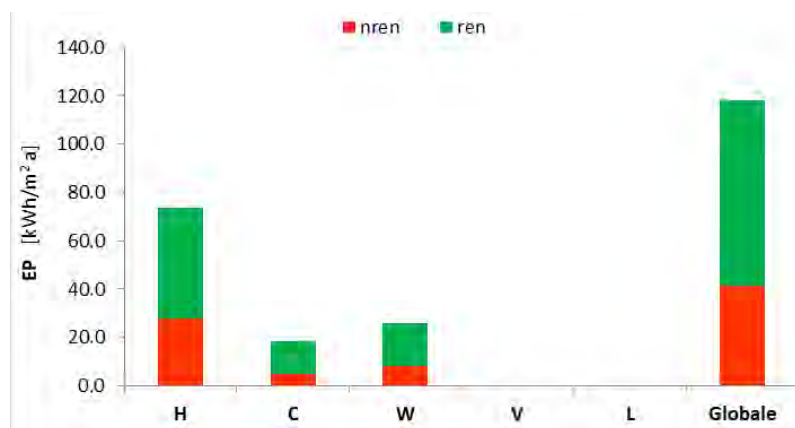


Figura 5.10. Prestazione energetica dell'edificio (soluzione nZEB).

Il confronto della soluzione nZEB con i requisiti legislativi è riportato in Tabella 5.13. Si evidenzia una criticità nella verifica dell' $EP_{H,nd}$. Tale criticità è però tipica degli edifici molto performanti, in cui è molto difficile rispettare contemporaneamente sia l' $EP_{H,nd}$ che l' $EP_{C,nd}$ [45].

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

Indici	Valori limite	Edificio nZEB	Valori limite - edificio di riferimento al 2015	Valori limite - edificio di riferimento al 2019
H'_T [W/m²K]	0.75	0.37	-	-
$A_{sol,est}/A_{sup,utile}$ [-]	0.04	0.03	-	-
$EP_{H,nd}$ [kWh/m² a]	-	21.0	25.7	19.6
$EP_{C,nd}$ [kWh/m² a]	-	22.0	22.1	22.7
$EP_{gl,tot}$ [kWh/m² a]	-	62.0	131.0	124.7
η_H [-]	-	0.50	0.50	0.48
η_C [-]	-	0.88	0.80	0.79
η_W [-]	-	0.69	0.35	0.33
RER_W [%]	50%	51%	50%	-
RER_{H+C+W} [%]	50%	74%	50%	-

Come per la soluzione *cost-optimal*, è stata determinata la classe energetica dell'appartamento tipo in configurazione nZEB: il valore di $EP_{gl,nren,rif,standard}$ (2019/21) calcolato per l'edificio di riferimento è pari a 61.4 (kWh/m²a) e il valore di $EP_{gl,nren}$ dell'edificio reale è pari a 45.3 (kWh/m²a). Pertanto l'edificio risulta essere in classe energetica A2 (Tabella 5.14).

Tabella 5.14. Classificazione energetica (nZEB)

			Classe A4	≤	24.6	kWh/m²
kWh/m²	24.6	<	Classe A3	≤	36.8	kWh/m²
kWh/m²	36.8	<	Classe A2	≤	49.1	kWh/m²
kWh/m²	49.1	<	Classe A1	≤	61.4	kWh/m²
kWh/m²	61.4	<	Classe B	≤	73.7	kWh/m²
kWh/m²	73.7	<	Classe C	≤	92.1	kWh/m²
kWh/m²	92.1	<	Classe D	≤	122.8	kWh/m²
kWh/m²	122.8	<	Classe E	≤	159.6	kWh/m²
kWh/m²	159.6	<	Classe F	≤	214.9	kWh/m²
kWh/m²	214.9	<	Classe G			

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 da cui è composta, così come segue:

- riqualificazione energetica del solo fabbricato (isolamento termico dell'involucro opaco, del solaio verso il sottotetto ed inserimento di ombreggiature fisse sulle finestre del vano scala, livelli EEO3, EEO2 ed EEO2 rispettivamente);
- utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (collettori solari termici, livello EEO2).

I risultati sono riportati in Figura 5.11 dove si confrontano i valori dell'EP globale, quota non rinnovabile, e dell'EP globale, quota rinnovabile, per i casi analizzati. Si può notare che il solo intervento sul fabbricato riduce di circa il 35% il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile rispetto allo stato di fatto, mentre con il solo intervento sull'impianto solare termico se ne risparmia circa il 30%. La soluzione nZEB, rispetto all'intervento sul solo solare termico, pur avendo un livello analogo di EP globale totale, presenta una quota molto più elevata di fonti rinnovabili (dovuta alla presenza aggiuntiva dell'impianto fotovoltaico associato alle pompe di calore).

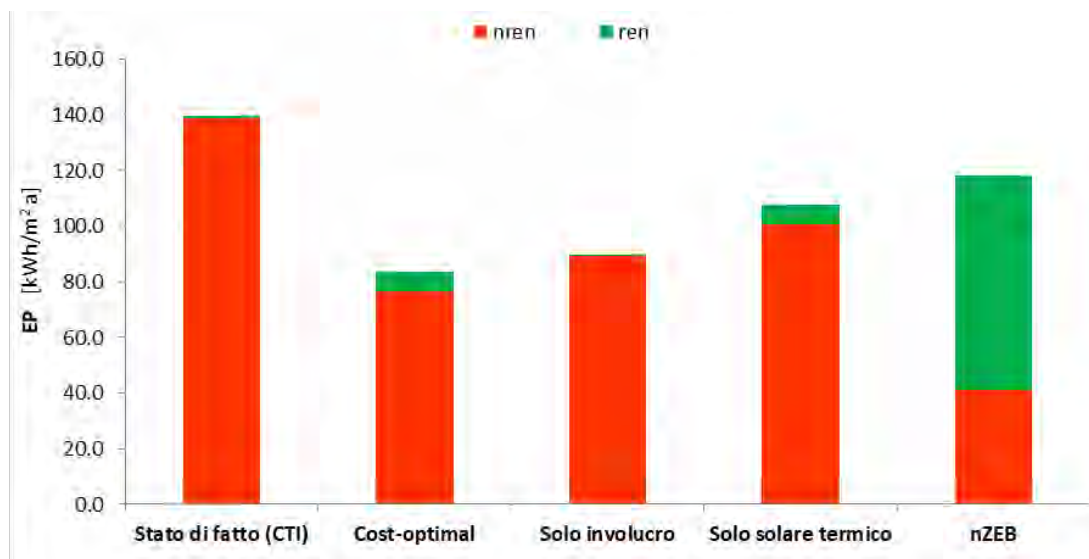


Figura 5.11. Risultati dell'analisi di sensibilità per interventi singoli.

6 Conclusioni

L'attività svolta ha riguardato la diagnosi energetica di un edificio situato in provincia di Torino rappresentativo del parco edilizio residenziale in zona climatica E.

Lo scopo dell'attività è stato 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 [1] 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 di tipo autonomo (caldaia a combustione tradizionale, caldaia a condensazione e pompa di calore), diversi livelli di efficienza dell'involucro edilizio opaco e trasparente e differenti taglie degli impianti a fonti rinnovabili (solare termico e fotovoltaico).

La soluzione *cost-optimal* individuata prevede un pacchetto di misure di efficienza energetica associate a un sistema di generazione con caldaia combinata a combustione tradizionale. Tale soluzione non rispetta però i requisiti degli nZEB. Si è quindi ipotizzata una nuova configurazione, che fosse in grado di sfruttare maggiormente le risorse rinnovabili (solare termico e fotovoltaico). Di conseguenza, per tale configurazione si è selezionato un sistema di generazione a pompa di calore invertibile. La soluzione nZEB è anche caratterizzata dai più alti livelli di prestazione termica dei pacchetti analizzati, fatta eccezione per l'isolamento dell'involucro opaco.

Dalle analisi condotte emergono le seguenti considerazioni:

- negli edifici isolati di "prima generazione", come il caso studio, è frequente incontrare delle criticità, quali non continuità dello strato isolante, presenza di muffe etc. Si rende quindi necessaria un'attenta analisi di queste situazioni, in modo da tenerne adeguatamente in considerazione le possibili conseguenze. Ad esempio, si è osservato come nel caso studio (stato di fatto), le dispersioni termiche per trasmissione rappresentassero la voce di maggior peso nel bilancio energetico dell'ambiente analizzato. Siccome l'involucro verticale esterno dell'edificio è isolato, questo comportamento può essere ragionevolmente associato agli effetti dei ponti termici presenti nell'involucro. Ponti termici mal considerati possono portare ad ulteriori problemi nell'edificio, come ad esempio l'abbassamento localizzato delle temperature superficiali, e la conseguente formazione di muffe.;
- le prestazioni dell'edificio allo stato di fatto rendono poco convenienti ristrutturazioni importanti di primo livello che prevedano la sostituzione dell'impianto di generazione. I risultati più significativi dell'analisi *cost-optimal* si sono osservati appunto nel caso di mantenimento dell'impianto di generazione della stessa tipologia attuale (impianto autonomo, caldaia a combustione tradizionale). In tali condizioni si è osservato che, intervenendo sull'isolamento dell'involucro opaco e sull'installazione di sistemi ombreggianti sul vano scala e di un impianto solare termico per la produzione di ACS, si riesce ad ottenere una soluzione di poco *cost-effective* (riduzione del costo globale pari a 5 €/m² a fronte di un risparmio energetico pari al 28%).
- è ulteriormente confermato il comportamento osservato in [45] in merito a soluzioni nZEB molto performanti. In tal caso è difficile riuscire a rispettare contemporaneamente sia l' $EP_{H,nd}$ che l' $EP_{C,nd}$ (punto di equilibrio tra i due valori).

In riferimento ai costi, la soluzione nZEB individuata prevede un notevole incremento delle prestazioni dell'edificio in caso di soluzione *cost-optimal* (con una riduzione dell' $EP_{gl,nren}$ circa del 45%), a fronte però di un ancor più notevole incremento di costo (80%).

Infine è stata condotta un'analisi di sensibilità per verificare l'influenza sul fabbisogno energetico globale dell'edificio di interventi specifici sull'involucro e sul sistema di integrazione delle fonti rinnovabili. Si dimostra che, tra i vari interventi possibili, quelli che prevedono il miglioramento delle prestazioni dell'involucro (maggiore isolamento, ombreggiamenti etc.) sono quelli che consentono un maggiore risparmio energetico (riduzione dei consumi pari a circa il 35% rispetto lo stato di fatto).

A fronte dei risultati ottenuti è fondamentale evidenziare che l'analisi dei costi è stata condotta in condizioni svantaggiose (senza considerare incentivi fiscali): si rende quindi necessario, visto l'elevato onere economico degli interventi proposti, che vengano predisposte adeguate misure finanziarie a sostegno delle opere di efficientamento energetico dell'edificio.

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 ISO 52000-1, Prestazione energetica degli edifici - Valutazione globale EPB - Parte 1: Struttura generale e procedure, 2018.
- [10] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI CEI EN 16247-1, Diagnosi energetiche - Parte 1: Requisiti generali, 2012.
- [11] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI CEI EN 16247-2, Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici, 2014.
- [12] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI CEI EN 16247-3, Diagnosi energetiche - Parte 3: Processi, 2014.
- [13] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 52003-1, Prestazione energetica degli edifici - Indicatori, requisiti, valutazioni e certificati - Parte 1: Aspetti generali e applicazione alla prestazione energetica complessiva, 2018.
- [14] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN 15459, Prestazione energetica degli edifici - Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici, 2008.

- [15] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10351, Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà termoigrometriche - Procedura per la scelta dei valori di progetto, 2015.
- [16] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10355, Murature e solai, Valori della resistenza termica e metodo di calcolo, 1994.
- [17] 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.
- [18] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 13786, Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo, 2008.
- [19] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 6946, Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo, 2008.
- [20] 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.
- [21] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 52016-1, Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo, 2018
- [22] 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.
- [23] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 7129-1, Impianti a gas per uso domestico e similare alimentati da rete di distribuzione - Progettazione, installazione e messa in servizio - Parte 1: Impianto interno, 2015
- [24] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN 16798-7, Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 7: Metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici compresa l'infiltrazione (Moduli M5-5), 2018.
- [25] 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.
- [26] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 13788, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo, 2013

Pubblicazioni scientifiche

- [27] CRESME, RIUSO03. "Ristrutturazione edilizia, riqualificazione energetica, rigenerazione urbana". Estratto della ricerca CRESME, 2014.
- [28] V. Corrado, I. Ballarini, "L'avanzamento della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio residenziale regionale (Regione Piemonte, IT)", Progetto EPISCOPE, 2016.
http://episcopes.eu/fileadmin/episcopes/public/docs/pilot_actions/IT_EPISCOPE_RegionalCaseStudy_PO_LITO.pdf
- [29] Cassa Depositi e Prestiti, "Social Housing. Il mercato immobiliare in Italia: focus sull'edilizia sociale", Report monografico, 2014.
- [30] Città di Torino, Direzione servizi sociali, Area edilizia residenziale pubblica, "Osservatorio condizione abitativa", XIII Rapporto, 2016

- [31] ENEA, PAEE 2017 “Piano d'Azione Nazionale per l'Efficienza Energetica”, 2017
- [32] 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.
- [33] V. Corrado, I. Ballarini, S. Paduos, L. Tulipano, "A new procedure of energy audit and cost analysis for the transformation of a school into a nearly zero-energy building", Energy Procedia, 140,325-338, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.146>.
- [34] L. Radulov, N. Kaloyanov, H. Petran, “D2.1 Report On The Preliminary Assessment Of Public Building Stock”, RePublic_ZEB, Novembre 2014.
- [35] 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.
- [36] Capozzoli A., Corrado V., Gorrino A., Soma P, “Atlante nazionale dei ponti termici”, Edizione Edilclima, 2011.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] E. Fabrizio, V. Monetti, “Methodologies and Advancements in the Calibration of Building Energy Models”, Energies 8, 2548-2574, 2015.
- [41] American Society for Heating Refrigerating Air-conditioning Engineers (ASHRAE), Guideline 14 - Measurement of Energy, Demand, and Water Savings, 2014.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 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)”, 2018 (in pubblicazione).
- [45] V. Corrado, I. Ballarini, G. De Luca, E. Primo, “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)”, collaborazione tra Politecnico di Torino ed ENEA, 2017.

Sitografia e software

- [46] EnergyPlus - <https://energyplus.net/>
- [47] DesignBuilder - <https://www.designbuilder.co.uk/>
- [48] Censimento ISTAT 2011 - <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx>
- [49] EU Buildings Database - <https://ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-database>

- [50]Eurostat statistics - <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- [51]Banca dati ISTAT - <https://www.istat.it/it/dati-analisi-e-prodotti/dati-e-indicatori>
- [52]EEAP 2014 Italian Energy Efficiency Action Plan -
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_neeap_en_italy.pdf
- [53]CECHODAS - <http://www.housingeurope.eu/>
- [54]Programma Operativo Regionale, denominato “POR FESR 2014 - 2020” -
http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2018/07/attach/dda1900000047_1040.pdf
- [55]Scheda tecnica caldaia ARISTON T2 23 MI - <https://www.schede-tecniche.it/schede-tecniche-caldaie/ARISTON-manuale-tecnico-caldaia-murale-gas-T2-23-MI.pdf>
- [56]Fornitore Luce-Gas - <https://luce-gas.it/faq/consumo-gas-medio-famiglia>
- [57] ARPA Piemonte – Banca dati meteorologica -
https://www.arpa.piemonte.gov.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html
- [58] Comitato Termotecnico Italiano (CTI) – Anni tipo climatici -
<https://www.cti2000.it/index.php?controller=news&action=show&newsid=34848>

Allegato A. Estratto di capitolato - ATC

Art. 9

OPERE STRUTTURALI

Il progetto prevede la costruzione di 2 edifici con struttura portante in cemento armato costituita da:

- fondazioni in c.a. su pali e travi ~~conting~~de.
- struttura verticale di pilastri in c.a.
- solai in laterocemento.

L'Impresa dovrà presentare per il visto della Direzione dei Lavori il progetto esecutivo delle opere in cemento armato o in ferro con il dimensionamento delle diverse strutture ed i relativi ordinativi. Tuttavia ciò non esonera l'Impresa dalla sua esclusiva responsabilità di progettazione e di esecuzione delle opere in cemento armato o in ferro, scaricando completamente la Direzione dei lavori e l'Ente Appaltante da qualsiasi responsabilità al riguardo.

L'Impresa si avvarrà di un proprio direttore responsabile dei lavori in cemento armato o ferro.

Non sarà consentita l'esecuzione dei getti di calcestruzzo e la posa delle strutture portanti, se prima i progetti inerenti non saranno stati visti dalla Direzione lavori e se non saranno state controllate sul posto le armature metalliche.

Detto carico dovrà essere determinato e documentato sulla base dei risultati dei sondaggi e delle prove penetrometriche allegati; altre prove possono essere richieste dalla Direzione dei Lavori e saranno a carico totale dell'Impresa.

Il progetto prevede una fondazione a travi continue su pali di idonee dimensioni. Tuttavia l'Impresa potrà proporre l'uso di altri sistemi di fondazione.

In tal caso l'Impresa dovrà giustificare con calcoli, alla Direzione Lavori, il tipo di fondazione prescelta.

Art. 9.2 - OPERE IN CEMENTO ARMATO OD IN FERRO

I sovraccarichi utili richiesti sono:

- per solaio di civile abitazione	250 kg/mq
- per solai di copertura praticabili	200 kg/mq
- per neve e vento sul tetto	150 kg/mq
- per solette balconi	400 kg/mq
- per rampe scale e pianerottoli	400 kg/mq

Detti sovraccarichi si intendono al netto del peso proprio della struttura, nonché dei pesi dei pavimenti, con relativi sottofondi e dei tramezzi interni.

Art. 9.3 - SOLAI

I solai saranno generalmente formati da blocchi laterizi di altezza di cm.18, con sovrastante cappa in calcestruzzo dello spessore di cm.4.

Per i locali servizi igienici dovrà essere garantita la posa delle tubazioni di scarico con le necessarie ed usuali pendenze, per cui i tratti di solai interessati, potranno essere realizzati con blocchi laterizi da cm.18 e sovrastante cappa da cm.4.

E' concesso l'uso di solai di tipo speciale, per i quali saranno riconosciuti validi unicamente i calcoli eseguiti dall'Ingegnere responsabile calcolatore delle strutture; l'impiego dei predetti solai dovrà essere autorizzato dalla Direzione ed in ogni caso dovrà essere garantita la perfetta complanarità degli elementi componenti.

Art. 9.4 - GIUNTI DI DILATAZIONE

L'edificio avrà giunto di dilatazione in corrispondenza del quale si eseguirà un raddoppio dei pilastri delle travi e dei muri.

Il cornicione avrà i giunti di dilatazione necessari secondo le disposizioni della Direzione Lavori.

ART.10

IMPERMEABILIZZAZIONI

Art. 10.1 - IMPERMEABILIZZAZIONI E PROTEZIONI

Nelle parti entroterra, tutti i muri perimetrali, a partire dal piano di spiccato, dovranno essere protetti all'esterno con uno strato di bitume a freddo, ad alta penetrazione, dello spessore minimo di mm.3, steso a cazzuola, previa imprimitura con primer idoneo.

Prima del reinterro le pareti impermeabilizzate dovranno essere protette con materiale ritenuto idoneo dalla Direzione Lavori. L'impermeabilizzazione dovrà essere applicata anche se il terreno non fosse soggetto ad allagamenti o ad infiltrazioni di acqua e dovrà essere estesa fino alla quota di imposta delle murature perimetrali, con risvolto.

In presenza di falde acquive, dovrà essere cura dell'Impresa predisporre, sempre a suo carico, tutte le opere occorrenti per evitare infiltrazioni d'acqua, con gli accorgimenti da concordare preventivamente con la Direzione dei Lavori.

Art. 11

ISOLAMENTO TERMICO DEL FABBRICATO

E' posto a carico dell'Appaltatore l'onere relativo alla progettazione ed all'esecuzione degli impianti di riscaldamento, secondo le modalità di legge; sono pure compresi negli oneri contrattuali le forniture e le opere relative all'isolamento termico dell' edificio e degli impianti oggetto del presente contratto.

Copia della Relazione prevista dalla Legge 373/76 dovrà essere predisposta e depositata presso il Comune a cura dell'Impresa appaltante prima dell'inizio lavori.

Le opere di isolamento termico di cui sopra, saranno soggette all'osservanza delle norme contenute, nella Legge n° 373 7/6/1976, nel Regolamento d'esecuzione della predetta Legge (D.P.R. n.1052 del 28/6/1977) e nel D.M. 10/3/1977, nella L.10/91 e successivi eventuali Decreti applicativi. Il calcolo dei disperdimenti sarà effettuato utilizzando per i vari materiali isolanti impiegati i coefficienti di conducibilità termica di calcolo e non quelli di laboratorio o indicati dalle Ditte fornitrici. Quanto indicato nel presente Capitolato può essere variato solo se richiesto dal rispetto delle prescrizioni del Regolamento di cui sopra o dalle successive leggi vigenti al momento dell'appalto e senza riconoscimento di alcuna variazione di costo.

Si evidenzia che è tassativamente richiesto un isolamento del fabbricato che riduca del 10% il coefficiente di conducibilità termica (CD previsto dalla legge 373 da verificare con calcoli da presentare in corso d'opera (attraverso due relazioni: quella a norma della legge 373 o legge 10/91 se ne modificherà i termini e quella di calcolo dei miglioramenti) e successivamente da verificare a collaudo.

Art. 11.1 - ISOLAMENTO SOLAI E PARETI DIVISORIE INTERNE

iso

Il primo solaio abitabile, sarà realizzato in modo da garantire un isolamento termico avente una $R \geq 2,4$ mq.h.C/Cal, evitando per quanto possibile ponti termici.

Il tutto secondo le disposizioni che verranno preventivamente date dalla Direzione dei lavori nel caso in cui i disegni e progetto non riportino sufficienti indicazioni.

Le soluzioni proposte dovranno essere ritenute idonee dal Direzione dei Lavori, su presentazione dei calcoli redatti a cura dell'Impresa.

Sul solaio di copertura dell'ultimo piano abitabile verrà realizzato un isolamento termico tale da ottenere una $R \geq 2,4$ h. $^{\circ}$ C/Cal.

Le pareti divisorie tra alloggi saranno formate da due tramezzi di mattoni semipieni di cm.7 o 8 con interposto materiale isolante di cm.4 di spessore.

Nel caso di impiego di polistirolo espanso esso dovrà avere una densità minima di 20 kg/mq e si farà riferimento alle norme dell'Istituto Italiano per il polistirolo espanso, da cui risultano i valori assumibili per la conducibilità termica secondo le norme di prova DIN. Sono altresì richieste le prove dell'Istituto predetto, da presentare unitamente alla campionatura del materiale.

Art. 12
COPERTURA

Art.12.1 - TEITO

La copertura sarà formata da un solaio in laterizio armato dello spessore di cm.16+4. Il manto sarà costituito da tegole piane in cemento colorato secondo le prescrizioni di progetto, fermate da dentelli in cls. ricavati nel getto stesso del solaio o da listelli in abete.

I tegoloni di colmo dovranno essere sigillati con malta idraulica. Dovranno altresì essere previsti dispositivi paraneve da concordarsi con la Direzione dei Lavori.

Dovunque sia richiesto dalla forma del tetto, si applicheranno converse e faldali in rame 6/10 oppure elementi costituiti da manti sintetici impermeabili a base di elastomeri armati con tessuto in fibra poliestere, del peso di kg/mq.4,5.

L'Impresa dovrà inoltre provvedere all'installazione in ogni blocco scala di un lucernario a passo d'uomo con vetro retinato, opportunamente protetto contro le infiltrazioni dell'acqua piovana e dello stillicidio, per consentire l'accesso alle falde del tetto.

Sarà a cura dell'Impresa depositare circa un centinaio di tegole nel sottotetto, per futura manutenzione.

Art. 13

MURATURE - TAVOLATI E CANNE

Art. 13.1 - TAVOLATI E STRUTTURE MURARIE

Le murature di tamponamento esterno saranno a cassa vuota e dovranno essere formati da muriccio esterno in mattoni multifori sabbiati da cm.12 circa, lavorati a faccia vista rinzaffati sulla faccia interna e da un muriccio interno da cm.8 circa in mattoni semipieni.

La cortina esterna, in ogni caso dovrà essere appoggiata per almeno cm.8 sulla soletta di calcestruzzo anche davanti ai pilastri perimetrali .

Tra le due cortine di mattoni costituenti la cassa vuota e collegate fra di loro con fili di ferro zincato bene ancorati ai mattoni sarà inserita una lastra di materiale isolante dello spessore minimo di cm.6.

Le murature di tamponamento esterno al piano terreno dovranno essere realizzate con mattoni semipieni o blocchi in cls per uno spessore complessivo di cm.20, intonacate sulla faccia esterna con rinzafo di malta bastarda e finitura al civile, trattate con due mani di tinta lavabile per esterni.

Art.13.2 - TESTE DI CAMINO, - SFIATATOI - CANNE DI ESALAZIONE

Le canne di esalazione per le cucine e quelle per le caldaie a gas, le cui dimensioni saranno stabilite durante il corso dei lavori dalla Direzione dei Lavori, saranno in blocchi di conglomerato cementizio ad alta resistenza. Potranno essere ad immissione multipla tramite condotti secondari, dell'altezza di un piano, che permetta la confluenza dei gas prodotti nei collettori principali, oppure a canna di aspirazione singola purchè di tipo approvato dalla Direzione dei Lavori.

Tutte le canne di esalazione dovranno terminare con conigli aspiratori eolo-dinamici, ad elementi rettangolari o ad anelli circolari, a scelta della Direzione Lavori, proporzionati alle canne impegnate.

I camini dovranno sporgere dalle falde del tetto secondo quanto indicato dalle vigenti leggi.

Le canne di ventilazione degli scarichi dei gabinetti saranno in PVC e avranno la dimensione degli scarichi stessi. Termineranno alla sommità tramite appositi pezzi speciali afferenti al manto di tegole adottato.

IN
C

ART. 14

INTONACI INTERNI, FINITURE DI FACCIATA

Art.14.1 - INTONACI INTERNI

I servizi e le cucine saranno intonacati con rinzafo di malta bastarda o di calce idraulica realizzato con particolare cura nell'esecuzione dei raccordi negli angoli e la profilatura degli spigoli eseguite con l'utilizzo di speciali profili in acciaio e successiva finitura al civile con grassello dolce, tipo genovese.

I restanti locali di abitazione e le pareti scala, sotto rampe, e soffitti, pianerottoli saranno intonacati con rinzafo a base di gessi speciali e perlite a rapido essiccamento, con leganti, anche dato a spruzzo con apposite macchine premiscelatrici e successiva finizione e lisciatura con scagliola anch'essa a base di gessi speciali e perlite.

Le pareti dei gabinetti e delle cucine, che dovranno essere rivestite con materiale ceramico, verranno preparate con il solo rinzafo di malta bastarda.

I locali comuni e i corridoi delle cantine saranno rinzaffati sulle pareti e sul soffitto.

Le cantine saranno rinzaffate solo sul soffitto.

ART.16

PAVIMENTI, SOTTOFONDI E RIVESTIMENTI, DAVANZALI INTERNI

Art. 16.1 - PAVIMENTI E SOTTOFONDI

Tutti i locali interni degli alloggi saranno pavimentati con piastrelle in monocottura 1200* calibrate, di dimensioni e colore a scelta della Direzione Lavori che dovrà preventivamente approvare i campioni.

In tutte le camere, negli ingressi e ripostigli sarà posato uno zoccolino della stessa serie delle piastrelle o in alternativa in legno o in marmo dell' altezza cm. 7 e spessore 1,2, colore a scelta della D.L.

I balconi e le logge saranno pavimentati in grès grigio 7 1/2x15 con finitura antisdrucciolo e con zoccolo in grès grigio.

Tutti i locali cantina relativi corridoi e posti auto saranno pavimentati con battuto di cemento dello spessore di cm.8, con rete metallica, sovrastanti cm.2 di pastina di cemento; dovrà essere gettato su sottofondo naturale dello spessore minimo, costipato, di cm.30.

I pavimenti, con le dovute pendenze, dovranno avere pozzetti di scarico, in numero adeguato, con griglie in ghisa in ogni corridoio e dovranno essere collegati con la fognatura bianca sempre esterna o ad appositi pozzi perdenti, convenientemente dimensionati ed anch'essi esterni al fabbricato.

PA
E

Allegato B. Estratto scheda tecnica caldaia ARISTON T2 23 MI

T2

Predisposta per il teleservizio **E@SY**



*Istruzioni d'uso
per l'utente*

*Istruzioni tecniche
per l'installazione
e la manutenzione*

**Caldaia murale istantanea
a camera aperta tipo B11bs
tiraggio naturale**

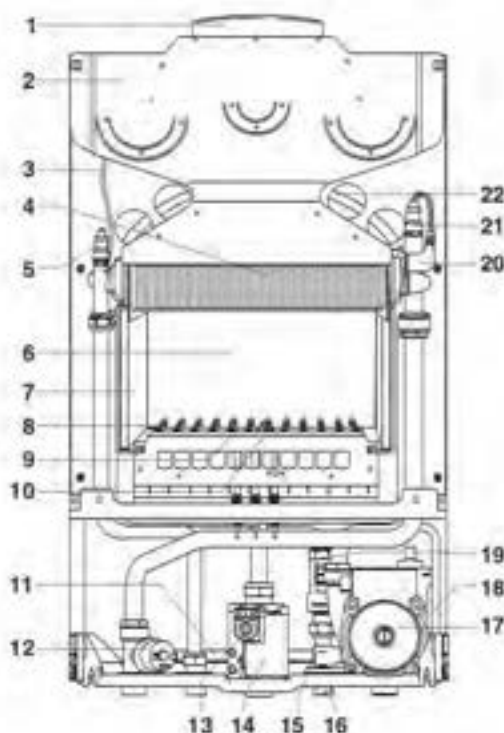
T2 23 MI



8. INSTALLAZIONE

L'INSTALLAZIONE E LA PRIMA ACCENSIONE DELLA CALDAIA DEVONO ESSERE EFFETTUATE DA PERSONALE QUALIFICATO IN CONFORMITÀ ALLE NORMATIVE NAZIONALI DI INSTALLAZIONE IN VIGORE E AD EVENTUALI PRESCRIZIONI DELLE AUTORITÀ LOCALI E DI ENTI PREPOSTI ALLA SALUTE PUBBLICA.

8.1 Vista Complessiva



LEGENDA:

1. Collettore scarico fumi
2. Cappa fumi
3. Sonda fumi
4. Scambiatore bitermico
5. Sonda sanitario
6. Camera combustione
7. Fibra ceramica isolante
8. Bruciatore
9. Elettrodo rilevazione
10. Elettrodi accensione
11. By-pass automatico
12. Pressostato di minima pressione
13. Valvola del gas
14. Accenditore
15. Filtro entrata acqua sanitaria
16. Rubinetto di riempimento
17. Circolatore con disareatore
18. Valvola di sicurezza 3 bar
19. Flussostato sanitario
20. Termostato sovratemperatura
21. Sonda riscaldamento
22. Vaso Espansione

8.2 Avvertenze prima dell'installazione

È ASSOLUTAMENTE INDISPENSABILE IL TRATTAMENTO DELL'ACQUA UTILIZZATA NEI SEGUENTI CASI:

- a) impianti molto estesi (con grossi contenuti d'acqua);
 - b) frequenti immissioni di acqua di reintegro nell'impianto;
 - c) circuiti sanitari
- Nel caso si rendesse necessario lo svuotamento parziale o totale dell'impianto, si prescrive di effettuare il successivo riempimento con acqua trattata.

La caldaia serve a riscaldare l'acqua ad una temperatura inferiore a quella di ebollizione. Essa deve essere allacciata ad un impianto di riscaldamento e ad una rete di acqua sanitaria entrambi dimensionati in base alle sue prestazioni ed alla sua potenza. (Vedi Dati Tecnici).

Prima di collegare la caldaia è necessario:

- effettuare un lavaggio accurato delle tubazioni dell'impianto per rimuovere eventuali residui di filettature, saldature o sporcizie che possano compromettere il corretto funzionamento della caldaia;
- verificare la predisposizione della caldaia per il funzionamento con il tipo di gas disponibile (leggere quanto riportato sull'etichetta dell'imballaggio e sulla targhetta caratteristiche della caldaia);
- controllare che la canna fumaria non presenti strozzature e non vi siano collegati scarichi di altri apparecchi, salvo che questa sia stata realizzata per servire più utenze secondo quanto previsto dalle Norme vigenti;
- controllare che, nel caso di raccordo su canne fumarie preesistenti, queste siano state perfettamente pulite e non presentino scorie, in quanto l'eventuale distacco potrebbe ostruire il passaggio dei fumi, causando situazioni di pericolo;
- controllare che, nel caso di raccordo su canne fumarie non idonee, queste siano state intubate;
- in presenza di acque con durezza particolarmente elevata, si avrà rischio di accumulo di calcare con conseguente diminuzione di efficienza dei componenti della caldaia.

8.3 Ubicazione

ATTENZIONE		
Installare l'apparecchio su parete solida, non soggetta a vibrazioni.		
Nessun oggetto infiammabile deve trovarsi nelle vicinanze della caldaia.		
Assicurarsi che l'ambiente di installazione e gli impianti a cui deve connettersi l'apparecchiatura siano conformi alle normative vigenti.		
AVVERTENZA		
La caldaia tipo B1ffbs può essere installata esclusivamente in un locale che risponde alle prescrizioni di ventilazione previste dalla normativa vigente.		

Gli apparecchi tipo B1ffbs sono apparecchi a camera aperta previsti per essere collegati ad un condotto di evacuazione dei prodotti della combustione verso l'esterno del locale; l'aria comburente è prelevata direttamente nell'ambiente in cui la caldaia è installata. Lo scarico dei fumi è a tiraggio naturale.

Questo tipo di caldaia non può essere installata in un locale che non risponde alle appropriate prescrizioni di ventilazione.

La caldaia è progettata per l'installazione a parete, non può essere quindi installata su basamenti o pavimenti. La caldaia deve essere installata su una parete integra ed irremovibile per impedire l'accessibilità alle parti elettriche in tensione attraverso l'apertura posteriore del telaio. Per non compromettere il regolare funzionamento della caldaia il luogo di installazione deve rispondere al valore della temperatura limite di funzionamento ed essere protetto da agenti atmosferici.

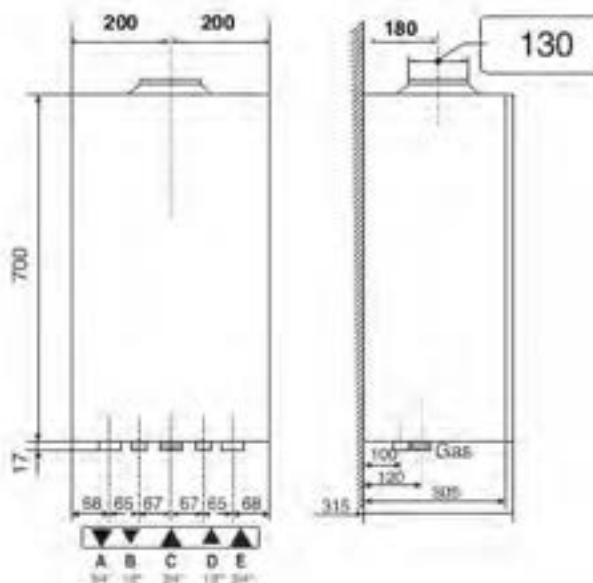
Nella creazione di un vano tecnico si impone il rispetto di distanze minime che garantiscano l'accessibilità alle parti della caldaia come indicato nel paragrafo 8.4.

8.4 Posizionamento caldaia

Posizionare la caldaia utilizzando l'apposita dritta di carta stampata sull'imballo o in caldaia, impiegando una livella a bolla.

Fissare la staffa metallica al muro per mezzo dei tasselli ad espansione, i quali devono essere inseriti correttamente (secondo le regole della buona tecnica) e appendere la caldaia.

ATTENZIONE	
Non danneggiare, né forare la parete, cavi elettrici o tubazioni preesistenti.	

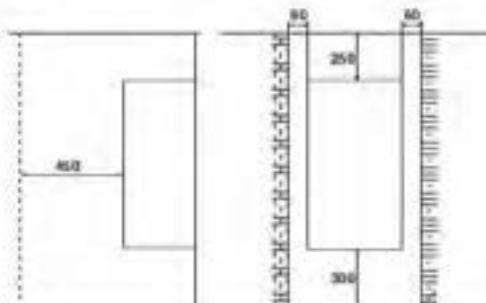


Legenda:

- A = Mandata impianto
- B = Uscita acqua calda
- C = Ingresso Gas
- D = Entrata acqua fredda
- E = Ritorno impianto

8.5 Distanze minime

Per permettere un agevole svolgimento delle operazioni di manutenzione della caldaia è necessario rispettare le distanze minime indicate nello schema.



8.6 Collegamento gas

ATTENZIONE



Verificare la tenuta dell'impianto del gas con rubinetto di intercettazione posto in caldaia chiuso e successivamente aperto e valvola del gas chiusa (disattivata); per 10 minuti il contatore non deve indicare alcun passaggio di gas.

Proteggere i tubi di collegamento in modo da evitare il loro danneggiamento.

Accertarsi che gli ugelli ed i bruciatori siano compatibili con il gas di alimentazione.

La caldaia è stata progettata per utilizzare gas appartenenti al gruppo H della seconda famiglia (H2H3) come riportato nello schema al paragrafo 10.4.

Nel caso sia necessario adattare la caldaia ad un tipo di gas diverso vedere il punto 10.1.

La trasformazione della caldaia ad un tipo di gas diverso deve essere effettuata da personale qualificato.

La tubazione di adduzione del gas deve essere realizzata e dimensionata secondo quanto prescritto dalle Norme specifiche ed in base alla potenza massima della caldaia, assicurarsi anche del corretto dimensionamento ed allacciamento del rubinetto di intercettazione.

Prima dell'installazione si consiglia un'accurata pulizia delle tubazioni del gas per rimuovere eventuali residui che potrebbero compromettere il funzionamento della caldaia.

E' necessario verificare che il gas distribuito corrisponda a quello per cui è stata predisposta la caldaia (vedi targa dati posta in caldaia).

E' inoltre importante verificare la pressione del gas (metano o GPL) che si andrà ad utilizzare per l'alimentazione della caldaia, in quanto se insufficiente può ridurre la potenza del generatore con disagi per l'utente.

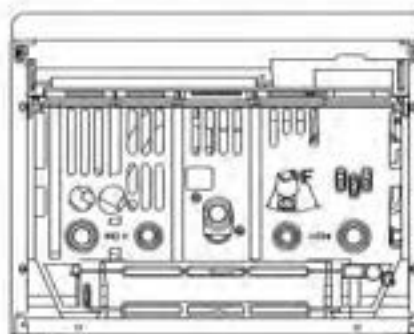
8.7 Collegamento idraulico

AVVERTENZE

Prima di effettuare il collegamento idraulico è necessario provvedere ad un accurato lavaggio dell'impianto per eliminare eventuali residui o sporcizie che possono compromettere il buon funzionamento della caldaia.

Verificare che il vaso di espansione abbia una capacità adeguata al contenuto d'acqua dell'impianto.

VISTA DEI RACCORDI CALDAIA



Legenda:

- A = Mandata impianto
- B = Uscita acqua calda
- C = Ingresso Gas
- D = Entrata acqua fredda
- E = Ritorno impianto
- F = Rubinetto di riempimento
- G = Scarico dispositivo di sovrappressione

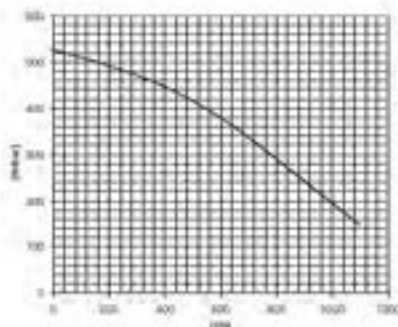


In figura sono rappresentati i raccordi per l'allacciamento idraulico e gas della caldaia. Verificare che la pressione massima di rete non superi i 6 bar; in caso contrario è necessario installare un riduttore di pressione.

La minima pressione per il funzionamento dei dispositivi che regolano la produzione di acqua calda sanitaria è di 0,2 bar.

E' possibile inserire a monte del flussostato sanitario un limitatore di portata a pasticca, come indicato nella figura a lato.

Per il dimensionamento delle tubazioni e dei corpi radianti dell'impianto si valuti il valore di prevalenza residua in funzione della portata richiesta, secondo i valori riportati sul grafico.



ATTENZIONE



Proteggere i tubi di collegamento in modo da evitare il loro danneggiamento.

La caldaia è dotata di un by-pass automatico che provvede a garantire una corretta portata d'acqua nello scambiatore nel caso di un impianto con portata variabile (valvole termostatiche, etc.).

Lo scarico del dispositivo di sovrappressione deve essere collegato ad un sifone di scarico con possibilità di controllo visivo per evitare che in caso di intervento dello stesso si provochino danni a persone, animali e cose, dei quali il costruttore non è responsabile.

8.8 Collegamento allo scarico fumi

La caldaia dovrà essere collegata ad un sistema di evacuazione fumi rispondente alle normative vigenti.

AVVERTENZE

I condotti scarico fumi non devono essere a contatto o nelle vicinanze di materiali infiammabili e non devono attraversare strutture edili o parti di materiali infiammabili.

ATTENZIONE



Assicurarsi che i passaggi di scarico di ventilazione non siano ostruiti.

Assicurarsi che i condotti di scarico fumi non abbiano perdite.

8.9 Collegamento elettrico

AVVERTENZA

Prima di qualunque intervento nella caldaia togliere l'alimentazione elettrica tramite l'interruttore esterno poiché la caldaia è sempre alimentata anche con il proprio interruttore in posizione "0".

Per una maggiore sicurezza far effettuare da personale qualificato un controllo accurato dell'impianto elettrico, in quanto il costruttore non è responsabile per eventuali danni causati dalla mancanza di messa a terra dell'impianto o per anomalie di alimentazione elettrica.

Verificare che l'impianto sia adeguato alla potenza massima assorbita dalla caldaia indicata sulla targhetta e controllare che la sezione dei cavi sia idonea, comunque non inferiore a 1,5 mm².

Il corretto collegamento ad un efficiente impianto di terra è indispensabile per garantire la sicurezza dell'apparecchio.

La caldaia è completa di cavo di alimentazione sprovvisto di spina. Il cavo di alimentazione deve essere allacciato ad una rete di 230V-50Hz rispettando la polarizzazione L-N ed il collegamento di terra .

Importante!

I collegamenti alla rete elettrica devono essere eseguiti con allacciamento fisso (non con spina mobile) e dotati di un interruttore bipolare con distanza di apertura dei contatti di almeno 3 mm.

In caso di sostituzione del cavo elettrico di alimentazione rivolgersi a personale qualificato. Sono vietate prese multiple, prolunghe o adattatori.

E' vietato utilizzare i tubi dell'impianto idraulico, di riscaldamento e del gas per il collegamento di terra dell'apparecchio.

La caldaia non è protetta contro gli effetti causati dai fulmini.

In caso si debbano sostituire i fusibili di rete, usare fusibili da 2A rapidi.

ATTENZIONE



Proteggere i tubi e cavi di collegamento in modo da evitare il loro danneggiamento.

Eseguire i collegamenti elettrici con conduttori di sezione adeguata.

8.10. Collegamento Termostato Ambiente

AVVERTENZA

Non collegare l'alimentazione di rete (220 V AC) ai cavi del T.A. Ciò danneggerebbe la scheda elettronica.

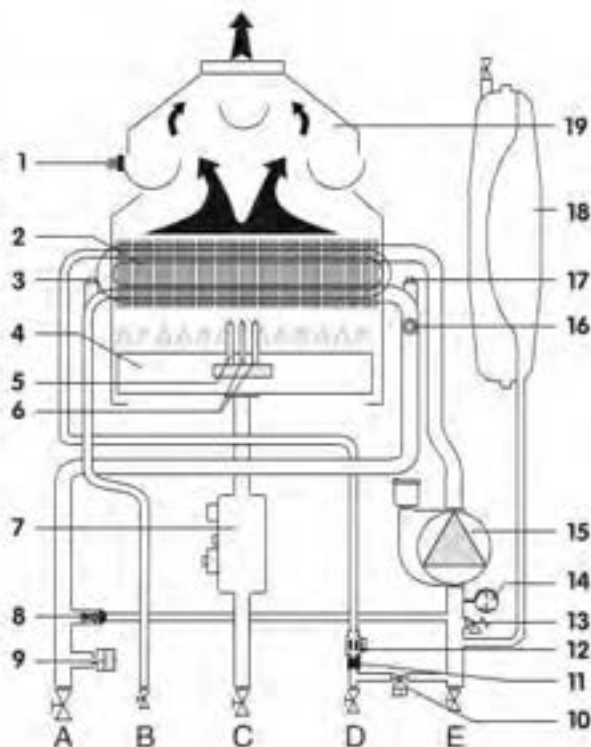
ATTENZIONE

Prima di qualunque intervento nella caldaia togliere l'alimentazione elettrica tramite l'interruttore esterno poiché la caldaia è sempre alimentata anche con il proprio interruttore in posizione "0".

Per effettuare il collegamento del termostato ambiente è necessario:

1. Aprire il pannello comandi come indicato al paragrafo 9.1.
2. Inserire il cavo del termostato nel passacavo e fissarlo tramite il pressacavo predisposto, quindi collegare i due fili al morsetto elettrico posizionato sul lato posteriore del portastrumenti rimuovendo il ponticello di collegamento.

8.11 Schema Idraulico



Legenda:

1. Sonda fumi
 2. Scambiatore primario
 3. Sonda sanitario
 4. Bruciatore
 5. Elettrodi di accensione
 6. Elettrodo di rilevamento fiamma
 7. Valvola del gas
 8. By-pass automatico
 9. Pressostato di minima
 10. Rubinetto di riempimento caldaia
 11. Filtro entrata acqua sanitario
 12. Flussostato sanitario
 13. Dispositivo di sovrappressione 3 bar
 14. Termidrometro
 15. Circolatore con disaeratore
 16. Sonda sovratemperatura
 17. Sonda riscaldamento
 18. Vaso di espansione
 19. Cappa fumi
- A. Mandata riscaldamento 3/4"
- B. Uscita acqua calda 1/2"
- C. Gas 3/4"
- D. Entrata acqua fredda 1/2"
- E. Ritorno riscaldamento 3/4"

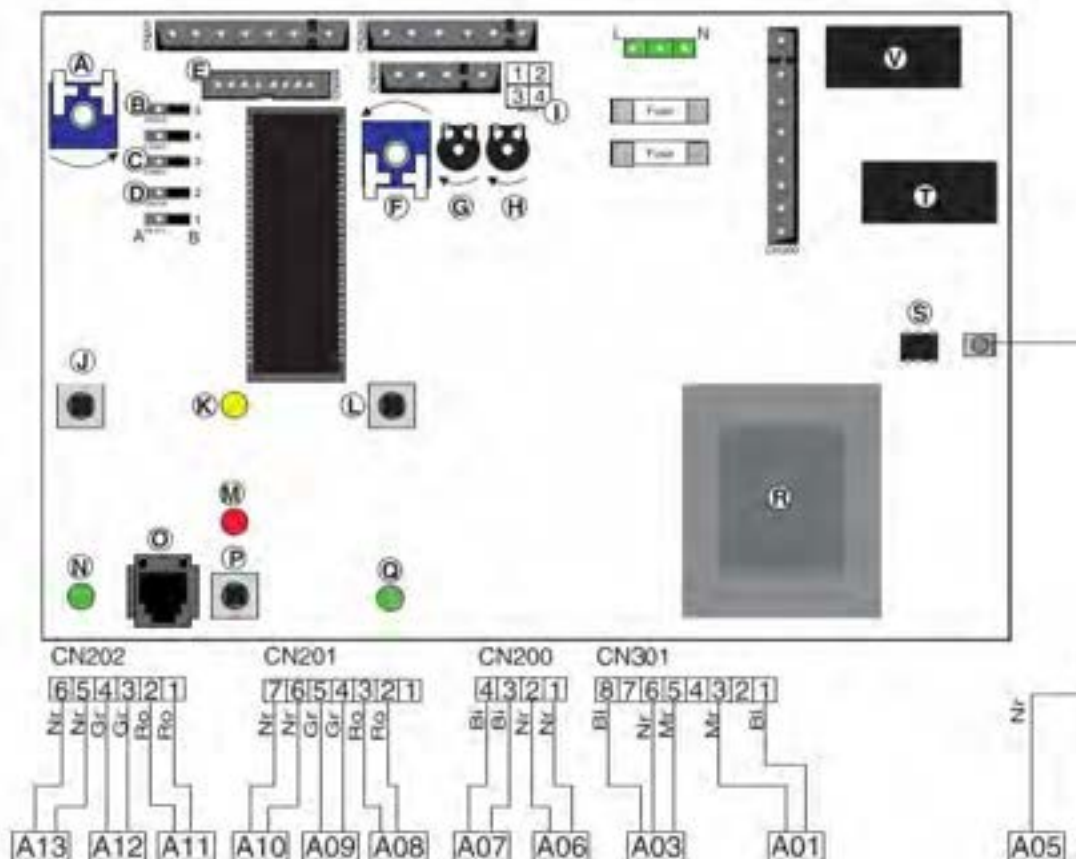
8.12 Schema Elettrico

- A - Regolazione temperatura riscaldamento
- B - JUMPER Postventilazione
- C - JUMPER selezione impianti a pavimento
- D - JUMPER selezione Ritardo Accensione
- E - Connettore schedario controllo remoto Klima Manager
- F - Regolazione temperatura sanitario
- G - Regolazione lenta accensione
- H - Regolazione massima temperatura riscaldamento
- I - Connettore orologio programmatore
- J - Pulsante ON/OFF
- K - Led segnalazione anomalie evacuazione fumi
- L - Deviatore Estate/Inverno
- M - Led segnalazione mancata accensione
- N - Led Acceso/Spento
- O - Porta per Teleservizio Easy
- P - Pulsante di sblocco
- Q - Led segnalazione di funzionamento Estate/Inverno
- R - Trasformatore
- S - Optotriac accenditore
- T - Relé valvola gas
- V - Relé circolatore

- A01 - Circolatore
- A03 - Alimentazione Accenditore/Valvola gas
- A04 - Circuito elevazione fiamma
- A05 - Sensore fiamma
- A06 - Sonda riscaldamento
- A07 - Sonda sanitario
- A08 - Flussostato sanitario
- A09 - Pressostato di minima pressione
- A10 - Modulatore
- A11 - Sonda fumi
- A12 - Termostato di sovratemperatura
- A13 - Programmatore Orario/ Termostato ambiente

Colori:

- Gr - Grigio
- Bi - Bianco
- Ra - Rosso
- Mr - Marrone
- Bl - Blu
- Nr - Nero
- Ro - Rosa



ISTRUZIONI TECNICHE PER L'INSTALLAZIONE E LA MANUTENZIONE - 17

12. DATI TECNICI

		T2 23 MI
Certificazione CE		634LJ4548
Portata termica	max/min Kw	25.6/11.0
Potenza termica	max/min Kw	23.4/9.6
Rendimento alla portata termica nominale	%	91.4
Rendimento al 30% della portata termica nominale	%	89.3
Perdita di calore al mantello ($\Delta T=50^{\circ}\text{C}$)	%	1.4
Perdite al camino bruciatore funzionante	%	7.2
Perdite al camino bruciatore spento	%	0.4
Portata massima fumi (metano)	Kg/h	76.8
Tiraggio minimo	Pa	42
Consumo a potenza nominale (G20)	m ³ /h	2.72
(15°C, 1013 mbar) (G30-G31)	Kg/h	2.02/2.00
Temperatura fumi rilevata alla pot. nominale con metano	°C	102
Contenuto di CO ₂	%	4.6
Temperatura ambiente minima	°C	+5
Perdite di carico lato acqua (max) ($\Delta T=20^{\circ}\text{C}$)	mbar	200
Pressione residua per l'impianto	bar	0.25
Temperatura riscaldamento	max/min °C	82/42
Temperatura sanitario	max/min °C	56/36
Quantità di acqua calda $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$	l/min	13.4
Quantità di acqua calda $\Delta T=35^{\circ}\text{C}$	l/min	9.6
Prelievo minimo di acqua calda	l/min	2.5
Pressione acqua sanitaria	max/min bar	6/0.2
Capacità vaso espansione	l	6
Pressione di precarica	bar	1
Massimo contenuto di acqua nell'impianto	l	130
Pressione massima riscaldamento	bar	3
Pressione nominale Gas Metano (G20)	mbar	20
Gas Liquidi (G30-G31)	mbar	30-37
Tensione/Frequenza di alimentazione	V/Hz	230 / 50
Potenza elettrica assorbita totale	W	100
Grado di protezione impianto elettrico	IP	X4D
Peso	Kg	39

Merloni
TermoSanitari SpA

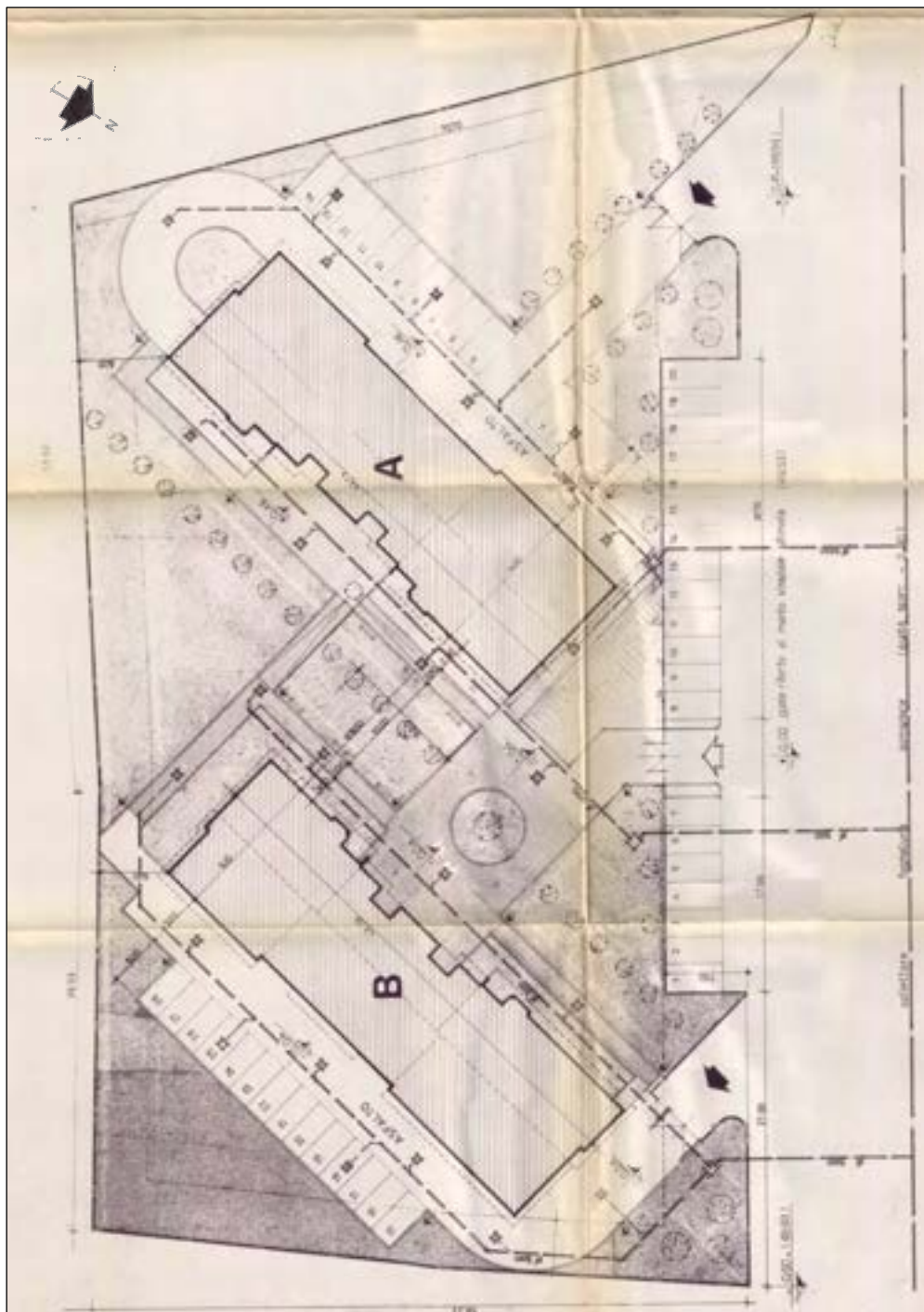
Viale A. Merloni, 45
60044 Fabriano (AN)
Tel. 0732.6011
Fax 0732.602331
<http://www.mtsgroup.com>



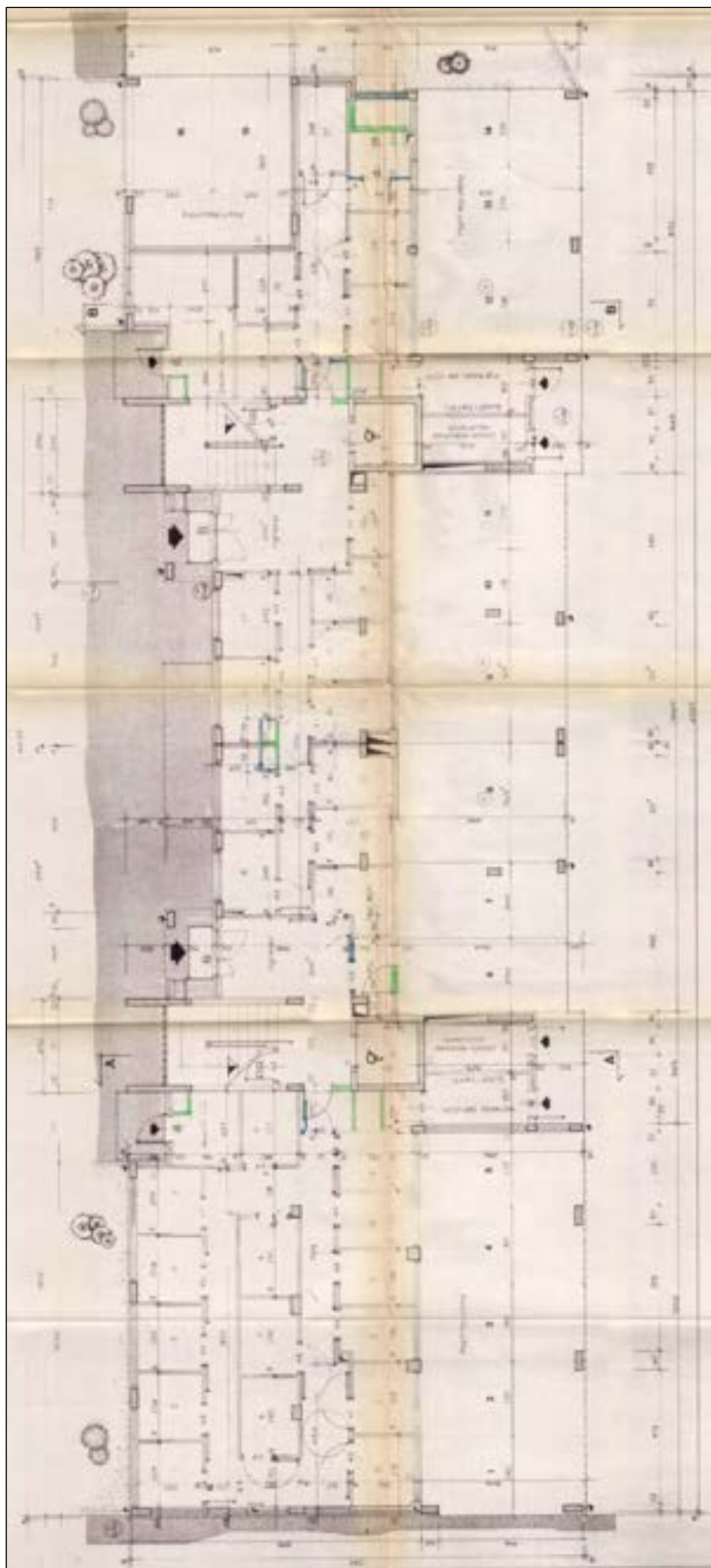
089 84 1916 000

Allegato C. Elaborati progettuali – Edificio A

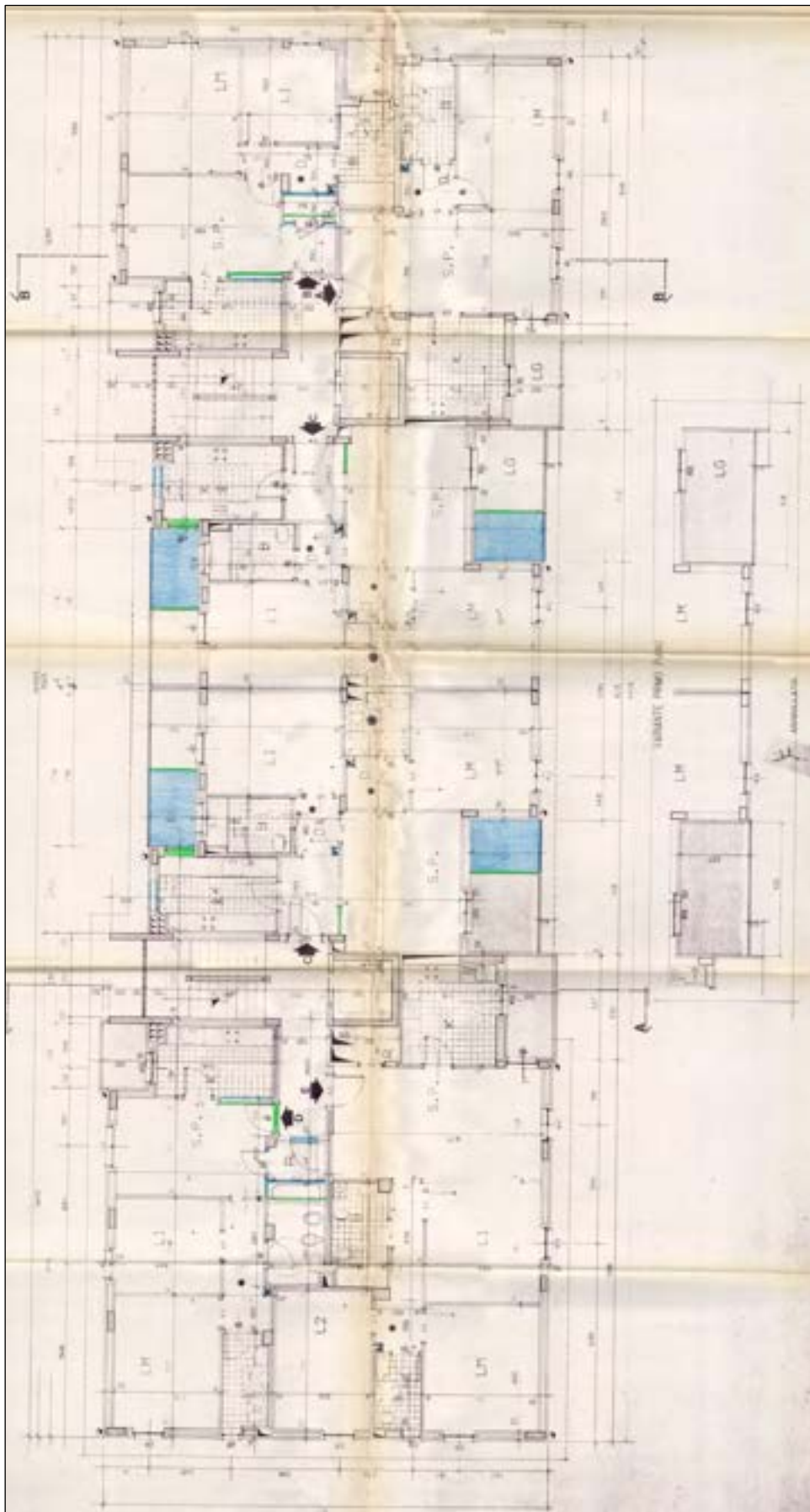
Planimetria e sistemazioni esterne



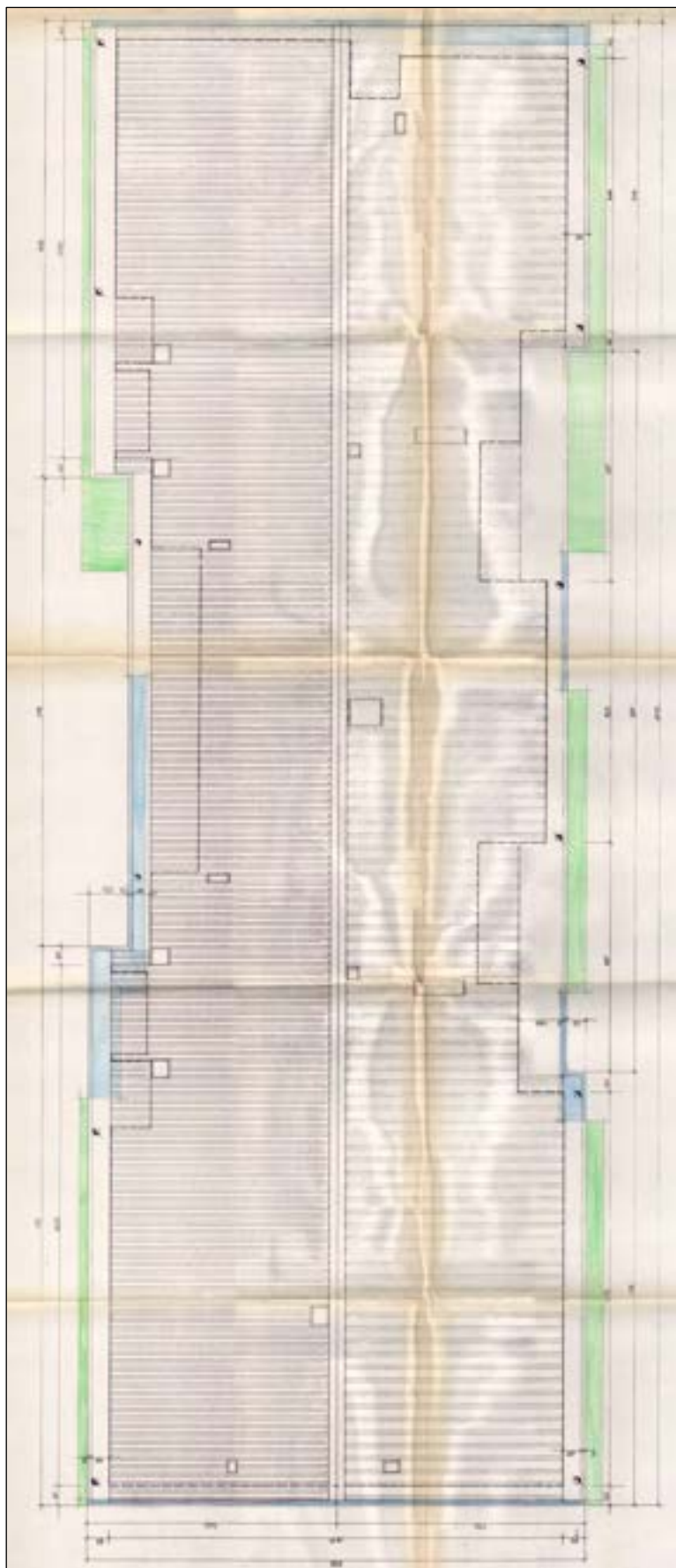
Pianta piano terra



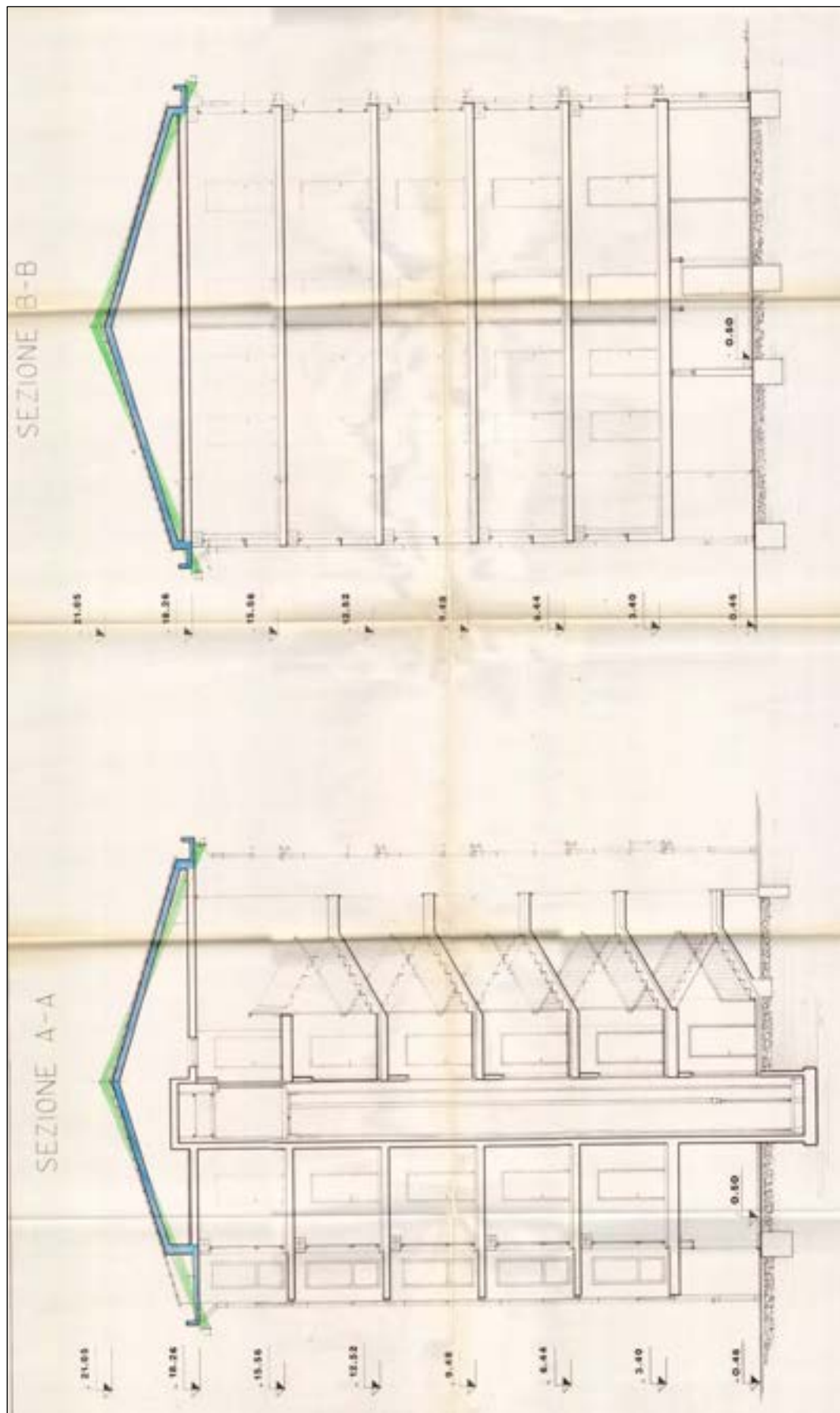
Pianta piano tipo



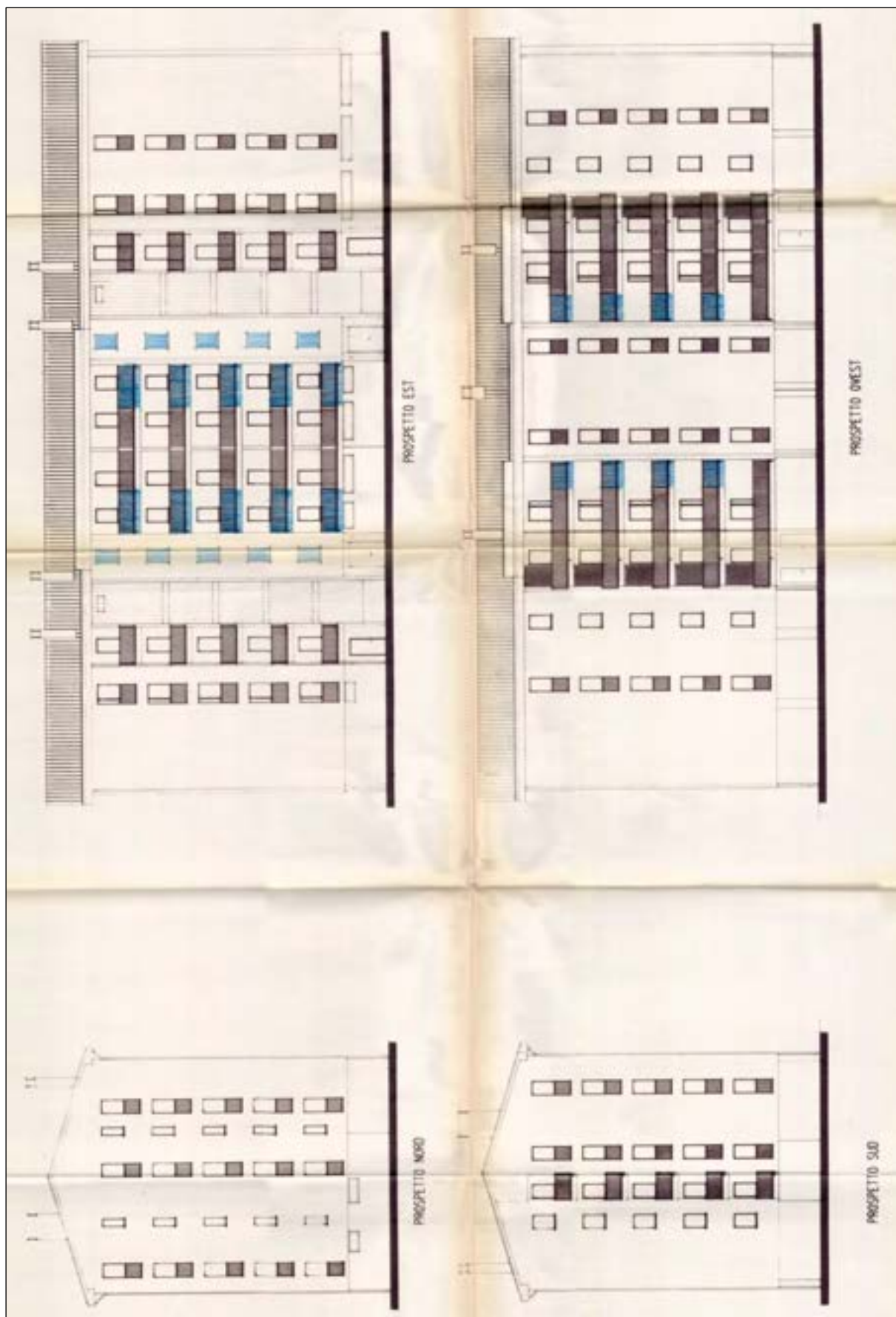
Pianta copertura



Sezioni



Prospetti



Allegato D. Questionario sull'utilizzo degli spazi lavorativi



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento
Energia



Questionario sull'occupazione dell'abitazione per una diagnosi energetica

Edificio di social housing - ATC, Pianezza (TO)

Data di compilazione: __/__/__

Informazioni generali sull'appartamento e sul nucleo familiare

A quale piano è localizzato l'appartamento?

☐ terra ☐ primo ☐ secondo ☐ terzo ☐ quarto ☐ quinto

Quante finestre sono presenti nell'appartamento?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 o più

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

☐ nord ☐ sud ☐ est ☐ ovest

Quante persone abitano nell'appartamento?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 o più

Tipologia nucleo familiare:

	Abitante 1	Abitante 2	Abitante 3	Abitante 4	Abitante 5
Bambini (< 14 anni)	☐	☐	☐	☐	☐
Giovani (15 - 34 anni)	☐	☐	☐	☐	☐
Adulti (35 - 64 anni)	☐	☐	☐	☐	☐
Anziani (> 65 anni)	☐	☐	☐	☐	☐

Qual è il sesso degli abitanti di questo appartamento?

	Abitante 1	Abitante 2	Abitante 3	Abitante 4	Abitante 5
Maschio	☐	☐	☐	☐	☐
Femmina	☐	☐	☐	☐	☐

Giorni e orari lavorativi

Quante ore e quale fascia oraria generalmente gli abitanti trascorrono in appartamento?

Giorni feriali (da lunedì a venerdì)

	Abitante 1	Abitante 2	Abitante 3	Abitante 4	Abitante 5	Media
ore complessive in appartamento	_____	_____	_____	_____	_____	_____
prima mattina (ore 6-8)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
mattina (ore 8-12)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
orario pranzo (ore 12-14)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
pomeriggio (ore 14-18)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
sera (ore 18-22)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
notte (ore 22-6)	☐	☐	☐	☐	☐	☐

	<u>Giorni festivi (sabato e domenica)</u>					
	Abitante 1	Abitante 2	Abitante 3	Abitante 4	Abitante 5	Media
ore complessive in appartamento	_____	_____	_____	_____	_____	_____
prima mattina (ore 6-8)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
mattina (ore 8-12)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
orario pranzo (ore 12-14)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
pomeriggio (ore 14-18)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
sera (ore 18-22)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
notte (ore 22-6)	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Apertura delle finestre

In media per quanto tempo le finestre vengono tenute aperte 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

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

Inverno

- ☐ prima mattina
☐ mattina
☐ orario pranzo
☐ pomeriggio
☐ sera
☐ notte
☐ non c'è un periodo prevalente

Primavera/autunno

- ☐ prima mattina
☐ mattina
☐ orario pranzo
☐ pomeriggio
☐ sera
☐ notte
☐ non c'è un periodo prevalente

Estate

- ☐ prima mattina
☐ mattina
☐ orario pranzo
☐ pomeriggio
☐ sera
☐ notte
☐ non c'è un periodo prevalente

Gestione delle tapparelle

In media per quanto tempo le tapparelle avvolgibili vengono tenute abbassate (almeno la metà dell'altezza della finestra) 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

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

Inverno

- ☐ prima mattina
☐ mattina
☐ orario pranzo
☐ pomeriggio
☐ sera
☐ notte
☐ non c'è un periodo prevalente

Primavera/autunno

- ☐ prima mattina
☐ mattina
☐ orario pranzo
☐ pomeriggio
☐ sera
☐ notte
☐ non c'è un periodo prevalente

Estate

- ☐ prima mattina
☐ mattina
☐ orario pranzo
☐ pomeriggio
☐ sera
☐ notte
☐ 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

- ☐ 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

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

Inverno

- ☐ prima mattina
☐ mattina
☐ orario pranzo
☐ pomeriggio
☐ sera
☐ notte
☐ non c'è un periodo prevalente

Primavera/autunno

- ☐ prima mattina
☐ mattina
☐ orario pranzo
☐ pomeriggio
☐ sera
☐ notte
☐ non c'è un periodo prevalente

Estate

- ☐ prima mattina
☐ mattina
☐ orario pranzo
☐ pomeriggio
☐ sera
☐ notte
☐ non c'è un periodo prevalente

Riscaldamento

Quanti termosifoni sono presenti e solitamente accesi in questo appartamento?

Zona notte

Zona giorno

Totali

Quanti elementi ha ogni termosifone?

Cucina Soggiorno Camera matr. Camera 1 Camera 2 Bagno 1 Bagno 2 Altro

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

- ☐ valvole termostatiche ☐ termostato ambiente ☐ entrambi ☐ nessuno dei due

Se nell'appartamento vengono utilizzate le valvole termostatiche, su quale valore vengono generalmente impostate?

Zona notte

Zona giorno

Bagno

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

Raffrescamento (solo per gli appartamenti 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 ☐ sera ☐ notte ☐ non c'è un periodo prevalente