



Ricerca di Sistema elettrico

Diagnosi energetica di un edificio rappresentativo di edilizia residenziale pubblica sottoposto a riqualificazione energetica nZEB in zona climatica B, e analisi economica degli interventi proposti

Luigi Marletta, Gianpiero Evola



Dipartimento di
Ingegneria Elettrica,
Elettronica e Informatica

DIAGNOSI ENERGETICA DI UN EDIFICIO RAPPRESENTATIVO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA SOTTOPOSTO A RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA NZEB IN ZONA CLIMATICA B, E ANALISI ECONOMICA DEGLI INTERVENTI PROPOSTI

Luigi Marletta, Gianpiero Evola (Università di Catania, Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Elettronica e Informatica)

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: Studio di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento nella zona climatica (zona B: $600 < GG \leq 900$)

Responsabile del Progetto: Ing. Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Studio di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento nella zona climatica B (zona B $600 < GG \leq 900$)"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Giulia CENTI

Responsabile scientifico UNICT: Prof. Ing. Luigi MARLETTA

Indice

SOMMARIO	3
1 INTRODUZIONE	4
2 IL CASO STUDIO: EDIFICIO PUBBLICO RESIDENZIALE DI VIA AURORA 10.....	6
2.1 TOPOLOGIA	6
2.2 DATI COSTRUTTIVI	7
2.3 PLANIMETRIE E PROSPETTI	7
2.4 GLI IMPIANTI ESISTENTI	13
2.4.1 <i>Impianto di riscaldamento e raffrescamento</i>	14
2.4.2 <i>Impianti per la produzione di ACS</i>	15
2.5 I CONSUMI DELL'EDIFICIO.....	15
3 VERIFICA ENERGETICA AI SENSI DEL DECRETO 26 GIUGNO 2015	17
3.1 SOFTWARE UTILIZZATO.....	17
3.1.1 <i>Dati generali</i>	18
3.1.2 <i>Suddivisione in zone ed ambienti</i>	18
3.1.3 <i>Dati climatici</i>	20
3.1.4 <i>Materiali e caratteristiche termo-fisiche dell'involucro edilizio</i>	20
3.1.5 <i>Ponti termici</i>	23
3.1.6 <i>Caratteristiche di ventilazione degli ambienti</i>	24
3.1.7 <i>Impostazioni impianti tecnici</i>	24
3.2 VERIFICA ENERGETICA DELL'EDIFICIO	28
3.2.1 <i>Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile</i>	30
3.2.2 <i>Fabbisogno di energia utile e performance dell'involucro</i>	32
3.2.3 <i>Consumi di energia finale: valori reali e valori calcolati</i>	34
4 SIMULAZIONE DINAMICA DELL'EDIFICIO	37
4.1 IL MODELLO DI CALCOLO DINAMICO: ENERGYPLUS.....	37
4.2 INPUT DEL PROGRAMMA	38
4.2.1 <i>Involucro</i>	38
4.2.2 <i>Ventilazione e permeabilità dell'involucro</i>	38
4.2.3 <i>Impianti</i>	39
4.2.4 <i>Apporti gratuiti</i>	39
4.2.5 <i>Dati climatici</i>	40
4.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	41
5 INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI PRIMO LIVELLO.....	44
5.1 INTERVENTI SULL'INVOLUCRO	44
5.1.1 <i>Interventi sulle pareti esterne</i>	44
5.1.2 <i>Interventi sulle partizioni verticali</i>	46
5.1.3 <i>Interventi sui solai</i>	47
5.1.4 <i>Interventi sui serramenti</i>	48
5.1.5 <i>Ponti termici</i>	49
5.1.6 <i>La ventilazione naturale</i>	50
5.1.7 <i>Verifiche dei requisiti minimi per le prestazioni dell'involucro</i>	50
5.2 LA SIMULAZIONE DINAMICA DELL'EDIFICIO RISTRUTTURATO	52
5.2.1 <i>Risultati delle simulazioni</i>	53
5.2.2 <i>Stima dei consumi elettrici per la climatizzazione</i>	55
5.3 INTERVENTI SULL'IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE.....	56

5.3.1	<i>Selezione dei componenti di impianto</i>	56
5.3.2	<i>Modellazione degli impianti su Blumatica Energy</i>	60
5.4	L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	63
5.4.1	<i>Scelta dei moduli fotovoltaici e calcolo della producibilità</i>	63
5.4.2	<i>Dimensionamento dell'impianto fotovoltaico</i>	67
5.5	VALUTAZIONE ENERGETICA DELL'EDIFICIO RISTRUTTURATO	71
5.5.1	<i>Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio ristrutturato</i>	71
5.5.2	<i>Fabbisogno di energia utile dell'edificio ristrutturato</i>	73
6	VALUTAZIONI ECONOMICHE	75
6.1	GLI INCENTIVI SECONDO IL DECRETO 16 FEBBRAIO 2016 (CONTO TERMICO).....	75
6.2	I COSTI PER LA RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI PRIMO LIVELLO	77
6.2.1	<i>Opere di ristrutturazione importante: involucro edilizio</i>	78
6.2.2	<i>Opere di ristrutturazione importante: gli impianti tecnici</i>	80
6.2.3	<i>Riepilogo dei Costi - costi amministrativi e IVA</i>	81
6.2.4	<i>Calcolo degli incentivi ottenibili</i>	81
6.3	ANALISI COSTI-BENEFICI.....	82
6.3.1	<i>Analisi di sensitività</i>	85
7	CONCLUSIONI	87
8	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	90
9	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI	91
10	AUTORI	92

ALLEGATO I – Dettagli costruttivi

ALLEGATO II – Attestati di prestazione energetica per l'edificio ristrutturato

ALLEGATO III – Computo metrico e analisi prezzi per l'intervento di ristrutturazione

Sommario

La presente relazione riporta i risultati dello studio condotto dal Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Elettronica ed Informatica (DIEEI) dell'Università degli Studi di Catania, responsabile il Prof. Ing. Luigi Marletta, nell'ambito del PAR 2017, progetto D.2.1.

L'edificio di cui sono state studiate le prestazioni energetiche fa parte di un complesso residenziale realizzato nei primi anni '60 dall'Istituto Autonomo Case Popolari (IACP), ed è situato in via Aurora 10, Catania (zona climatica B). Esso ospita 28 appartamenti, distribuiti su sette piani fuori terra.

Il manufatto presenta allo stato attuale delle prestazioni energetiche scadenti, ed una situazione topologica favorevole per gli interventi di riqualificazione energetica. L'edificio ha infatti una copertura a terrazza, idonea per l'installazione di sistemi solari termici o fotovoltaici; inoltre esso non è inserito in centro storico, ed è quindi privo di vincoli derivanti dalla Sovrintendenza ai BB.CC.AA di Catania.

La scelta dell'edificio è stata supportata dal Comune di Catania, che ha gentilmente messo a disposizione i disegni e i dati progettuali in suo possesso. Sono state inoltre prodotte per alcuni appartamenti le documentazioni inerenti i consumi energetici, al fine di consentire una prima diagnosi energetica.

La performance energetica attuale dell'edificio è stata valutata attraverso i metodi di calcolo quasi-stazionari indicati dal DM 26/06/2015 e descritti nelle norme UNI TS 11300, conducendo alla definizione dei consumi stimati di energia primaria e della classe energetica di ciascun appartamento dell'immobile. Inoltre sono state studiate le prestazioni termiche dinamiche dell'edificio, utilizzando il noto software di simulazione dinamica Energy Plus: ciò ha consentito di valutare con maggiore precisione i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva ed invernale.

Sono stati quindi individuati degli interventi sull'involucro e sugli impianti, inquadrabili nel complesso come intervento di ristrutturazione importante di primo livello, al fine di ridurre i consumi energetici e condurre l'edificio allo status di edificio a energia quasi zero (nZEB). Tali interventi, consistono principalmente in:

- migliore isolamento termico dell'involucro opaco;
- sostituzione dei serramenti esistenti con serramenti a bassa trasmittanza;
- installazione di pompa di calore reversibile centralizzata per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria;
- installazione di moduli fotovoltaici in copertura, in misura tale da coprire i fabbisogni elettrici per la climatizzazione e l'acqua calda sanitaria;

Non è stato invece prevista l'installazione di impianti solari termici, poiché l'utilizzo della tecnologia fotovoltaica accoppiata alla pompa di calore reversibile risulta più idonea ed efficace.

Con riferimento a tali interventi, sono stati nuovamente valutati i fabbisogni energetici, secondo le metodologie precedentemente descritte, ed è stata effettuata un'analisi economica, al fine di valutare il costo totale degli interventi, il loro tempo di ritorno ed il VAN. I risultati ottenuti testimoniano come sia ad oggi tecnicamente possibile, adoperando soluzioni peraltro ampiamente diffuse, effettuare in zona climatica B la ristrutturazione di immobili pubblici adibiti ad edilizia residenziale conseguendo per essi la qualifica di *edifici a energia quasi zero* (nZEB). Dal punto di vista economico tali interventi risultano caratterizzati da una redditività abbastanza interessante: infatti, grazie agli incentivi concessi dal Conto Termico 2.0 (Decreto 16.02.2016), il tempo di ritorno dell'investimento risulta compreso tra i 10 anni ed i 15 anni, in funzione delle particolari condizioni di mercato e delle specifiche scelte effettuate.

1 Introduzione

Il presente documento si colloca nell'ambito del Piano Annuale di Realizzazione 2017, per quanto attiene all'Area D "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici", ed in particolare:

- **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:** Studio di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento nella zona climatica (zona B: $600 < GG \leq 900$).

Il programma prevede l'individuazione di edifici esistenti di proprietà pubblica, sufficientemente rappresentativi del patrimonio edilizio italiano. Per questi edifici dovranno essere identificati quegli interventi di retrofit inquadrabili come ristrutturazione importante di primo livello, in grado di trasformare l'edificio esistente in edificio a energia quasi zero (nZEB), secondo le definizioni del DM 26 giugno 2015 sui "Requisiti minimi".

Gli interventi dovranno riguardare sia l'involucro edilizio, sia gli impianti tecnici (in particolare climatizzazione invernale, climatizzazione estiva), nonché la generazione di energia termica o elettrica da fonti rinnovabili. Le soluzioni proposte, per quanto tecnologicamente avanzate, dovranno allo stesso tempo essere coerenti con i principi di fattibilità tecnico-economica, di compatibilità con i vincoli architettonici e paesaggistici e di replicabilità su larga scala.

L'iter progettuale per lo studio di riqualificazione dell'edificio residenziale selezionato, sito in Via Aurora 10 a Catania, ha richiesto, come indicato nel programma dell'ENEA, diverse fasi di studio, dall'analisi energetica, alla progettazione impiantistica di massima fino alla verifica energetica ed economica.

L'avvio delle attività ha richiesto l'acquisizione dei seguenti dati:

- tavole grafiche progettuali esistenti;
- rilievi dimensionali e tecnici per aggiornare le tavole grafiche;
- rilievo dei componenti di impianto esistenti;
- acquisizione delle bollette energetiche (elettricità), quando disponibili

Il rilievo dello stato di fatto ha consentito di ottenere disegni aggiornati dell'edificio e tutti i dati relativi ai componenti di impianto installati. In particolare, è stato redatto un censimento delle unità di condizionamento split, dei boiler elettrici e delle caldaie a GPL, individuandone numero e tipologia per ogni singola unità immobiliare.

Il censimento ha consentito di verificare che la grande maggioranza degli appartamenti si serve di boiler elettrici per la produzione di acqua calda sanitaria, e solo in alcuni casi di caldaie a GPL. Per quanto riguarda la climatizzazione dei locali, un numero non trascurabile di appartamenti non dispone di impianti di climatizzazione, mentre negli altri casi vengono utilizzati condizionatori split autonomi. Non è stato però possibile entrare in possesso delle bollette elettriche, se non per tre unità immobiliari: a partire da queste, e sfruttando dati statistici e i risultati delle interviste concernenti le abitudini dei residenti, si è provato a definire un quadro descrittivo degli usi energetici dell'edificio.

Quindi, la performance energetica attuale dell'edificio è stata valutata attraverso il software Blumatica Energy, certificato dal CTI e basato sui metodi di calcolo indicati dal DM 26/06/2015, descritti nelle norme UNI TS 11300. Inoltre, sono state studiate le prestazioni termiche dinamiche dell'edificio, utilizzando il software di simulazione dinamica Energy Plus. Tramite le simulazioni sono stati calcolati i fabbisogni di energia dell'edificio legati alla climatizzazione estiva ed invernale. I risultati delle simulazioni dinamiche si sono rivelati, come atteso, più affidabili e vicini ai consumi energetici stimati in via preliminare.

La seguente fase di identificazione degli interventi di ristrutturazione di primo livello è stata guidata dall'obiettivo di raggiungere il target di edificio a energia quasi zero (nZEB), senza trascurare la necessità di garantire interventi sostenibili dal punto di vista economico, facilmente installabili e replicabili, e prendendo in considerazione anche aspetti acustici e ambientali.

Sono stati effettuati dei dimensionamenti dei componenti di impianto da installare, preliminari alla definizione di un computo economico affidabile. Le prestazioni dell'edificio in seguito alla ristrutturazione sono state nuovamente simulate tramite gli approcci già adottati per lo stato di fatto, dimostrando il raggiungimento del target nZEB. La fase di valutazione tecnico-economica ha consentito infine di calcolare il costo totale, il tempo di ritorno ed il VAN.

2 Il caso studio: Edificio Pubblico Residenziale di via Aurora 10

2.1 Topologia

Il fabbricato oggetto di studio è un edificio a destinazione d'uso residenziale, situato in Via Aurora 10, nel comune di Catania, ed in particolare nel quartiere San Leone, facente parte della V circoscrizione. L'edificio fa parte di un complesso realizzato tra la fine degli anni '50 e l'inizio degli anni '60 dall'Istituto Autonomo delle Case Popolari (IACP): esso è quindi rappresentativo dell'edilizia residenziale pubblica, anche se alcune delle unità abitative presenti sono state di recente riscattate dagli affittuari.

Il lotto a cui appartiene l'edificio è di forma rettangolare con lati di settanta e ottanta metri, e si affaccia su due arterie, Corso dei Mille a sud e Via Aurora (ex via Antonino Giusti) a ovest, tramite le quali si accede al complesso edilizio (Figura 1 e Figura 2).

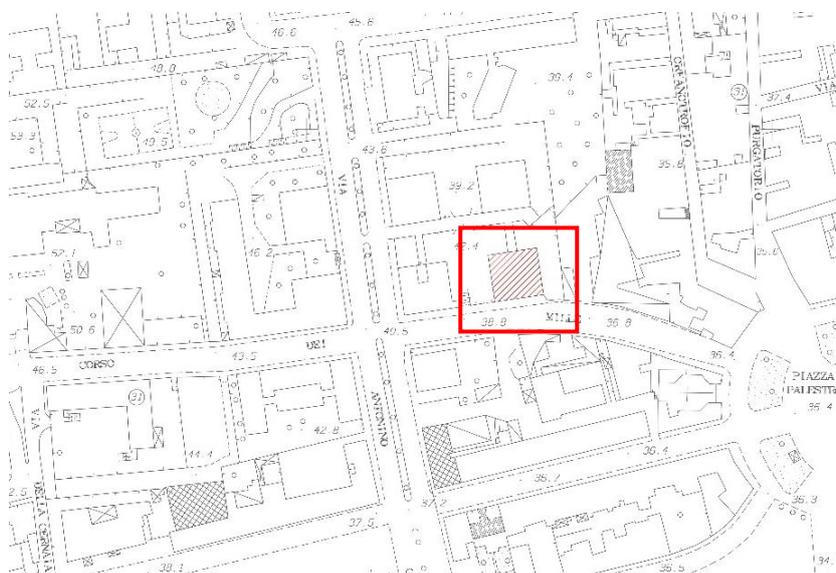


Figura 1. Planimetria generale



Figura 2. Vista satellitare del lotto.

2.2 Dati Costruttivi

L'edificio è stato costruito tra la fine degli anni '50 e l'inizio degli anni '60, anche se non si hanno notizie certe circa la data di completamento dei lavori. Esso presenta una struttura costituita da scheletro portante in calcestruzzo armato e tamponature realizzate con blocchi forati di calcestruzzo. Non è presente l'isolamento né sulle pareti verticali, né sul solaio di copertura realizzato con pignatte in laterizio e soletta in calcestruzzo armato. Gli infissi sono in alluminio senza taglio termico e con vetro semplice da 4 mm.

Come si evince dalla descrizione dell'edificio, esso non presenta alcun accorgimento che possa soddisfare le prestazioni di risparmio energetico, requisito che, ai tempi della costruzione del manufatto, non veniva tenuto in debita considerazione. In Figura 3 si riporta il rilievo fotografico dei quattro prospetti dell'edificio.



Figura 3. Rilievo fotografico dei quattro prospetti

2.3 Planimetrie e prospetti

Il fabbricato si presenta come un parallelepipedo di altezza pari a 27.5 m, maggiore di quella degli edifici adiacenti, e base pressoché quadrata ($20 \times 21 \text{ m}^2$) i cui fronti sono tutti liberi e privi di ostruzioni esterne. È formato da otto piani fuori terra e destinato per la quasi totalità a residenze, fatta eccezione per il piano terra in cui sono situate due attività commerciali e i garage di pertinenza delle unità abitative, a cui si accede da Corso dei Mille (Figura 5). Il transito pedonale invece avviene da via Aurora ed è affidato ad una passerella che collega tutti gli edifici del complesso. Data l'orografia del terreno i due accessi sono posti a quote differenti: quello veicolare a quota zero, quello pedonale a +4.30 m.

I piani residenziali sono messi in comunicazione tra loro sia dal vano scala che dall'ascensore e sono tutti composti da quattro unità abitative, disposte secondo l'asse di simmetria nord-sud: due trivani (46.44 m^2 di superficie utile) esposti a nord-est e nord-ovest e denominati nel seguito U1 ed U4 (Figura 4), e due quadrivani (88.93 e 84.33 m^2 di superficie utile) esposti a sud-est e sud-ovest e denominati nel seguito U2 ed U3. La distribuzione degli alloggi è analoga per tutti i piani; l'unica differenza è da rintracciare nelle

superfici a confine dei trivani: esclusivamente al primo piano la chiusura verticale ad est dell'unità U1 e quella ad ovest dell'unità U4 confinano con il vano scala Figura 6, mentre ai piani successivi dispongono di affaccio diretto all'esterno (Figura 7 e Figura 8). Da tale configurazione derivano migliori condizioni di illuminazione e ventilazione per i locali dei piani successivi al primo.

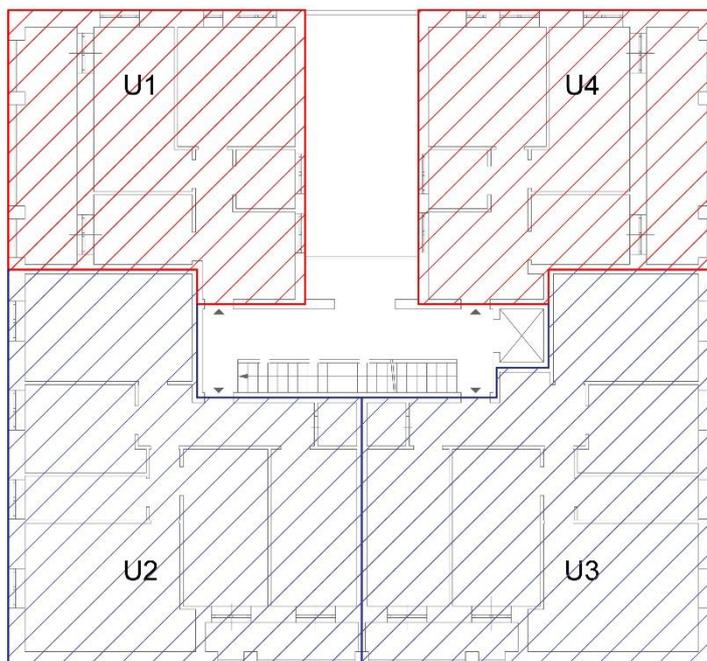


Figura 4. Distribuzione tipologica degli alloggi

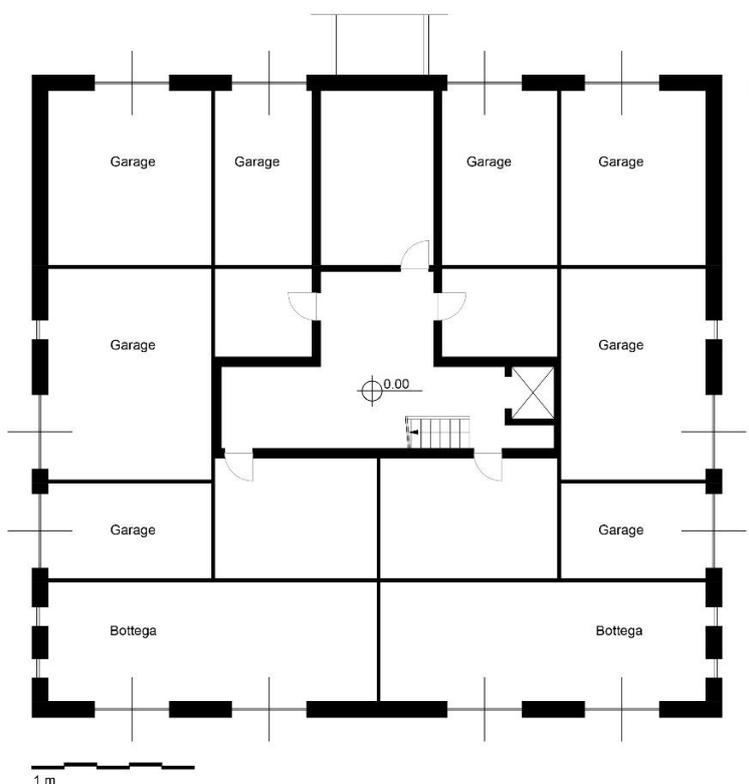


Figura 5. Pianta del piano terra

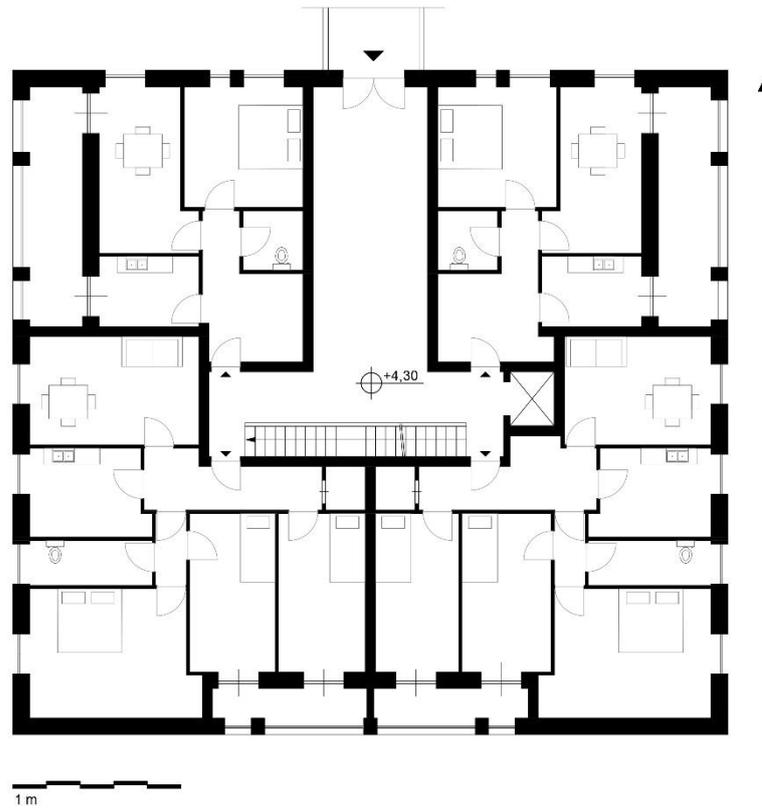


Figura 6. Pianta del primo piano

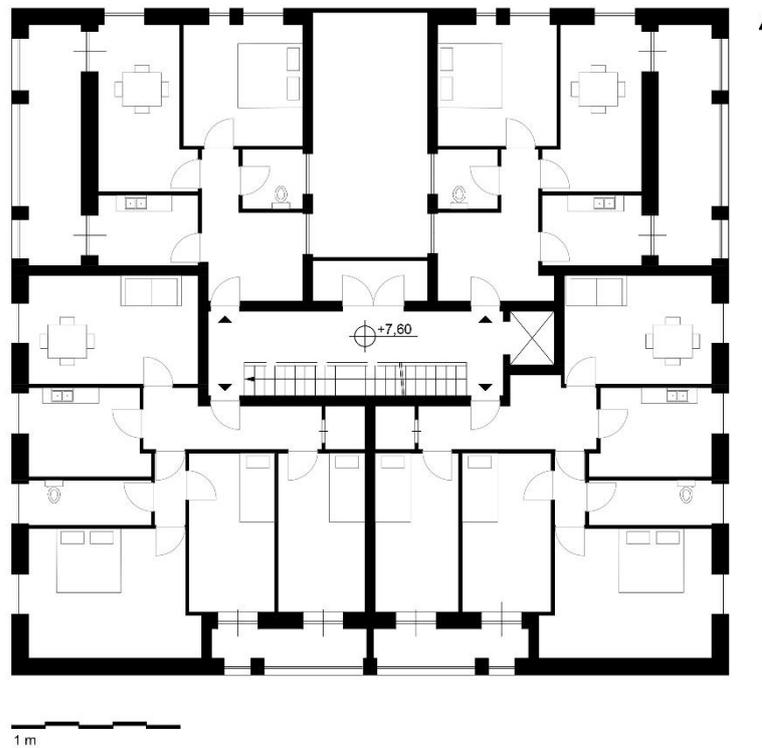


Figura 7. Pianta del piano tipo

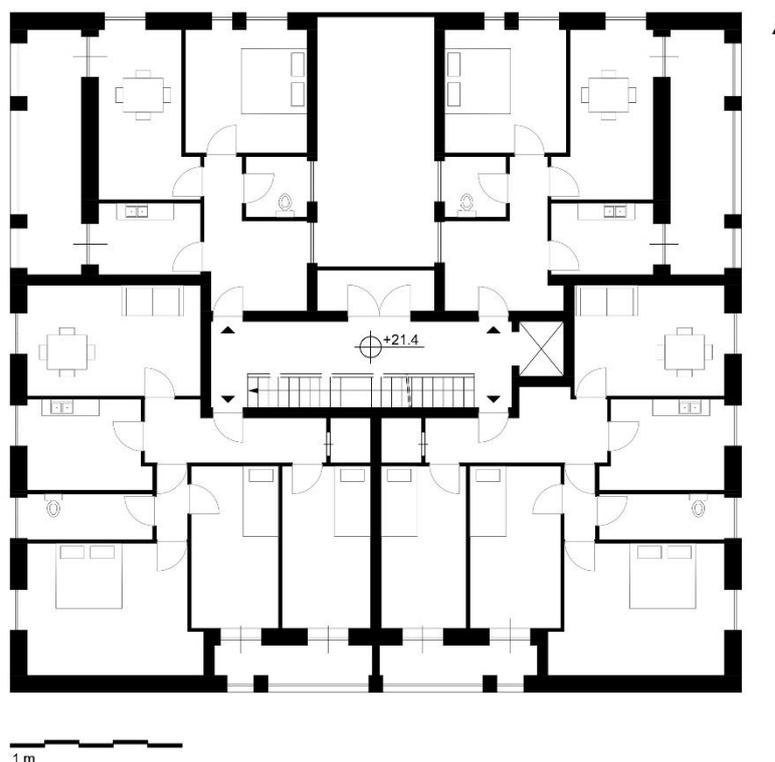


Figura 8. Pianta dell'ultimo piano

In Tabella 1 si riportano nel dettaglio la superficie ed il volume dei locali e delle unità immobiliari. Tutti i locali hanno altezza netta pari a 3 metri. Le unità più piccole, denominate U1 ed U4, hanno superficie utile netta di circa 46 m², mentre le unità più grandi, denominate U2 ed U3, hanno superficie utile netta di poco inferiore agli 85 m². La superficie utile complessiva dell'immobile ammonta a 1835 m², il volume netto complessivo a 5505 m³.

	Superficie [m ²]	Volume [m ³]
Camera da letto	12.83	38.49
Camera da pranzo	12.77	38.31
Bagno	3.18	9.54
Disimpegno	2.90	8.7
Salotto	7.93	23.79
Cucina	6.83	20.49
TOTALE	46.44	139.32

Tabella 1. Superfici e volumi dei locali – unità U1 ed U4

	Unità U2		Unità U3	
	Superficie [m ²]	Volume [m ³]	Superficie [m ²]	Volume [m ³]
Camera da pranzo	16.37	49.11	14.63	43.89
Cucina	9.07	27.21	9.07	27.21
Bagno	4.91	14.73	4.91	14.73
Disimpegno	9.60	28.8	10.74	32.22
Ripostiglio	1.97	5.91	1.97	5.91
Camera da letto A	18.66	55.98	18.66	55.98
Camera da letto B	12.09	36.27	12.09	36.27
Camera da letto C	12.26	36.78	12.26	36.78
TOTALE	84.93	254.79	84.33	252.99

Tabella 2. Superfici e volumi dei locali – unità U2 ed U3

La copertura dell'edificio è costituita da una chiusura orizzontale piana calpestabile, occupata da un corpo di altezza 2.20 m e collocato in corrispondenza del vano scala. Dalle foto planimetriche è stato possibile individuare la posizione dei pluviali e ricostruire l'andamento delle pendenze necessarie per il corretto smaltimento delle acque meteoriche (Figura 9).

L'involucro, dalle finiture di colore medio, è piuttosto compatto e non presenta grossi elementi di discontinuità, se non per la presenza di balconi, a sud, est e ovest, e scanditi da pilastri in calcestruzzo, e di un elemento aggettante, posto all'ultimo piano, che consente di ombreggiare le parti sottostanti.

Ogni fronte dispone di marcapiani che definiscono in altezza l'organizzazione del volume e tracciano quindi il confine dei vari piani. Dai rilievi in sito non sono stati riscontrati evidenti segni di degrado, ad esclusione di vernici vandaliche apposte al piano terra del prospetto sud.

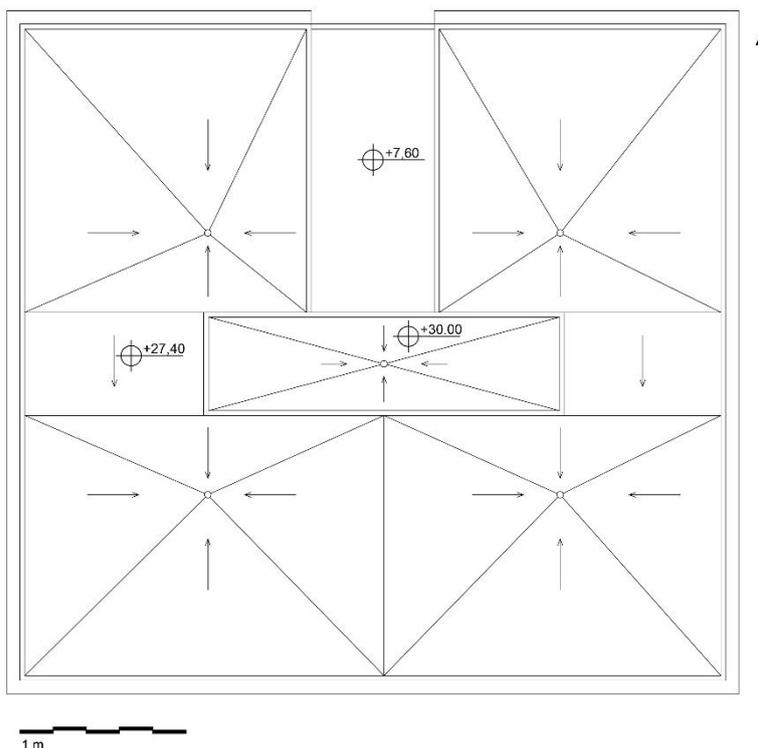


Figura 9. Pianta della copertura



Figura 10. Prospetto Nord (a sinistra) e Sud (a destra)



Figura 11. Prospetto Ovest (a sinistra) ed Est (a destra)

2.4 Gli impianti esistenti

Dai rilievi in sito è emerso che l'edificio non è dotato di sistemi impiantistici centralizzati per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria, pertanto ogni unità abitativa provvede autonomamente al soddisfacimento del proprio fabbisogno. Inoltre, l'edificio non è ancora collegato alla rete di distribuzione del gas metano.

Sulla base delle informazioni ottenute durante i sopralluoghi si evince che non tutte le unità abitative dispongono di apparecchi per la climatizzazione estiva e invernale dei locali; in Tabella 3 si riporta la distribuzione delle tipologie impiantistiche utilizzate nelle varie unità immobiliari. Nella maggior parte dei casi si impiegano pompe di calore reversibili del tipo *monosplit* (Figura 12); per quanto riguarda il numero di unità installate, si è riscontrato che negli appartamenti più piccoli (U1 ed U4) sono installate una o due unità, mentre negli appartamenti più grandi (U2 ed U3) vengono utilizzate due o tre unità. Il 30% circa degli appartamenti non utilizza però alcun sistema di climatizzazione, circostanza non anomala in zona climatica B negli edifici residenziali: grazie al clima particolarmente mite e alla breve durata della stagione di riscaldamento, spesso i residenti preferiscono far fronte al riscaldamento degli ambienti utilizzando, solo nelle giornate più fredde e nei locali occupati da persone, sistemi portatili quali stufette elettriche o a gas.

La produzione di acqua calda sanitaria è invece un servizio indispensabile. Essa è garantita generalmente da boiler elettrici (86% dei casi), ed in misura minore da caldaie a gas alimentate tramite bombole di GPL, come evidenziato in Figura 13.

		Climatizzazione		Acqua calda sanitaria	
		Unità split	Assente	Caldaia a gas	Boiler elettrico
Primo piano	U1		X		X
	U2	X			X
	U3	X		X	
	U4	X			X
Piani intermedi	U1	X	X X X X		X X X X X
	U2	X X X X X			X X X X X
	U3	X X X X	X	X	X X X X
	U4	X X X X	X	X X	X X X
Ultimo piano	U1	X			X
	U2	X			X
	U3	X			X
	U4		X		X

Tabella 3. Censimento degli impianti utilizzati nelle varie unità immobiliari (ogni X indica una unità immobiliare in cui è utilizzata la tecnologia associata alla colonna)

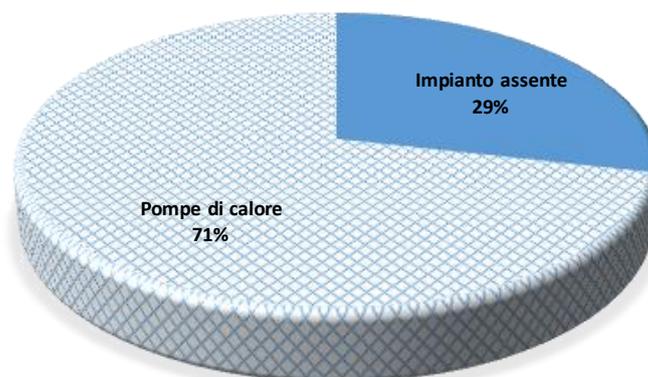


Figura 12. Distribuzione percentuale degli impianti di climatizzazione impiegati

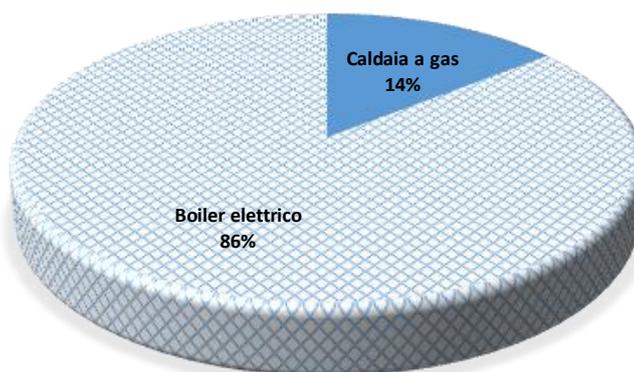


Figura 13. Distribuzione percentuale degli impianti di produzione ACS impiegati

2.4.1 Impianto di riscaldamento e raffrescamento

Le pompe di calore di tipo split presenti variano per numero nei vari alloggi. Come sottolineato nel paragrafo precedente, se ne riscontrano mediamente una o due nelle unità più piccole, due o tre nelle unità più grandi. Per semplicità di calcolo ai fini della simulazione saranno computati due split nelle unità U1 e U4, tre nelle altre due unità abitative.

Anche capacità e potenza variano a seconda del modello installato: per uniformare il calcolo sono state considerate per tutti gli appartamenti, ove presenti, delle unità split reversibili con le seguenti performance:

- Condizionamento estivo: potenza frigorifera 2.3 kW, EER = 2.94
- Riscaldamento invernale: potenza termica 2.4 kW, COP = 3.12



Figura 14. Immagini di alcuni condizionatori split utilizzati

2.4.2 Impianti per la produzione di ACS

Per l'analisi del servizio di produzione di acqua calda sanitaria sono stati considerati:

- boiler elettrici: capacità 80 litri, potenza 1200 W
- caldaie istantanee a GPL: potenza 19 kW.



Figura 15. Immagini di un boiler elettrico utilizzato

2.5 I consumi dell'edificio

Come già evidenziato al capitolo precedente, l'edificio non risulta collegato alla rete di distribuzione del gas metano. Per questo motivo le utenze che fanno ricorso a combustibili gassosi per soddisfare alcuni fabbisogni energetici (cottura, produzione acqua calda sanitaria, riscaldamento con stufe a gas) utilizzano le comuni bombole di GPL, tipicamente nella taglia da 15 kg.

Nel tentativo di stimare i consumi energetici effettivi dell'edificio si è richiesto ai residenti di fornire informazioni circa i consumi elettrici nell'anno 2017, e di descrivere le loro abitudini in merito all'eventuale utilizzo di bombole di GPL per usi vari. L'operazione non è stata semplice, soprattutto a causa della diffidenza degli inquilini e della scarsa propensione a fornire dati sensibili; inoltre, tre unità immobiliari risultano non occupate nel momento in cui è stato condotto il presente studio. È stato in conclusione possibile procurare bollette e dati di consumo dettagliati per soli tre appartamenti, come riepilogato in Tabella 4 (bollette elettriche) e Tabella 5 (tipologie impiantistiche e caratteristiche delle unità).

Per quanto riguarda l'analisi delle bollette elettriche, si rileva come i dati di consumo non siano ovviamente disaggregati: non è quindi possibile conoscere con esattezza l'incidenza delle diverse voci (illuminazione artificiale, condizionatori split, apparecchiature ed elettrodomestici, boiler elettrico quando presente). Peraltro, le utenze residenziali sono caratterizzate tipicamente da estrema variabilità ed imprevedibilità dei profili d'uso delle apparecchiature, per cui risulta estremamente difficile tentare di disaggregare i dati di consumo elettrico.

Può comunque essere individuato un trend generale secondo cui i consumi elettrici crescono nei mesi invernali, molto probabilmente a causa di un maggiore utilizzo dell'illuminazione artificiale, dovuto al più elevato numero di ore di oscurità rispetto all'estate. L'unità B, occupata da 4 inquilini, presenta consumi totali solo leggermente superiori all'unità C, nonostante questa sia occupata da 2 inquilini, probabilmente grazie all'uso di elettrodomestici con migliore efficienza. In tal senso può essere utile ricordare che secondo le statistiche dei consumi elettrici pro-capite al 2016 la media della regione Sicilia è di 1055 kWh/anno pro-capite, comprensiva dei consumi associati ad illuminazione, apparecchiature, riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria. Il dato complessivo delle unità A e C sembra essere abbastanza in linea con tale valore medio, mentre inaspettatamente bassi sono i consumi dell'unità B, per la quale si riscontra un consumo medio pro-capite di circa 500 kWh/anno.

Bimestre	Unità A	Unità B	Unità C
I	155	345	342
II	141	315	288
III	125	304	273
IV	102	323	221
V	122	334	273
VI	166	345	363
Totale [kWh/anno]	811	1966	1760

Tabella 4. Consumi elettrici per l'anno 2017 [kWh]

	Sistema	ACS		Climatizz. estiva	Climatizzazione invernale		
		Sistema	Consumo GPL		Sistema	Consumo GPL	
Unità A	U4 – I piano	1	Boiler elettrico	-	1 Split	Stufa a GPL	1 x 15 kg
Unità B	U3 – I piano	4	Caldaia GPL	8 x 15 kg	1 Split	Stufa a GPL	4 x 15 kg
Unità C	U3 – V piano	2	Caldaia GPL	4 x 15 kg	1 Split	Stufa a GPL	3 x 15 kg

Nota: gli occupanti delle unità sostengono di utilizzare il climatizzatore split principalmente in estate. In inverno esso viene utilizzato saltuariamente, mentre si preferisce utilizzare stufe a gas portatili, ritenute più confortevoli.

Tabella 5. Caratteristiche appartamenti con bolletta – consumi GPL per ACS

	Residenti	Consumo	Fabbisogno pro-capite
Unità A	1	320 kWh _{el}	280 kWh/anno
Unità B	4	120 kg GPL	325 kWh/anno
Unità C	2	60 kg GPL	325 kWh/anno

Tabella 6. Fabbisogno energetico pro-capite per produzione di ACS

L'unità B non utilizza boiler elettrici, e possiede un unico climatizzatore utilizzato principalmente in estate, e solo saltuariamente in inverno, con potenza elettrica nominale di 900 W. E' allora possibile, dal dato di Tabella 4, evincere un valore di riferimento per i consumi elettrici legati ad illuminazione ed elettrodomestici. Stimando un utilizzo dello split per circa 300 ore/anno, e scorpendo i corrispondenti consumi elettrici ($300 \times 0.9 \text{ kW} = 270 \text{ kWh}$) dal totale, si ottiene:

$$1966 - 270 \approx 1700 \text{ kWh/anno}$$

Applicando lo stesso ragionamento all'unità C si giungerebbe ad un risultato di circa 1500 kWh/anno. Per l'unità A, occupata da un solo inquilino, bisognerebbe invece scorpendo dai dati di Tabella 4 i consumi del boiler e del climatizzatore, giungendo ad un risultato di circa 500 kWh.

In Tabella 6 vengono inoltre riportati i valori del fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria, che è possibile evincere dai dati rilevati. In particolare, per il GPL è stato considerato un potere calorifico inferiore $H_i = 12.8 \text{ kWh/kg}$, e per tutti gli scaldabagni è stata computata un'efficienza media annua dell'85%. Nel caso del boiler elettrico da 1200 W, si è ipotizzato che esso rimanga in funzione per 45 minuti al giorno in media.

E' possibile concludere che, mediamente, ogni persona è responsabile di un fabbisogno termico per la produzione di acqua calda sanitaria pari a circa 300 kWh: ipotizzando che l'acqua debba essere consumata a 40°C, e che essa sia disponibile in rete alla temperatura di 15°C, ciò corrisponde ad un consumo giornaliero pro-capite di circa 30 litri.

A questi consumi bisogna infine sommare quelli legati all'uso di stufe portatili alimentate con bombole al GPL per il riscaldamento degli ambienti, ad integrazione – quando non in sostituzione – dei climatizzatori split. Dai dati di Tabella 5 emerge un consumo medio annuo pro-capite pari a circa 1 bombola da 15 kg.

3 Verifica energetica ai sensi del Decreto 26 giugno 2015

La valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici, ai fini della loro certificazione energetica e della verifica del rispetto dei requisiti di legge, è regolata dal Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015. In particolare, le *“Linee guida nazionali per l’attestazione della prestazione energetica degli edifici”* definiscono il sistema di attestazione della prestazione energetica degli edifici tramite la redazione dell’attestato di prestazione energetica (APE).

Attualmente, come indicato nel decreto, si esprime la prestazione energetica tramite l’utilizzo d’indicatori della performance energetica (EP), riferiti al fabbisogno di energia primaria. L’attuale procedura di calcolo prevede la definizione dei seguenti fabbisogni:

- energia termica per il riscaldamento invernale;
- energia termica per la climatizzazione estiva (se presente);
- energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria;
- energia elettrica per la ventilazione meccanica (se presente);
- energia elettrica per l’illuminazione artificiale (ad esclusione degli edifici residenziali);
- energia elettrica per il trasporto di persone e cose (ad esclusione degli edifici residenziali).

A partire da tali informazioni, e tramite opportuni fattori di conversione, si calcola il fabbisogno di energia primaria globale non rinnovabile dell’edificio, e quindi l’indice di prestazione energetica $EP_{gl,nren}$ (riferito all’unità di superficie utile calpestabile). Infine, per mezzo del confronto con l’indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell’edificio di riferimento $EP_{gl,nren,rif,standard}$ si determina la classe energetica dell’edificio.

3.1 Software utilizzato

Ai fini della valutazione della prestazione energetica dell’edificio oggetto di intervento, si è scelto di utilizzare il software **Blumatica Energy**, versione 6.2.0.15, della Blumatica s.r.l. Esso consente di effettuare il computo energetico degli edifici secondo l’attuale legislazione nazionale e le norme UNI vigenti. Il software è certificato dal CTI, ai sensi del DM 26/06/2015 art. 7, come illustrato in Figura 17.



Figura 16. Software utilizzato per la valutazione delle prestazioni energetiche

Produttore	Denominazione	Metodo semplificato	Protocollo	Versione protocollata	Certificato	Versione validata
Blumatica S.r.l.	Blumatica Energy	No	n. 69 (29/06/2016)	6.2.0.0	n. 64 (15/03/2017)	6.2.0.16
Logical Soft S.r.l.	Termolog EpiX	No	n. 70 (29/06/2016)	7 rel. 2016.11	n. 65 (15/03/2017)	7 rel. 2016.43
Namirial S.p.A.	Namirial Termo	No	n. 71 (29/06/2016)	4.0.0.300	n. 66 (15/03/2017)	4.1.3
Acca Software S.p.A.	TerMus	No	n. 72 (29/06/2016)	40.00	n. 67 (15/03/2017)	40.00m
Analist Group S.r.l.	TermiPlan	No	n. 73 (29/06/2016)	2017 – 6.0	n. 68 (15/03/2017)	2017 - 6.1.3
Italsoft Group S.r.l.	Termiko One	No	n. 74 (29/06/2016)	2.0	n. 69 (15/03/2017)	2.1.3
Cype Ingenieros S.A.	Cypetherm C.E.	No	n. 75 (29/06/2016)	2017.a	n. 70 (15/03/2017)	2017.h
Geo Network S.r.l.	Euclide Certificazione Energetica	No	n. 76 (29/06/2016)	8.01	n. 71 (15/03/2017)	8.01p
Mc4Software Italia S.r.l.	Mc4 Suite	No	n. 77 (29/06/2016)	2017 rel.1.0	n. 72 (15/03/2017)	2017 rel. 1.05
Topoprogram & Service di Giuseppe Mangione & C. sas	Energetika 2000	No	n. 78 (29/06/2016)	14.00	n. 76 (03/07/2017)	14.00.018
Edilclima S.r.l.	EC 700 calcolo prestazioni energetiche degli edifici	No	n. 79 (01/07/2016)	7.0.0	n. 73 (15/03/2017)	7.2.0
Watts Industries Italia S.r.l.	Stima10/TFM	No	n. 80 (01/07/2016)	10.0	n. 74 (15/03/2017)	10.0.03
Mc4Software Italia S.r.l.	www.ape-online.it	No	n. 81 (01/07/2016)	3.0	n. 77 (03/07/2017)	3.1
Aermec S.p.A.	Masterclima MC 11300	No	n. 82 (05/07/2016)	3.00	n. 75 (15/03/2017)	3.09
ENEA e ITC-CNR	DOCET	Si	n. 83 (14/07/2016)	3.16.06.47	n. 78 (12/04/2018)	3.16.06.47
ing. S. Daniele Alberti e ing. Antonio Mazzon	Lex10 Professional	No	n. 84 (19/07/2016)	8.00.0010	-	-
Tep s.r.l.	Leto	No	n. 85 (19/07/2016)	4.0.0.4	n. 80 (03/07/2017)	4.0.2.5
Mc4Software Italia S.r.l.	Celeste	No	n. 86 (06/12/2016)	3.0	n. 81 (03/07/2017)	3.0
Acca Software S.p.A.	TerMus	No	n. 87 (26/06/2018)	50.00a BIM	-	-

Figura 17. Elenco software certificato dal CTI ai sensi del DM 26/06/2015

3.1.1 Dati generali

Il primo passo compiuto per il calcolo delle prestazioni relative allo stato di fatto è stato quello di inserire i dati generali relativi all'edificio, quali ubicazione ed anno di costruzione. Nella fase successiva sono stati inseriti i dati riguardanti la destinazione d'uso, nel caso in esame quella di residenza, e le caratteristiche costruttive generali per quanto riguarda le chiusure orizzontali, verticali ed i componenti finestrati. Infine il software, a seguito delle coordinate GIS in precedenza impostate, elabora i dati climatici relativi al sito in esame, rientrante in zona climatica B.

3.1.2 Suddivisione in zone ed ambienti

La procedura di calcolo seguita prevede l'individuazione dei confini degli ambienti climatizzati e delle zone termiche. Gli ambienti climatizzati sono i locali dei piani dell'edificio ad uso residenziale, caratterizzati da diverse condizioni al contorno: ad esempio, il piano primo confina superiormente con un ambiente non climatizzato; il piano tipo con ambienti ad uguale temperatura, pertanto le superfici orizzontali di separazione sono valutate come adiabatiche; l'ultimo piano con l'esterno. L'edificio è costituito da ventotto alloggi, climatizzati con modalità e impianti differenti. Pertanto, sono stati sottoposti ad analisi tutti gli appartamenti del primo piano e dell'ultimo piano, e tutti quelli rappresentativi del piano tipo, individuando in questa fase come zona termica l'intera unità abitativa. Per poter valutare la prestazione energetica

dell'edificio, nella sezione "CAD energy" sono stati importati i file DWG degli elaborati architettonici, e a partire da questi è stata creata una "zona climatizzata", corrispondente all'intera unità abitativa, suddivisa nei vari ambienti interni.

Rispetto alla suddivisione degli spazi descritta al paragrafo 2.3, sono state apportate delle leggere modifiche alla geometria dei locali per semplificare la modellazione e la simulazione: in primo luogo sono state allineate le partizioni, poi sono stati inglobati in un unico ambiente i locali caratterizzati da uguali o simili destinazioni d'uso e condizioni al contorno (ad esempio sono state accorpate le camere da letto B e C delle unità abitative U2 e U3). Nel complesso, le zone termiche presentano le seguenti superfici e volumi:

	Superficie [m ²]		Volume [m ³]	
	Netta	Lorda	Netto	Lordo
Unità 1	46.4	57.1	139.2	197
Unità 2	84.9	105	254.7	362.25
Unità 3	84.4	104.5	253.2	360.52
Unità 4	46.4	57.1	139.2	197

Tabella 7. Superfici lorde e volumi delle zone termiche

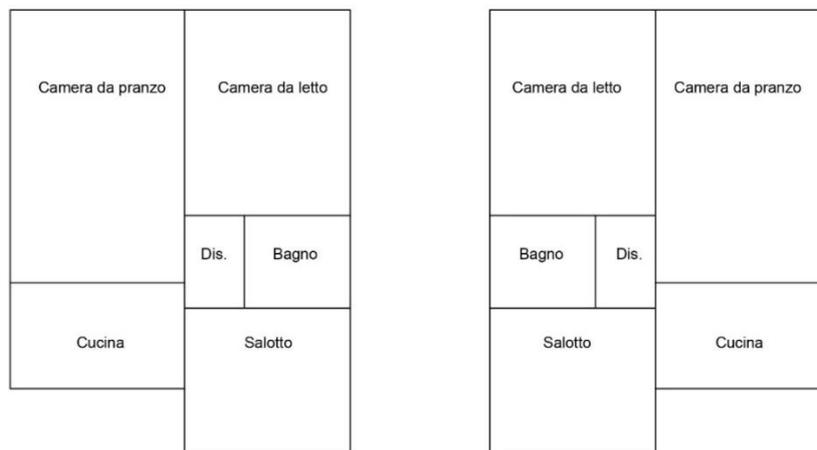


Figura 18. Suddivisione degli ambienti ai fini della modellazione su Blumatica Energy (a destra: U1, a sinistra: U4).

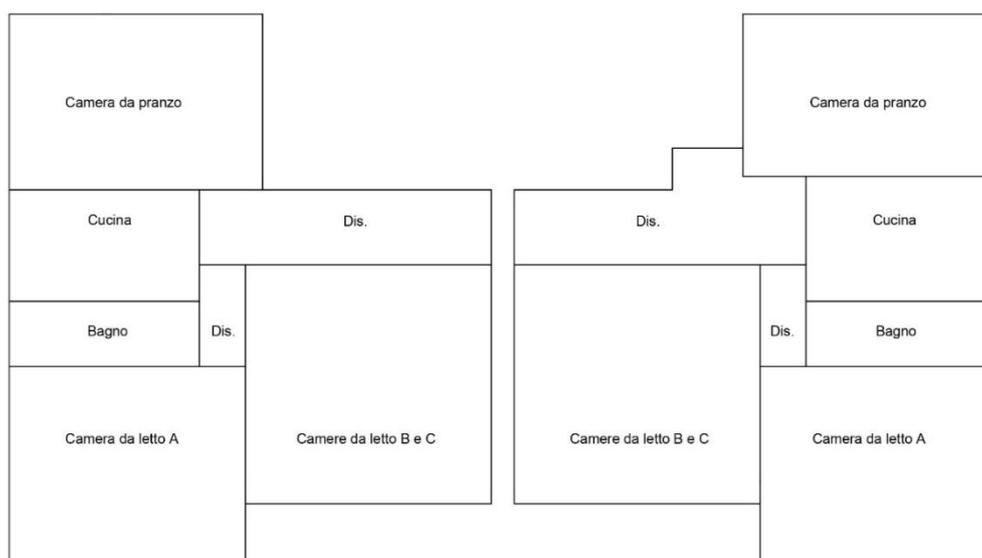


Figura 19. Suddivisione degli ambienti ai fini della modellazione su Blumatica Energy (a destra: U2, a sinistra: U3)

3.1.3 Dati climatici

I dati climatici utilizzati per il calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio sono ricavati dalle norme UNI 10349:2016, con riferimento al sito specifico individuato tramite coordinate GIS. Si riporta in Figura 20 un estratto dei principali dati ricavati dal software.

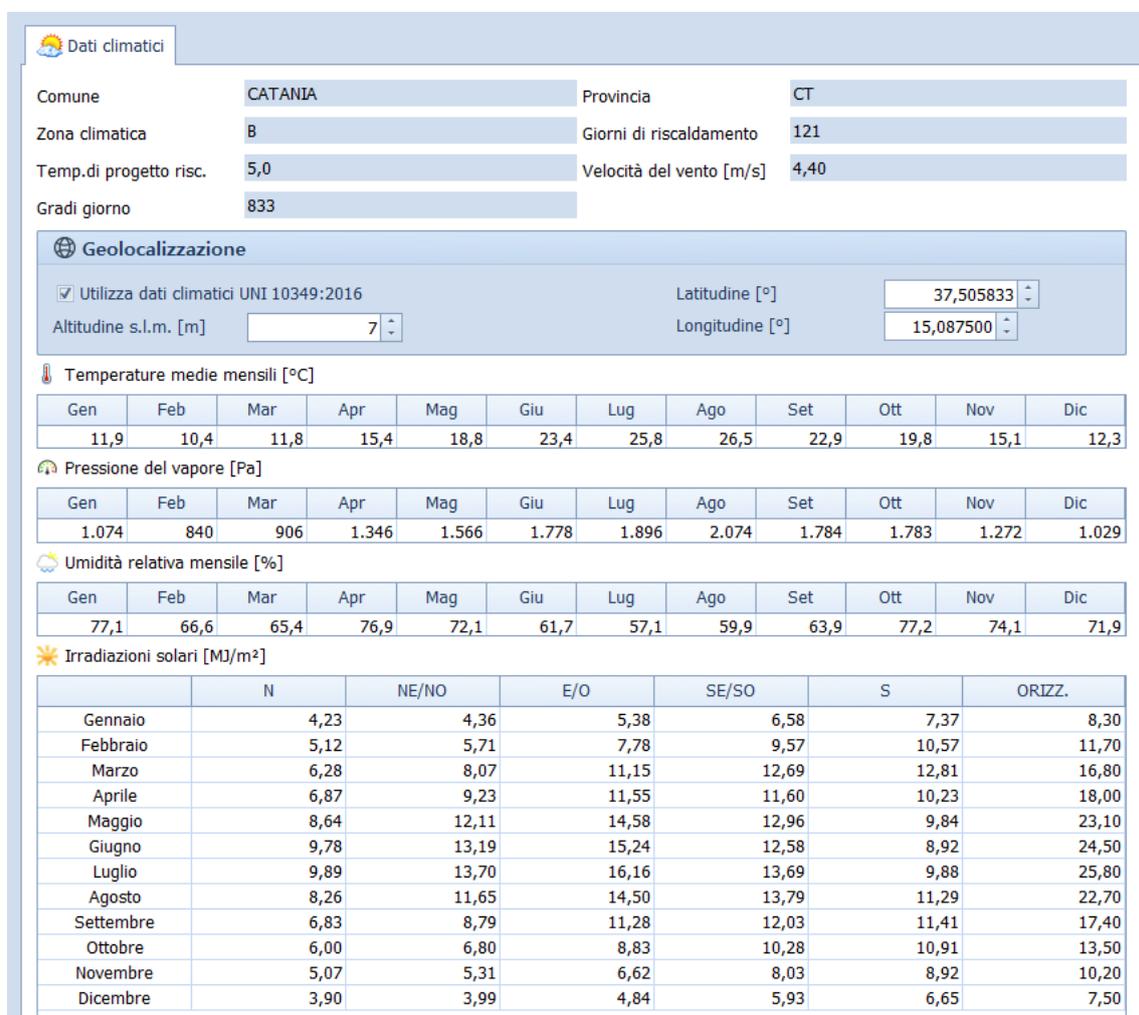


Figura 20. Dati climatici utilizzati dal software (Catania)

3.1.4 Materiali e caratteristiche termo-fisiche dell'involucro edilizio

È stato possibile risalire alle stratigrafie delle chiusure verticali ed orizzontali tramite sopralluoghi ed ipotesi conformi alle tecniche costruttive impiegate a Catania nel periodo in cui è stato progettato l'edificio, cioè alla fine degli anni Cinquanta. L'ossatura portante è costituita da uno scheletro in calcestruzzo armato, con tamponature verticali di due diverse tipologie. In particolare, le pareti che si affacciano sulla bucaura realizzata in corrispondenza del prospetto Nord sono realizzate con blocchi forati di calcestruzzo da 25 cm intonacati da ambo i lati, mentre le tamponature esterne che costituiscono le facciate principali ricalcano la tipologia "a cassetta" con blocchi forati di calcestruzzo ed intercapedine d'aria, per uno spessore totale di circa 45 cm. Le corrispondenti stratigrafie sono riportate in Tabella 8 e Tabella 9. I valori di trasmittanza sono pari a 1.96 W/(m²·K) per la tipologia monostrato e 1.17 W/(m²·K) per la tipologia a cassetta.

Per quanto riguarda le partizioni interne, sono anche in questo caso presenti due tipologie: quelle di separazione tra le unità immobiliari e quelle interne agli appartamenti. In entrambi i casi vengono utilizzati blocchi forati di calcestruzzo intonacati; le due tipologie di partizione presentano però spessore diverso, come riportato in Tabella 10 e Tabella 11.

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,13		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
BLOCCHI DI CALCESTRUZZO	0,25	0,90		840	820
INTONACO ESTERNO calce e cemento	0,03	0,90		710	1800
Strato liminare esterno			0,04		
Trasmittanza U = 1,96 W/(m²·K)					

Tabella 8. Stratigrafia chiusure verticali esterne monostrato - spessore 30 cm

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,13		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
BLOCCHI DI CALCESTRUZZO	0,12	0,55		840	890
MALTA DI CEMENTO	0,01	1,40		670	2000
INTERCAPEDINE ARIA	0,17	-	0,18	-	-
BLOCCHI DI CALCESTRUZZO	0,12	0,55		840	890
INTONACO ESTERNO calce e cemento	0,03	0,90		710	1800
Strato liminare esterno			0,04		
Trasmittanza U = 1,17 W/(m²·K)					

Tabella 9. Stratigrafia chiusure verticali esterne a cassetta - spessore 47 cm

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,13		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
BLOCCHI DI CALCESTRUZZO	0,25	0,90		840	820
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
Strato liminare interno			0,13		
Trasmittanza U = 1,68 W/(m²·K)					

Tabella 10. Stratigrafia partizioni verticali tra unità immobiliari (o tra unità e vano scala)

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,13		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,01	0,70		1010	1400
BLOCCHI DI CALCESTRUZZO	0,08	0,44		840	1040
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,01	0,70		1010	1400
Strato liminare interno			0,13		
Trasmittanza U = 2,12 W/(m²·K)					

Tabella 11. Stratigrafia partizioni verticali interne alle unità immobiliari

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,10		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
SOLAIO IN LATERO CEMENTO	0,26	0,74		840	1200
MASSETTO in calcestruzzo	0,10	0,66		880	1200
MASSETTO ripartizione dei carichi	0,05	1,16		880	2000
MALTA CEMENTIZIA	0,01	1,40		670	2000
MATTONELLE IN CEMENTO	0,02	1,40		880	2000
Strato liminare esterno			0,04		
Trasmittanza U = 1,36 W/(m²·K)					

Tabella 12. Stratigrafia chiusura orizzontale di copertura

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,10		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
SOLAIO IN LATERO CEMENTO	0,22	0,67		840	1000
MASSETTO in calcestruzzo	0,05	0,66		880	1200
MALTA CEMENTIZIA	0,01	1,40		670	2000
MATTONELLE IN MARMO	0,01	3,00		700	2700
Strato liminare esterno			0,10		
Trasmittanza U = 1,55 W/(m²·K)					

Tabella 13. Stratigrafia chiusura orizzontale intermedia

Anche le chiusure orizzontali, prive di opportuno isolamento, presentano valori di trasmittanza elevati: $U = 1,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ nel caso della chiusura orizzontale di copertura (Tabella 12) e $U = 1,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ nel caso della chiusura orizzontale intermedia (Tabella 13). Le pareti perimetrali e la copertura presentano finiture superficiali di colore medio, alle quali è stato attribuito un coefficiente di assorbimento solare pari a 0.6.

Per quanto concerne i serramenti, ne sono stati riscontrati di tre diverse dimensioni. Tutti i serramenti presentano comunque telai metallici senza taglio termico – la cui trasmittanza, ai sensi della UNI 10077-1, è considerata pari a $7,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ – e vetri semplici da 4 mm, con trasmittanza pari a $5,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; i telai occupano il 30% della dimensione totale dei serramenti. Inoltre, le superfici finestrate presentano sistemi oscuranti ed avvolgibili, con cassonetti non isolati di trasmittanza pari a $1,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

In Figura 21 si riporta l'abaco degli infissi presenti nell'edificio oggetto di intervento. Le trasmittanze complessive dei singoli serramenti raggiungono il valore di $6,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

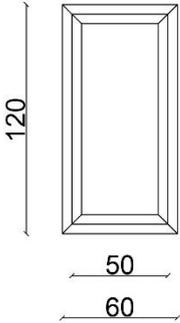
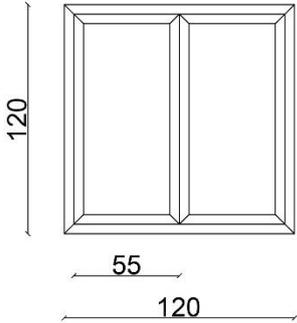
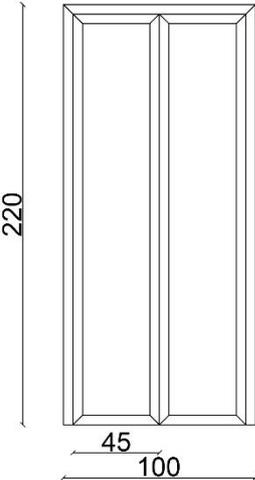
F1-FINESTRA AD ANTA SINGOLA	F2-FINESTRA A DOPPIA ANTA	PF-PORTAFINESTRA A DOPPIA ANTA
		
Af: 0.72 m ² Ag: 0.23 m ² Aw: 0.49 m ² Lpsi: 3.04 m Frame: Alluminio senza taglio termico Glass: Vetro semplice 4mm	Af: 2.20 m ² Ag: 0.72 m ² Aw: 1.48 m ² Lpsi: 9.68 m Frame: Alluminio senza taglio termico Glass: Vetro semplice 4mm	Af: 2.20 m ² Ag: 0.72 m ² Aw: 1.48 m ² Lpsi: 9.68 m Frame: Alluminio senza taglio termico Glass: Vetro semplice 4mm
Uf: 5.70 W/m ² K Ug: 7 W/m ² K Uw: 6.12 W/m ² K Psi: 0 E: 0.837 ggl,n: 0.85 ggl,sh/ggl: 0.8	Uf: 5.70 W/m ² K Ug: 7 W/m ² K Uw: 6.12 W/m ² K Psi: 0 E: 0.837 ggl,n: 0.85 ggl,sh/ggl: 0.8	Uf: 5.70 W/m ² K Ug: 7 W/m ² K Uw: 6.12 W/m ² K Psi: 0 E: 0.837 ggl,n: 0.85 ggl,sh/ggl: 0.8

Figura 21. Abaco degli infissi

Si riportano infine in Tabella 14 i valori delle caratteristiche dinamiche per gli elementi dell'involucro opaco, calcolate ai sensi della norma UNI EN ISO 13786. A causa dei valori di sfasamento Φ particolarmente bassi, è possibile concludere che le prestazioni dinamiche delle pareti verticali sono scadenti; il solaio di copertura, invece, presenta uno sfasamento prossimo alle 12 ore, che ne rende le prestazioni dinamiche sufficienti.

Anche i valori della trasmittanza termica periodica Y_{IE} risultano particolarmente deludenti: si consideri a tal proposito che, nel caso di edifici di nuova costruzione o di ristrutturazioni importanti di I livello, il DM 26/06/2015, noto come "Decreto Requisiti Minimi", prescrive per questo parametro valori inferiori a 0.10 W/(m²K) per le pareti verticali, e inferiori a 0.18 W/(m²K) per i solai di copertura. È dunque evidente come le caratteristiche inerziali dell'edificio siano ben lontane dagli attuali standard di qualità.

	f_d [-]	Φ [h]	Y_{IE} [W m ⁻² K ⁻¹]
Parete verticale monostrato	0.630	5.5	1.238
Parete verticale a cassetta	0.466	7.9	0.545
Partizione tra unità immobiliari	0.519	6.2	0.873
Partizione interna alle unità immobiliari	0.824	3.1	1.753
Chiusura orizzontale di copertura	0.222	11.8	0.302
Chiusura orizzontale interpiano	0.435	7.8	0.674

f_d = fattore di attenuazione, Φ = sfasamento, Y_{IE} = trasmittanza termica periodica

Tabella 14. Caratteristiche dinamiche dell'involucro opaco (UNI EN ISO 13786)

3.1.5 Ponti termici

Una volta inseriti nel software tutti i componenti opachi e trasparenti, è stato possibile individuare e caratterizzare i ponti termici. Le tipologie più ricorrenti sono state analizzate nel dettaglio, ricavandone i valori della trasmittanza termica lineare secondo le relazioni rese disponibili dell'abaco CENED, implementate all'interno del software. I valori di trasmittanza lineare riportati in Tabella 15 sono stati determinati assumendo come riferimento le dimensioni esterne dei locali.

Le tipologie di ponte termico presenti sono diverse: sono stati individuati quelli relativi ai balconi, all'intersezione tra i solai e le pareti verticali esterne, ai serramenti, agli angoli sporgenti. Nel complesso, l'impatto di tali ponti termici risulta elevato, per via dell'assenza di un adeguato isolamento dell'involucro edilizio, sia per le chiusure verticali che per quelle orizzontali.

I ponti termici con trasmittanza lineare più elevata sono quelli determinati dall'intersezione tra le pareti esterne ed i balconi; significative sono anche le dispersioni determinate dai pilastri.

Tipo di ponte termico	CODICE	Ψ [W/m·K]
Balcone – Parete esterna	BAL 003	0,915
Copertura – Parete monostrato	COP 004	-0,204
Copertura – Parete a cassetta	COP 003	0,823
Pilastro – Parete monostrato	PIL 004	0,266
Pilastro – Parete a cassetta	PIL 003	1,163
Finestra – Parete esterna	SER 006	0,540
Porta di ingresso – Parete	SER 006	0,168
Solaio – Parete a cassetta	SOL 004	0,302
Solaio – Parete monostrato	SOL 003	0,832
Angolo sporgente – Parete a cassetta	ASP 004	-0,806
Angolo sporgente – Parete monostrato	ASP 003	0,144
Angolo rientrante – Parete a cassetta	ARI 010	0,179
Angolo rientrante – Parete monostrato	ASP 011	0,361

Tabella 15. Elenco dei ponti termici riscontrati, con relativa trasmittanza lineare

3.1.6 Caratteristiche di ventilazione degli ambienti

Ai fini della valutazione delle prestazioni energetiche dell'immobile si è provveduto all'inserimento dei parametri relativi alla ventilazione naturale. Non essendo presenti sistemi di ventilazione meccanica controllata, il ricambio d'aria è da attribuire alla sola aerazione dei locali. In questo caso, per gli edifici residenziali (categoria E.1), la procedura di calcolo della UNI 11300-1 prevede, alla sezione 12.2, un tasso di ricambio d'aria di progetto pari a $0,5 \text{ h}^{-1}$. A tale valore si applica quindi un fattore di correzione $f_{ve} = 0.6$ (prospetto E.2 della UNI 11300-1), che tiene conto dell'effettivo profilo di utilizzo e delle infiltrazioni che si hanno quando non opera l'aerazione.

In conclusione, la valutazione delle prestazioni energetiche dell'immobile viene effettuata considerando un numero di ricambi orari effettivi pari a $0,3 \text{ h}^{-1}$, a cui corrisponde un coefficiente di dispersione per ventilazione $H_v = 14 \text{ W/K}$ per le unità U1 ed U4, ed $H_v = 25 \text{ W/K}$ per le unità U2 ed U3.

3.1.7 Impostazioni impianti tecnici

Come esposto nel paragrafo 2.4, nell'edificio oggetto di intervento la produzione di acqua calda sanitaria avviene nella gran maggioranza dei casi tramite un boiler elettrico da 1200 W. In alcuni appartamenti è invece presente uno scaldabagno a gas alimentato da bombole di GPL (Tabella 3).

Ai fini del calcolo delle prestazioni energetiche è stato impostato in entrambi i casi un rendimento di erogazione unitario ed un rendimento di distribuzione pari al 92.6%, come previsto ai sensi della metodologia semplificata descritta nella norma UNI 11300-2 (Figura 22). Per quanto riguarda i sistemi di generazione, la caldaia a GPL ipotizzata è del tipo istantaneo a camera aperta (tipo B) senza fiamma pilota, con rendimento medio stagionale pari al 77%, valore standard suggerito dalla UNI 11300-2 (Figura 23). Il boiler elettrico è ubicato in ambiente interno, ed è dotato di accumulo da 80 lt; il suo rendimento medio stagionale è pari al 75% (Figura 24).

Figura 22. Impostazioni relative all'erogazione e alla distribuzione dell'ACS

Figura 23. Impostazioni relative alla produzione di ACS: caldaia a gas

Figura 24. Impostazioni relative alla produzione di ACS: boiler elettrico

Per una migliore comprensione dei risultati è opportuno ricordare che, nel caso di edifici residenziali, il consumo di acqua calda sanitaria V_w , espresso in litri al giorno, è calcolato in proporzione alla superficie utile S_u dell'abitazione secondo la relazione:

$$V_w = a \cdot S_u + b$$

I valori dei parametri a e b sono ricavabili dal prospetto di Figura 25. Per gli appartamenti in esame i consumi di acqua calda sanitaria ammontano dunque a 79,4 litri al giorno per le unità U1 ed U4, ed a 127,4 litri al giorno per le unità U2 ed U3.

Superficie utile S_u [m ²]	$S_u < 35$	$35 < S_u < 50$	$50 < S_u < 200$	$S_u > 200$
Parametro a	0	2,667	1,067	0
Parametro b	50	-43,33	36,67	250

Figura 25. Parametri per il calcolo del fabbisogno di acqua calda sanitaria

Per quanto riguarda la climatizzazione estiva ed invernale, nell'edificio sono utilizzate esclusivamente pompe di calore individuali di tipo split, in grado di provvedere sia al riscaldamento, sia al condizionamento estivo dei locali. Come sottolineato in Tabella 3, in alcuni appartamenti non vengono però adottati sistemi di climatizzazione.

Ai fini del calcolo delle prestazioni energetiche, negli appartamenti dotati di climatizzatori split saranno computati, per semplicità di calcolo, due split nelle unità U1 e U4 e tre split nelle unità U2 ed U3, ricalcando così la situazione più ricorrente. Per via dell'irreperibilità di tutte le schede tecniche relative ad ogni singola macchina, la simulazione è stata effettuata considerando come riferimento una unità split di caratteristiche intermedie, con potenza termica di 2,4 kW in riscaldamento e di 2,3 kW in raffrescamento. Tutti i climatizzatori split sono di tipo on/off.

Si riportano di seguito le schede descrittive delle impostazioni utilizzate nel software di calcolo: i valori di COP ed EER nelle condizioni nominali sono stati ricavati da cataloghi tecnici con riferimento ad unità in vendita qualche anno addietro. Per quanto riguarda il fattore correttivo dichiarato (in riscaldamento), utilizzato per valutare il COP della pompa di calore in condizioni di carico ridotto, si è assunto $C_d = 0.25$, come raccomandato da UNI TS 11300-2 in assenza di dati più precisi.

Modello: 2300
 Descrizione: Pompa di calore reversibile
 Note:
 Codice catasto impianti:
 Anno di installazione:
 Tipo pompa: Elettrica Condizionatore / Split
 Tipo funzionamento: On-Off
 Combustibile: Elettricità
 Temperatura di disattivazione (BH,off) [°C]: 18.0000

Pozzo freddo
 Tipo sorgente: Aria esterna
 Temperatura minima di disattivazione (Bcut,off) [°C]: 2.0000
 Temperature pozzo freddo [°C]: Valori mensili
 Tipo sorgente: Aria interna
 Temperature pozzo caldo [°C]: 20.0000
 Fattore correttivo dichiarato (Cd): 0.2500

Prestazioni della pompa di calore

	Potenze [kW]	Cop/Gue
	20	20
7.0	2.4	3.1

Potenza nominale [kW]: 2.4000

Figura 26. Impostazioni per unità split (riscaldamento)

Modello: 2300
 Descrizione: Pompa di calore reversibile
 Note:
 Codice catasto impianti:
 Anno di installazione:
 Tipo pompa: Elettrica Condizionatore / Split
 Tipo funzionamento: On-Off
 Combustibile: Elettricità
 Potenza nominale [kW]: 2.3000
 Sorgenti: Aria - Aria
 Temperatura bulbo esterno [°C]: 35.0000
 Temperatura bulbo interno [°C]: 27.0000

Valori di EER / GUE

EER 100%	2.9400
EER 75%	3.4700
EER 50%	4.0300
EER 25%	4.9700

Coefficienti di correzione del rendimento

Velocità del ventilatore unità interna:	Alta (nominale)	1.0000
Lunghezza equivalente della tubazione fra unità esterna e interna [m]:	3.0000	1.0400
Percentuale della portata nominale dei canali dell'unità interna [%]:	80.0000	0.9600
Percentuale della portata nominale dei canali dell'unità esterna [%]:	80.0000	0.9400

Unità con valvola pressostatica / termostatica
 Uso di setti insonorizzati

Figura 27. Impostazioni per unità split (raffrescamento)

Nelle unità immobiliari in cui non sono presenti sistemi di climatizzazione, come previsto dal DM 26/06/2015 si procederà a simulare le prestazioni energetiche imponendo che siano presenti degli impianti fittizi, per il solo riscaldamento dei locali, corrispondenti ad un generatore a gas naturale con rendimento del 95%. Non si terrà conto in alcun modo dell'eventuale utilizzo di stufette a gas o elettriche, di cui non si hanno dati precisi e che rimarrebbe comunque aleatorio.

Infine, si riportano in Figura 28 le impostazioni relative alla regolazione degli split (di tipo on/off) e al rendimento di emissione, pari al 94% per terminali ad espansione diretta.

E' presente un impianto di raffrescamento SART

Regolazione

Tipologia: Ambientale On-Off

Rendimento regolazione: 0.9400

Ore giornaliere funzionamento: 9.0000

Erogazione

Terminali: Terminali ad espansione diretta, unità interne sistemi split, ecc.

Rendimento emissione: 0.9400

Potenza ausiliari [W]: 0

Funzionamento ausiliari: Unità con arresto dei ventilatori al raggiungimento della temperatura prefissata

E' presente un impianto di riscaldamento SART

Emissione

Altezza media locali: Fino a 4 metri

Tipologia terminale: Condizionatori (split)

Rendimento emissione: 0.940

Potenza ausiliari (W): 0 Sempre in funzione

Figura 28. Impostazioni per rendimento di emissione e regolazione

3.2 Verifica energetica dell'edificio

Ultimato l'inserimento dei dati impiantistici e dei parametri relativi all'involucro, il software provvede all'elaborazione dei fabbisogni di energia termica associati alla climatizzazione estiva ed invernale ed alla produzione di acqua calda sanitaria, al fine di individuare la classe energetica corrispondente.

Prima di procedere con la presentazione dei risultati e per semplificarne la lettura, si ritiene necessario riproporre la distribuzione in pianta delle unità abitative.

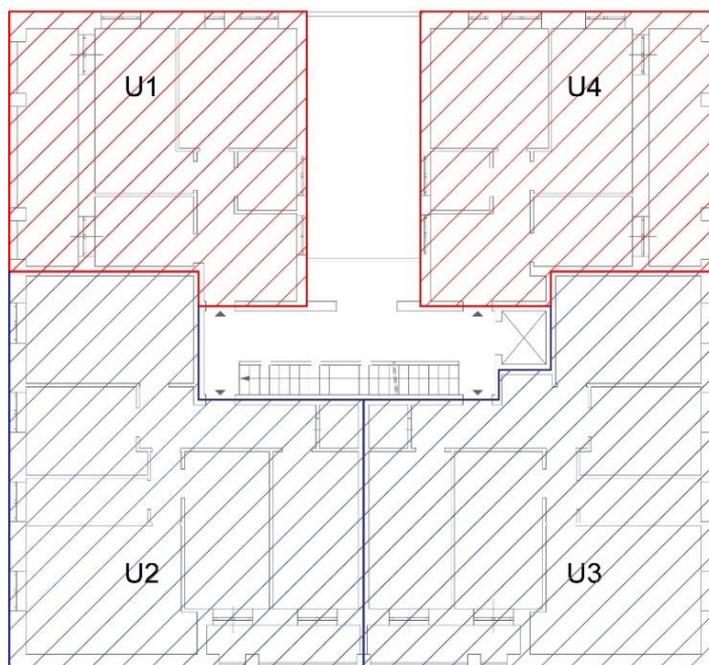


Figura 29. Distribuzione tipologica delle unità abitative

Tra gli output forniti dal programma è possibile trovare i fabbisogni di energia termica associati all'edificio e la potenza termica di progetto, da cui valutare l'incidenza percentuale delle varie voci di dispersione (chiusure verticali e orizzontali, ponti termici, ventilazione).

Ad esempio, dalle Figura 30, Figura 31 e Figura 32 si può rilevare l'impatto dei singoli termini di dispersione nel calcolo della potenza termica invernale di progetto, per l'unità abitativa U1 del primo piano, del piano tipo e dell'ultimo piano. In tutti i casi il contributo maggiore è fornito dalle chiusure verticali opache (42% per il primo piano e in copertura, 55% al piano tipo) e dalle chiusure orizzontali opache (25% in copertura, 19% per il primo piano). Elevato è anche l'impatto degli infissi (17% al primo piano e in copertura, 22% al piano tipo), della ventilazione (11% al primo piano, 10% al piano tipo e 8% all'ultimo piano). I ponti termici costituiscono un contributo non trascurabile (rispettivamente 11%, 13% e 8%): da ciò si evince come un'analisi dettagliata non possa prescindere da una corretta valutazione di tutti i ponti termici.

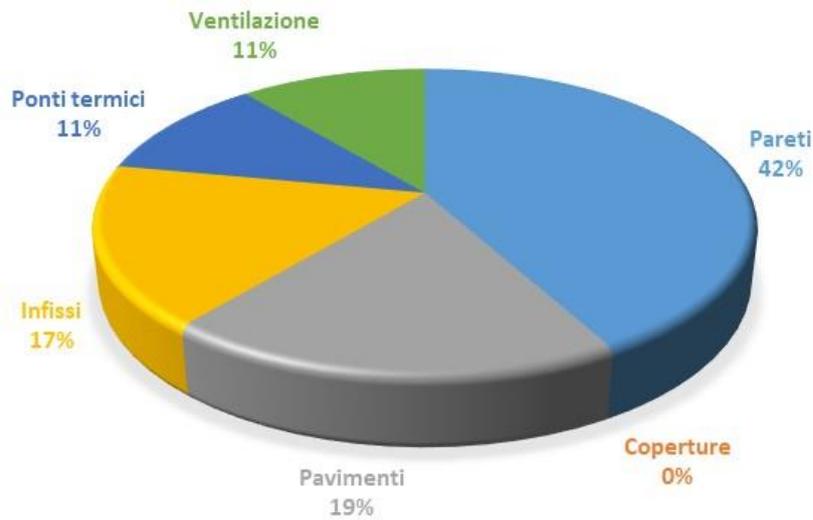


Figura 30. Incidenza delle voci di dispersione sulla potenza termica invernale – unità U1 del primo piano



Figura 31. Incidenza delle voci di dispersione sulla potenza termica invernale – unità U1 del piano tipo

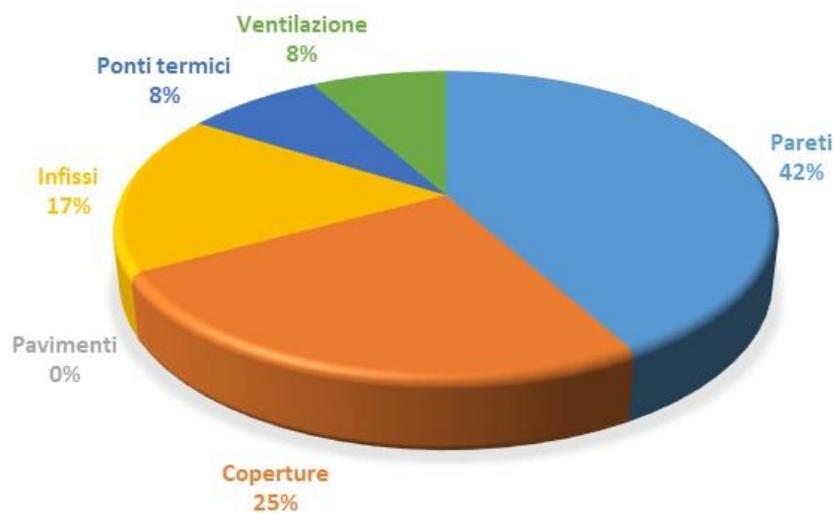


Figura 32. Incidenza delle voci di dispersione sulla potenza termica invernale – unità U1 dell'ultimo piano

3.2.1 Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile

Tramite la valutazione del consumo globale di energia primaria non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) è possibile definire la classe energetica di ogni appartamento, ricavata dal confronto tra questo termine e lo stesso termine calcolato per l'edificio di riferimento.

I risultati sono rappresentati in Figura 33, Figura 34 e Figura 35. Da qui si evince che i fabbisogni di energia primaria più elevati in assoluto si riscontrano negli alloggi che fanno uso dello scaldabagno elettrico per la produzione di acqua calda sanitaria e che non sono dotati di impianti finalizzati alla climatizzazione estiva ed invernale. In questi appartamenti si raggiungono consumi di circa 150 kWh/(m² anno) (U1 del primo piano e del piano tipo e U4 del piano tipo) o addirittura di circa 200 kWh/(m² anno) (U4 dell'ultimo piano). Si ricorda in tal senso che, in assenza di impianti di climatizzazione, la procedura di calcolo ipotizza comunque la presenza di un impianto di riscaldamento fittizio dotato di caldaia a gas e caratterizzato da rendimenti predefiniti, mentre l'impianto di climatizzazione estiva non viene effettivamente considerato.

La classe energetica migliore si ottiene invece negli appartamenti dotati di caldaia a GPL per la produzione di acqua calda sanitaria e di sistemi split a pompa di calore per la climatizzazione: in questo caso si giunge infatti alla classe B (unità U4 del piano tipo ed unità U3 del primo piano), con fabbisogni di energia primaria non rinnovabile inferiori ai 100 kWh/(m² anno).

Più in generale è possibile evincere il beneficio apportato dall'uso degli split per la climatizzazione estiva ed invernale: dal confronto tra le unità U1 del piano tipo, il termine $EP_{H,nren}$ risulta essere il 53% più basso per l'unità in cui si fa uso degli split, e ciò è sufficiente, a parità di involucro e di condizioni al contorno, ad elevare la classe energetica da F a C. E' anche il caso di osservare che, nonostante le prestazioni energetiche dell'involucro siano scadenti, come testimoniato anche dagli elevati valori di trasmittanza termica, le prestazioni globali del sistema edificio-impianto risultano non troppo negative se si utilizzano le pompe di calore per il riscaldamento invernale: per quanto obsolete e caratterizzate da prestazioni non di prim'ordine, queste costituiscono un sistema efficiente, in grado peraltro di sfruttare una significativa frazione di energia primaria proveniente da fonti rinnovabili (in questo caso dall'aria esterna).

Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria, l'impiego della caldaia a gas alimentata da GPL consente di ottenere consumi di energia primaria non rinnovabile più contenuti rispetto al caso del boiler elettrico. Infatti, sia per le unità più piccole che per quelle più grandi, la caldaia a gas determina consumi più bassi del 50% circa rispetto al caso del boiler elettrico.

E' possibile inoltre analizzare i risultati in chiave diversa, determinando cioè l'impatto delle condizioni al contorno sul consumo di energia primaria non rinnovabile a parità di tipologia impiantistica adottata. Si consideri ad esempio l'unità U1 del primo piano, e si confronti la sua performance con quelle unità U1 del piano tipo che, come per il primo piano, sono prive di impianti di riscaldamento e raffrescamento e utilizzano il boiler elettrico per la produzione di ACS. Il termine $EP_{W,nren}$ non varia, in quanto associato esclusivamente alla superficie utile dell'unità immobiliare; il termine $EP_{H,nren}$ aumenta invece del 3% al piano tipo rispetto al primo piano, nonostante quest'ultimo presenti dispersioni termiche addizionali attraverso il pavimento che confina con il piano terra, non climatizzato. Questo trend inaspettato deriva dalle condizioni al contorno della chiusura verticale esposta ad est: questa si affaccia verso l'esterno al piano tipo, e con il vano scala al primo piano. Le dispersioni che si generano su una superficie a contatto con l'esterno sono maggiori di quelle che si generano verso un ambiente non climatizzato, e ciò bilancia le dispersioni attraverso il pavimento.

Differente è il caso dell'alloggio di tipo U2, che dispone in tutti i piani di pompe di calore e di boiler elettrico. In questo caso variano solo le condizioni al contorno delle chiusure orizzontali: per questo motivo nei piani intermedi il termine $EP_{H,nren}$ è del 52% più basso che per il primo piano, mentre all'ultimo piano il consumo di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento supera del 15% il primo piano ed è più che doppio rispetto al piano tipo.

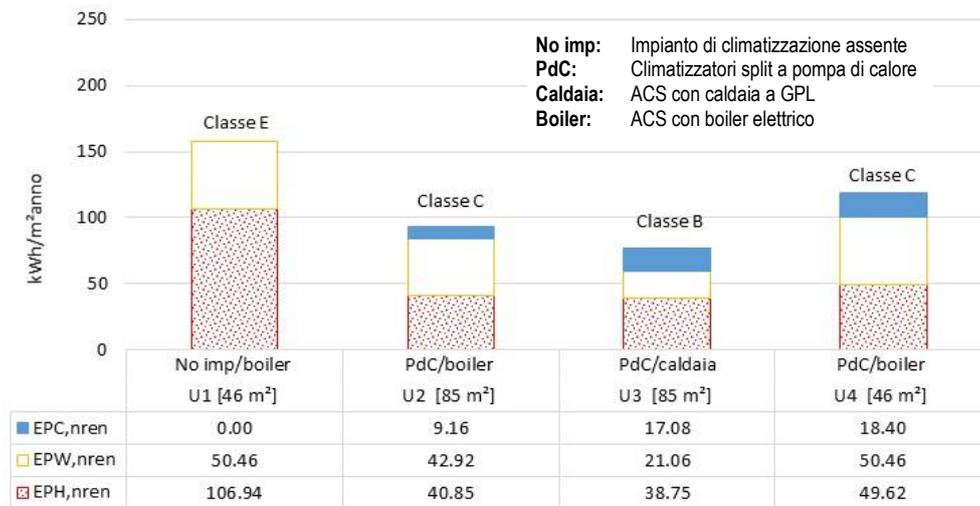


Figura 33. Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile – primo piano

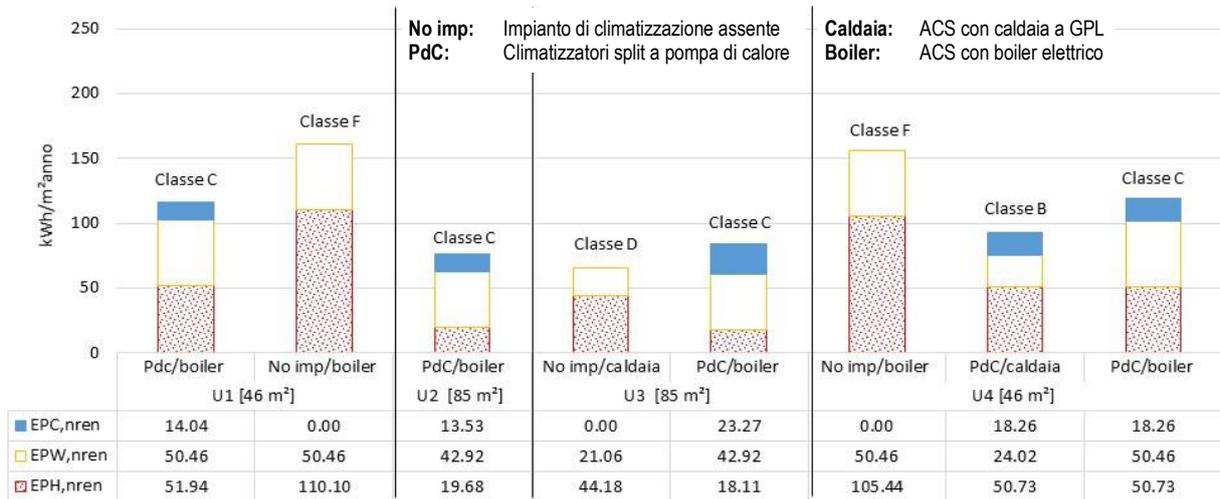


Figura 34. Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile – piano tipo

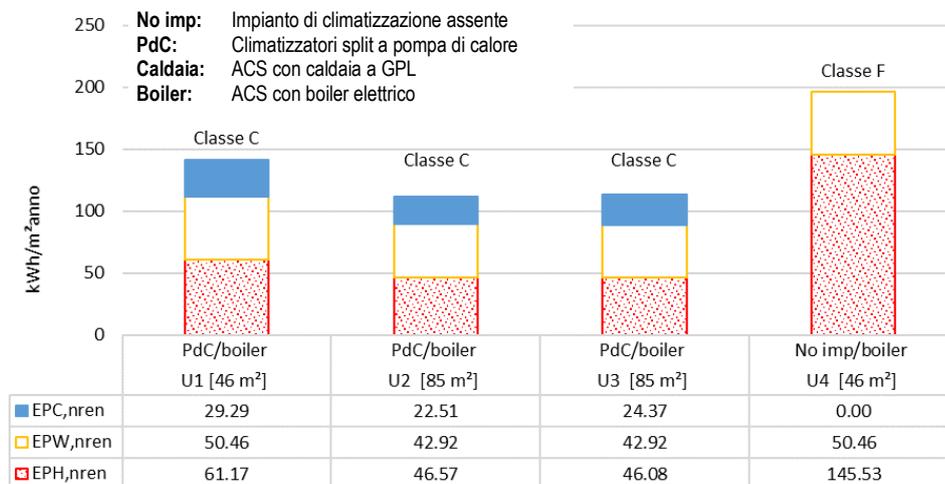


Figura 35. Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile – ultimo piano

Infine si osservi che, a parità di piano e di impianti, le unità esposte ad ovest (U1 ed U2) hanno consumi di energia primaria per il servizio di raffrescamento più bassi di quelle esposte ad est: ad esempio al primo piano il termine $EP_{C,nren}$ dell'unità U2 è il 46% più basso di quello dell'unità U3. Tale discrepanza dipende dal ruolo benefico svolto dall'edificio limitrofo sul lato ovest che, ombreggiando la chiusura verticale dell'unità U2, consente di ottenere risultati positivi durante la stagione estiva, riducendo il soleggiamento durante le ore pomeridiane. Di contro, però, ciò provoca l'aumento del termine $EP_{H,nren}$, come evidente dal confronto tra le unità U1 ed U4 del piano tipo, che differiscono del 23% pur utilizzando gli stessi impianti.

Il ruolo svolto dalla copertura non isolata non è trascurabile; infatti confrontando i consumi delle unità U4 del piano tipo e dell'ultimo piano, entrambe senza impianti di climatizzazione e con boiler elettrico, emerge come all'ultimo piano il termine $EP_{H,nren}$ sia il 40% più elevato del piano tipo.

3.2.2 Fabbisogno di energia utile e performance dell'involucro

A complemento dei risultati commentati nei paragrafi precedenti, si riportano in Figura 36, Figura 37 e Figura 38 i fabbisogni di energia utile associati a ciascun servizio energetico, espressi in kWh/(m² anno). Si ricorda in tal senso che per fabbisogno di energia utile si intende la quantità di energia che gli impianti devono trasferire o estrarre dall'edificio per compensare i carichi termici (nel caso della climatizzazione) o per riscaldare l'acqua calda sanitaria alla temperatura desiderata: tali fabbisogni derivano dunque da bilanci energetici condotti su volumi di controllo corrispondenti con l'utenza finale, e non entrano in gioco le caratteristiche degli impianti selezionati.

Si può notare che per le unità di uguali dimensioni il fabbisogno di energia utile associata al servizio di produzione di acqua calda sanitaria non cambia, mentre i fabbisogni di energia utile per la climatizzazione estiva ed invernale sono influenzati da esposizione e collocazione all'interno dell'edificio. I fabbisogni maggiori si raggiungono all'ultimo piano, dove la presenza della copertura non isolata incide in maniera non trascurabile; l'unità abitativa U2 dell'ultimo piano ha un fabbisogno di 114 kWh/m²anno mentre il fabbisogno al primo piano e al piano tipo per la stessa unità è di 72 e 59 kWh/m²anno, dunque con differenze tra il 40% ed il 50% circa.

In tutte le unità è possibile notare come il fabbisogno più elevato sia quello associato alla climatizzazione invernale: ad esempio nell'unità U1 dell'ultimo piano il fabbisogno per il riscaldamento è pari al 61% del totale, mentre quello per il raffrescamento al 30%.

Infine, il software associa all'involucro una valutazione qualitativa (alta, media o bassa) in base alle sue prestazioni. Per l'edificio analizzato i risultati possono essere riepilogati come in Tabella 16.

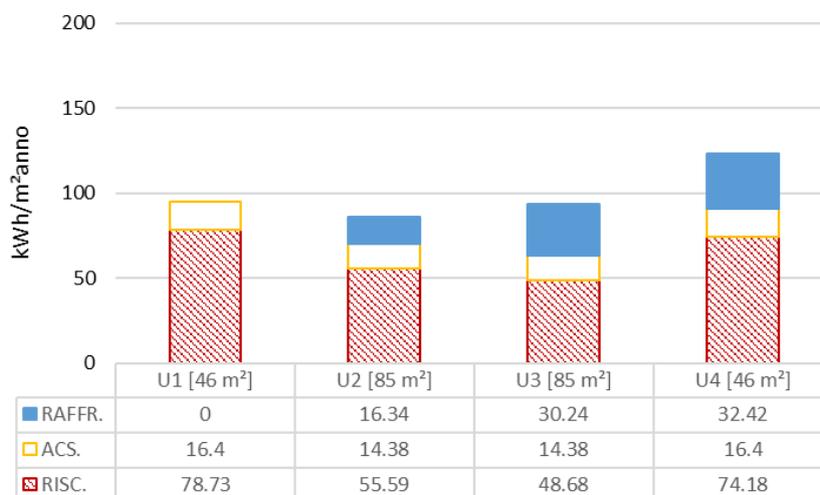


Figura 36. Fabbisogni di energia utile – primo piano

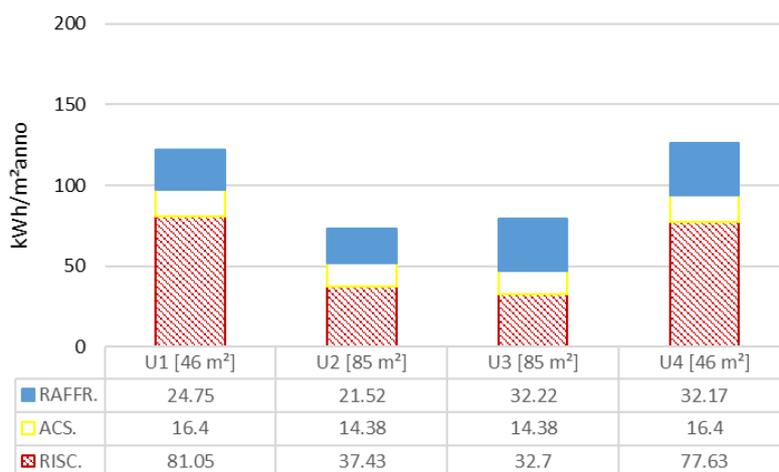


Figura 37. Fabbisogni di energia utile – piano tipo

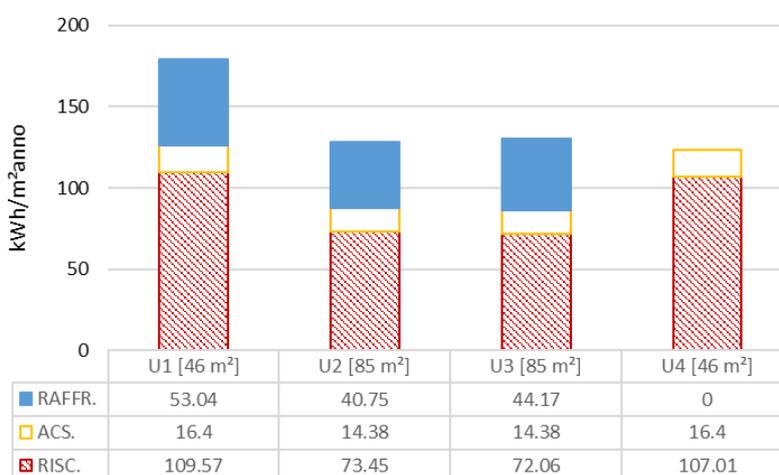


Figura 38. Fabbisogni di energia utile – ultimo piano

		INVERNO	ESTATE	CLASSE ENERGETICA
Primo piano	U1	BASSA	MEDIA	E
	U2	BASSA	MEDIA	C
	U3	BASSA	BASSA	B
	U4	BASSA	BASSA	C
Piani intermedi	U1	BASSA	MEDIA	C
	U1	BASSA	MEDIA	F
	U2	BASSA	MEDIA	C
	U3	BASSA	BASSA	D
	U3	BASSA	BASSA	C
	U4	BASSA	MEDIA	F
	U4	BASSA	MEDIA	B
	U4	BASSA	MEDIA	C
Ultimo piano	U1	BASSA	BASSA	C
	U2	BASSA	MEDIA	C
	U3	BASSA	BASSA	C
	U4	BASSA	BASSA	F

Tabella 16. Prestazione invernale ed estiva dell'involucro

La prestazione invernale risulta bassa per tutte le unità di tutti i piani, mentre più eterogenea è la prestazione estiva dell'involucro. Al primo piano le unità U1 e U2 garantiscono performance migliori probabilmente grazie all'ombreggiamento determinato dall'edificio adiacente. In generale U2 ha le prestazioni estive migliori, medie in ogni piano; l'unità U3 è la più penalizzata da esposizione e assenza di ostruzioni esterne, e le sue prestazioni sono sempre basse. Infine, in copertura si attestano le prestazioni peggiori per via della copertura costantemente soleggiata.

3.2.3 Consumi di energia finale: valori reali e valori calcolati

In Tabella 17, Tabella 18 e Tabella 19 vengono riepilogati i consumi di energia elettrica associati a tutti i servizi energetici (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria), alla luce dei risultati del calcolo condotto tramite Blumatica Energy. A questi sono sommati i consumi di energia elettrica per l'illuminazione e gli elettrodomestici, stimati a partire da dati statistici nazionali e supportati dall'analisi delle bollette per alcuni appartamenti dell'edificio in esame.

In particolare, per quest'ultima voce si è ritenuto di poter utilizzare i seguenti valori:

- Appartamenti grandi (U2 ed U3, 85 m²): 1600 kWh/anno
- Appartamenti piccoli (U1 ed U4, 46 m²): 800 kWh/anno

Il primo dato rappresenta il valor medio determinato dall'analisi delle bollette per due appartamenti di tipo U2 ed U3; il secondo dato è stato maggiorato rispetto a quanto riscontrato nell'unico appartamento di tipo U1 analizzato (circa 500 kWh/anno), per avvicinarlo maggiormente alle medie nazionali ed in virtù di una supposta proporzionalità di questo dato rispetto alla superficie dell'appartamento ed al numero di occupanti. Si ricorda inoltre che, da dati statistici risalenti al 2005, il consumo di energia elettrica per la sola illuminazione nel settore residenziale si attesta intorno ai 350 kWh/anno, mentre quello relativo agli elettrodomestici è mediamente più elevato.

In generale, si nota una netta discrepanza tra i consumi elettrici calcolati dal software ai sensi delle norme UNI 11300, ed i consumi desunti a partire dal dato non disaggregato di bolletta di cui si è discusso nel paragrafo 2.5. Ciò è del tutto comprensibile, in quanto il calcolo condotto dal software si basa su un profilo di utilizzo standard degli impianti, diverso dal loro utilizzo reale da parte degli utenti.

Unità	Sistema impiantistico		Fabbisogno elettrico [kWh/anno]				Totale
	ACS	Climatizzazione	Riscald.	Condizion.	ACS	Illum. / elettrod.	
U1	Boiler	Assente	-	-	1189	800	1989
U2	Boiler	Split	1660	372	1744	1600	5376
U3	Caldaia GPL	Split	1574	694	-	1600	3868
U4	Boiler	Split	1196	444	1189	800	3629

Tabella 17. Fabbisogno di energia elettrica simulato – primo piano

Unità	Sistema impiantistico		Fabbisogno elettrico [kWh/anno]				Totale
	ACS	Climatizzazione	Riscald.	Condizion.	ACS	Illum. / elettrod.	
U1 (x1)	Boiler	Split	1269	296	1189	800	3554
U1 (x4)	Boiler	Assente	-	-	1744	800	2544
U2 (x5)	Boiler	Split	800	550	1744	1600	4694
U3 (x4)	Boiler	Split	736	946	1744	1600	5026
U3 (x4)	Caldaia GPL	Assente	-	-	-	1600	1600
U4 (x2)	Boiler	Split	1242	396	1189	800	3627
U4 (x2)	Caldaia GPL	Split	1223	440	-	800	2463
U4 (x1)	Boiler	Assente	-	-	1189	800	1989

Tabella 18. Fabbisogno di energia elettrica simulato – piani intermedi

Unità	Sistema impiantistico		Fabbisogno elettrico [kWh/anno]				
	ACS	Climatizzazione	Riscald.	Condizion.	ACS	Illum. / elettrod.	Totale
U1	Boiler	Assente	1474	706	1189	800	4169
U2	Boiler	Split	1892	914	1744	1600	6150
U3	Caldaia GPL	Split	1872	990	1744	1600	6206
U4	Boiler	Split	-	-	1189	800	1989

Tabella 19. Fabbisogno di energia elettrica simulato – ultimo piano

Per quanto riguarda i consumi elettrici simulati per i boiler elettrici (ACS), quando presenti, questi risentono dell'ipotesi di calcolo della UNI 11300-2 secondo cui i fabbisogni di acqua calda sanitaria sono proporzionali alla superficie utile dei locali, e non al numero di residenti che effettivamente fruiscono del servizio. Si osservi infatti che dalle analisi dei consumi reali emerge un consumo medio giornaliero di acqua calda pari a circa 30 litri a persona, quando invece la UNI 11300-2 restituisce un fabbisogno di circa 79,4 litri al giorno per le unità U1 ed U4 e di 127,4 litri al giorno per le unità U2 ed U3. Questi valori sono ampiamente sovrastimati qualora gli appartamenti più piccoli siano occupati da una sola persona, e gli appartamenti più grandi da 2 o 3 persone, come accade frequentemente.

La maggiore discrepanza tra consumi effettivi e consumi simulati si rileva però alla voce "climatizzazione", comprensiva di riscaldamento e raffrescamento. Si evidenzia infatti una forte sovrastima del fabbisogno elettrico dei climatizzatori split da parte del modello di calcolo rispetto ai valori esibiti in bolletta. Per una più attendibile interpretazione di questi risultati, si osservi che:

- il metodo di calcolo introdotto dalla UNI TS 11300-1 per la determinazione del fabbisogno energetico per la climatizzazione (invernale ed estiva) è di tipo quasi-stazionario, e non tiene conto, se non in modo approssimativo, del comportamento dinamico dell'involucro;
- per la determinazione del fabbisogno energetico per la climatizzazione si considera un valore standard della portata d'aria di rinnovo, che non necessariamente corrisponde a quanto si riscontra nella realtà, in cui l'entità del rinnovo dipende dal comportamento degli utenti e dalla frequenza con cui questi aprono le finestre;
- il metodo di calcolo della UNI TS 11300-1 presuppone che gli impianti siano sempre accesi. Non si tiene dunque conto del reale profilo di utilizzo da parte degli utenti, che in realtà attivano i climatizzatori in base alle loro esigenze. Dalle interviste effettuate è emerso come gli utenti attivino i climatizzatori split principalmente in estate, e molto meno frequentemente in inverno. Inoltre, il numero di ore giornaliere di funzionamento è notevolmente inferiore rispetto a quelle previste dalla normativa nazionale (8 ore al giorno in zona B in regime invernale).

Nel complesso, le simulazioni quasi-stazionarie condotte su Blumatica Energy restituiscono un consumo complessivo di energia elettrica pari a 106450 kWh/anno, distribuito come in Tabella 20.

Ai risultati commentati sopra si aggiungono infine i consumi di combustibile associati alla produzione di acqua calda sanitaria tramite caldaie a GPL, quando presenti. In questo caso il software restituisce un consumo di circa 90 kg/anno di GPL per le unità U1 ed U4, e di circa 130 kg/anno per le unità U2 ed U3. Tali risultati equivalgono rispettivamente a 6 bombole ed a circa 9 bombole, e sono abbastanza prossimi a quelli riscontrati in occasione delle interviste.

Unità	Totale	Media ad appartamento
U1	19888 kWh	2841 kWh
U2	34996 kWh	4999 kWh
U3	31778 kWh	4540 kWh
U4	19787 kWh	2827 kWh
Totale	106449 kWh	3802 kWh

Tabella 20. Fabbisogno di energia elettrica simulato – riepilogo

Si ritiene infine opportuno ricordare che tre degli appartamenti presenti nell'edificio risultano non occupati al momento delle indagini descritte in questo report. Ai fini del calcolo dei consumi energetici a tali appartamenti sono quindi stati attribuiti i sistemi impiantistici più frequentemente riscontrati, e si è proceduto come se gli appartamenti fossero regolarmente occupati, ritenendo del tutto transitoria la condizione di non occupazione.

4 Simulazione dinamica dell'edificio

La simulazione dinamica delle prestazioni energetiche degli edifici (Building Energy Performance Simulation) è una disciplina che, nata negli anni '80 nelle sedi accademiche, ha avuto nell'ultimo decennio importanti sviluppi. I software più avanzati per la simulazione energetica si basano su un calcolo dinamico: l'obiettivo è in questo caso studiare il reale comportamento termo-energetico di un edificio, determinandone il fabbisogno di energia mediante metodi dettagliati di simulazione con step temporali orari o addirittura inferiori, a differenza del calcolo stazionario che mira a determinare un valore medio mensile ed annuale. Le valutazioni possono riguardare i servizi di riscaldamento, raffrescamento, deumidificazione ed illuminazione, con lo scopo di ottimizzare le operazioni di impianti e apparecchiature basate sulla richiesta degli occupanti reali.

Il calcolo dinamico riesce a simulare il comportamento reale dell'edificio molto meglio del calcolo stazionario, comunemente utilizzato ai fini della Certificazione Energetica. Tuttavia, negli edifici il confronto tra il consumo energetico reale e quello calcolato non è mai scontato, data la presenza di innumerevoli variabili difficilmente comparabili e standardizzabili, che rendono complessa la valutazione e problematico il confronto con i dati reali.

4.1 Il modello di calcolo dinamico: EnergyPlus

Il software utilizzato per eseguire le analisi energetiche dinamiche sull'edificio è EnergyPlus (versione 8.6) programma gratuito e open source sviluppato dall'US Department of Energy (DOE). EnergyPlus è strutturato in diversi moduli che calcolano il fabbisogno energetico di un edificio per il riscaldamento ed il raffrescamento, e l'andamento di tutti i parametri prestazionali e di comfort collegati all'utilizzo dello stesso; ciò viene fatto simulando l'edificio ed i sistemi energetici associati ad esso, in funzione delle diverse condizioni ambientali ed operative. L'unica interfaccia grafica open source e gratuita per EnergyPlus è il software OpenStudio, sviluppato anch'esso dal U.S. Department of Energy, plugin di SketchUp, software per la modellazione architettonica tridimensionale e distribuito da Trimble.

Definiti i confini delle zone termiche, coincidenti in questo caso con i singoli ambienti, queste sono state modellate su SketchUp e rinominate secondo la convenzione scelta. Ad ogni superficie è associata una condizione al contorno: nel caso in cui avvenga il contatto con una superficie del tipo Surface (tipico caso di pareti condivise tra più ambienti) il comando Surface Matching esegue in automatico tale mappatura. Il plug-in consente, inoltre, di inserire le stratigrafie relative a tutte le strutture modellate e di verificare che le informazioni siano state lette correttamente dal programma.

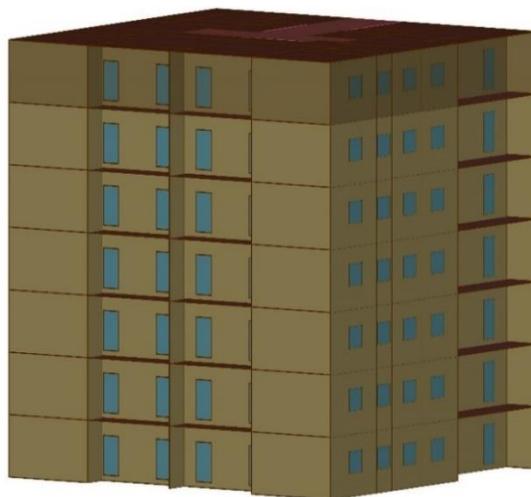


Figura 39. Modello 3D dell'edificio

4.2 Input del programma

I dati di input inseriti su EnergyPlus sono quelli relativi alle caratteristiche dell'involucro, alle modalità di occupazione e fruizione dei locali e alle modalità di attivazione degli impianti. Tutte le informazioni sono contenute all'interno di opportune schede, che saranno nel seguito descritte brevemente.

4.2.1 Involucro

Afferiscono a questa categoria le informazioni riguardanti i materiali e le stratigrafie che compongono gli elementi di fabbrica. In particolare, tramite la scheda *Material* vengono definite tutte le caratteristiche dei materiali opachi, mentre le informazioni sulle chiusure trasparenti sono gestite dalle seguenti schede:

- *Window Material Glazing* per le componenti vetrate
- *Window Property Frame and Divider* per le informazioni sui telai
- *Window Material Screen e Shading Control* per caratterizzare le schermature

Sebbene non sia possibile affermare con certezza quali siano le ore del giorno in cui gli utenti tengono chiuse o aperte le schermature, è stato ipotizzato un profilo di apertura in funzione del diagramma solare e, di conseguenza, della radiazione solare che raggiunge ogni superficie. In particolare, le schermature a nord sono aperte tutti i giorni dell'anno dalle 07:00 alle 21:00 per facilitare l'ingresso della luce naturale; quelle a sud per tutto il periodo invernale come quelle a nord, per massimizzare gli apporti solari gratuiti, mentre nella stagione estiva (1 giugno – 30 settembre) rimangono chiuse tra le 11:00 e le 16:00, per evitare un eccessivo surriscaldamento dei locali. Le schermature ad est durante l'inverno sono aperte dalle 7:00 alle 21:00, mentre d'estate sono aperte solo dopo le 11:00; infine quelle a ovest per il periodo invernale seguono il profilo già descritto, e durante l'estate invece sono chiuse dalle 14:00 in poi.

Una volta compilate tutte le schede dei materiali tramite la *Schedule Construction* vengono create tutte le stratigrafie esistenti, in seguito attribuite alle superfici geometriche definite dal modello 3D. Le stratigrafie ed i materiali impostati ricalcano quanto descritto al paragrafo 3.1.4.

Ad ogni superficie vengono poi assegnate le condizioni riguardanti l'esposizione al sole e al vento e le superfici di contatto. Nel caso particolare di superfici che confinano con ambienti non climatizzati di cui non è nota la temperatura, la temperatura del locale non climatizzato viene definita in modo semplificato come media pesata tra la temperatura interna dei locali climatizzati e quella esterna. Tale termine è stato sottoposto ad analisi di sensitività, per comprendere quanto la variazione dei pesi da attribuire alle due temperature di riferimento influenzi i fabbisogni energetici dell'edificio. Da tali analisi emerge che l'impatto della temperatura dei locali non climatizzati è basso anche se non del tutto trascurabile; l'ipotesi più equilibrata e verosimile è sembrata essere quella rappresentata dalla seguente equazione, in cui con T_{NC} si intende la temperatura dei locali non climatizzati, T_E è la temperatura esterna e T_A la temperatura interna dei locali climatizzati:

$$T_{NC} = 0.7 \cdot T_E + 0.3 \cdot T_A$$

4.2.2 Ventilazione e permeabilità dell'involucro.

La normativa 10339 definisce le portate di rinnovo che devono essere mantenute all'interno dei locali; in assenza di un sistema meccanico di immissione ed estrazione dell'aria, e soprattutto in edifici in cui la ventilazione è affidata ad un'utenza eterogenea, non è possibile accertarsi che le prescrizioni di normativa siano rispettate, e conoscere con esattezza l'entità della ventilazione garantita. Per questi motivi, ai fini della simulazione, è stato ipotizzato un numero di ricambi d'aria costante pari a 0.5 h^{-1} durante l'inverno.

Durante l'estate invece è stata ipotizzata una soluzione differente, che prevede il valore precedente durante le ore diurne, e l'incremento dei ricambi orari durante le ore serali nelle camere da letto (2 volumi orari dalle 21:00 alle 07:00). È bene ricordare tuttavia che, in assenza di ventilazione meccanica controllata, i valori attesi possono essere rispettati soltanto tramite misure messe in atto direttamente dagli occupanti ed in sostanza non è possibile affermare con certezza che il comportamento supposto sia quello reale.

4.2.3 Impianti

Per mantenere determinati valori di temperatura all'interno dei locali, rispettivamente di 20°C durante l'inverno e di 26°C in estate, è presente in tutti gli ambienti un termostato che impone l'attivazione e lo spegnimento degli impianti di climatizzazione.

Secondo le prescrizioni di legge in zona climatica B l'impianto di riscaldamento invernale dovrebbe rimanere in funzione al massimo per 8 ore al giorno, e solo nei mesi di Dicembre, Gennaio, Febbraio e Marzo; non esistono invece riferimenti di legge per il tempo di accensione degli impianti di climatizzazione estiva. Coerentemente con tali indicazioni, una prima simulazione (simulazione A) è stata realizzata considerando l'impianto di riscaldamento attivo dalle 06:00 alle 09:00 e dalle 18:00 alle 23:00, per un totale di 8 ore e solo per i mesi sopra elencati. Durante l'estate, invece, si è optato per un tempo di attivazione che va dalle 10:00 alle 19:00, da giugno a settembre.

Questa prima simulazione intende rappresentare un caso particolarmente svantaggioso, seppur in linea con le indicazioni della normativa. In realtà nei climi miti (zona B) l'impianto di riscaldamento viene spesso utilizzato per un numero inferiore di ore: nelle giornate più miti e soleggiate non è escluso che l'impianto possa restare addirittura spento soprattutto negli edifici più performanti. Questo tipo di comportamento è stato confermato dalle interviste effettuate ai residenti, anche con riferimento alla climatizzazione estiva. Peraltro in estate i residenti sono propensi ad accettare temperature interne leggermente superiori ai 26°C, e non ricorrono dunque ai climatizzatori non appena questa soglia di comfort viene superata. Per questo motivo è stata effettuata una seconda simulazione (simulazione B), calcolando i fabbisogni energetici nell'ipotesi in cui gli impianti siano attivi per 3 ore al giorno in inverno (dalle 07:00 alle 08:00 e dalle 20:00 alle 22:00) e per 2 ore al giorno in estate (dalle 14:00 alle 16:00).

Questa seconda simulazione intende dunque avvicinarsi maggiormente al reale comportamento degli inquilini, e quindi al reale fabbisogno energetico. Poiché comunque il comportamento e le abitudini delle utenze sono aleatorie e non del tutto prevedibili, è corretto affermare che le due simulazioni effettuate possano essere considerate come casi estremi, e che le prestazioni reali dell'edificio si attestino verosimilmente in posizione intermedia.

	Riscaldamento	Raffreddamento
Simulazione A	06:00 - 09:00 / 18:00 - 23:00	10:00 - 19:00
Simulazione B	07:00 - 08:00 / 20:00-22:00	14:00 - 16:00

Tabella 21. Impostazioni del termostato per le simulazioni – riepilogo

4.2.4 Apporti gratuiti

Gli apporti gratuiti all'interno di un locale dipendono dalle sue condizioni di occupazione, dall'uso dell'illuminazione artificiale e delle apparecchiature presenti. Questi termini rappresentano variabili non definibili con certezza a priori senza il supporto di interviste dettagliate da cui desumere il reale numero degli occupanti di tutte le unità abitative e il numero e la tipologia di elettrodomestici e lampade utilizzati. Per questo motivo sono stati definiti due profili occupazionali, uno per le unità più piccole (2 inquilini) e uno per le unità più grandi (4 inquilini), estesi a tutti gli appartamenti di cui si compone l'edificio.

In particolare, i trivani sono gli alloggi più piccoli occupati da due sole persone (U1 ed U4). Ogni singolo locale presenta un profilo orario di occupazione diverso: durante i giorni feriali le camere da letto raggiungono picchi di utilizzazione durante la notte, la cucina durante le prime ore del mattino e la sera, così come la sala da pranzo, ed infine i locali secondari come bagno e disimpegno sono considerati sempre vuoti, in quanto l'utilizzo è limitato a intervalli di tempo ridotti. Per i giorni festivi lo stato di occupazione è differente: in base all'utenza è verosimile che durante i fine settimana o le festività gli alloggi rimangano vuoti. I profili orari dell'illuminazione ricalcano quelli dell'occupazione, a meno di locali come salotto o cucina, in cui è prevista una quota costante per utilizzo di apparecchiature ed elettrodomestici.

I quadrivani sono invece gli alloggi più grandi, occupati da quattro persone (U2 ed U3). Anche in questo caso si prevede, durante i giorni feriali, un picco di utilizzo durante le ore notturne nella camera da letto principale, mentre quella secondaria in buona approssimazione verrà utilizzata anche durante il pomeriggio. In cucina si raggiunge il massimo la sera e durante le prime ore della mattina, e valori medi (due persone) durante il pomeriggio; analoga trattazione segue la sala da pranzo. Anche in questo caso per i locali di servizio si prevede un profilo di utilizzo costantemente nullo. Durante i giorni festivi è probabile che le camere da letto vengano utilizzate qualche ora in più durante la mattina e rimangano vuote durante la restante parte della giornata, mentre più alta è la permanenza nei locali della zona giorno. L'illuminazione segue i profili di occupazione, con minimi fissi in cucina e sala da pranzo.

In effetti i carichi endogeni di un appartamento costituiscono una variabile difficilmente individuabile a meno di analisi approfondite e dettagliate sull'effettivo profilo di occupazione e di utilizzazione di lampade ed elettrodomestici, che in ogni caso possono cambiare nel tempo. Dalle simulazioni dinamiche è emerso che la variazione del numero di persone all'interno di un'unità abitativa comporta variazioni quasi impercettibili sui fabbisogni complessivi per riscaldamento e raffrescamento, inferiori al 2%. Perciò è lecito procedere con le ipotesi effettuate, senza compromettere la veridicità dei risultati.

Anche la potenza elettrica installata è stata sottoposta ad analisi di sensitività. In prima battuta è stato ipotizzato un valore di 4 W/m^2 uguale in tutti i locali e in tutte le unità. Verosimilmente gli ambienti più utilizzati e dotati di un numero elevato di apparecchiature necessitano di potenze maggiori; pertanto una seconda ipotesi presuppone l'aumento della potenza elettrica installata fino a 6 W/m^2 in cucina e nella sala da pranzo. Dalle analisi emerge tuttavia che tale aumento della potenza elettrica installata comporta variazioni quasi impercettibili sul fabbisogno energetico estivo ed invernale, quindi tutte le simulazioni considerano un valore costante di 4 W/m^2 .

4.2.5 Dati climatici

Le simulazioni dinamiche eseguite da EnergyPlus richiedono l'utilizzo di dati climatici: sono soprattutto questi, oltre alle proprietà intrinseche degli edifici, ad influenzare i risultati. I dati climatici di base disponibili per la città di Catania sono quelli acquisiti dalla stazione meteorologica di Fontanarossa, di riferimento per il Servizio meteorologico dell'Aeronautica Militare.

Bisogna tuttavia tenere conto della collocazione della stazione, posta in ambiente rurale, in cui le caratteristiche climatiche sono completamente diverse da quelle che possono verificarsi all'interno della città, dove normalmente si raggiungono temperature più elevate. Tale fenomeno è noto come *effetto isola di calore* (UHI), ed è determinato principalmente dalle caratteristiche termiche e radiative dei materiali che costituiscono le superfici urbane, dalle attività antropiche che contribuiscono al riscaldamento delle aree urbane, dal traffico e dalla vegetazione. L'isola di calore, in sintesi, influenza le condizioni di comfort termico, così come i carichi termici per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici: pertanto un punto cruciale riguarda la corretta individuazione dei dati climatici tenendo conto anche di questo fenomeno.

Per modificare i dati climatici di partenza in modo da tenere conto dell'effetto isola di calore è stato utilizzato il tool *Urban Weather Generator* (UWG) sviluppato nel 2012 dal Massachusetts Institute of Technology: si tratta di un modello che predice la temperatura dell'aria all'interno di un contesto urbano utilizzando le informazioni meteorologiche misurate nelle stazioni climatiche di riferimento e convertendole in un altro file climatico, in base ad informazioni che riguardano le tipologie di edifici presenti, la densità edilizia, il profilo orario del traffico veicolare e la vegetazione presente nell'area considerata.

Nel caso in esame, il file climatico "corretto" relativo all'area urbana in esame riporta valori medi mensili della temperatura esterna superiori di circa $1^\circ\text{C} \div 2^\circ\text{C}$ rispetto ai valori riscontrati dalla stazione meteorologica di Fontanarossa. I valori di picco di tale differenza, che possiamo definire "*intensità dell'isola di calore*" possono raggiungere addirittura gli 8°C nelle notti estive. Come già evidenziato in altri studi, è possibile concludere che i file climatici normalmente utilizzati per le simulazioni energetiche degli edifici sottostimano le effettive temperature dell'aria nelle zone urbane: dunque l'operazione preliminare condotta con UWG è risultata indispensabile per ottenere risultati più accurati.

4.3 Risultati delle simulazioni

Una volta completate le impostazioni è possibile tramite EnergyPlus effettuare le analisi energetiche in regime dinamico, ossia osservare come si sviluppano, all'interno di intervalli temporali più o meno ampi, le variabili che influiscono sul comportamento energetico dell'edificio. Si deve a tal fine impostare il periodo della simulazione, che può essere annuale o semplicemente stagionale (estivo o invernale). Inoltre, è necessario impostare lo step di calcolo, che in questo caso è stato fissato pari a 10 minuti.

Come output si possono ricavare diverse informazioni: in questa sede si analizzano in particolare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva ed invernale. I valori numerici presentati sono da intendersi come l'energia termica che un impianto fittizio dovrà fornire agli ambienti (in inverno) o estrarre da essi (in estate) al fine di mantenere le temperature di comfort desiderate nelle fasce orarie precedentemente descritte.

I risultati presentati in Figura 40, Figura 41 e Figura 42 sono relativi alla simulazione A, cioè quella condotta assumendo un elevato numero di ore di accensione degli impianti. Gli elementi che influenzano maggiormente i risultati sono la collocazione dell'unità nel fabbricato, la sua esposizione e le sue dimensioni. Al primo piano gli alloggi più grandi (U2 e U3) hanno fabbisogni specifici di energia termica per il riscaldamento e per il raffrescamento più bassi rispetto ai due più piccoli (U1 e U4): dal confronto tra U1 e U2 emerge ad esempio una riduzione del 40% sul fabbisogno specifico per il riscaldamento, e del 14% sul fabbisogno per il raffrescamento. L'impatto dell'esposizione è minore: infatti il fabbisogno totale di energia di U4 differisce solo del 2% da U1, mentre in U3 si raggiunge un valore più elevato del 6% rispetto ad U2.

L'analisi del piano tipo conduce ad individuare due tendenze differenti a seconda che si analizzino le unità più grandi o quelle più piccole. Nel primo caso i fabbisogni totali si sono ridotti rispetto al piano primo (del 12% nell'unità U2 e del 10% nell'unità U3), in quanto è diminuito il numero di superfici orizzontali attraverso cui avviene la dispersione di calore. Ciò rappresenta un beneficio durante l'inverno, ed infatti il fabbisogno per il riscaldamento subisce variazioni del 24% per U2 e del 21% per U3. Durante l'estate si verifica invece la situazione opposta, ed i fabbisogni di raffrescamento aumentano del 22% circa per l'alloggio U2 e del 16% per l'alloggio U3. Diverso è il caso degli alloggi più piccoli (U1 e U4): si ricorda che in questo caso sono variate le condizioni al contorno, poiché la parete ad est di U1 e quella ad ovest di U4 dal secondo piano in poi sono poste a contatto con l'esterno, mentre al primo piano confinano con il vano scala. Nel complesso i fabbisogni del piano tipo sono aumentati del 10% per U1 e del 6% per U4, con variazioni quasi impercettibili sul contributo per il raffrescamento e più considerevoli su quello per il riscaldamento, che aumenta del 13% in U1 e del 10% in U4.

L'ultimo piano confina direttamente con l'esterno in copertura, ed è soggetto all'azione dell'irradianza solare, che nel mese di luglio raggiunge sulle superfici orizzontali picchi di 900 W/m². Per questo motivo i fabbisogni per il raffrescamento sono più alti rispetto ai piani sottostanti: per U2 del 54% rispetto al piano primo e del 26% rispetto al piano tipo. Anche i fabbisogni per il riscaldamento sono aumentati: nell'unità abitativa U2 si verifica un aumento del 24% rispetto al primo piano e del 63% rispetto al piano tipo.

Un dato particolarmente interessante è inoltre ricavabile dai risultati riepilogativi descritti in Tabella 22, Tabella 23 e Tabella 24. Il confronto fra i risultati delle simulazioni dinamiche ed i risultati del calcolo quasi-stazionario basato sulle norme UNI 11300 evidenzia una netta discrepanza, ed in particolare una considerevole sovrastima dei fabbisogni da parte del metodo quasi-stazionario.

Come già evidenziato al paragrafo 4.2.3, le due simulazioni dinamiche intendono rappresentare due casi estremi. La simulazione A ipotizza che gli impianti di climatizzazione rimangano in funzione per un tempo elevato, pari al numero massimo di ore di accensione ammissibile per legge; al contrario, la simulazione B considera un numero limitato di ore di accensione, corrispondente ad un comportamento più virtuoso ed attento al contenimento dei consumi.

Ovviamente il comportamento reale degli utenti è del tutto imprevedibile, per cui è verosimile che il fabbisogno reale delle unità immobiliari si attesti su un valore intermedio rispetto a quelli ottenuti dalla simulazione A e dalla simulazione B.

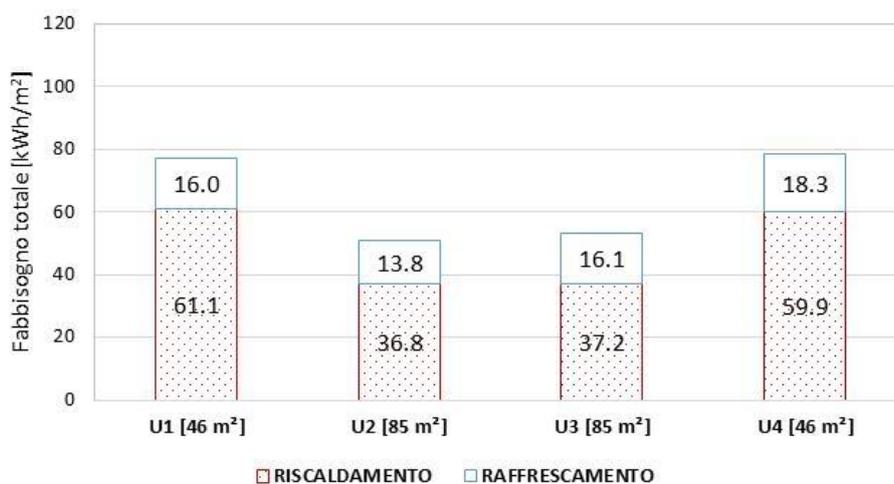


Figura 40. Fabbisogno specifico di energia utile – primo piano (simulazione A)

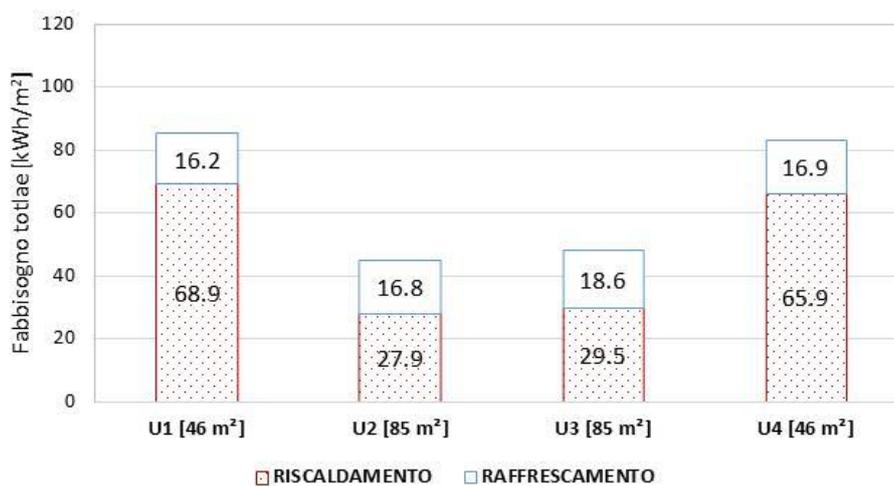


Figura 41. Fabbisogno specifico di energia utile – piano tipo (simulazione A)

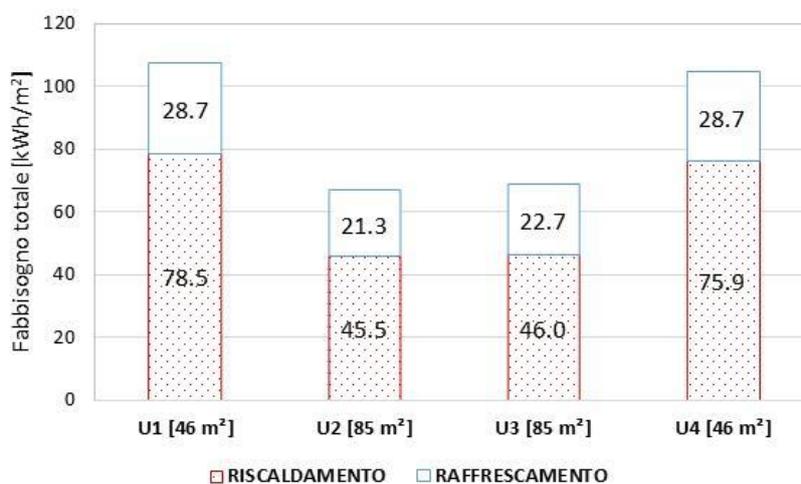


Figura 42. Fabbisogno specifico di energia utile – ultimo piano (simulazione A)

	RAFFRESCAMENTO			RISCALDAMENTO		
	Simulazione A	Simulazione B	UNI 11300	Simulazione A	Simulazione B	UNI 11300
U1	16.0	6.8	-	61.1	35.7	78.7
U2	13.8	6.6	16.3	36.8	21.7	55.6
U3	16.1	7.7	30.2	37.2	21.8	48.7
U4	18.3	7.6	32.4	59.9	35.1	74.2

Tabella 22. Fabbisogno di energia utile [kWh/m²] – confronti per il primo piano

	RAFFRESCAMENTO			RISCALDAMENTO		
	Simulazione A	Simulazione B	UNI 11300	Simulazione A	Simulazione B	UNI 11300
U1	16.2	7.3	24.8	68.9	40.7	81.1
U2	16.8	8.8	21.5	27.9	17.2	37.4
U3	18.6	9.3	32.2	29.5	18.1	32.7
U4	16.9	7.3	32.2	65.9	39.3	77.6

Tabella 23. Fabbisogno di energia utile [kWh/m²] – confronti per il piano tipo

	RAFFRESCAMENTO			RISCALDAMENTO		
	Simulazione A	Simulazione B	UNI 11300	Simulazione A	Simulazione B	UNI 11300
U1	28.7	12.8	53.0	78.5	44.2	109.6
U2	21.3	10.1	40.8	45.5	26.1	73.5
U3	22.7	10.5	44.2	46.0	26.3	72.1
U4	28.7	12.8	-	75.9	43.0	107.0

Tabella 24. Fabbisogno di energia utile [kWh/m²] – confronti per il ultimo piano

		Riscaldamento	Raffrescamento	TOTALE
PRIMO PIANO	Media A-B	9403 kWh	2984 kWh	12387 kWh
	UNI 11300	15896 kWh	5450 kWh	21346 kWh
		Riscaldamento	Raffrescamento	TOTALE
PIANO TIPO	Media A-B	8881 kWh	3370 kWh	12251 kWh
	UNI 11300	13258 kWh	7186 kWh	20444 kWh
		Riscaldamento	Raffrescamento	TOTALE
ULIMO PIANO	Media A-B	11669 kWh	4651 kWh	16320 kWh
	UNI 11300	22330 kWh	9963 kWh	32293 kWh

Tabella 25. Fabbisogno di energia utile [kWh] – confronti per i valori totali

Il riepilogo conclusivo di Tabella 25 segnala che i fabbisogni complessivi per piano stimati dalle simulazioni dinamiche, assumendo per queste come riferimento la media fra le simulazioni A e B, risultano dal 40% al 50% inferiori rispetto ai risultati del calcolo quasi-stazionario.

Ipotizzando che si utilizzino sistemi di climatizzazione di tipo split con COP = EER = 3, il consumo elettrico medio per appartamento attribuibile alla climatizzazione e desumibile dalle simulazioni dinamiche ammonterebbe a circa 1100 kWh/anno, dato che può essere ritenuto assolutamente plausibile. Questo valore potrebbe oscillare ragionevolmente tra 800 kWh e 1400 kWh, al variare del comportamento degli utenti e del loro profilo di utilizzo degli impianti.

5 Interventi di ristrutturazione importante di primo livello

Al fine di favorire la riduzione dei consumi energetici dell'edificio oggetto di studio, fino a giungere allo standard nZEB, è stata ipotizzata una serie di interventi di ristrutturazione che interessano da un lato l'involucro edilizio e dall'altro gli impianti tecnici. Per quanto riguarda l'involucro edilizio si è previsto:

1. Isolamento delle chiusure verticali esterne tramite cappotto termico realizzato con pannelli in fibra di legno;
2. Isolamento delle partizioni verticali tra diverse unità immobiliari e verso il vano scala, anche in questo caso tramite pannelli in fibra di legno;
3. Isolamento delle partizioni orizzontali (solai) tra diverse unità immobiliari tramite controsoffitto a cartongesso accoppiato a pannello in fibra di legno;
4. Isolamento del solaio di copertura tramite pannelli in EPS;
5. Sostituzione degli attuali serramenti con nuovi serramenti aventi telai in PVC e vetrocamera con lastra interna basso-emissiva ($\epsilon \leq 0,05$)

Per quanto concerne gli interventi relativi agli impianti sono stati previsti:

1. Dismissione degli attuali climatizzatori a pompa di calore reversibile di tipo split;
2. Installazione di un impianto centralizzato ad alta efficienza energetica, consistente in una pompa di calore reversibile aria-acqua in grado di provvedere anche alla produzione dell'acqua calda sanitaria in tutte le stagioni;
3. Realizzazione di un circuito di distribuzione idronica fino alle unità immobiliari;
4. Installazione di moduli in silicio monocristallino, di taglia sufficiente a coprire i fabbisogni elettrici annuali dell'edificio nella sua configurazione successiva alla ristrutturazione.

Non è stato invece prevista l'installazione di impianti solari termici, poiché l'utilizzo della tecnologia fotovoltaica accoppiata alla pompa di calore reversibile risulta più efficace e promettente.

Gli interventi previsti si configurano, nel complesso, come *intervento di ristrutturazione importante di primo livello* ai sensi del Decreto 26/06/2015, e garantiscono la copertura di una percentuale minima del fabbisogno energetico tramite energia da fonti rinnovabili (FER), come previsto dal Decreto Legislativo n° 28 del 2011. Tutti gli interventi, inoltre, saranno progettati in modo da poter attingere agli incentivi previsti dal Conto Termico 2.0 (Decreto 16.02.2016), in vigore dal 31 maggio 2016, in caso di interventi di efficientamento energetico su edifici pubblici.

Nei paragrafi successivi si riporta la descrizione dettagliata degli interventi di ristrutturazione proposti.

5.1 Interventi sull'involucro

Nelle condizioni attuali l'involucro edilizio risulta essere privo di isolamento esterno od interno, e pertanto la sua prestazione è scadente. A ciò si aggiunge la presenza di serramenti costituiti da vetro singolo con infissi in alluminio senza taglio termico, non adeguati a limitare il surriscaldamento estivo e le dispersioni termiche invernali. A partire da queste considerazioni, e considerando i risultati ottenuti dalla simulazione dello stato di fatto, sono state ipotizzate diverse tipologie di intervento al fine di migliorare le prestazioni dell'involucro edilizio, convertirlo in nZEB e superare tutte le verifiche previste dal decreto Requisiti Minimi del 26/06/2015.

5.1.1 Interventi sulle pareti esterne

La chiusura verticale esterna, per via dell'intercapedine d'aria presente al suo interno, si presterebbe all'inserimento di materiale isolante tramite insufflaggio, soluzione pratica e poco dispendiosa. Questa soluzione è stata però scartata in quanto non in grado di agire efficacemente anche sui ponti termici; si è

reputato pertanto opportuno operare tramite un isolamento “a cappotto” in fibra di legno intonacabile dello spessore di 10 cm. Questa soluzione è applicabile anche ai paramenti che si affacciano sulla bucaura realizzata in corrispondenza del prospetto Nord; oltre ad abbassare il valore di trasmittanza al di sotto dei limiti consentiti, essa permette di risolvere buona parte dei ponti termici, che incidono in maniera notevole sulle dispersioni complessive dell’involucro.

Il prodotto individuato a tal fine è FiberTherm Protect® di BetonWood, caratterizzato da elevata densità, elevata resistenza a compressione e marcata idrorepellenza. In particolare, si riscontrano le seguenti caratteristiche:

- Conducibilità termica $\lambda = 0.048 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Spessore = 100 mm
- Densità $\rho = 265 \text{ kg/m}^3$
- Classe di reazione al fuoco E (ignifugo)

La scelta della fibra di legno come materiale isolante è dettata dalle eccellenti prestazioni acustiche e dalla sostenibilità ambientale di questo materiale. Altri materiali idonei alla realizzazione di un cappotto termico, quale ad esempio il polistirene espanso (EPS), pur avendo conducibilità termica più bassa rispetto alla fibra di legno avrebbero avuto impatto negativo sulla qualità acustica ed ambientale dell’edificio. Si segnala inoltre che, ai fini del calcolo della trasmittanza, la conducibilità termica dichiarata viene incrementata del 10%, per tenere conto del possibile peggioramento delle prestazioni in opera.

A finitura dell’intervento di coibentazione a cappotto viene inoltre previsto un intonaco di colore chiaro con le seguenti caratteristiche:

- Coefficiente di assorbimento solare = 0.3
- Conducibilità termica $\lambda = 0.3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Spessore = 20 mm
- Densità $\rho = 1300 \text{ kg/m}^3$

Per la realizzazione del cappotto termico si è ritenuto di poter mantenere lo strato di intonaco esistente, che si presenta in buono stato. Ciò permette di risparmiare i notevoli costi da sostenere per la sua rimozione e lo smaltimento in discarica. Su di esso sarà dunque necessario procedere alla stesura di una malta adesiva con funzione di collante (2), su cui verranno posati i pannelli in fibra di legno (3), successivamente fissati tramite tasselli ad espansione di lunghezza non inferiore ai 135 mm (7), in numero non inferiore ai 6 tasselli al m^2 . Sui pannelli in fibra di legno verrà applicato un rasante minerale da 4 mm di spessore ed una rete in fibra di vetro con grammatura circa 160 g/m^2 (4). Infine, un altro strato di rasante (5) ed il primer pigmentato di colore analogo a quello della finitura ai silossani (6).

In Tabella 26 e Tabella 27 si riporta la nuova stratigrafia delle pareti esterne (per semplicità non sono stati inclusi il primer ed il collante, che hanno effetto trascurabile sul calcolo della trasmittanza).

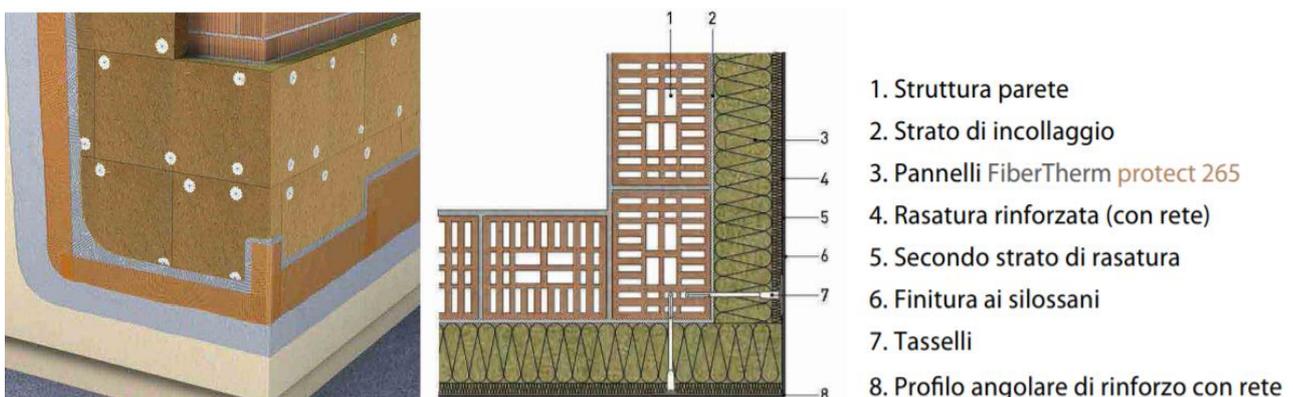


Figura 43. Componenti del sistema cappotto con pannelli in fibra di legno

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,13		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
BLOCCHI DI CALCESTRUZZO	0,25	0,90		840	820
INTONACO calce e cemento	0,03	0,90		710	1800
Pannello in FIBRA DI LEGNO	0,10	0,053		2100	265
INTONACO PLASTICO per cappotto	0,02	0,30		840	1300
Strato liminare esterno			0,04		
Trasmittanza U = 0,41 W/(m²·K)					

Tabella 26. Chiusure verticali esterne monostrato – nuova stratigrafia (spessore 40 cm)

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,13		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
BLOCCHI DI CALCESTRUZZO	0,12	0,55		840	890
MALTA DI CEMENTO	0,01	1,40		670	2000
INTERCAPEDINE ARIA	0,17	-	0,18	-	-
BLOCCHI DI CALCESTRUZZO	0,12	0,55		840	890
INTONACO calce e cemento	0,03	0,90		710	1800
Pannello in FIBRA DI LEGNO	0,10	0,053		2100	265
INTONACO PLASTICO per cappotto	0,02	0,30		840	1300
Strato liminare esterno			0,04		
Trasmittanza U = 0,36 W/(m²·K)					

Tabella 27. Chiusure verticali esterne a cassetta – nuova stratigrafia (spessore 55 cm)

Grazie all'applicazione del sistema a cappotto, la trasmittanza delle pareti esterne si riduce ad $U = 0,41$ W/(m²·K) nel caso delle pareti con singoli blocchi di calcestruzzo, e ad $U = 0,36$ W/(m²·K) nel caso delle pareti a cassetta.

Si ricorda che, ai sensi del DM 26/06/2015 “Requisiti Minimi”, nei casi di ristrutturazione importante di primo livello non sono previste verifiche sui valori della trasmittanza termica degli elementi di involucro interessati dalla ristrutturazione. Inoltre il Conto Termico 2.0 prevedrebbe una trasmittanza massima pari a $0,38$ W/(m²·K) per accedere agli incentivi destinati agli edifici pubblici in zona climatica B. Se però l'intervento di coibentazione delle pareti consente, insieme agli altri interventi, di trasformare l'edificio in nZEB, viene meno la necessità di effettuare la verifica puntuale della trasmittanza.

Si ritiene dunque che i valori di trasmittanza ottenuti siano sufficientemente bassi; in ogni caso, come mostrato più avanti, l'insieme degli interventi proposti permetterà di raggiungere lo standard nZEB.

5.1.2 Interventi sulle partizioni verticali

Il Decreto “Requisiti Minimi” impone una verifica sulle superfici di separazione tra le varie unità abitative e tra le unità ed eventuali ambienti non riscaldati: nei casi di ristrutturazione importante di primo livello la trasmittanza di questi elementi divisorii non deve superare il limite di $0,8$ W/(m²·K).

Per rispettare tale valore limite si rende necessario l'isolamento delle partizioni verticali; l'intervento ipotizzato in questa sede prevede l'utilizzo di isolante in fibra di legno, ma con caratteristiche e modalità di applicazione diverse da quanto previsto per le tamponature esterne. Si utilizzeranno infatti i pannelli FiberTherm Flex® di BetonWood, con densità circa 60 kg/m³, accoppiati a lastre in cartongesso da 13 mm. Rispetto ai pannelli FiberTherm Protect®, i FiberTherm Flex® presentano una più bassa conducibilità dichiarata ($\lambda = 0,038$ W m⁻¹ K⁻¹), che anche in questo caso sarà maggiorata del 10% ai fini del calcolo della trasmittanza.

I pannelli saranno applicati in maniera differente a seconda che si agisca su una parete divisoria tra unità immobiliari o su una parete di separazione tra una unità abitativa ed un ambiente non climatizzato (vano scala): nel secondo caso si applicheranno 40 mm di isolante dalla parte dell'ambiente non riscaldato

(Tabella 28), mentre nel primo caso l'isolante sarà distribuito da ambo i lati con eguale spessore da 20 mm (Tabella 29), in modo da provocare una uguale riduzione di volumetria nei locali delle due unità immobiliari. In entrambi i casi si raggiungerà la trasmittanza $U = 0,62 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Si segnala inoltre come l'intervento proposto comporti un netto miglioramento del potere fonoisolante dei divisori, grazie alle eccellenti proprietà acustiche della fibra di legno.

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,13		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
BLOCCHI DI CALCESTRUZZO	0,25	0,90		840	820
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
Pannello in FIBRA DI LEGNO	0,04	0,042		2100	60
CARTONGESSO in lastre	0,013	0,25		1000	900
Strato liminare interno			0,13		
Trasmittanza $U = 0,62 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					

Tabella 28. Partizioni verticali tra unità immobiliari e vano scala – nuova stratigrafia

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,13		
CARTONGESSO in lastre	0,013	0,25		1000	900
Pannello in FIBRA DI LEGNO	0,02	0,042		2100	60
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,01	0,70		1010	1400
BLOCCHI DI CALCESTRUZZO	0,25	0,90		840	820
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,01	0,70		1010	1400
Pannello in FIBRA DI LEGNO	0,02	0,042		2100	60
CARTONGESSO in lastre	0,013	0,25		1000	900
Strato liminare interno			0,13		
Trasmittanza $U = 0,62 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					

Tabella 29. Partizioni verticali tra le unità immobiliari – nuova stratigrafia

5.1.3 Interventi sui solai

Anche nel caso della chiusura orizzontale di copertura è stato necessario prevedere un opportuno isolamento termico, al fine di ridurre la trasmittanza. In questo caso, a differenza dei paramenti verticali, si è scelto di applicare uno strato di 5 cm di EPS tipo Knauf Therm Tetto®, di conducibilità dichiarata $\lambda = 0.034 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; come sempre la conducibilità dichiarata è stata maggiorata del 10% ai fini del calcolo della trasmittanza. La scelta di privilegiare l'EPS al posto della fibra di legno deriva dal fatto che, per il solaio di copertura, le prestazioni acustiche sono meno rilevanti rispetto alle facciate.

La pavimentazione della copertura esistente è costituita da uno strato di mattonelle in cemento che dovranno essere rimosse, insieme al sottostante massetto, al fine di permettere l'inserimento dello strato isolante. A copertura dei pannelli in EPS verrà posata una guaina impermeabilizzante e quindi verrà realizzato un nuovo massetto in calcestruzzo alleggerito; infine verrà ripristinata la pavimentazione con mattonelle in cemento, con interposizione di malta di allettamento. Come mostrato in Tabella 30, dove per brevità non è riportata la guaina impermeabilizzante, la trasmittanza conseguita è $U = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Per quanto riguarda i solai interpiano si è preferito minimizzare l'impatto delle lavorazioni, evitando qualsiasi intervento di demolizione e ricostruzione di massetti e pavimentazioni. Per questo motivo l'isolante sarà installato all'intradosso del solaio, all'interno di un controsoffitto realizzato con lastra di cartongesso da 13 mm (Tabella 31); questo tipo intervento è reso possibile dall'elevata altezza netta dei locali nello stato di fatto.

L'isolante utilizzato sarà la fibra di legno del tipo FiberTherm Flex® di BetonWood, con spessore da 30 mm, caratterizzata da eccellenti proprietà fonoisolanti. La trasmittanza conseguita è $U = 0.71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, in linea con quanto richiesto dal Decreto "Requisiti Minimi" per le partizioni tra diverse unità immobiliari.

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno (inferiore)			0,10		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
SOLAIO IN LATERO CEMENTO	0,26	0,74		840	1200
MASSETTO DELLE PENDENZE	0,10	0,66		880	1200
Polistirene espanso (EPS)	0,05	0,037		1250	30
Massetto in calcestruzzo alleggerito	0,05	0,30		1000	1400
MALTA CEMENTIZIA	0,01	1,40		670	2000
MATTONELLE IN CEMENTO	0,02	1,40		880	2000
Strato liminare esterno (superiore)			0,04		
Trasmittanza U = 0,45 W/(m²·K)					

Tabella 30. Chiusura orizzontale di copertura – nuova stratigrafia

	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno (inferiore)			0,10		
CARTONGESSO in lastre	0,013	0,25		1000	900
Pannello in FIBRA DI LEGNO	0,03	0,042		2100	60
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,70		1010	1400
SOLAIO IN LATERO CEMENTO	0,22	0,67		840	1000
MASSETTO in cls	0,05	0,66		880	1200
MALTA CEMENTIZIA	0,01	1,40		670	2000
MATTONELLE IN MARMO	0,01	3,00		700	2700
Strato liminare interno (superiore)			0,10		
Trasmittanza U = 0,71 W/(m²·K)					

Tabella 31. Chiusura orizzontale intermedia – nuova stratigrafia

5.1.4 Interventi sui serramenti

Le chiusure trasparenti, sebbene permettano di garantire un adeguato livello di illuminazione naturale all'interno dei locali, contribuiscono significativamente alla dispersione termica invernale ed al surriscaldamento estivo. Gli attuali serramenti saranno dunque sostituiti con nuovi serramenti con telaio in PVC e vetrocamera 4-20-4 riempita con argon e lastra interna basso-emissiva ($\epsilon \leq 0,05$).

Le trasmittanze così ottenute, riportate in Tabella 32, sono notevolmente inferiori rispetto allo stato di fatto. Il Conto Termico 2.0 prevedrebbe una trasmittanza massima pari a 2,6 W/(m²·K) per accedere agli incentivi destinati agli edifici pubblici in zona climatica B. Se però l'intervento di sostituzione dei serramenti consente, insieme agli altri interventi, di trasformare l'edificio in nZEB, viene meno la necessità di effettuare la verifica puntuale della trasmittanza.

L'intervento sui serramenti riguarda anche la sostituzione delle schermature mobili e degli oscuranti. Nello stato di fatto erano presenti tende bianche interne e avvolgibili esterni in legno; al loro posto saranno previsti nuovi avvolgibili in legno a bassa permeabilità, simulati costantemente aperti durante il giorno e chiusi durante la notte, e veneziane bianche esterne, poste a filo con la superficie vetrata e abbassate solo durante l'estate, al posto delle tende interne.

	Esistenti [W m ⁻² K ⁻¹]	Nuovi [W m ⁻² K ⁻¹]
F01	6.12	1.65
F02	6.12	1.63
F03	6.12	1.63

Tabella 32. Trasmittanze dei serramenti (confronto tra serramenti esistenti e nuovi serramenti)

La presenza delle schermature mobili esterne (veneziane bianche) consente di ridurre l'aliquota di radiazione solare in ingresso, migliorando le prestazioni dell'involucro durante l'estate senza alterare il coefficiente di scambio termico per trasmissione. Tale accorgimento risulta indispensabile per superare la

verifica di legge relativa al parametro “Area solare equivalente estiva”. Per quanto riguarda invece gli oscuranti (persiane), essi contribuiscono invece ad abbassare il valore della trasmittanza in regime notturno, quando risultano chiuse; in questa circostanza, dalla parte esterna del serramento si ha una resistenza termica aggiuntiva legata alla camera d’aria tra il serramento e la persiana stessa.

5.1.5 Ponti termici

L’ipotizzato cappotto esterno ed un adeguato isolamento delle chiusure orizzontali, come già anticipato, comportano la diminuzione delle dispersioni attraverso i ponti termici presenti nella struttura. Procedendo alla rielaborazione dei valori di trasmittanza termica lineare coerentemente con le nuove stratigrafie, i nuovi valori risultano inferiori a quelli dello stato di fatto, ed inoltre il ponte termico formatosi dalla giunzione del pilastro in calcestruzzo con la chiusura verticale esterna in mattoni risulta annullato. Ai fini del rispetto delle verifiche di legge è stato necessario un particolare accorgimento: per tutte le portefinestre è stata prevista l’apposizione di un isolamento di spessore 20 mm in corrispondenza della parte esterna del telaio fisso, come rappresentato in Figura 44. In assenza di tale accorgimento la verifica del coefficiente HT’ non sarebbe stata garantita in numerosi appartamenti.

In Tabella 33 si riportano i valori di trasmittanza lineare ottenuti. I ponti termici con trasmittanza più elevata sono quelli determinati dall’intersezione tra le pareti esterne ed i balconi, nonché quelli associati agli angoli sporgenti. Infine, in Tabella 34 si riportano, per ogni unità immobiliare, i valori dei coefficienti di dispersione per trasmissione associati ai ponti termici, ossia la sommatoria dei prodotti $\psi \cdot L$: è possibile osservare come le dispersioni attraverso i ponti termici siano state ridotte dal 30% al 40% rispetto allo stato di fatto, ad eccezione delle unità U1 ed U4 del primo piano, per cui la riduzione si aggira attorno al 15%.

Tipo di ponte termico	Edificio esistente		Edificio ristrutturato	
	CODICE	Ψ [W/m·K]	CODICE	Ψ [W/m·K]
Balcone – Parete esterna	BAL 003	0,915	BAL 001	0.678
Copertura – Parete monostrato	COP 004	-0,204	COP 011	-0.648
Copertura – Parete a cassetta	COP 003	0,823	COP 005	0.073
Pilastro – Parete monostrato	PIL 004	0,266	PIL 007	0.00
Pilastro – Parete a cassetta	PIL 003	1,163	PIL 007	0.00
Portafinestra – Parete esterna	SER 004	-	SER 015	0.025
Finestra – Parete esterna	SER 006	0,540	SER 001	0.301
Solaio – Parete a cassetta	SOL 003	0.832	SOL 005	0.019
Solaio – Parete monostrato	SOL 004	0,302	SOL 005	0.016
Angolo sporgente – Parete a cassetta	ASP 003	0.144	ASP 005	0.619
Angolo sporgente – Parete monostrato	ASP 004	-0.806	ASP 005	0.731
Angolo rientrante – Parete a cassetta	ARI 010	0,179	ARI 009	0.175
Angolo rientrante – Parete monostrato	ASP 011	0,361	ARI 009	0.227

Tabella 33. Ponti termici a confronto per l’edificio esistente e quello ristrutturato

	Primo piano			Piani intermedi			Ultimo piano		
	Attuale	Progetto	Δ (%)	Attuale	Progetto	Δ (%)	Attuale	Progetto	Δ (%)
Unità U1	25.03	22.04	12.0%	30.12	19.24	35.9%	23.55	13.53	42.4%
Unità U2	34.62	21.49	37.9%	34.62	21.49	37.9%	30.78	19.99	35.1%
Unità U3	34.08	23.26	31.7%	34.08	23.11	32.2%	30.25	21.63	28.4%
Unità U4	26.13	21.97	15.9%	30.87	19.24	37.7%	24.35	13.92	42.7%

Tabella 34. Valori dei coefficienti di dispersione associati ai ponti termici [W/K]

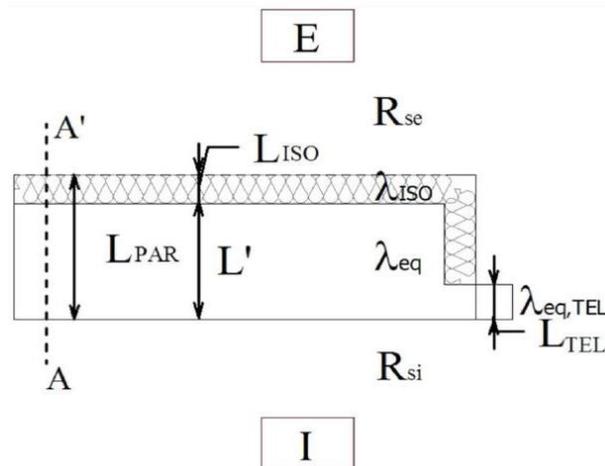


Figura 44. Dettaglio della correzione del ponte termico per le porte finestre

5.1.6 La ventilazione naturale

Nei climi caratterizzati da estati calde, come in zona climatica B, una intensa ventilazione naturale risulta utile per evitare il surriscaldamento dei locali, soprattutto in edifici ben isolati. Per questo motivo nelle simulazioni dello stato di progetto, limitatamente alla stagione estiva, si è scelto di utilizzare un valore personalizzato dei ricambi d'aria associati alla ventilazione naturale, superiore al valore standard di 0.5 h^{-1} utilizzato nella simulazione dello stato di fatto.

La scelta del valore da assegnare ai ricambi orari è risultata particolarmente delicata ai fini del soddisfacimento delle verifiche di legge, ed in particolare per il rispetto del valore limite del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva. Il valore minimo necessario per superare la verifica è $n = 1.8 \text{ h}^{-1}$, valore che è stato quindi selezionato ai fini del calcolo.

Sebbene questo approccio possa sembrare non verosimile o incompatibile con la presenza dell'impianto di climatizzazione, in realtà è lecito spingersi fino a tale valore nell'ipotesi in cui, durante la notte in estate, le finestre vengano tenute aperte, soprattutto nelle camere da letto. Tale ipotesi corrisponde peraltro normalmente a realtà.

5.1.7 Verifiche dei requisiti minimi per le prestazioni dell'involucro

Il Decreto Requisiti Minimi del 26/6/2015 impone che, nel caso di nuove costruzioni o ristrutturazioni importanti di primo livello, le caratteristiche dell'edificio e degli impianti analizzati siano migliori rispetto all'edificio di riferimento. In particolare, con riferimento al solo involucro edilizio, e quindi senza tener conto delle specificità degli impianti installati, sono da effettuare le verifiche sui seguenti parametri:

- fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale: $EP_{H,nd} < EP_{H,nd,rif}$
- fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva: $EP_{C,nd} < EP_{C,nd,rif}$
- coefficiente globale di scambio termico per trasmissione: $H'_T < H'_{T,rif}$
- rapporto $A_{sol,est}/A_{sup,utile} \leq 0.03$
- massa superficiale delle pareti verticali: $M_s \geq 230 \text{ kg/m}^2$ esclusi gli intonaci (o in alternativa trasmittanza termica periodica $Y_{IE} \leq 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- trasmittanza dei divisori tra unità immobiliari confinanti: $U < 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- assenza di condensa interstiziale o di muffe

Tutte le migliorie proposte consentono di soddisfare le prescrizioni della normativa relative all'involucro. Si sottolinea che la scelta dello spessore dell'isolante da applicare sulle pareti esterne risponde anche alla necessità di raggiungere il limite di 230 kg/m^2 (in assenza di intonaci) per la chiusura verticale esterna monostrato. Inoltre, per tutti gli appartamenti è ampiamente soddisfatta la verifica

relativa all'area solare equivalente estiva: il rapporto tra questa e la superficie utile delle unità immobiliari risulta sempre inferiore a 0.03, a conferma della scelta appropriata dei sistemi di schermatura mobile.

È comunque necessario sottolineare come la verifica di alcuni requisiti minimi per le prestazioni energetiche dell'involucro, riportati in Tabella 35, Tabella 36 e Tabella 37, sia stata un'operazione complessa. In particolare, risulta estremamente difficile trovare il giusto bilanciamento tra l'esigenza di promuovere l'isolamento termico, al fine di rispettare i limiti sul coefficiente H_T' e sul fabbisogno invernale $EP_{H,nd}$, ed al contrario l'esigenza di evitare un isolamento eccessivo, che penalizzerebbe le prestazioni estive impedendo di soddisfare la verifica sul fabbisogno estivo $EP_{C,nd}$. In alcuni casi anche solo una minima variazione (10 mm) dello spessore di isolante avrebbe comportato, in una direzione o nell'altra, la mancata verifica dei requisiti minimi.

	Coefficiente H_T' [W/(m ² K)]			Fabbisogno invernale $EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]			Fabbisogno estivo $EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]		
	Progetto	Riferimento	Verifica	Progetto	Riferimento	Verifica	Progetto	Riferimento	Verifica
U1	0.564	0.580	OK	30.541	34.947	OK	17.995	17.997	OK
U2	0.547	0.630	OK	24.033	27.215	OK	10.654	12.251	OK
U3	0.570	0.630	OK	20.459	22.317	OK	13.607	18.781	OK
U4	0.571	0.580	OK	27.121	31.287	OK	21.186	24.086	OK

Tabella 35. Verifiche di legge per l'involucro – primo piano

	Coefficiente H_T' [W/(m ² K)]			Fabbisogno invernale $EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]			Fabbisogno estivo $EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]		
	Progetto	Riferimento	Verifica	Progetto	Riferimento	Verifica	Progetto	Riferimento	Verifica
U1	0.627	0.630	OK	18.104	25.488	OK	20.295	20.844	OK
U2	0.574	0.800	OK	6.852	11.316	OK	12.487	15.111	OK
U3	0.575	0.800	OK	5.578	9.846	OK	14.825	20.693	OK
U4	0.627	0.630	OK	15.471	22.845	OK	22.964	25.623	OK

Tabella 36. Verifiche di legge per l'involucro – piano tipo

	Coefficiente H_T' [W/(m ² K)]			Fabbisogno invernale $EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]			Fabbisogno estivo $EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]		
	Progetto	Riferimento	Verifica	Progetto	Riferimento	Verifica	Progetto	Riferimento	Verifica
U1	0.564	0.580	OK	28.642	39.939	OK	23.546	27.233	OK
U2	0.518	0.630	OK	19.802	22.153	OK	13.748	17.885	OK
U3	0.519	0.630	OK	18.517	21.104	OK	14.174	19.334	OK
U4	0.534	0.580	OK	24.408	32.516	OK	25.031	29.959	OK

Tabella 37. Verifiche di legge per l'involucro – ultimo piano

5.2 La simulazione dinamica dell'edificio ristrutturato

Una volta definite le caratteristiche dell'involucro per l'edificio ristrutturato è possibile procedere alla simulazione dinamica. Essa infatti consente di valutare i carichi termici ed i fabbisogni di energia utile per la climatizzazione estiva ed invernale, operazione preliminare necessaria per un corretto dimensionamento dei nuovi impianti di climatizzazione.

A partire dal modello creato per lo stato di fatto, sono state innanzitutto modificate su EnergyPlus le impostazioni relative all'involucro opaco, coerentemente con gli interventi previsti dal progetto di riqualificazione energetica di cui al paragrafo 5.1.

Si è inoltre ritenuto necessario modificare il valore delle infiltrazioni attraverso l'involucro, coerentemente con le nuove condizioni di permeabilità, ridotte a seguito delle strategie ipotizzate. Grazie agli interventi effettuati sull'esistente, infatti, si possono correggere le imperfezioni presenti e si può operare in modo da minimizzare le infiltrazioni dovute alle fessurazioni; per tali ragioni, a seguito delle migliorie è stato considerato un valore di n_{50} pari a 3 h^{-1} .

Gli interventi di cui al paragrafo 5.1 prevedono anche la sostituzione degli infissi. Sul modello sono stati dunque inseriti nell'apposita scheda i serramenti aventi le caratteristiche selezionate. In particolare, il vetro singolo esistente è stato sostituito con una vetrocamera avente lastra interna con trattamento superficiale basso emissivo (Figura 45) e un'intercapedine da 20 mm riempita con Argon.

Field	Units	Obj2	Obj3
Name		VETRO SEMPLICE	VETRO PER VETROCAMERA
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name			
Thickness	m	0.004	0.004
Solar Transmittance at Normal Incidence		0.86	0.86
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.08	0.08
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0	0
Visible Transmittance at Normal Incidence		0.898	0.898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081	0.081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0	0
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.837	0.05
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.837	0.05
Conductivity	W/m-K	0.9	0.9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittanc		1	1
Solar Diffusing		No	No
Young's modulus	Pa		
Poisson's ratio			

Figura 45. Caratteristiche dei vetri utilizzati nella simulazione dinamica

Il telaio esistente è stato sostituito con un telaio in PVC, che presenta una trasmittanza $U_t = 1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Per quanto riguarda le schermature si prevede l'utilizzo di avvolgibili a bassa permeabilità e di veneziane ad alte prestazioni da applicare all'esterno, caratterizzati da valori di riflettività piuttosto elevati. Il software consente la simulazione di una sola delle tipologie introdotte, pertanto sono simulate le veneziane con i profili orari di apertura e chiusura già discussi al paragrafo 4.2.1.

Per quanto riguarda la ventilazione dei locali, è stato considerato un valore costante di 0.3 ricambi orari nei mesi invernali. Durante i mesi estivi, invece, è stato considerato un valore di 0.5 ricambi orari nel periodo diurno (dalle 07:00 alle 20:00), ed un valore di 2 ricambi orari nel periodo notturno: si è voluto così simulare il ruolo benefico della ventilazione notturna, che in estate consente di raffrescare i locali grazie alla più bassa temperatura esterna.

Infine, i dati relativi all'occupazione, all'illuminazione ed all'utilizzo di apparecchiature non sono stati modificati. Si potrebbe anche valutare la possibilità di simulare la sostituzione delle lampade esistenti con lampade a basso consumo, per valutarne l'effetto sui carichi termici, ma si è preferito non introdurre ulteriori variabili nel problema.

5.2.1 Risultati delle simulazioni

Dopo aver apportato le modifiche al modello, coerentemente con gli interventi previsti per il progetto di ristrutturazione, si è passati ad analizzare i risultati delle simulazioni dinamiche al fine di verificare come tali interventi incidano sui fabbisogni energetici per la climatizzazione.

I primi risultati analizzati sono quelli relativi alla simulazione A, cioè quella condotta assumendo un elevato numero di ore di accensione degli impianti di climatizzazione. Confrontando i risultati riportati in Figura 46, Figura 47 e Figura 48 con gli analoghi risultati per lo stato di fatto (Figura 40 – Figura 42) si riscontra per tutte le unità immobiliari una netta riduzione del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale, spesso superiore al 50%. Il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva si riduce significativamente solo nelle unità dell'ultimo piano, grazie all'isolamento termico della copertura che contribuisce ad abbattere i carichi termici legati all'azione della radiazione solare. Per le unità immobiliari del primo piano e del piano tipo, invece, il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva si riduce tra il 10% ed il 20% rispetto allo stato di fatto: in questo caso l'isolamento delle pareti verticali e del solaio che separa gli appartamenti del primo piano dal piano terra risulta maggiormente efficace in inverno che in estate.

Come nel caso dello stato di fatto (paragrafo 4.3), è stata quindi condotta una seconda simulazione (simulazione B), in cui si considera un numero limitato di ore di accensione, corrispondente ad un comportamento dei residenti più virtuoso ed attento al contenimento dei consumi. E' stata quindi effettuata la media tra i risultati delle due simulazioni: tali valori medi sono riportati in Tabella 38, da cui si evince che, con riferimento ai fabbisogni medi complessivi per la climatizzazione, il risparmio annuale rispetto allo stato di fatto si aggira tra il 40% ed il 45%.

PRIMO PIANO	Riscaldamento	Raffrescamento	TOTALE
Stato di fatto	35.9 kWh/m ²	11.4 kWh/m ²	47.3 kWh/m ²
Ristrutturazione	18.8 kWh/m ²	9.3 kWh/m ²	28.1 kWh/m ²
VARIAZIONE	- 47.6%	- 18.4%	- 40.6%

PIANO TIPO	Riscaldamento	Raffrescamento	TOTALE
Stato di fatto	33.9 kWh/m ²	12.9 kWh/m ²	46.8 kWh/m ²
Ristrutturazione	15.2 kWh/m ²	10.5 kWh/m ²	25.7 kWh/m ²
VARIAZIONE	- 55.2%	- 18.6%	- 45.1%

ULTIMO PIANO	Riscaldamento	Raffrescamento	TOTALE
Stato di fatto	44.5 kWh/m ²	17.8 kWh/m ²	62.3 kWh/m ²
Ristrutturazione	24.4 kWh/m ²	8.9 kWh/m ²	33.3 kWh/m ²
VARIAZIONE	- 45.2%	- 50.0%	- 46.5%

Tabella 38. Fabbisogno medio specifico di energia utile – confronti con lo stato di fatto

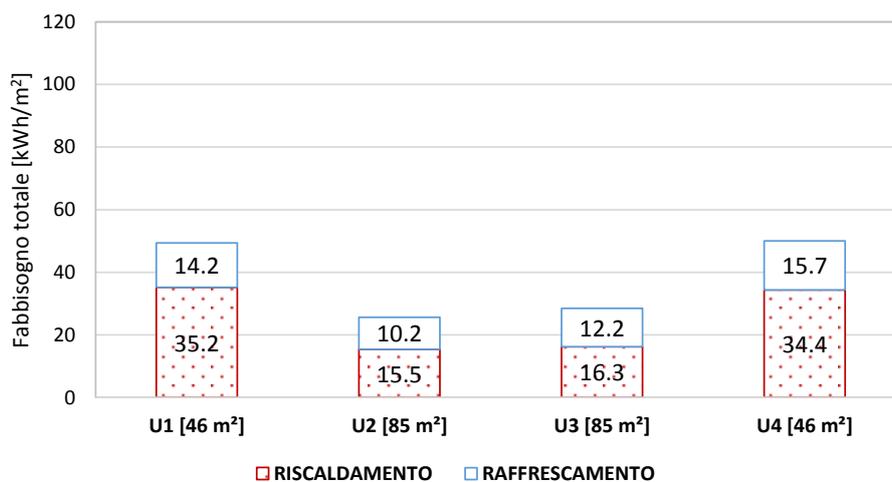


Figura 46. Fabbisogno specifico di energia utile per l'edificio ristrutturato – primo piano (simulazione A)

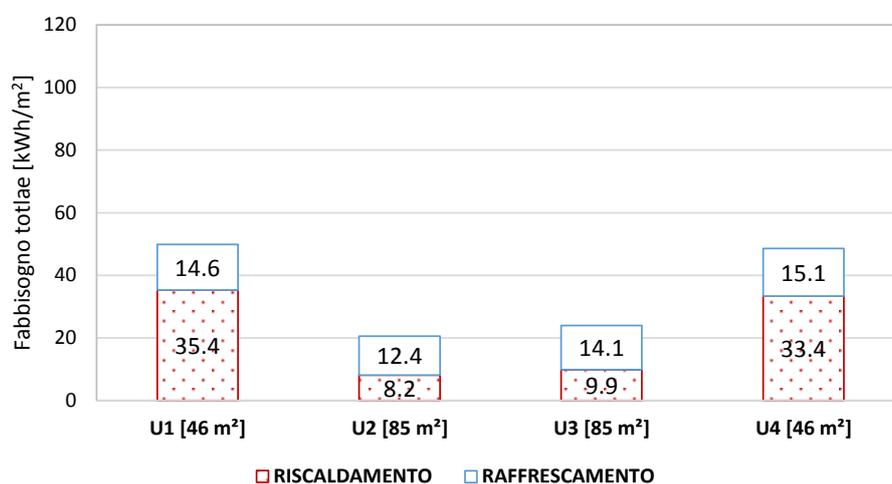


Figura 47. Fabbisogno specifico di energia utile per l'edificio ristrutturato – piano tipo (simulazione A)

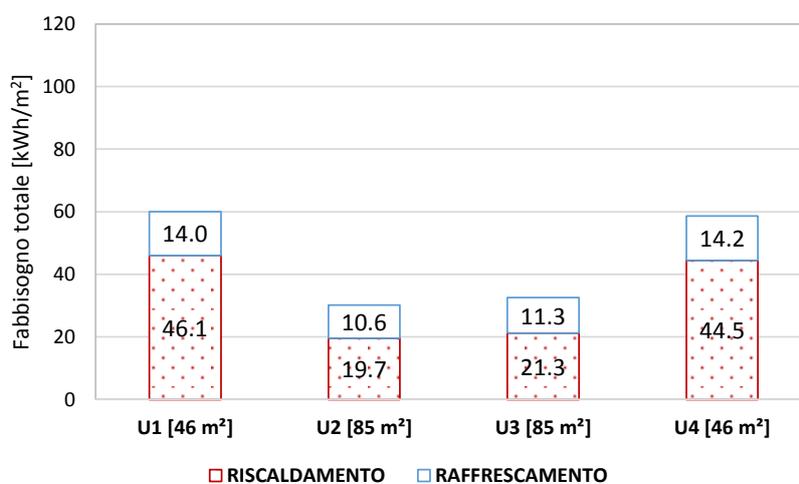


Figura 48. Fabbisogno specifico di energia utile per l'edificio ristrutturato – ultimo piano (simulazione A)

5.2.2 Stima dei consumi elettrici per la climatizzazione

Alla luce dei risultati precedenti è possibile procedere ad una stima preventiva dei consumi elettrici per la climatizzazione estiva ed invernale. A partire dai fabbisogni di energia utile calcolati precedentemente, ipotizzando in prima battuta che si utilizzi un impianto di climatizzazione centralizzato con pompa di calore reversibile avente performance medie stagionali COP = 3 ed EER = 2.7, ad assumendo infine che le perdite di distribuzione ed accumulo ammontino al 10%, si ottengono i risultati riportati in Figura 49.

I totali per piano, riportati in Tabella 39 per entrambe le simulazioni e con riferimento al loro valor medio, suggeriscono che i consumi elettrici da attribuire alla climatizzazione estiva ed invernale dell'edificio dovrebbero oscillare tra i 14500 kWh/anno ed i 24000 kWh/anno, in funzione dell'effettivo profilo di utilizzo (ore di accensione, impostazioni, modalità di regolazione) che ne faranno i residenti. Tale dato risulta particolarmente utile ai fini del corretto dimensionamento dell'impianto fotovoltaico, che sarà discusso nel paragrafo 5.4: in tal senso è possibile adottare un valore medio di circa 19500 kWh/anno, corrispondente a poco meno di 700 kWh/anno ad appartamento in media.

Bisogna inoltre considerare il contributo associato all'illuminazione, agli elettrodomestici ed alle altre apparecchiature. Assumendo, come per lo stato di fatto, un consumo di 1600 kWh/anno per gli appartamenti grandi (U2 ed U3), e di 800 kWh/anno per gli appartamenti piccoli (U1 ed U4), si avrà un totale per l'edificio di circa 33500 kWh/anno.

Infine, rimane da stimare il fabbisogno elettrico per la produzione di acqua calda sanitaria, nell'ipotesi in cui questo servizio venga erogato dalla stessa pompa di calore reversibile adibita alla climatizzazione estiva ed invernale. I dettagli del funzionamento della pompa di calore, anche ai fini della produzione di acqua calda sanitaria, saranno discussi nel paragrafo 5.3; in questa fase si anticipa che la stima dei consumi elettrici per questo servizio ammonta a circa 8500 kWh/anno, cioè in media a circa 300 kWh/anno ad unità.

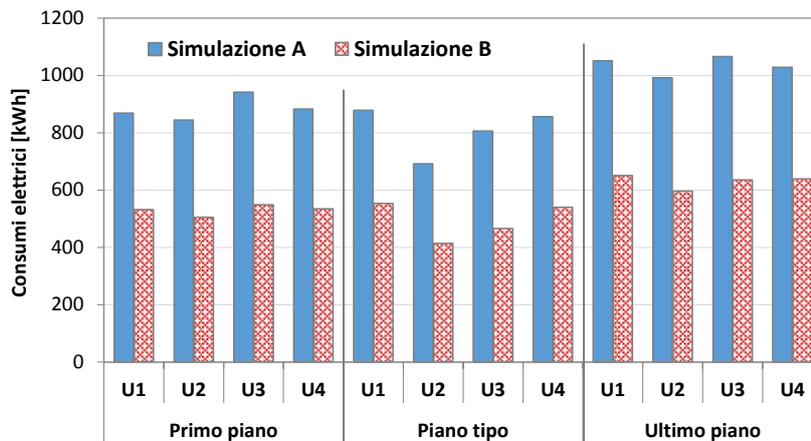


Figura 49. Stima dei fabbisogni elettrici per la climatizzazione – edificio ristrutturato

	Primo piano	Piano tipo	Ultimo piano	TOTALE
Simulazione A	3540 kWh	3230 kWh	4135 kWh	23830 kWh
Simulazione B	2120 kWh	1970 kWh	2520 kWh	14490 kWh
MEDIA	2830 kWh	2600 kWh	3328 kWh	19160 kWh

Tabella 39. Stima dei fabbisogni elettrici per la climatizzazione – totali

Riepilogando, i consumi elettrici annui attesi per l'edificio ristrutturato saranno pari a:

- Climatizzazione estiva ed invernale: 19500 kWh
- Produzione ACS: 8500 kWh
- Illuminazione ed apparecchiature: 33500 kWh
- TOTALE stimato: 61500 kWh (in media, circa 2200 kWh ad unità)

5.3 Interventi sull'impianto di climatizzazione

5.3.1 Selezione dei componenti di impianto

Come indicato nelle sezioni precedenti, gli impianti di climatizzazione a servizio dell'edificio oggetto di studio risultano obsoleti e comportano un consumo energetico eccessivo.

L'ipotesi di intervento consiste nell'installazione di una pompa di calore reversibile aria-acqua centralizzata, in grado di effettuare la produzione combinata di acqua calda sanitaria e di acqua fredda o calda rispettivamente per il raffrescamento o il riscaldamento degli ambienti. Per quanto riguarda i terminali d'impianto si prevede l'adozione di ventilconvettori a parete, in numero e di taglia opportuna.

Al fine di identificare la taglia della pompa di calore è possibile riprendere i risultati delle simulazioni dinamiche. In particolare, le simulazioni invernali hanno evidenziato un massimo carico contemporaneo di riscaldamento di circa 98 kW per l'intero edificio; in realtà, però, la potenza termica complessiva richiesta dall'edificio supera i 78 kW solo per il 5% del tempo, ed i 66 kW solo per il 10% del tempo. Nel dimensionamento di una pompa di calore è sempre opportuno evitare di fare riferimento alle condizioni di picco: ciò costringerebbe la pompa di calore a lavorare, per l'intera stagione di riscaldamento, in regime fortemente parzializzato, con conseguenze negative sulla sua performance. Per la scelta della taglia si è dunque ritenuto opportuno fare riferimento alla potenza di 66 kW, superata solo per il 10% del tempo (cioè per circa 90 ore l'anno); durante questi sporadici e brevi lassi di tempo la pompa di calore potrà avvalersi di un sistema di integrazione (resistenza elettrica), per compensare la potenza termica in difetto.

Si deve inoltre computare la potenza termica richiesta alla pompa di calore per la produzione di acqua calda sanitaria. A tal fine si consideri, come evidenziato al paragrafo 3.2.3, un fabbisogno medio di circa 30 litri/giorno a persona, ovvero circa 100 litri/giorno ad appartamento; adottando un fattore di contemporaneità pari a 0.85 (dato di letteratura per edifici residenziali con 28 unità), una temperatura di fornitura dell'ACS di 40°C ed una temperatura di rete di 15°C, la potenza termica da destinare alla produzione di ACS si può calcolare come:

$$Q_{ACS} = \frac{100 \cdot 28 \cdot 0.85 \cdot (40 - 15)}{(t_{pr} + t_{pu})} \cdot \frac{4.186}{3600} \quad [\text{kW}]$$

Nella relazione precedente, t_{pr} è la durata in ore del periodo di preparazione dell'ACS, mentre t_{pu} è la durata in ore del periodo di punta. Assumendo, come da indicazioni di letteratura per edifici residenziali, $t_{pr} = 2$ h e $t_{pu} = 1.5$ h, si ottiene $Q_{ACS} = 19.8$ kW.

Alla luce dei calcoli precedenti, risulterebbe opportuno selezionare una pompa di calore in grado di erogare, in condizioni invernali nominali, una potenza termica massima di $(66 + 19.8)$ kW = 85.8 kW. Infine, la pompa di calore selezionata dovrà ovviamente essere in grado di far fronte al carico di raffrescamento estivo, che dalle simulazioni dinamiche risulta essere caratterizzato da un valore di picco di 62 kW. Durante il funzionamento estivo la pompa di calore dovrà essere in grado di soddisfare anche il fabbisogno di acqua calda sanitaria; per questo motivo l'unità selezionata dovrà essere dotata di *desurriscaldatore*, cioè di un dispositivo in grado di effettuare il recupero parziale dei cascami termici rilasciati al condensatore quando la macchina lavora in assetto estivo. In particolare, il desurriscaldatore riesce a recuperare l'aliquota di cascame termico corrispondente alla fase di desurriscaldamento dei gas in uscita dal compressore.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, la pompa di calore proposta è del tipo AERMEC NRL 0350 HE-D-P (Figura 50). Si tratta di una pompa di calore dotata di due compressori scroll montati su circuiti frigoriferi separati, n. 8 ventilatori assiali con inverter, batterie esterne in rame con alette in alluminio, scambiatore lato impianto a piastre, fluido frigorifero R410A. Il basamento, la struttura e la pannellatura sono in acciaio trattato con vernice poliesteri anticorrosione. La versione HE è la versione silenziosa e ad alta efficienza: grazie ad una gestione intelligente dei ventilatori dotati di inverter, è possibile ridurre le emissioni sonore e migliorare la performance della macchina. Il codice -D individua la presenza del desurriscaldatore come accessorio; il codice -P segnala la presenza di una pompa di circolazione a bordo macchina per il circuito primario (modello a bassa prevalenza).



Figura 50. Pompa di calore AERMEC NRL 0350 HE

NRL - HE		280	300	330	350	500	550	600	650	700	750	
	V/ph/Hz	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	
12°C / 7°C	Potenza frigorifera (1)	kW	52,8	61,7	68,7	76,7	89,6	94,6	113,5	127,4	142,3	174,1
	Potenza assorbita (1)	kW	18,1	20,3	23,3	26,9	33,5	36,8	45,5	53,3	58,5	68,9
	EER (1)		2,92	3,04	2,96	2,85	2,68	2,57	2,50	2,39	2,43	2,52
	ESEER (1)		3,85	3,77	3,85	2,85	3,67	3,45	4,03	3,99	3,87	3,87
	Portata d'acqua (1)	l/h	9102	10648	11850	13224	15456	16315	19578	21983	24559	30054
40°C / 45°C	Perdite di carico (1)	kPa	20	27	23	27	30	32	31	37	45	60
	Potenza termica (2)	kW	59,25	69,35	76,33	86,40	103,5	110,6	135,7	152,8	172,0	205,4
	Potenza assorbita (2)	kW	17,55	20,65	22,83	26,20	31,7	34,4	40,8	45,7	53,1	62,7
	COP (2)		3,38	3,36	3,34	3,30	3,26	3,22	3,33	3,34	3,24	3,28
	Portata d'acqua (2)	l/h	10256	11994	13211	14950	17905	19122	23467	26422	29725	35462
Perdite di carico (2)	kPa	25	34	28	34	40	44	44	52	64	82	
Prestazioni in condizioni climatiche medie (Average) UE n°811/2013 Pdesignh ≤ 70kW												
Pdesignh (3)		50	58	64	73	87	93	114	129	145	173	
SCOP (3)		3,53	3,50	3,50	3,45	3,48	3,48	3,58	3,58	3,45	3,53	
ηs (3)		138	137	137	135	136	136	140	140	135	138	
Classe Efficienza Energetica		A+	A+	A+	/	/	/	/	/	/	/	

FUNZIONAMENTO A FREDDO (12-7 / 35)		NRL 0280	NRL 0300	NRL 0330	NRL 0350	NRL 0500	NRL 0550	NRL 0600	NRL 0650	NRL 0700	NRL 0750	
DESURRISCALDATORE												
Potenza recuperata	kW	HA	-	-	-	-	36,1	38,1	44,9	54,3	59,8	69,0
		HE	20,5	22,9	25,3	31,3						
Potenza assorbita	kW	HA	-	-	-	348	382	459	539	600	-	
		HE	203	226	261	284	385	425	509	576	648	
Portata acqua	l/h	HA	-	-	-	6209	6553	7723	9340	10286	11868	
		HE	3526	3939	4352	5384						
Perdite di carico	kPa	HA	-	-	-	12	14	18	14	17	21	
		HE	10	13	16	9						

Figura 51. Prestazioni nominali della pompa di calore selezionata

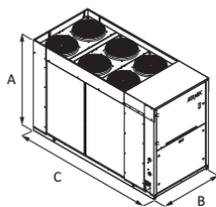
In Figura 51 sono riportate le prestazioni nominali della pompa di calore. Il modello selezionato è in grado di sviluppare, in condizioni nominali¹, una potenza termica di 86.4 kW e una potenza frigorifera di 76.6 kW. In regime estivo il desurriscaldatore è in grado di recuperare fino a 31.3 kW di potenza termica per la preparazione di acqua calda sanitaria. Le performance della pompa di calore sono dunque coerenti con le potenze richieste dall'utenza.

La Figura 52 riporta dimensioni e peso della pompa di calore selezionata. In particolare, il peso a vuoto è 811 kg, l'altezza 1606 mm, la lunghezza 2950 mm e la larghezza 1100 mm. L'unità potrà essere installata nello spazio tecnico, di pertinenza del condominio, che si intravede alla quota stradale in aderenza alla parete est dell'edificio (Figura 53). Tale spazio risulta avere una misura approssimativa di 8 m x 10 m, e si presta dunque ad accogliere la pompa di calore con tutti gli accessori necessari, nonché a garantire gli spazi minimi di rispetto per il buon funzionamento della macchina. La scelta del modello silenziato è giustificata dalla relativa vicinanza tra la pompa di calore e l'edificio: il modello HE garantisce, ad una distanza di 10 m in campo libero, un livello di pressione sonora di 44 dB, contro i 50 dB circa del modello non silenziato.

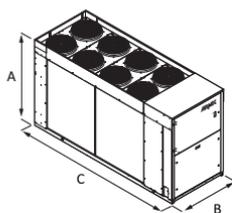
Per quanto riguarda le prestazioni a carico parziale e in condizioni diverse dalle nominali, è utile riportare i dati forniti dal costruttore, ai sensi della UNI TS 11300-4 (Tabella 40 e Tabella 41).

¹ Raffrescamento: temperatura aria esterna 35°C, temperatura acqua 12°C/7°C.
Riscaldamento: temperatura aria esterna 7°C, temperatura acqua 40°C/45°C.

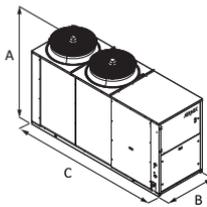
NRL 0280 HE



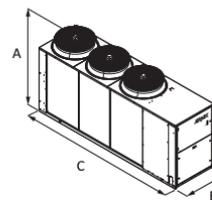
NRL 0300-0330-0350 HE



NRL 0500-0550-0600-0650 HA/HE



NRL 0700 HA/HE
NRL 0750 H/HL/HA/HE



Mod. NRL	U.M.	Vers.	0280	0300	0330	0350	0500	0550	0600	0650	0700	0750
A	(mm)	Tutte	1606	1606	1606	1606	1875	1875	1875	1875	1875	1975
B	(mm)	Tutte	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1500
C	(mm)	H - HL	2450	2450	2450	2450	3010	3010	3010	3010	3010	4350
		HA - HE	2450	2950	2950	2950	3010	3010	3010	3010	3010	4010
Peso a vuoto	kg (1)	H - HL	713	724	731	740	913	917	1016	1130	1142	1487
		HA - HE	730	795	805	811	1099	1103	1204	1212	1390	1748

(1) Versione standard senza accessori e kit idronico integrato

Figura 52. Dimensioni e peso della pompa di calore selezionata



Figura 53. Spazi individuati per il possibile posizionamento della pompa di calore

T aria	T acqua = 40°C		T acqua = 45°C		T acqua = 50°C	
	Q [kW]	COP	Q [kW]	COP	Q [kW]	COP
-10	51.1	2.27	50.6	2.04	-	-
-7	53.0	2.35	52.4	2.12	51.4	1.89
-5	54.4	2.42	53.7	2.17	52.5	1.93
0	58.9	2.60	57.5	2.31	55.6	2.03
2	61.0	2.66	59.3	2.36	57.0	2.06
5	81.1	3.40	78.4	3.01	75.4	2.65
7	87.6	3.66	86.4	3.30	81.9	2.86
10	94.9	3.93	92.4	3.51	89.3	3.10
12	98.9	4.08	96.4	3.65	93.3	3.23
15	103.8	4.25	101.3	3.81	98.2	3.38
20	109.3	4.44	106.8	3.99	103.7	3.55

Tabella 40. Prestazioni invernali della pompa di calore alle diverse condizioni operative

T aria	T _{in} = 12°C, T _{out} = 7°C	
	Q [kW]	EER
20	94.1	4.43
25	88.8	3.89
30	83.0	3.35
35	76.7	2.85
40	70.2	2.39

Tabella 41. Prestazioni estive della pompa di calore alle diverse condizioni operative

Lo schema impiantistico adottato prevede che la pompa di calore alimenti un buffer con funzione di separatore idraulico e serbatoio tampone; la circolazione del fluido nel circuito primario è garantita dalla pompa a bassa prevalenza installata a bordo della pompa di calore (Figura 54). Il volume del buffer è stato calcolato considerando un contenuto d'acqua totale nell'impianto di circa 30 litri al kW termico, al fine di evitare un frequente avvio dei compressori; sottraendo a tale volume il contenuto d'acqua nelle tubazioni e nei ventilconvettori, il volume stimato per il serbatoio è dunque di 2000 litri. Il serbatoio tampone potrà essere convenientemente disposto all'interno di un vano tecnico sito al piano terra.

La distribuzione del fluido termovettore dal serbatoio alle utenze avviene tramite due circuiti separati, che serviranno rispettivamente gli appartamenti sul lato ovest (U1 ed U2) e sul lato est (U3 ed U4) tramite montanti in acciaio da 1"; all'interno di ogni appartamento un collettore complanare provvederà alla distribuzione del fluido alle singole unità terminali, con tubi in rame di diametro 12 mm.

Per quanto riguarda l'acqua calda sanitaria, bisogna prendere in considerazione un ulteriore serbatoio di accumulo, di volume stimato pari a 1000 litri. La distribuzione dell'acqua calda sanitaria alle utenze avverrà tramite opportuna pompa di sollevamento; i montanti in acciaio zincato si collegheranno alle tubazioni di distribuzione già presenti all'interno di ogni appartamento.

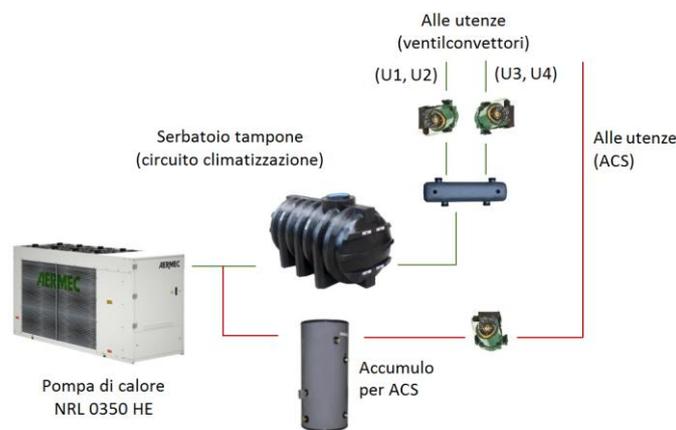


Figura 54. Schema impiantistico di massima

5.3.2 Modellazione degli impianti su Blumatica Energy

L'intervento di riqualificazione degli impianti prevede l'introduzione di una pompa di calore centralizzata della taglia di 86.4 kW a servizio dell'intero edificio. Al fine di simulare le prestazioni di tutte le unità tale potenza è stata distribuita tra tutti gli alloggi tenendo conto del relativo fabbisogno di acqua calda sanitaria e di riscaldamento.

In particolare, il programma assume un fabbisogno di acqua calda sanitaria proporzionale alla superficie dell'unità abitativa; per questo motivo, nella ripartizione delle potenze associate alla produzione di ACS, agli appartamenti più grandi è stato attribuito un valore doppio rispetto quelli più piccoli. Più complesso è il caso della potenza termica per il riscaldamento, in quanto dai risultati delle simulazioni dinamiche si evince che il fabbisogno varia al variare dell'esposizione e, in generale, al variare delle condizioni al contorno. Perciò i 66 kW attribuiti al riscaldamento non possono essere divisi in maniera uguale per tutte le unità, ma in proporzione tenendo conto delle analisi effettuate al paragrafo 5.2.1. La distribuzione delle potenze termiche assegnate alle singole unità può essere riassunta come in Tabella 42.

A titolo esemplificativo si riportano in Figura 55 e Figura 56 le impostazioni utilizzate in Blumatica Energy per descrivere le prestazioni energetiche della pompa di calore "fittizia" della potenza di 3.1 kW.

	Primo piano	Piano tipo	Ultimo piano
Unità U1	3.1 kW	2.6 kW	3.6 kW
Unità U2	3.6 kW	3.1 kW	4.1 kW
Unità U3	3.6 kW	3.1 kW	4.1 kW
Unità U4	3.1 kW	2.6 kW	3.6 kW

Tabella 42. Pompa di calore - potenza termica attribuita alle unità

The screenshot shows the configuration window for a heat pump in the Blumatica Energy software. The main configuration area includes:

- Marca:** AERMEC
- Modello:** NRL 0350 HE-D
- Descrizione:** Pompa di Calore 3.1
- Note:** (Empty field)
- Codice catasto impianti:** (Empty field)
- Anno di installazione:** (Empty field)
- Tipo pompa:** Elettrica
- Tipo funzionamento:** On-Off
- Combustibile:** Elettricità
- Temperatura di disattivazione (θH,off) [°C]:** 18.0000

The "Pozzo freddo" (Cold Well) section includes:

- Tipo sorgente:** Aria esterna
- Temperatura minima di disattivazione (θcut,off) [°C]:** 2.0000
- Temperature pozzo freddo [°C]:** Valori mensili

The "Tipo sorgente" (Source Type) section includes:

- Tipo sorgente:** Acqua impianto
- Temperature pozzo caldo [°C]:** 40.0000
- Fattore correttivo dichiarato (Cc):** 0.1000

The "Prestazioni della pompa di calore" (Heat Pump Performance) section contains a table with the following data:

-	Potenze [kW]			Cop/Gue		
	40	45	50	40	45	50
-7.0	1.9	1.9	1.8	2.4	2.1	1.9
2.0	2.2	2.1	2.1	2.7	2.4	2.1
7.0	3.2	3.1	2.9	3.7	3.3	2.9
12.0	3.6	3.5	3.4	4.1	3.7	3.2

At the bottom, the **Potenza nominale [kW]** is set to 3.1000.

Figura 55. Impostazioni della pompa di calore (riscaldamento)

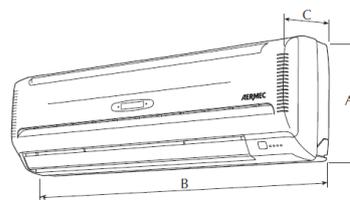
Marca	AERMEC	
Modello	NRL 0350 HE-D	
Descrizione	Pompa di Calore 3.1	
Note		
Codice catasto impianti		Anno di installazione
Tipo pompa	Elettrica	<input type="checkbox"/> Condizionatore / Split
Tipo funzionamento	On-Off	
Combustibile	Elettricità	
Potenza nominale [kW]	2.5800	
<input checked="" type="checkbox"/> Oggetto di intervento / riqualificazione		
Sorgenti	Aria - Acqua	
Temperatura bulbo esterno [°C]	35.0000	
Temperatura bulbo interno [°C]	7.0000	
Valori di EER / GUE		
EER 100%	2.8500	
EER 75%	3.3500	
EER 50%	3.8900	
EER 25%	4.4300	

Figura 56. Impostazioni della pompa di calore (raffrescamento)

Come unità terminali, il sistema di emissione fa impiego di ventilconvettori: sono stati selezionati dei modelli a parete del tipo FCWI della AERMEC (Figura 57), caratterizzati da ventilatori con motore Brushless Inverter a bassa rumorosità e basso assorbimento elettrico. In Figura 58 si riporta un estratto della scheda tecnica fornita dal costruttore; in particolare, è stato selezionato il modello 222V: si tratta di ventilconvettori dotati di valvole a due vie per la regolazione della portata del fluido termovettore. Il peso delle singole unità si aggira sui 10 kg, con una profondità di circa 210 mm (Figura 57).

Per la scelta dei ventilconvettori da installare nei singoli locali si è fatto riferimento alle prestazioni alla velocità media (M), e con temperatura di alimentazione di 45°C in riscaldamento. Nel complesso, sono state previste n°2 unità negli appartamenti più piccoli (U1 ed U4) e n°3 unità negli appartamenti più grandi (U2 ed U3). La potenza elettrica assorbita dai ventilatori di ciascun ventilconvettore, in regime di velocità media, ammonta a 16.5 W, per un totale di 1150 W nell'intero edificio. La portata d'acqua complessiva, in condizioni nominali, ammonta a circa 17500 litri/h.

Infine, in Figura 59 e in Figura 60 si riportano le schermate del software Blumatica Energy relative alle impostazioni dei sottosistemi di emissione, regolazione e distribuzione. Si noti che la portata d'acqua, calcolata in automatico dal software in funzione dei carichi termici dell'edificio, è leggermente in difetto rispetto al valore determinato sommando le portate nominali riportate nella scheda tecnica dei ventilconvettori. Ciò suggerisce che i ventilconvettori risultano leggermente sovradimensionati rispetto alle reali esigenze dell'impianto: in sede di progetto esecutivo si potranno adottare valori più bassi della portata.



FCW		22	32	42
A	mm	298	305	360
B	mm	880	990	1170
C	mm	205	210	220
Peso	kg	9	10	19

Figura 57. Ventilconvettore a parete FCWI (AERMEC)

FCWI	222V			223V			22VL			322V			323V			32VL			422V			423V			42VL		
	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L
Velocità del ventilatore																											
Prestazioni in riscaldamento																											
Impianti a 2 tubi																											
Potenza termica (70°C) (1) kW	4,03	3,02	2,65	4,03	3,02	2,35	4,29	3,66	2,85	5,03	4,36	3,25	5,03	4,36	3,25	5,24	4,51	3,73	7,97	7,23	6,29	7,97	7,23	6,29	8,56	7,84	6,44
Portata d'acqua (1) l/h	354	265	206	354	265	206	377	321	250	442	383	286	442	383	286	460	396	328	699	635	552	699	635	552	751	688	565
Perdite di carico (1) kPa	24	14	9	24	14	9	9	6	4	29	22	13	29	22	13	16	12	9	32	27	21	32	27	21	26	22	16
Potenza termica (45°C) (2) kW	2,00	1,50	1,17	2,00	1,50	1,17	2,14	1,82	1,42	2,50	2,17	1,62	2,50	2,17	1,62	2,61	2,24	1,85	3,96	3,60	3,13	3,96	3,60	3,13	4,26	3,90	3,21
Portata d'acqua (2) l/h	348	261	203	348	261	203	371	316	246	434	377	281	435	377	281	453	390	322	688	624	543	688	624	543	739	677	556
Perdite di carico (2) kPa	24	14	9	24	14	9	8	6	4	29	22	13	29	22	13	16	12	9	31	26	20	31	26	20	25	22	15
Prestazioni in raffreddamento																											
Pot. frigorifera totale (3) kW	1,90	1,45	1,10	1,90	1,45	1,10	2,05	1,74	1,37	2,40	2,08	1,55	2,40	2,08	1,55	2,50	2,15	1,78	3,80	3,45	3,00	3,80	3,45	3,00	4,08	3,74	3,07
Pot. frigorifera sensibile (3) kW	1,55	1,20	0,92	1,55	1,20	0,92	1,73	1,47	1,16	1,97	1,68	1,28	1,97	1,68	1,28	2,04	1,82	1,51	2,85	2,50	2,01	2,85	2,50	2,01	3,47	3,10	2,59
Portata d'acqua (3) l/h	327	249	189	327	249	189	353	299	236	413	358	267	413	358	267	430	370	306	654	593	516	654	593	516	702	643	528
Perdite di carico (3) kPa	23	14	9	23	14	9	9	7	5	29	22	13	29	22	13	15	11	8	32	27	21	32	27	21	26	21	15
Ventilatore																											
Ventilatore - Tangenziale n°	1																										
Portata d'aria m³/h	380	330	270	380	330	270	389	340	280	440	390	320	440	390	320	446	400	330	540	470	370	540	470	370	684	602	476
Livelli sonori																											
Potenza sonora (4) dB(A)	53	48	42	53	48	42	53	48	42	53	48	42	53	48	42	53	48	42	54	49	44	54	49	44	54	49	44
Pressione sonora dB(A)	44,5	39,5	34,0	44,5	39,5	34,0	44,5	39,5	34,0	44,5	39,5	34,0	44,5	39,5	34,0	44,5	39,5	34,0	45,5	40,5	35,5	45,5	40,5	35,5	45,5	40,5	35,5
Diametro raccordi																											
Batteria Principale																											
Batteria standard Ø Gas (F)	1/2" F																										
Caratteristiche elettriche																											
Potenza assorbita W	22,5	16,5	12,9	22,5	16,5	12,9	22,5	16,5	12,9	22,1	17,3	13,7	22,1	17,3	13,7	22,1	17,3	13,7	33,0	27,3	23,1	33,0	27,3	23,1	33,0	27,3	23,1
Alimentazione	230V-50Hz																										

Figura 58. Scheda tecnica dei ventilconvettori FCWI

Emissione

Altezza media locali: Fino a 4 metri

Tipologia terminale: Ventilconvettori

Rendimento emissione: 0.960

Potenza ausiliari (W): 32 Sempre in funzione

Dati per il calcolo delle temperature del fluido termovettore

Potenza termica progetto unità terminali (W): 3,000

Esponente n della curva caratteristica dei terminali: 1.0

Tipo regolazione: Regolazione continua della portata e/o delle temperature dei terminali

Temperatura di mandata di progetto (°C): 45.0

Temperatura di ritorno di progetto (°C): 40.0

Portata d'acqua [kg/h]: 515.9

Regolazione

Tipo regolazione: Solo per singolo ambiente

Caratteristica: P banda prop. 1 °C

Rendimento regolazione: 0.98

Distribuzione

Tipo fluido termovettore: Acqua

Distribuzione acqua

Metodologia di calcolo: Semplificata

Tipologia di distribuzione: Impianto autonomo con generatore unifamiliare in edificio condominiale - A piano intermedio - Isolamento con spessori conformi alle prescrizioni del DPR 412/93

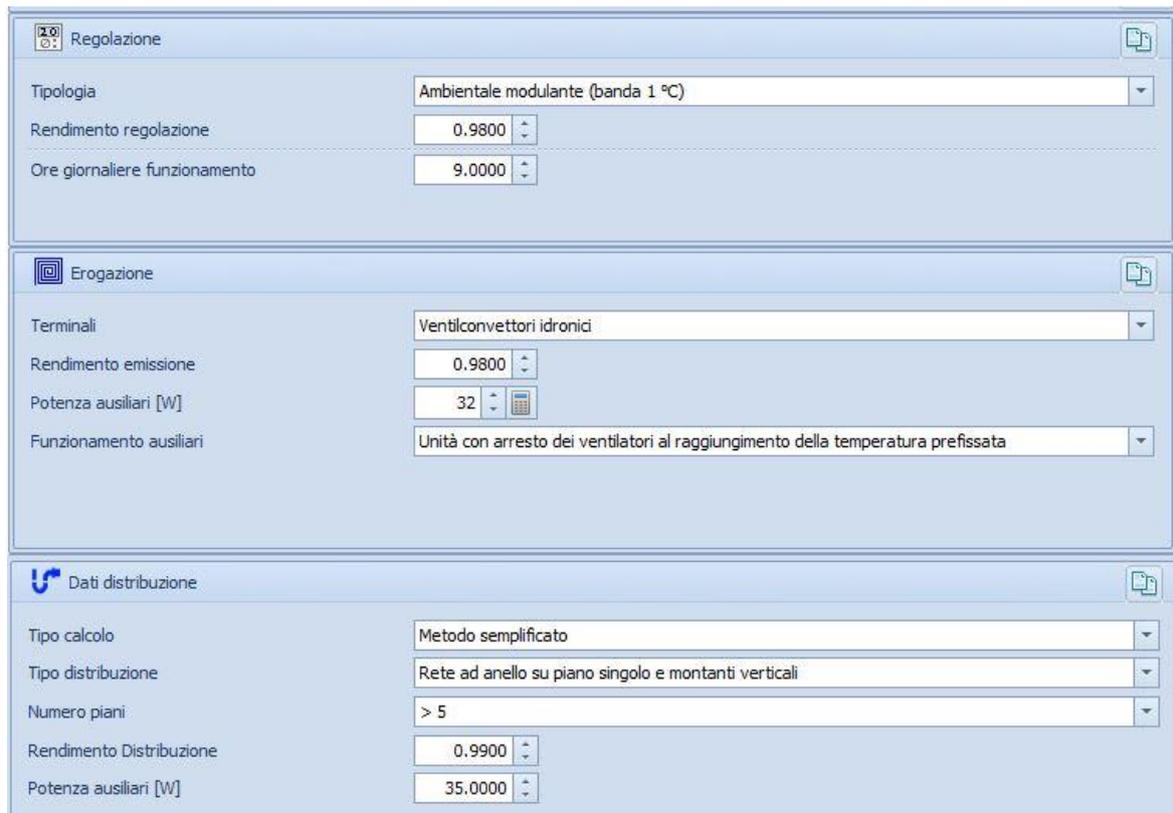
Temperature di progetto (°C): 55/45

Rendimento distribuzione: 0.990

Pompa di distribuzione

Potenza della pompa (W): 35 Sempre in funzione

Figura 59. Impostazioni relative ai sottosistemi di emissione, distribuzione e regolazione (funzionamento invernale)



The screenshot shows a software interface with three main sections:

- Regolazione:**
 - Tipologia: Ambientale modulante (banda 1 °C)
 - Rendimento regolazione: 0.9800
 - Ore giornaliere funzionamento: 9.0000
- Erogazione:**
 - Terminali: Ventilconvettori idronici
 - Rendimento emissione: 0.9800
 - Potenza ausiliari [W]: 32
 - Funzionamento ausiliari: Unità con arresto dei ventilatori al raggiungimento della temperatura prefissata
- Dati distribuzione:**
 - Tipo calcolo: Metodo semplificato
 - Tipo distribuzione: Rete ad anello su piano singolo e montanti verticali
 - Numero piani: > 5
 - Rendimento Distribuzione: 0.9900
 - Potenza ausiliari [W]: 35.0000

Figura 60. Impostazioni relative ai sottosistemi di emissione e regolazione (funzionamento estivo)

5.4 L'impianto fotovoltaico

5.4.1 Scelta dei moduli fotovoltaici e calcolo della producibilità

Per il dimensionamento ed il calcolo della producibilità dell'impianto fotovoltaico l'ENEA consiglia il software SEAS 3.0, sviluppato da ENEA e DESTEC dell'Università di Pisa, rilasciato nel Settembre 2014. Il software prevede diverse sezioni, relative ai dati generali e al contesto geografico, all'involucro dell'edificio e agli impianti: quest'ultima contiene al suo interno il tool per effettuare la stima della producibilità di energia elettrica da impianti fotovoltaici.

La schermata iniziale, riportata in Figura 61, è suddivisa in tre sezioni: Dati geografici, Caratterizzazione dell'impianto PV, Caratteristiche del singolo modulo.

Nella sezione Dati geografici, mostrata in Figura 62, è richiesto all'utente di inserire la provincia e il comune dove si trova l'impianto fotovoltaico in analisi. Inserendo come località "Catania" il software fornisce automaticamente i valori, ricavati dalla UNI 10349, riguardanti l'irraggiamento medio giornaliero su piano orizzontale (nelle tre componenti totale, diretta e diffusa), la temperatura esterna, l'escursione termica media e la velocità del vento, per ciascun mese dell'anno. In seguito, l'utente dovrà inserire i dati riguardanti la caratterizzazione dell'impianto fotovoltaico, come mostrato in Figura 63. È necessario specificare l'inclinazione rispetto al piano orizzontale, che in questo caso è stata fissata pari a 20°. L'angolo di azimut rispetto al Sud è invece 0°, in quanto si è pensato di orientare i pannelli in maniera tale da essere esposti a Sud per raccogliere una maggiore quantità di radiazione solare complessiva.

Si deve infine impostare la tipologia di terreno circostante che influenza il valore di albedo; nel nostro caso è stata scelta l'opzione "Superfici scure di edifici", che determina un'albedo di 0.27. Sempre in Figura 63, si osservi che alla voce "N° moduli" si è inserito un valore unitario: in questa fase l'obiettivo è quello di valutare la produzione elettrica attesa da un singolo modulo fotovoltaico, dato a partire dal quale sarà possibile definire il numero di moduli da installare per coprire il fabbisogno elettrico dell'edificio.

Nella sezione successiva, riguardante le “Caratteristiche del singolo modulo”, vengono inserite le caratteristiche tecniche fornite dai costruttori. Per l’impianto fotovoltaico da realizzare contestualmente all’intervento di ristrutturazione è stato scelto un modulo in silicio monocristallino, e in particolare il modello SUNPOWER 315, con una potenza nominale di picco di 315 W e un’area netta del modulo di 1.63 m², di cui si riportano in Figura 64 le caratteristiche geometriche. In Figura 65 sono riportati i principali dati della scheda tecnica, con particolare riferimento a quelli considerati ai fini del calcolo della producibilità.

Figura 61. SEAS - schermata principale della routine per il calcolo dell’impianto fotovoltaico

	Irr. orizz. totale medio giornaliero (MJ/m ²)	Irr. orizz. diretto medio giornaliero (MJ/m ²)	Irr. orizz. diffuso medio giornaliero (MJ/m ²)	Temperatura esterna (°C)	Escursione termica media (°C)	Velocità vento (m/s)
Gennaio	9.00	5.70	3.30	10.70	7.30	4.40
Febbraio	11.90	7.70	4.20	11.20	7.90	4.40
Marzo	16.00	10.50	5.50	12.90	8.10	4.40
Aprile	20.70	14.10	6.60	15.50	8.70	4.40
Maggio	25.50	18.60	6.90	19.10	9.10	4.40
Giugno	28.20	21.60	6.60	23.50	9.40	4.40
Luglio	28.20	22.10	6.10	26.50	9.60	4.40
Agosto	25.40	19.80	5.60	26.50	9.20	4.40
Settembre	19.50	14.10	5.40	24.10	8.70	4.40
Ottobre	13.70	9.20	4.50	19.90	7.90	4.40

Figura 62. SEAS - sezione “Dati geografici” con i risultati ottenuti per Catania

Figura 63. SEAS - sezione “Caratterizzazione dell’impianto FV” con i dati inseriti nel software

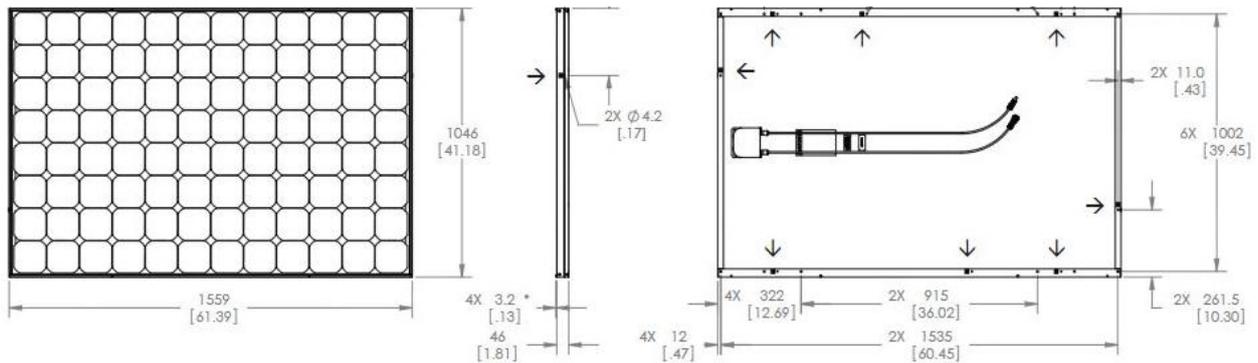


Figura 64. Dimensioni geometriche del modulo fotovoltaico scelto.

Dati Elettrici		
Misurato in condizioni di prova standard (STC): Irraggiamento 1000W/m ² , AM 1,5 e temperatura della cella 25°C		
Potenza nominale (+5%/-3%)	P_{nom}	315 W
Tensione di punto di massima potenza	V_{mpp}	54,7 V
Corrente di punto di massima potenza	I_{mpp}	5,76 A
Tensione a vuoto	V_{oc}	64,6 V
Corrente di cortocircuito	I_{sc}	6,14 A
Tensione massima del sistema	IEC	1000 V
Coefficiente di temperatura	Potenza	-0,38% / K
	Tensione (V_{oc})	-176,6mV / K
	Corrente (I_{sc})	3,5mA / K
NOCT		45° C +/-2° C
Corrente nominale del fusibile		15 A
Limite di corrente inversa (3 stringhe)	I_r	15,3 A

Figura 65. Scheda tecnica del modulo fotovoltaico scelto.

Per completare la sezione “Caratteristiche del singolo modulo” è anche necessario identificare la modalità di installazione dei moduli fotovoltaici, al fine di determinare il fattore correttivo legato alla ventilazione dei moduli stessi. Nel nostro caso, selezioniamo l’opzione “Moduli molto ventilati” poiché i moduli verranno installati in copertura, su una pensilina rialzata rispetto al piano orizzontale: in questo caso il software applica un coefficiente correttivo $f_{pv} = 0.80$ (Figura 66). Infine, si deve specificare il valore del B.O.S. (Balance of System), da scegliersi tipicamente tra 0.8 e 0.9; si è impostato tale dato sul valore di 0.90.

Una volta inseriti tutti i valori richiesti, il software SEAS 3.0 calcola la producibilità di energia elettrica tramite due metodi diversi: quello descritto dalla UNI TS 11300-4:2012 e il metodo di Evans. Nella schermata di output è presente una tabella in cui compaiono i valori dell’irraggiamento giornaliero medio mensile sulla superficie captante per l’inclinazione e l’orientamento scelti, e i valori dell’energia elettrica prodotta mensilmente secondo i due metodi. È riportato anche un grafico in cui si riportano i valori della producibilità mensile stimata, come mostrato in Figura 67. Nella Tabella 43, invece, è possibile leggere i valori della produzione di energia elettrica attesa per ogni mese dell’anno.

Caratteristiche del singolo modulo

Tipologia di pannello

Area modulo (m²)

Area netta del modulo (m²)

Potenza nominale di picco del pannello (kW)

Coef. di temperatura (%/K)

Coef. di potenza (-)

NOCT (°C)

Grado di ventilazione f_{pv}

B.O.S.

Figura 66. SEAS - sezione "Caratteristiche del singolo modulo"

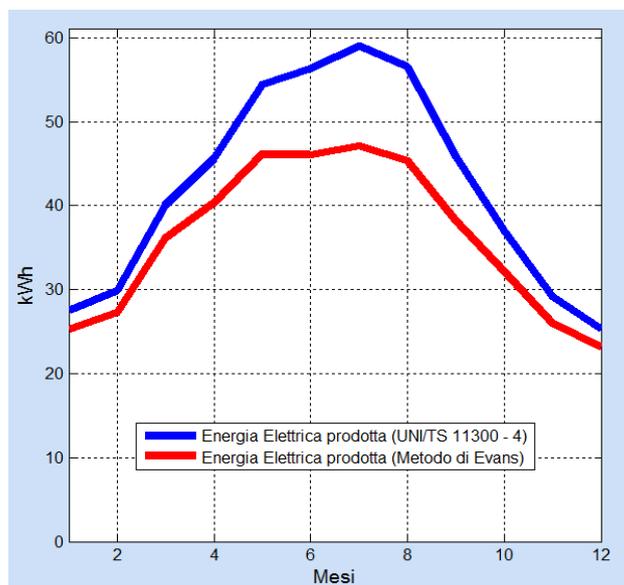


Figura 67. SEAS - grafico della producibilità mensile

Come precedentemente annunciato, il software effettua il calcolo attraverso due metodologie diverse: si è scelto di fare riferimento alla media fra i risultati delle due metodologie, ovvero **470.4 kWh/anno** per ciascun modulo fotovoltaico. Considerando che ogni modulo presenta una superficie netta di 1.63 m²,

l'impianto fotovoltaico è in grado di produrre 288.6 kWh/anno di energia elettrica per metro quadro di moduli installati. La resa media dell'impianto, ottenuta dividendo quest'ultimo risultato per l'irradiazione totale disponibile sul piano dei moduli (2013.2 kWh/anno al m²), è pari al 14.4%. Tale valore è ovviamente inferiore al rendimento dichiarato dal costruttore in condizioni standard, a causa dell'effetto delle reali condizioni operative e alle perdite relative al B.O.S.

	Irradiazione totale sulla superficie dei moduli [kWh/m ²]	Energia Elettrica (metodo UNI TS 11300-4) [kWh]	Energia Elettrica (metodo di Evans) [kWh]
Gen	109.6	27.61	25.34
Feb	118.6	29.89	27.37
Mar	159.2	40.11	36.22
Apr	181.5	45.73	40.38
Mag	216.0	54.43	46.18
Giu	223.7	56.38	46.02
Lug	234.5	59.09	47.16
Ago	224.7	56.62	45.33
Set	182.5	45.99	38.23
Ott	146.9	37.01	32.13
Nov	115.8	29.19	25.97
Dic	100.2	25.26	23.15
TOT	2013.2	507.32	433.49

Tabella 43. Energia elettrica prodotta da un modulo fotovoltaico

5.4.2 Dimensionamento dell'impianto fotovoltaico

La conoscenza della resa del singolo modulo è un dato indispensabile per la determinazione della superficie di moduli da prevedere in fase di progetto. Di norma, è bene infatti che l'impianto fotovoltaico sia dimensionato in modo da garantire una produzione annua di energia elettrica di valore prossimo al fabbisogno elettrico dell'utenza. Ciò non esclude evidentemente la necessità da parte dell'utenza di far ricorso alla rete di distribuzione dell'energia elettrica, nei momenti in cui la produzione istantanea dell'impianto fotovoltaico non è in grado di compensare il fabbisogno istantaneo dell'utenza.

Riepilogando i risultati presentati nel paragrafo 5.2.2, i consumi elettrici annui attesi per l'edificio ristrutturato sono i seguenti:

- Climatizzazione estiva ed invernale: 19500 kWh
- Produzione ACS: 8500 kWh
- Illuminazione ed apparecchiature: 33500 kWh

Prima di procedere al dimensionamento dell'impianto fotovoltaico è necessario però valutare la disponibilità di superfici atte ad ospitare i moduli fotovoltaici, ed il numero massimo di moduli fotovoltaici che è possibile posizionare su tali superfici. Con riferimento al progetto in esame, risulta immediato pensare all'installazione dei moduli fotovoltaici sulla copertura piana; bisognerebbe però evitare di saturare gli spazi disponibili impedendone qualsiasi altro utilizzo. Inoltre, il corpo scala aggettante e il parapetto rappresenterebbero degli elementi ombreggianti in grado di ridurre considerevolmente l'efficienza, non solo del singolo pannello eventualmente in ombra, ma addirittura dell'intero impianto.

Per questi motivi si è scelto di collocare i moduli su idonea pensilina, libera da ostruzioni e in grado peraltro di generare un benefico effetto sulla sottostante copertura grazie alla sua azione di schermatura della radiazione solare. La pensilina dovrà garantire un angolo di tilt $\beta = 20^\circ$ e consentire la ventilazione dei moduli dal loro lato inferiore, garantendone al contempo la manutenzione.

Ritornando adesso alla stima dei fabbisogni elettrici evidenziati precedentemente, il totale ammonta a 61500 kWh/anno. Poiché ciascun modulo fotovoltaico è in grado di produrre in media circa 470 kWh/anno, sarebbe necessario installare un numero di moduli pari a:

$$n = 61500 / 470 \approx 131 \text{ moduli}$$

La superficie di moduli fotovoltaici corrispondente sarebbe pari a $131 \times 1.63 \text{ m}^2 = 213.5 \text{ m}^2$; non è però disponibile una superficie sufficiente per installare correttamente un numero così elevato di moduli.

In seconda battuta, si faccia allora riferimento ai soli consumi elettrici associati alla climatizzazione ed alla produzione di acqua calda sanitaria, il cui totale ammonta a 28000 kWh. Per coprire questo fabbisogno sarebbe necessario installare un numero di moduli pari a:

$$n = 28000 / 470 \approx 60 \text{ moduli}$$

Il posizionamento di 60 moduli fotovoltaici occuperebbe, in proiezione, solo il 30% della superficie libera in copertura, il che consente di ridurre le dimensioni ed i costi della pensilina fotovoltaica. In Figura 68 è rappresentata la pianta della copertura dell'edificio, in cui si può vedere una possibile disposizione dei moduli fotovoltaici. La scelta di dimensionare l'impianto fotovoltaico con riferimento ai soli consumi elettrici della pompa di calore è inoltre coerente con il fatto che l'impianto di climatizzazione e produzione di acqua calda sanitaria è centralizzato, così come l'impianto fotovoltaico: ciò facilita la contabilizzazione dei flussi di energia elettrica, anche ai fini della fruizione del meccanismo dello scambio sul posto.

Sotto queste ipotesi, la potenza totale fotovoltaica installata è pari a $315 \times 60 = 18900 \text{ W}$ di picco. Si ricorda che, ai sensi del Decreto Legislativo 3 marzo 2011 n. 28 (Decreto Rinnovabili), la potenza elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico deve essere pari almeno a $P = S/K$, dove S è l'impronta dell'edificio e $K = 50$. Poiché $S = 420 \text{ m}^2$, la potenza minima deve essere $P = 8400 \text{ W}$; la proposta di installare 60 moduli fotovoltaici di potenza totale pari a 18.9 kW di picco è dunque in linea con i requisiti di legge.

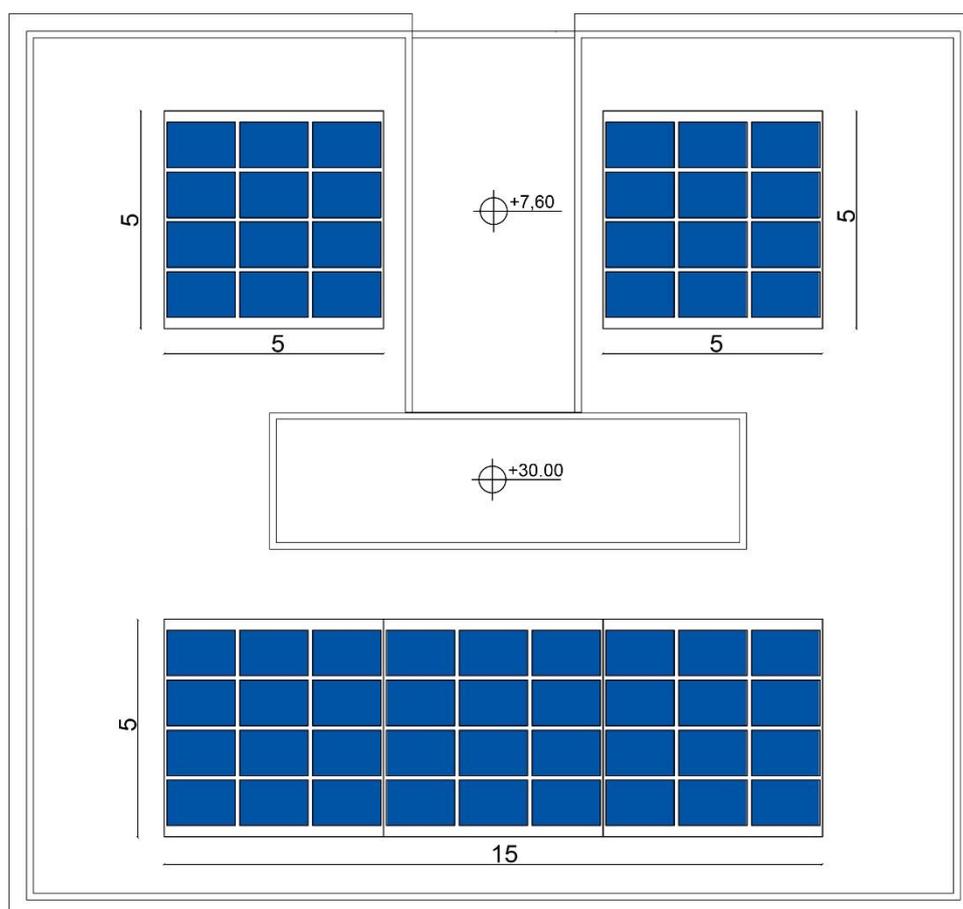


Figura 68. Disposizione dei moduli fotovoltaici in copertura

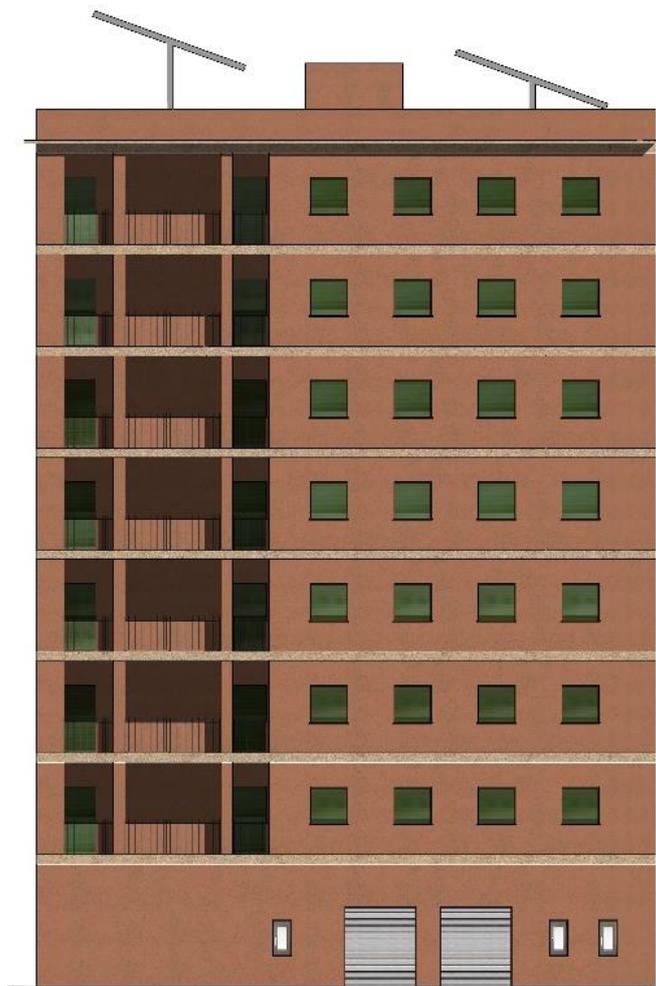


Figura 69. Prospetto ovest con rappresentazione delle pensiline in copertura

Per quanto riguarda l'impostazione dei dati relativi all'impianto fotovoltaico nel software Blumatica Energy, si è stabilito di distribuire i 60 moduli fotovoltaici ai vari appartamenti secondo la seguente logica:

- 3 moduli fotovoltaici per gli appartamenti dell'ultimo piano (3 x 4 unità = 12 moduli)
- 2 moduli fotovoltaici per tutti gli altri appartamenti (2 x 24 unità = 48 moduli)

L'attribuzione di un numero maggiore di moduli fotovoltaici agli appartamenti dell'ultimo piano è giustificata dai maggiori fabbisogni energetici per la climatizzazione che sono stati rilevati in queste unità dalle simulazioni dinamiche. In Figura 70 si riporta, a titolo di esempio, la schermata relativa al software Blumatica Energy per un appartamento dell'ultimo piano.

E' opportuno in questa sede sottolineare una leggera discordanza tra i risultati di producibilità forniti da SEAS 3.0 ed i risultati di Blumatica Energy, dovuti ad una discrepanza tra i dati dell'irradiazione solare mensile disponibile sul piano dei moduli fotovoltaici. Si è deciso allora di confrontare i valori di irradiazione solare facendo riferimento a una terza fonte, cioè al database <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> (Photovoltaic Geographical Information System - PVGIS), gestito dal Joint Research Center della Commissione Europea. Si riporta in Tabella 44 un confronto tra le varie fonti (il sito PVGIS riporta i dati di due diversi database, Classic e Climate-SAF): come si può osservare, vi è un ottimo accordo tra PVGIS e SEAS – Fotovoltaico, mentre l'irradiazione solare utilizzata dalle UNI 11300:4 è fortemente sottostimata.

Orientamento rispetto al SUD (Y) [°]

Indinazione orizzontale pannelli (β) [°]

Tipo di riflessione ambientale Coefficiente di riflessione (θ)

Ostruzioni

Irradiazione [kWh/m²]

Irradianze mensili

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
78.79	103.48	159.90	154.48	195.29	195.02	215.22	199.00	156.26	130.92	95.94	71.46

Irradianza totale

Tipo di modulo fotovoltaico Kpv

Grado di ventilazione dei moduli Fpv

Superficie di captazione [m²]

Potenza di picco (Wpv) [kW]

Energia elettrica prodotta nota

Energia elettrica prodotta totale [kWh]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
59.49	78.13	120.72	116.64	147.45	147.24	162.49	150.25	117.98	98.85	72.44	53.96

Figura 70. Impostazioni relative all'impianto fotovoltaico su Blumatica Energy - unità dell'ultimo piano

	SEAS - Fotovoltaico	UNI TS 11300-4	PVGIS (Climate SAF)	PVGIS (Classic)
Gen	109.6	78.8	110.1	96.7
Feb	118.6	103.5	124.6	107.5
Mar	159.2	159.9	177.3	159.7
Apr	181.5	154.5	186.6	183.6
Mag	216.0	195.3	219.5	208.0
Giu	223.7	195.0	229.8	210.6
Lug	234.5	215.2	246.5	221.0
Ago	224.7	199.0	230.6	211.4
Set	182.5	156.3	181.5	179.4
Ott	146.9	130.9	153.5	147.9
Nov	115.8	95.9	116.4	101.1
Dic	100.2	71.5	101.1	86.5
TOT	2013.2	1755.8	2077.4	1913.4
Δ	-	- 12.8%	+3.2%	-4.9%

Tabella 44. Confronto fra dati climatici relativi all'irradiazione solare (tilt 20°, kWh/m²)

5.5 Valutazione energetica dell'edificio ristrutturato

Le ipotesi di intervento di ristrutturazione importante di primo livello, riferite agli impianti ed all'involucro edilizio, sono state rielaborate dal software Blumatica Energy, che ha fornito i fabbisogni di energia termica associati alla climatizzazione estiva ed invernale e alla produzione di acqua calda sanitaria. Dai risultati è stata individuata la classe energetica di appartenenza di tutte le unità abitative e, con riferimento ai parametri di legge introdotti dal Decreto Requisiti Minimi nel caso di ristrutturazione importante di primo livello, è stato possibile raggiungere lo standard di "edificio ad energia quasi zero".

La Figura 71 riassume l'incidenza degli elementi dell'involucro sulla potenza termica invernale. In seguito alla ristrutturazione rimane determinante l'impatto delle pareti esterne con percentuali comprese tra il 25% e il 35% circa in tutti i piani, e l'incidenza delle chiusure orizzontali verso l'esterno o verso ambienti non climatizzati, rispettivamente dell'ordine del 25% (pavimento al primo piano) e 22% (solaio di copertura all'ultimo piano). L'incidenza dei ponti termici sulla potenza termica invernale non è trascurabile, anche dopo la ristrutturazione, soprattutto al piano tipo (21%): nonostante l'intervento abbia permesso di ridurre notevolmente i coefficienti di dispersione associati ai ponti termici, la contestuale riqualificazione dell'involucro ne rende comunque il contributo non trascurabile (vedi Tabella 34). La sostituzione degli infissi ha permesso di diminuirne l'incidenza, compresa in tutti i piani tra l'11% e il 18%, mentre il contributo della ventilazione è variabile tra il 20% e il 24%.

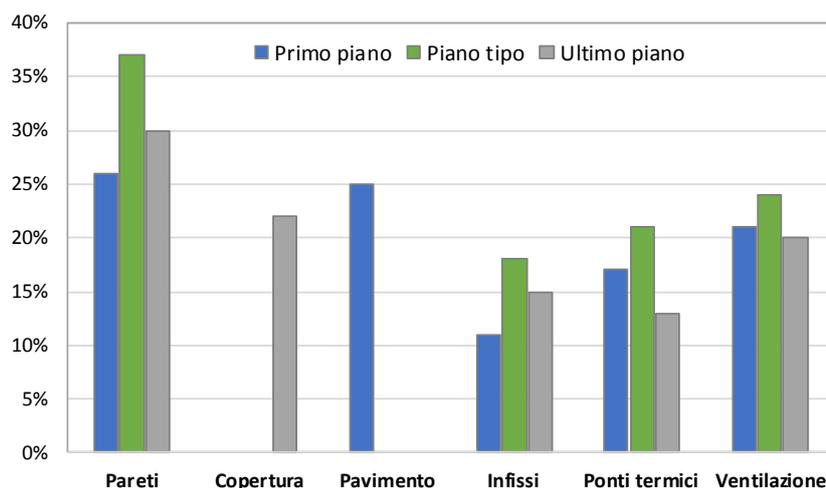


Figura 71. Incidenza delle voci di dispersione sulla potenza termica invernale

5.5.1 Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio ristrutturato

Analogamente a quanto indicato nello stato di fatto, il computo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria avviene tramite la procedura prevista dalla norma UNI TS 11300-1 e UNI TS 11300-2, che fissano i limiti di esercizio dell'impianto e la durata della stagione di riscaldamento in funzione della zona climatica. Gli interventi individuati consentono di raggiungere lo standard nZEB, e di ridurre i consumi di energia primaria non rinnovabile rispetto allo stato di fatto in percentuali superiori all'80% in ogni piano ed in totale dell'86% circa (Tabella 45).

	kWh/anno (stato di fatto)	kWh/anno (edificio ristrutturato)	Riduzione (%)
Primo piano	27125	5040	81.4%
Piani intermedi	101663	13769	86.5%
Ultimo piano	34654	3495	89.9%
Totale	163442	22303	86.4%

Tabella 45. Consumi di energia primaria non rinnovabile pre- e post-intervento

In particolare, in Figura 72 vengono mostrati i consumi di energia primaria non rinnovabile associati ai servizi di climatizzazione (estiva ed invernale) e produzione di acqua calda sanitaria e la nuova classe energetica degli appartamenti (A4 per tutte le unità abitative).

Il consumo di energia primaria non rinnovabile associato al servizio di raffrescamento è molto basso grazie all'introduzione dei pannelli fotovoltaici: in estate, infatti, il consumo di energia primaria è affidato quasi esclusivamente a fonti rinnovabili, ciò compatibilmente con le condizioni climatiche a forte soleggiamento durante i mesi più caldi. Tale trend è ancora più accentuato all'ultimo piano, in cui si ottengono consumi quasi nulli grazie al numero maggiore di moduli fotovoltaici a servizio di queste unità, come evidenziato al paragrafo 5.4.2.

In generale per tutte le unità il contributo maggiore sui consumi totali di energia primaria non rinnovabile è dato dal servizio di riscaldamento: per l'unità U1 del primo piano il consumo di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento è il 77% del totale. Ai piani intermedi, soprattutto nelle unità U2 e U3, si attestano i consumi di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento più bassi. Le nuove condizioni di isolamento della copertura rendono le unità dell'ultimo piano tanto performanti da essere caratterizzate da consumi confrontabili con quelli dei piani sottostanti, addirittura più bassi rispetto al primo piano.

L'esposizione influisce sia sui consumi di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento che per il raffrescamento: le unità esposte ad ovest (U1 e U2) mostrano consumi per il riscaldamento più elevati di quelle analoghe esposte ad est (U4 e U3), e viceversa accade per il raffrescamento.

I consumi di energia primaria non rinnovabile associati alla produzione di acqua calda sanitaria sono in tutti i piani dell'ordine di 3 kWh/m²anno, con valori più bassi in copertura grazie al maggiore contributo degli impianti fotovoltaici.

Il raggiungimento dello standard nZEB implica contemporaneamente la verifica dei parametri energetici secondo quanto previsto dal Decreto Requisiti Minimi, ma anche l'impiego di fonti rinnovabili in conformità con il DM n° 28 del 2011. La Tabella 46 riporta i consumi di energia primaria, rinnovabile e non rinnovabile, per tutti i servizi: si osservi che la copertura totale dei fabbisogni energetici tramite fonti rinnovabili ammonta al 72.5%, ben superiore al minimo di legge del 50%.

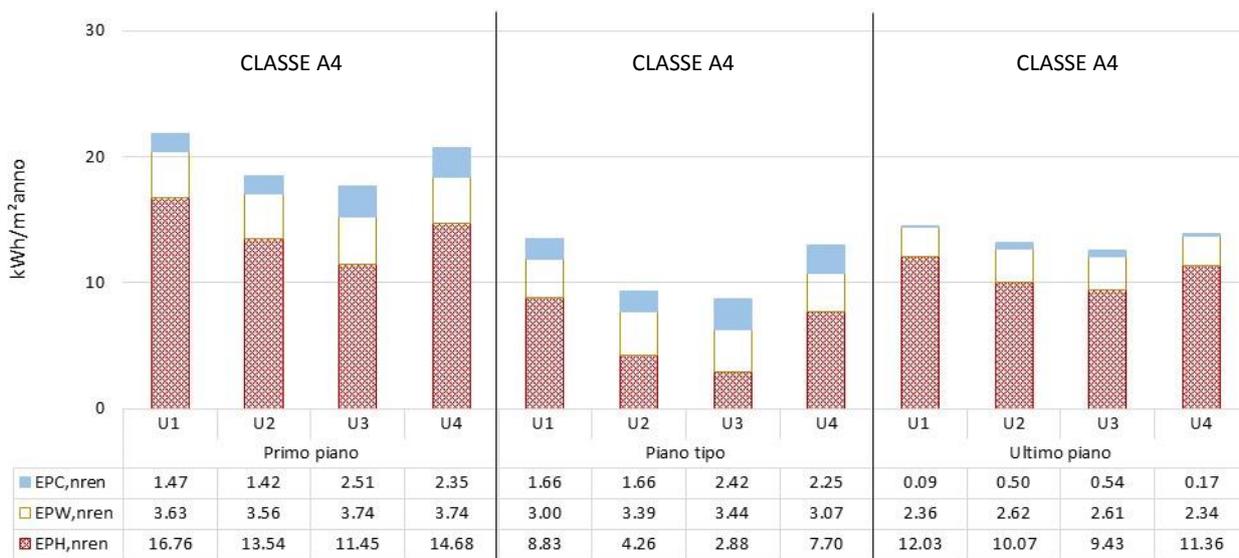


Figura 72. Fabbisogni specifici di energia primaria non rinnovabile

SERVIZIO	Rinnovabile [kWh]	Non Rinnovabile [kWh]	TOTALE [kWh]	% rinnovabile
Riscaldamento (R)	22772	13140	35912	63.4%
Acqua calda sanitaria (W)	28159	5919	34078	82.6%
Raffrescamento (C)	7777	3243	11020	70.5%
TOTALE Servizi	58707	22303	81010	72.5%

Tabella 46. Consumi totali di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile

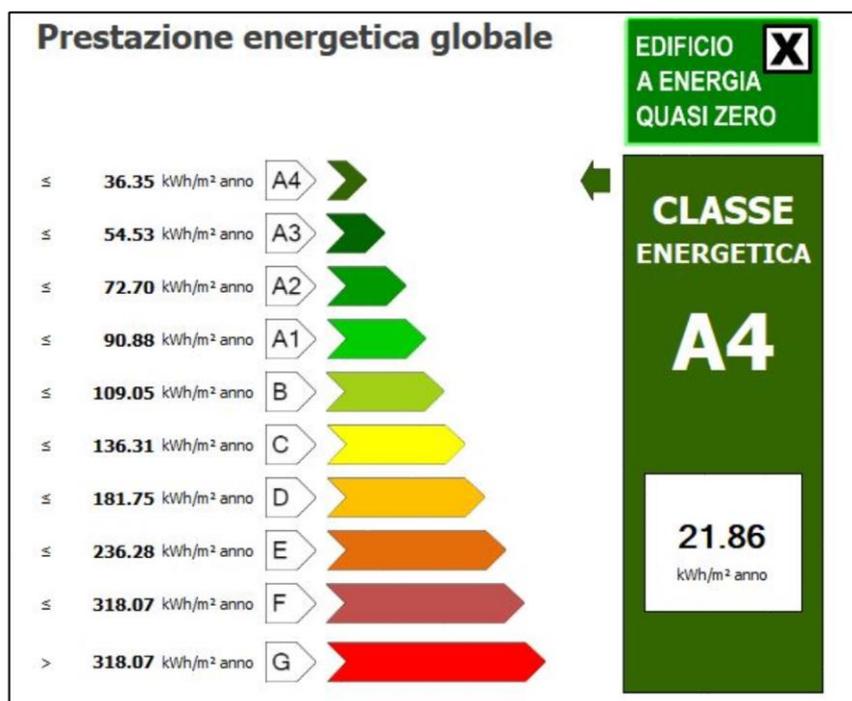


Figura 73. Classe energetica – appartamento U1 del primo piano

5.5.2 Fabbisogno di energia utile dell'edificio ristrutturato

I risultati in termini di fabbisogno di energia termica utile sono riportati in Tabella 47. La Figura 74 riporta invece i fabbisogni energetici per il riscaldamento, il raffrescamento e la produzione di acqua calda sanitaria di tutti gli alloggi dell'edificio espressi in kWh/(m² anno), che ricalcano l'andamento già analizzato per i consumi di energia primaria non rinnovabile (Figura 72). La ristrutturazione dell'edificio determina una forte riduzione dei fabbisogni di energia utile rispetto all'edificio esistente (- 53.6%).

Dal confronto tra le unità abitative emerge come le unità più grandi del piano tipo abbiano fabbisogni di energia utile per il riscaldamento molto bassi: 4.8 kWh/m² in U3, cioè il 24% e il 26% della stessa unità del primo piano e dell'ultimo piano. Così come per i consumi di energia primaria, anche il fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento raggiunge i massimi al primo piano a conferma delle ottime prestazioni della nuova copertura isolata. Il fabbisogno di energia utile per il servizio di produzione di acqua calda sanitaria non ha subito variazioni a seguito dell'intervento, in quanto associato esclusivamente alla superficie delle unità.

Il fabbisogno di energia utile per il raffrescamento è sempre più basso di quello per il riscaldamento, a meno dell'unità U4 dell'ultimo piano e delle unità più grandi del piano tipo.

Infine, le prestazioni attribuite dal software Blumatica Energy all'involucro edilizio sono classificate come "alte" in tutte le unità abitative (Figura 75).

	kWh/anno (edificio esistente)	kWh/anno (edificio ristrutturato)	Riduzione (%)
Primo piano	20112	14073	30.0%
Piani intermedi	122000	54357	55.4%
Ultimo piano	35942	14120	60.7%
Totale	178054	82550	53.6%

Tabella 47. Fabbisogni di energia utile pre- e post-intervento

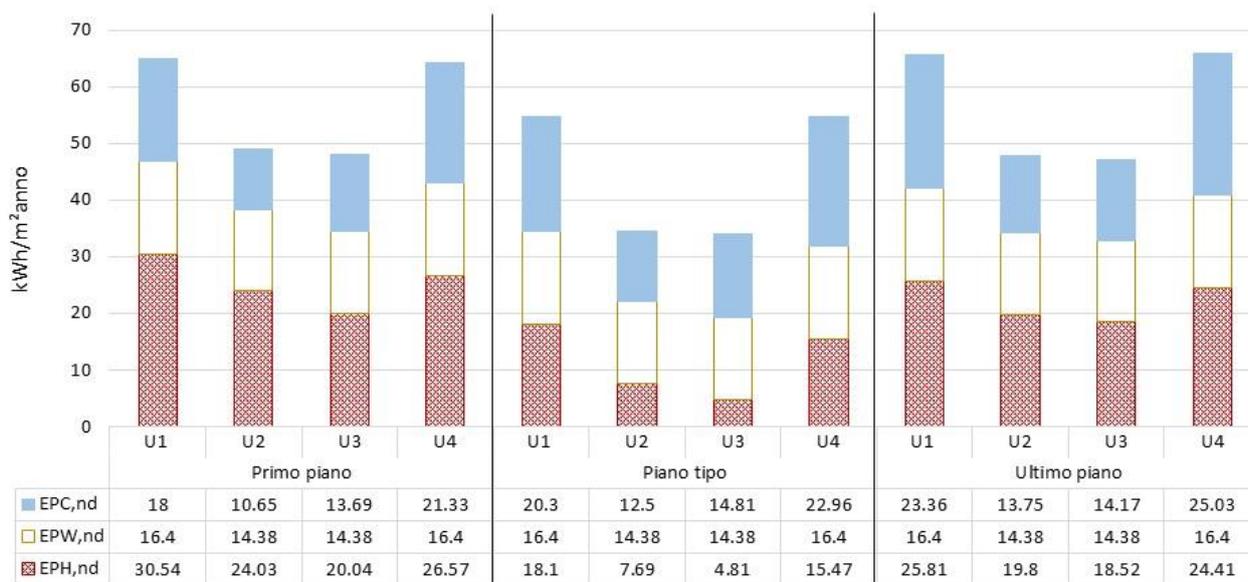


Figura 74. Fabbisogni specifici di energia utile



Figura 75. Qualità dell'involucro ristrutturato

6 Valutazioni economiche

6.1 Gli incentivi secondo il Decreto 16 febbraio 2016 (Conto Termico)

L'emanazione del DM 16/02/2016, noto come Conto Termico 2.0, mira al raggiungimento degli obiettivi specifici previsti dai Piani di azione per le energie rinnovabili, ed aggiorna gli incentivi per gli interventi di efficientamento energetico degli edifici già previsti dal precedente DM 28/12/2012 (Conto Termico).

Tali incentivi vengono concessi in relazione ad una vasta casistica di interventi di riqualificazione energetica degli immobili esistenti, appartenenti a privati o pubbliche amministrazioni, in grado di rispettare specifici livelli di prestazione. Tra gli interventi individuati si annoverano anche gli interventi di ristrutturazione importante o riqualificazione tali da trasformare gli edifici esistenti in *edifici a energia quasi zero* (nZEB), come riportato all'articolo 4 del suddetto decreto (Figura 76 e Figura 77).

Art. 4

(Tipologie di interventi incentivabili)

1. Sono incentivabili, alle condizioni e secondo le modalità di cui agli Allegati I e II, ivi comprese le spese ammissibili di cui all'articolo 5, i seguenti interventi di incremento dell'efficienza energetica in edifici esistenti, parti di edifici esistenti o unità immobiliari esistenti di qualsiasi categoria catastale, dotati di impianto di climatizzazione:
 - a) isolamento termico di superfici opache delimitanti il volume climatizzato;
 - b) sostituzione di chiusure trasparenti comprensive di infissi delimitanti il volume climatizzato;
 - c) sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti di climatizzazione invernale utilizzanti generatori di calore a condensazione;
 - d) installazione di sistemi di schermatura e/o ombreggiamento di chiusure trasparenti con esposizione da Est-sud-est a Ovest, fissi o mobili, non trasportabili;
 - e) trasformazione degli edifici esistenti in "edifici a energia quasi zero";

Figura 76. Tipologie di intervento incentivabili (Art. 4 del DM 16/02/2016)

Tabella A – Soggetti ammessi e durata dell'incentivo in anni in base alla tipologia di intervento

Codice intervento	Tipologia di intervento	Soggetti ammessi	Durata dell'incentivo (anni)
1.A	Isolamento termico di superfici opache delimitanti il volume climatizzato	Amministrazioni pubbliche	5
1.B	Sostituzione di chiusure trasparenti comprensive di infissi delimitanti il volume climatizzato	Amministrazioni pubbliche	5
1.C	Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con generatori di calore a condensazione	Amministrazioni pubbliche	5
1.D	Installazione di sistemi di schermatura e/o ombreggiamento di chiusure trasparenti con esposizione da ESE a O, fissi o mobili, non trasportabili	Amministrazioni pubbliche	5
1.E	Trasformazione "edifici a energia quasi zero"	Amministrazioni pubbliche	5
1.F	Sostituzione di sistemi per l'illuminazione di interni e delle pertinenze esterne esistenti con sistemi di illuminazione efficienti	Amministrazioni pubbliche	5
1.G	Installazione di tecnologie di gestione e controllo automatico (<i>building automation</i>) degli impianti termici ed elettrici ivi inclusa l'installazione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore	Amministrazioni pubbliche	5

Figura 77. Soggetti ammessi e durata dell'incentivo

	ii. Installazione di generatore di calore a condensazione con $P_{n, int} > 35$ kWt	40 (**)	130 €/kWt	40.000
Articolo 4, comma 1, lettera d)	Installazione di sistemi di schermatura e/o ombreggiamento fissi, anche integrati, o mobili	40	150 €/m ²	30.000
	Installazione di meccanismi automatici di regolazione e controllo delle schermature	40	30 €/m ²	5.000
Articolo 4, comma 1, lettera e)	i. Trasformazione degli edifici esistenti in "edifici a energia quasi zero NZEB" – zona climatica A, B, C	65	500 €/m ²	1.500.000
	ii. Trasformazione degli edifici esistenti in "edifici a energia quasi zero NZEB" – zona climatica D, E, F	65	575 €/m ²	1.750.000
Articolo 4, comma 1, lettera f)	i. Sostituzione di corpi illuminanti comprensivi di lampade per l'illuminazione degli interni e delle pertinenze esterne - installazione di lampade ad alta efficienza	40	15 €/m ²	30.000
	ii. Sostituzione di corpi illuminanti comprensivi di lampade per l'illuminazione degli interni e delle pertinenze esterne - installazione di lampade a led	40	35 €/m ²	70.000
Articolo 4, comma 1, lettera g)	Installazione di tecnologie di <i>building automation</i>	40	25 €/m ²	50.000

Figura 78. Conto Termico 2.0: modalità di calcolo dell'incentivo

Nel caso di trasformazione in *edificio a energia quasi zero*, l'incentivo ottenibile è pari al 65% delle spese sostenute ammissibili, come mostrato in Figura 78, ma può essere concesso solo in relazione ad un costo massimo unitario e ad un massimale di incentivo, secondo la relazione:

$$I_{tot} = \%_{spesa} \cdot (C \cdot S_{ed})$$

In cui:

- I_{tot} = incentivo totale cumulato per l'intera durata, che verrà ripartito e corrisposto in 5 rate annuali costanti (€);
- $\%_{spesa}$ = percentuale incentivata della spesa totale sostenuta per l'intervento;
- S_{ed} = superficie utile calpestabile dell'edificio soggetta ad intervento (m²);
- C = costo specifico sostenuto (€/m²);

Il costo specifico sostenuto, pari al rapporto tra la spesa sostenuta e la superficie utile dell'edificio, non può comunque essere superiore a $C_{max} = 500$ €/m² per edifici in zona climatica B (Figura 78). Nel caso in cui $C > C_{max}$, il calcolo dell'incentivo totale (I_{tot}) viene effettuato assumendo $C = C_{max}$. Infine, l'incentivo totale non potrà superare la soglia massima di 1.500.000 € per edifici in zona climatica B (Figura 78).

L'intervento di ristrutturazione importante di primo livello descritto ed analizzato nel Capitolo 5 ricade evidentemente tra gli interventi incentivabili; nel capitolo seguente si procederà dunque alla valutazione dei costi totali da sostenere.

6.2 I costi per la ristrutturazione importante di primo livello

Al fine di individuare i costi complessivi degli interventi di ristrutturazione di primo livello previsti per l'edificio oggetto di indagine si è scelto di fare riferimento al listino prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni del comune di Milano, edizioni 2017 e 2018. Tale scelta è stata dettata innanzitutto dall'esigenza di rendere attendibili e comparabili le voci di costo su base nazionale, ma anche dalla scarsa casistica riscontrata nel prezzario Regionale della Sicilia, peraltro aggiornato al 2013, che contiene voci non perfettamente attinenti al caso studio.

Il listino (2017) è liberamente consultabile sul sito del comune di Milano e si divide in due volumi: il Volume 1.1 è riservato a "Opere compiute civili ed urbanizzazioni", il Volume 1.2 a "Opere compiute – impianti elettrici e meccanici" (Figura 79). Inoltre è stato consultato il volume 2.1 dell'edizione del 2018, che si riferisce a "Costi unitari e piccola manutenzione civili e urbanizzazioni". I costi dei materiali riportati nel listino prezzi derivano dai listini dei produttori tenendo in debito conto gli sconti medi praticabili alle imprese esecutrici, i costi della manodopera dalle pubblicazioni ufficiali ed in particolare dal Bollettino della Camera di Commercio della Provincia di Milano Volume n. 2 – quadrimestre maggio/agosto 2016, ed i costi dei noli sulla base di informazioni del mercato.

Per le voci assenti all'interno del prezzario si è fatto invece riferimento ai listini prezzi delle aziende produttrici, incrementandoli opportunamente per tenere conto dei costi degli accessori e del costo della manodopera. Nei paragrafi successivi si riportano i prezzi unitari relativi alle lavorazioni individuate, comprensivi degli oneri per la sicurezza e degli utili di impresa.



Figura 79. Frontespizio del Listino Prezzi del Comune di Milano

6.2.1 Opere di ristrutturazione importante: involucro edilizio

Il rispetto dei requisiti del DM 26/06/2015 e l'accesso agli incentivi del Conto Termico sono stati conseguiti tramite lavori di ristrutturazione dell'involucro edilizio, tra cui l'isolamento delle chiusure verticali e delle chiusure orizzontali e la sostituzione dei serramenti. Inoltre, sono stati proposti degli interventi di riqualificazione impiantistica, tra cui la sostituzione degli attuali climatizzatori con un sistema centralizzato basato su pompa di calore aria-acqua ad alta efficienza e l'installazione di un impianto fotovoltaico da 19 kW di picco, con moduli in silicio monocristallino.

Con riferimento a tali interventi, si riporta nel presente paragrafo l'elenco delle opere da effettuare sull'involucro ed i relativi costi; nel paragrafo seguente ci si concentrerà invece sugli impianti. Nelle tabelle seguenti le voci di computo sono state abbreviate per ragioni di spazio: le voci complete possono essere consultate direttamente sul prezzario del Comune di Milano, utilizzando i relativi codici, e sono comunque riportate nell'Allegato III. Il prezzo unitario dei pannelli isolanti in fibra di legno è stato ricavato dal listino prezzi della casa produttrice, maggiorato per tenere conto del costo degli accessori (adesivo e tasselli per il fissaggio) e del costo della manodopera, calcolata al 40% del prezzo unitario.

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
CHIUSURA ORIZZONTALE INTERMEDIA						
1	Fornitura e posa in opera di isolamento termico in pannelli in fibra di legno (spessore 3 cm)	m ²	LISTINO AZIENDA	1.834	3,22 €	5.905,48 €
2	Fornitura e posa in opera di controsoffitto in lastre di gesso	m ²	1C.20.050.0050	1.834	37,99 €	69.673,66 €
TOTALE CHIUSURA ORIZZONTALE INTERMEDIA						75.579,14 €

Tabella 48. Opere di ristrutturazione - chiusura orizzontale intermedia

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
CHIUSURA VERTICALE ESTERNA						
1	Fornitura e posa di isolamento termico con sistema a cappotto realizzato in pannelli in fibra di legno di spessore 10 cm	m ²	LISTINO AZIENDA	1.923,16	38,22 €	73.497,79 €
2	Fornitura e posa di intonaco civile per esterni su superfici verticali	m ²	1C.07.270.0010	1.923,16	25,30 €	48.655,95 €
3	Nolo di ponteggio metallico multidirezionale	m ²	NC.10.350.0015.b	2.246,80	13,37 €	30.039,72 €
TOTALE CHIUSURA VERTICALE						152.193,45 €

Tabella 49. Opere di ristrutturazione - chiusura verticale esterna

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
CHIUSURA VERTICALE INTERMEDIA (tra unità)						
1	Fornitura e posa di isolamento termico con sistema a cappotto realizzato in pannelli in fibra di legno di spessore 2 cm	m ²	LISTINO AZIENDA	493,92	7,73 €	3.815,63 €
2	Fornitura e posa di controparete in lastre di gesso	m ²	1C.06.550.0350	493,92	36,48 €	18.018,20 €
TOTALE CHIUSURA VERTICALE INTERMEDIA (tra unità)						21.833,83 €

Tabella 50. Opere di ristrutturazione - chiusura verticale intermedia (tra unità)

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
CHIUSURA VERTICALE INTERMEDIA (verso ambiente non climatizzato)						
1	Fornitura e posa di isolamento termico con sistema a cappotto realizzato in pannelli in fibra di legno di spessore 4 cm	m ²	LISTINO AZIENDA	476,01	10,74 €	5.110,06 €
2	Fornitura e posa di controparete in lastre di gesso	m ²	1C.06.550.0350	476,01	36,48 €	17.364,84 €
TOTALE CHIUSURA VERTICALE INTERMEDIA (verso ambiente non climatizzato)						22.474,91 €

Tabella 51. Opere di ristrutturazione - chiusura verticale intermedia (verso ambiente non climatizzato)

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
CHIUSURA ORIZZONTALE DI COPERTURA						
1	Demolizione di pavimenti esterni con relativa malta di allettamento	m ²	1C.01.110.0030.a	343,34	6,77 €	2.324,41 €
2	Demolizione di massetto in conglomerato cementizio	m ²	1C.01.110.0100.a	343,34	6,97 €	2.393,08 €
3	Conferimento a discarica autorizzata per lo smaltimento dei rifiuti	t	1C.27.050.0100.a	48,07	11,67 €	560,95 €
4	Fornitura e posa in opera di isolamento termico di coperture piane pedonabili, realizzato con lastre di polistirene estruso spessore 5 cm	m ²	1C.10.100.0030.a	343,34	12,51 €	4.295,18 €
5	Fornitura e posa in opera di manto impermeabile	m ²	1C.08.450.0010.c	343,34	2,44 €	837,75 €
6	Realizzazione di massetto in calcestruzzo per formazione di pendenze	m ²	1C.08.050.0050	343,34	16,15 €	5.544,94 €
7	Fornitura e posa in opera di pavimento in piastrelle di cemento con strato di finitura	m ²	1C.16.200.0010.a	343,34	28,91 €	9.925,96 €
TOTALE SOLAIO DI COPERTURA						25.882,27 €

Tabella 52. Opere di ristrutturazione - chiusura orizzontale di copertura

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
SERRAMENTI						
1	Rimozione di serramenti interni ed esterni in ferro	m ²	1C.01.150.0010.b	288,8	13,62 €	3.933,46 €
2	Rimozione di serramenti interni ed esterni in legno	m ²	1C.01.140.0010.b	61,6	13,86 €	853,78 €
3	Rimozione di avvolgibili	m ²	1C.01.140.0040.b	106,7	8,03 €	856,80 €
4	Fornitura e posa in opera di avvolgibili in legno	m ²	1C.21.150.0010.a	106,7	103,46 €	11.039,18 €
5	Fornitura e posa in opera di infissi in PVC (finestra ad anta singola)	m ²	1C.21.100.0010.a	10,08	248,75 €	2.507,40 €
6	Fornitura e posa in opera di infissi in PVC (finestra a doppia anta)	m ²	1C.21.100.0010.b	155,52	166,21 €	25.848,98 €
7	Fornitura e posa in opera di infissi in PVC (portafinestra a doppia anta)	m ²	1C.21.100.0010.d	123,2	139,21 €	17.150,67 €
8	Fornitura e posa in opera di portoni di ingresso	cad	1C.21.200.0060.b	28	375,63 €	10.517,64 €
9	Fornitura e posa in opera di vetro basso-emissivo	m ²	1C.23.150.0010.a	244,22	20,30 €	4.957,67 €
10	Fornitura e posa in opera di vetro semplice	m ²	1C.23.170.0010.a	244,22	15,84 €	3.868,44 €
11	Assemblaggio di vetrata isolante	m ²	1C.23.190.0010.a	244,22	22,69 €	5.541,35 €
12	Riempimento dell'intercapedine con argon	m ²	1C.23.190.0020	244,22	5,28 €	1.289,48 €
13	Fornitura e posa in opera di tende alla veneziana	m ²	1C.22.400.0060.a	244,22	51,29 €	12.526,04 €
TOTALE SERRAMENTI						100.890,89 €

Tabella 53. Opere di ristrutturazione - serramenti

	Importo
Totale chiusura orizzontale intermedia	75.579,14 €
Totale chiusura verticale esterna	152.193,45 €
Totale chiusura verticale intermedia (tra unità)	21.833,83 €
Totale chiusura verticale intermedia (verso ambiente non climatizzato)	22.474,91 €
Totale chiusura orizzontale di copertura	25.882,27 €
Totale serramenti	100.890,89 €
Totale INVOLUCRO EDILIZIO	398.854,50 €

Tabella 54. Riepilogo costi per involucro edilizio

6.2.2 Opere di ristrutturazione importante: gli impianti tecnici

Per quanto concerne gli interventi di riqualificazione degli impianti tecnici, si prevede lo smontaggio dell'attuale sistema di climatizzazione costituito da unità multi-split, quando presente, e dello scaldabagno elettrico o della caldaia a gas per la produzione di acqua calda sanitaria.

La riqualificazione comprende quindi l'inserimento di un nuovo sistema di climatizzazione centralizzato con una pompa di calore aria-acqua di potenza nominale 86.4 kW in riscaldamento, finalizzata contemporaneamente alla climatizzazione e alla produzione di acqua calda sanitaria. Il computo contempla ovviamente tutti i ventilconvettori, le tubazioni, le pompe di circolazione, i serbatoio, i pezzi speciali e gli accessori necessari per realizzare l'impianto, nonché il trasporto e la messa in opera. I dettagli sono riportati nell'Allegato II

E' stato infine computata l'installazione di un impianto fotovoltaico con moduli in silicio monocristallino da 18.9 kW, da posizionare su cinque apposite pensiline fotovoltaiche da 5 x 5 m² ciascuna.

		U.M	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE E ACS						
1	Fornitura e posa in opera di impianto di climatizzazione e produzione acqua calda sanitaria, compreso lo smontaggio e la dismissione di impianti esistenti	corpo	-	1	138.600,00€	138.600,00 €
TOTALE CLIMATIZZAZIONE						138.600,00 €

Tabella 55. Opere di ristrutturazione - impianto di climatizzazione

		U.M	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
IMPIANTO FOTOVOLTAICO						
1	Fornitura e posa di impianto fotovoltaico costituito da modulo fotovoltaici a struttura rigida in silicio monocristallino, inverter bidirezionale, quadro di parallelo inverter, oneri relativi a tutte le pratiche documentali e fiscali necessarie, domanda di connessione presso gestore energia elettrica. Con potenza complessiva per singolo impianto da 7 kWp fino a 20 kWp	kWp	1E.17.010.0010.b	18,9	2.760,60 €	52.175,34 €
2	Fornitura e posa in opera di pensilina metallica per il fissaggio dei moduli fotovoltaici	corpo	LISTINO AZIENDA	1	25.000 €	25.000 €
TOTALE FOTOVOLTAICO						77.175,34 €

Tabella 56. Opere di ristrutturazione - impianto fotovoltaico

	Importo
Totale CLIMATIZZAZIONE	138.600,00 €
Totale FOTOVOLTAICO	77.175,34 €
Totale IMPIANTI TECNICI	215.775,34 €

Tabella 57. Riepilogo costi degli impianti tecnici

6.2.3 Riepilogo dei Costi - costi amministrativi e IVA

Alla luce delle valutazioni di cui ai paragrafi precedenti, il costo totale degli interventi, ottenuto sommando le spese relative all'involucro e quelle relative agli impianti, ammonta a **614.629,84 €**.

A questa cifra è necessario però aggiungere i costi amministrativi (progettazione e direzione lavori, responsabile unico del procedimento, commissione di appalto e collaudo), nonché l'IVA, che per lavori di ristrutturazione deve essere conteggiata al 10%; in Tabella 58 si riportano i dettagli del calcolo. In conclusione, il totale del computo lavori ammonta dunque a **770.745,82 €**.

	U.M.	Quantità	Importo
		Importo lavori	614.629,84 €
Per Progettazione e direzione dei lavori	Corpo	8%	49.170,39 €
Per Responsabile Unico del Procedimento	Corpo	2%	12.292,60 €
Per Commissione di Appalto e di collaudo	Corpo	4%	24.585,19 €
		Totale parziale	700.678,02 €
Per IVA agevolata	Corpo	10%	70.067,80 €
		TOTALE COMPUTO	770.745,82 €

Tabella 58. Costi amministrativi, imprevisti ed IVA

RIEPILOGO	
Chiusura orizzontale intermedia	75.579,14 €
Chiusura verticale esterna	152.193,45 €
Chiusura verticale intermedia (tra unità)	21.833,83 €
Chiusura verticale intermedia (verso ambiente non climatizzato)	22.474,91 €
Chiusura orizzontale di copertura	25.882,27 €
Serramenti	100.890,89 €
Totale INVOLUCRO EDILIZIO	398.854,50 €
Impianto di fotovoltaico	77.175,34 €
Impianti di climatizzazione	138.600,00 €
Totale IMPIANTI	215.775,34 €
COSTI AMMINISTRATIVI	86.048,18 €
IVA	70.067,80 €
TOTALE INTERVENTO	770.745,82 €

Tabella 59. Riepilogo costi totali interventi

6.2.4 Calcolo degli incentivi ottenibili

Come precedentemente discusso, l'incentivo totale per gli interventi di ristrutturazione o riqualificazione, tali da trasformare gli edifici esistenti in *edifici a energia quasi zero*, è pari al 65% delle spese sostenute ammissibili, con un costo specifico massimo incentivabile $C_{max} = 500 \text{ €/m}^2$. Nel caso in esame, il costo sostenuto per unità di superficie calpestabile sarebbe $C = 420.02 \text{ €/m}^2$.

Tale preventivo è basato su prezzi di listino delle aziende e su dati del prezzo del Comune di Milano. Sembra però opportuno introdurre un ribasso su questi prezzi, come consueto nell'aggiudicazione di appalti pubblici. Applicando un ribasso del 30%, il costo totale degli interventi ammonterebbe dunque a **539.522,08 €**, per un costo unitario $C = 294.02 \text{ €/m}^2$. Poiché $C < C_{max}$, gli incentivi erogabili sono:

$$I_{tot} = \%_{spesa} \cdot (C \cdot S_{ed}) = 0.65 \cdot (294.17 \cdot 1834) = 350.689,35 \text{ €}$$

Tale incentivo sarà corrisposto in cinque rate annue dell'ammontare di **70.137,87 €/anno**.

6.3 Analisi costi-benefici

Una volta quantificati i costi iniziali da sostenere per l'intervento di ristrutturazione importante di primo livello, e l'ammontare degli incentivi ottenibili grazie al DM 16/02/2016 (Conto Termico), ai fini di una analisi costi-benefici è necessario in primo luogo determinare gli utili derivanti dall'intervento. Tali utili consisteranno in buona parte, per i primi cinque anni, nella quota annuale degli incentivi derivanti dal Conto Termico. Inoltre, si dovrà tener conto del risparmio in bolletta generato dalle migliori prestazioni dell'edificio e degli impianti a suo servizio.

A tal proposito, e con riferimento all'edificio già ristrutturato, i consumi elettrici stimati per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria sono già stati descritti e commentati nel paragrafo 5.2.2. Tali valori, riportati in Tabella 60, corrispondono ad una media tra valori estremi che dipendono dalle effettive modalità di utilizzo degli impianti da parte dei residenti. Non si considerano in questa fase i consumi associati all'illuminazione e alle apparecchiature elettriche: essi infatti non sono oggetto di questa ricerca e, non essendo state introdotte delle strategie per il loro contenimento, rimarranno invariati anche in seguito alla ristrutturazione. Questo approccio è giustificato dal fatto che, ai fini della definizione dell'edificio a zero energia, le norme UNI 11300 non contemplano il conteggio di questi contributi per edifici residenziali.

Per quanto riguarda lo stato di fatto, i consumi risultano particolarmente variegati, come già osservato al paragrafo 2.5. Guardando alla produzione di ACS, dalle indagini sull'esistente si è riscontrato che 4 utenze adottano caldaie a GPL, con un consumo medio ad appartamento di 6 bombole da 15 kg/anno al costo di 25 € a bombola. Le restanti 24 unità utilizzano boiler elettrici, per i quali si è stimato un consumo elettrico di circa 320 kWh/anno pro-capite, da moltiplicare per 24 appartamenti e per un numero medio di 3 residenti ad appartamento. La stima della bolletta attuale per l'ACS ammonta dunque a:

$$\text{Bolletta attuale per ACS: } 25 \times (6 \times 4) + 0.25 \times (320 \times 3 \times 24) \approx 6350 \text{ €/anno}$$

Considerando invece i costi per la climatizzazione nello stato di fatto, si è verificato che il 30% circa degli appartamenti non è dotato di impianti di climatizzazione, e si affida a stufe portatili a gas il cui profilo d'uso è del tutto imprevedibile. L'assenza di impianti di climatizzazione non può essere ritenuta uno scenario credibile da cui avviare un confronto con l'edificio ristrutturato: per poter valutare i risparmi in bolletta conseguenti alla ristrutturazione è fondamentale ragionare a parità di servizio fornito all'utenza, e quindi a parità di comfort termico garantito ai residenti.

Per questo motivo, e al solo fine di consentire una stima dei risparmi potenziali conseguibili tramite la ristrutturazione, si è quindi stabilito di operare ipotizzando che, nello stato di fatto, si abbiano consumi pari a quelli di un impianto di climatizzazione di tipologia analoga allo stato di progetto, con lo stesso numero di terminali per appartamento ed utilizzato con le stesse modalità di fruizione (ore di accensione). Poiché però dai calcoli energetici si è riscontrata, a seguito della ristrutturazione dell'involucro, una riduzione di circa il 54% del fabbisogno di energia utile dell'edificio (Tabella 47), è possibile ipotizzare un risparmio potenziale sulla voce "Climatizzazione" di circa il 60%. A partire da questa ipotesi è possibile stimare la bolletta energetica rappresentativa dello stato di fatto per la voce "Climatizzazione".

$$\text{Bolletta attuale per climatizzazione: } 4875 / (1 - 0.60) \approx 12200 \text{ €/anno}$$

Servizio	Stato di fatto (€/anno)	Post-ristrutturazione		Risparmio %
		(kWh/anno)	(€/anno)	
CLIMATIZZAZIONE	12200	19500	4875	60%
ACQUA CALDA SANITARIA	6350	8500	2125	67%
TOTALE	18550	28000	7000	62.3%

Tabella 60. Stima dei risparmi sulla bolletta per i servizi di climatizzazione ed ACS

I dati di Tabella 60 suggeriscono un risparmio potenziale di circa **11500 €/anno**. In realtà bisogna tener conto della presenza dell'impianto fotovoltaico, che consente di abbattere ulteriormente i costi in bolletta. L'aliquota di energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico ed autoconsumata dall'utenza permette infatti di ridurre il prelievo di energia elettrica dalla rete. Non è facile stimare con esattezza l'ammontare di tale aliquota, che dipende dai profili orari dei carichi elettrici e da come questi si accordano con i profili orari di produzione da parte dell'impianto. Facendo ricorso a dati di letteratura, si è deciso di assumere in prima battuta una percentuale di autoconsumo del 40%, verosimile per edifici residenziali; tale percentuale può aumentare nel caso in cui si faccia utilizzo di sistemi intelligenti per la gestione dei carichi elettrici. In ogni caso, l'aliquota di energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico ma non autoconsumata verrà immessa in rete, e l'utenza potrà usufruire di un rimborso secondo il meccanismo dello scambio sul posto.

Effettuate queste premesse, si procederà nel seguito a valutare alcuni indicatori caratteristici dell'analisi costi-benefici, in grado di descrivere la *fattibilità economica* dell'investimento proposto. In particolare:

- **VAN (n)**: è la differenza tra la somma dei flussi di cassa positivi (FC) generati dall'investimento nell'arco di n anni, attualizzati all'anno zero tramite il tasso di interesse reale r , e l'ammontare dell'investimento iniziale (I_0):

$$VAN(n) = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+r)^j} - I_0$$

Si ricorda a tal proposito che il tasso di interesse reale r può determinarsi, a partire dalla conoscenza del tasso di interesse nominale i e del tasso di inflazione p , come $r = (1+i)/(1+p) - 1$.

- **Tempo di Ritorno Attualizzato (TRA)**: è il numero di anni che devono trascorrere affinché il VAN dell'investimento si annulli.
- **Indice di profitto (IP)**: è il rapporto tra il VAN dell'investimento, misurato al termine della vita utile delle tecnologie installate, e l'investimento iniziale sostenuto.

In Figura 80 si riporta il foglio di calcolo costruito ai fini dell'analisi costi-benefici, mentre il grafico di Figura 81 rappresenta l'andamento del flusso di cassa attualizzato lungo la vita utile dell'investimento. Ai fini del calcolo sono state effettuate le seguenti ipotesi (il tasso di inflazione approssima il valor medio rilevato in Italia a partire dal 2010):

- **Tasso di interesse nominale:** $i = 3\%$
- **Tasso di inflazione:** $p = 1\%$
- **Vita utile delle tecnologie:** 30 anni
- **Aumento del costo dell'energia elettrica:** 3% l'anno

I principali risultati ottenuti con riferimento all'intervento di ristrutturazione sono di seguito riportati:

Tempo di Ritorno Attualizzato (TRA) = 14 anni

VAN (30 anni) = 272 795 €

Indice di profitto (IP) = 0.506

Alla luce di questi risultati è possibile affermare che l'intervento di ristrutturazione proposto, in grado di rendere l'edificio in esame un *edificio a energia quasi zero* (nZEB) e di conseguire notevoli risparmi sulla bolletta elettrica, è moderatamente conveniente dal punto di vista economico.

Nonostante la presenza di forti incentivi, concessi dal Conto Termico, l'investimento viene infatti recuperato solo dopo 14 anni. L'indice di profitto è $IP = 0.506$: ciò significa che 1000 € di investimento genererebbero, dopo 30 anni, un profitto di circa 500 €.

CONSUMI ELETTRICI - post ristrutturazione				Sup totale [m ²]	Risultati salienti						
Climatizzazione	19500	(kWh/anno)		1835	VAN (30 anni) : € 272,794.91 (€)						
ACS	8500	(kWh/anno)			Tempo ritorno attualizzato: 14 (anni)						
Illuminazione	-	(kWh/anno)			Indice di profitto: 0.506 (-)						
Apparecchiature	-	(kWh/anno)									
Totale	28000	(kWh/anno)									
Ribasso su listino o prezzario: 30%					Energia prodotta dal fotovoltaico (iniziale): 28200 (kWh/anno)						
Costo installazione climatizzazione : € 97,020.00					Percentuale autoconsumo fotovoltaico: 40%						
Costo installazione moduli PV : € 54,022.74					Decremento annuo della producibilità: 0.5%						
Costo totale ristrutturazione (scontato): € 539,522.08				ovvero (in €/m ²): 294.02	Tariffa elettrica di base: 0.25 (€/kWh)						
Incentivo Conto Termico : € 350,689.35					Aumento annuo costo elettricità: 3%						
Tasso di interesse nominale (i): 3.00%					Prezzo medio di scambio sul posto: 0.14 (€/kWh)						
Tasso di inflazione (p): 1.00%					Costo annuo di manutenzione (fotovoltaico): 1%						
Tasso di interesse reale (r): 1.98%				→ $r = \frac{1+i}{1+p} - 1$	Costo annuo di manutenzione (climatizzazione): 2%						
					Costo annuo ATTUALE della bolletta - ACS: € 6,350.00 (€/anno)						
					Costo annuo ATTUALE della bolletta - CLIMA: € 12,187.50 (€/anno)						
Anni	(a) Consumi elettrici (kWh/anno)	(b) Produzione PV (kWh/anno)	(c) Autoconsumo PV (kWh/anno)	(d) Prelievo dalla rete (kWh/anno)	(e) Immissione in rete (kWh/anno)	(f) Rimborso SSP (€/anno)	(g) Costo bolletta (€/anno)	(h) Incentivo (€/anno)	(i) Ricavo (€/anno)	(j) Manutenzione (€/anno)	(k) VAN (€)
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-€ 539,522.08
1	28000.0	28059.0	11223.6	16776.4	16835.4	€ 2,353.42	€ 4,319.92	€ 70,137.87	€ 17,127.12	€ 2,505.43	-€ 456,408.34
2	28000.0	27918.0	11167.2	16832.8	16750.8	€ 2,345.11	€ 4,464.48	€ 70,137.87	€ 17,547.07	€ 2,530.49	-€ 374,528.75
3	28000.0	27777.0	11110.8	16889.2	16666.2	€ 2,333.27	€ 4,613.82	€ 70,137.87	€ 17,975.87	€ 2,555.79	-€ 293,858.61
4	28000.0	27636.0	11054.4	16945.6	16581.6	€ 2,321.42	€ 4,768.11	€ 70,137.87	€ 18,417.44	€ 2,581.35	-€ 214,370.25
5	28000.0	27495.0	10998.0	17002.0	16497.0	€ 2,309.58	€ 4,927.49	€ 70,137.87	€ 18,872.13	€ 2,607.16	-€ 136,036.54
6	28000.0	27354.0	10941.6	17058.4	16412.4	€ 2,297.74	€ 5,092.16	€ -	€ 19,340.33	€ 2,633.24	-€ 121,183.83
7	28000.0	27213.0	10885.2	17114.8	16327.8	€ 2,285.89	€ 5,262.26	€ -	€ 19,822.42	€ 2,659.57	-€ 106,222.22
8	28000.0	27072.0	10828.8	17171.2	16243.2	€ 2,274.05	€ 5,437.99	€ -	€ 20,318.81	€ 2,686.16	-€ 91,149.53
9	28000.0	26931.0	10772.4	17227.6	16158.6	€ 2,262.20	€ 5,619.53	€ -	€ 20,829.91	€ 2,713.03	-€ 75,963.62
10	28000.0	26790.0	10716.0	17284.0	16074.0	€ 2,250.36	€ 5,807.06	€ -	€ 21,356.15	€ 2,740.16	-€ 60,662.34
11	28000.0	26649.0	10659.6	17340.4	15989.4	€ 2,238.52	€ 6,000.79	€ -	€ 21,897.96	€ 2,767.56	-€ 45,243.57
12	28000.0	26508.0	10603.2	17396.8	15904.8	€ 2,226.67	€ 6,200.92	€ -	€ 22,455.80	€ 2,795.23	-€ 29,705.19
13	28000.0	26367.0	10546.8	17453.2	15820.2	€ 2,214.83	€ 6,407.65	€ -	€ 23,030.12	€ 2,823.19	-€ 14,045.10
14	28000.0	26226.0	10490.4	17509.6	15735.6	€ 2,202.98	€ 6,621.21	€ -	€ 23,621.41	€ 2,851.42	€ 1,738.80
15	28000.0	26085.0	10434.0	17566.0	15651.0	€ 2,191.14	€ 6,841.81	€ -	€ 24,230.15	€ 2,879.93	€ 17,648.59
16	28000.0	25944.0	10377.6	17622.4	15566.4	€ 2,179.30	€ 7,069.69	€ -	€ 24,856.85	€ 2,908.73	€ 33,686.35
17	28000.0	25803.0	10321.2	17678.8	15481.8	€ 2,167.45	€ 7,305.09	€ -	€ 25,502.02	€ 2,937.82	€ 49,854.14
18	28000.0	25662.0	10264.8	17735.2	15397.2	€ 2,155.61	€ 7,548.25	€ -	€ 26,166.21	€ 2,967.20	€ 66,154.01
19	28000.0	25521.0	10208.4	17791.6	15312.6	€ 2,143.76	€ 7,799.42	€ -	€ 26,849.96	€ 2,996.87	€ 82,588.02
20	28000.0	25380.0	10152.0	17848.0	15228.0	€ 2,131.92	€ 8,058.87	€ -	€ 27,553.84	€ 3,026.84	€ 99,158.21
21	28000.0	25239.0	10095.6	17904.4	15143.4	€ 2,120.08	€ 8,326.86	€ -	€ 28,278.42	€ 3,057.11	€ 115,866.61
22	28000.0	25098.0	10039.2	17960.8	15058.8	€ 2,108.23	€ 8,603.69	€ -	€ 29,024.31	€ 3,087.68	€ 132,715.25
23	28000.0	24957.0	9982.8	18017.2	14974.2	€ 2,096.39	€ 8,889.63	€ -	€ 29,792.12	€ 3,118.55	€ 149,706.16
24	28000.0	24816.0	9926.4	18073.6	14889.6	€ 2,084.54	€ 9,184.98	€ -	€ 30,582.49	€ 3,149.74	€ 166,841.35
25	28000.0	24675.0	9870.0	18130.0	14805.0	€ 2,072.70	€ 9,490.05	€ -	€ 31,396.06	€ 3,181.24	€ 184,122.84
26	28000.0	24534.0	9813.6	18186.4	14720.4	€ 2,060.86	€ 9,805.16	€ -	€ 32,233.51	€ 3,213.05	€ 201,552.63
27	28000.0	24393.0	9757.2	18242.8	14635.8	€ 2,049.01	€ 10,130.63	€ -	€ 33,095.52	€ 3,245.18	€ 219,132.73
28	28000.0	24252.0	9700.8	18299.2	14551.2	€ 2,037.17	€ 10,466.81	€ -	€ 33,982.82	€ 3,277.63	€ 236,865.14
29	28000.0	24111.0	9644.4	18355.6	14466.6	€ 2,025.32	€ 10,814.04	€ -	€ 34,896.11	€ 3,310.41	€ 254,751.87
30	28000.0	23970.0	9588.0	18412.0	14382.0	€ 2,013.48	€ 11,172.69	€ -	€ 35,836.17	€ 3,343.51	€ 272,794.91

Figura 80. Calcolo degli indicatori per l'analisi costi-benefici

NOTE sul calcolo delle singole colonne:

- (a) I consumi elettrici annuali si riferiscono all'edificio ristrutturato (Tabella 60).
- (b) Alla produzione annuale di energia elettrica da fotovoltaico, stimata nel paragrafo 5.4.2, si applica un decremento annuo dello 0.5%, valore riportato in letteratura con riferimento a moduli in silicio cristallino.
- (c) L'energia autoconsumata corrisponde ad una percentuale della produzione (b) – come ipotesi di base, si assume una percentuale di autoconsumo del 40%.
- (d) Il prelievo dalla rete è pari alla differenza tra consumi dell'utenza ed energia prodotta ed autoconsumata: (d) = (a) – (c).
- (e) L'immissione in rete è pari alla differenza tra energia prodotta ed energia autoconsumata: (e) = (b) – (c). In verde si evidenziano gli anni in cui l'immissione in rete supera il prelievo, cioè in cui (e) > (d). In questo caso, limitatamente alla quota in eccedenza, si configura una vera e propria vendita di energia al gestore della rete.
- (f) La quota di rimborso ottenuta si calcola sommando il contributo per lo scambio sul posto (da applicare al minimo tra immissione e prelievo) ed il contributo per la vendita di energia (da applicare all'eventuale eccedenza di energia immessa). Per quanto riguarda le tariffe, si assume come ipotesi di base 0.14 €/kWh per lo scambio sul posto e 0.08 €/kWh per la vendita: si consideri comunque che le tariffe sono in realtà variabili in funzione dell'andamento del mercato dell'energia elettrica.
- (g) Il costo della bolletta corrisponde al prodotto tra l'energia prelevata dalla rete e la tariffa media per l'energia elettrica, assunta pari a 0.25 €/kWh. Per cui: (g) = 0.25 · (d)
- (h) L'incentivo previsto dal Conto Termico viene percepito in cinque rate annuali.
- (i) Il ricavo annuo dell'investimento si ottiene sommando il contributo per lo scambio sul posto e la vendita (f), ed i risparmi in bolletta rispetto allo stato di fatto. Il costo attuale della bolletta viene aggiornato di anno in anno tenendo conto dell'aumento del costo dell'energia (3%).
- (j) I costi annui di manutenzione si assumono in proporzione al costo di installazione degli impianti, e si riferiscono all'impianto fotovoltaico (1%) ed all'impianto di climatizzazione (2%). Ai costi di manutenzione viene applicato il tasso di inflazione, per simularne l'aumento nel tempo.
- (k) Per ogni anno, il VAN viene determinato sommando, al valore assunto nell'anno precedente, l'ammontare annuo degli incentivi e dei ricavi, decurtati del costo della manutenzione ed attualizzati.

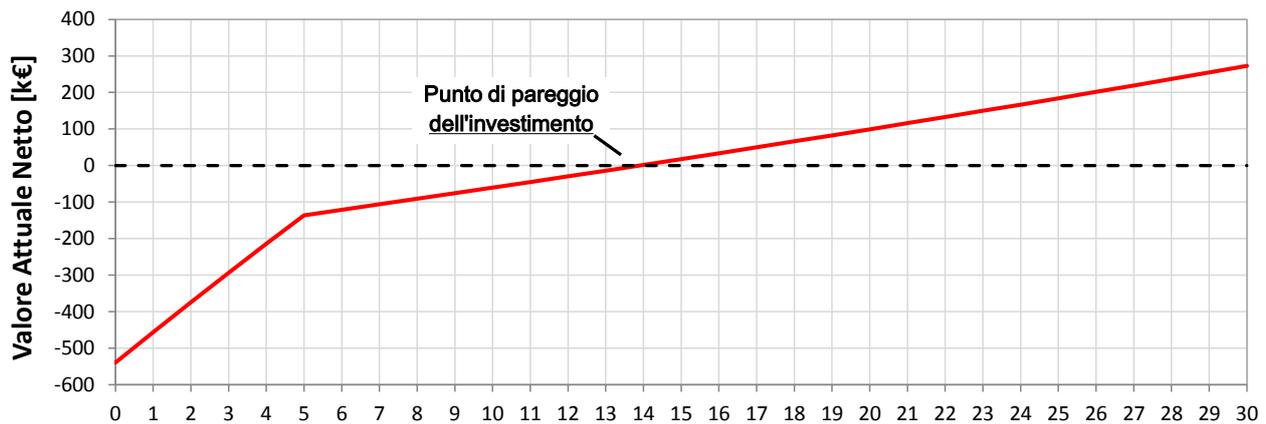


Figura 81. Flusso di cassa attualizzato per l'intervento di ristrutturazione

6.3.1 Analisi di sensitività

Per comprendere quanto la redditività dell'investimento in esame possa essere influenzata da alcune delle ipotesi effettuate, si propone in questo paragrafo un'analisi di sensitività consistente nel ricalcolare i tre indicatori economici (VAN, TRA e IP) al variare di opportuni parametri.

In particolare:

- **tasso di interesse nominale:** partendo da un valore di base $i = 3\%$, si propone di valutare gli effetti di una sua variazione al 2% o al 4%. Nessuna variazione verrà invece applicata al tasso di inflazione, per il quale la stima dell'1% è sostanziata dall'andamento dello stesso su base nazionale nell'ultimo decennio;
- **investimento iniziale:** la valutazione dell'investimento iniziale è basata sul listino prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni del Comune di Milano, edizione 2017. Esso contempla già, nella valutazione del prezzo dei materiali, lo sconto medio praticabile alle imprese esecutrici; si propone in ogni caso di valutare gli effetti di una eventuale ulteriore riduzione dei prezzi (del 5% o del 10%) a parità di lavori da effettuare;
- **scambio sul posto:** la tariffa riconosciuta dal GSE per lo scambio sul posto è variabile e difficile da quantificare con esattezza. Per questo motivo, si propone di valutare gli effetti di un eventuale incremento della tariffa rispetto all'ipotesi di base (0.14 €/kWh);
- **percentuale di autoconsumo:** non è facile stimare con esattezza la frazione di energia prodotta ed autoconsumata dall'utenza, che dipende dai profili orari dei carichi elettrici e da come questi si accordano con i profili orari di produzione da parte dell'impianto. Partendo da un valore verosimile del 40%, si propone di valutare gli effetti di un incremento al 50% o al 60%.

I risultati dell'analisi di sensitività sono compendati in Figura 82. Essi dimostrano come solo una riduzione del costo iniziale possa influenzare significativamente la redditività dell'investimento, portando il TRA a 13 anni o a 12 anni qualora si possano conseguire degli ulteriori ribassi del 5% o del 10%, rispettivamente. L'incremento della percentuale di autoconsumo fino al 60% non modifica sostanzialmente il TRA, nonostante per ottenere tale risultato sia necessario adottare sistemi di gestione intelligente per massimizzare la sincronizzazione tra fabbisogni elettrici e produzione fotovoltaica. L'effetto di una variazione della tariffa di scambio sul posto è anch'esso marginale.

Il ruolo del tasso di interesse nominale merita un maggiore approfondimento. La sua determinazione è infatti materia complessa, e dipende da molteplici variabili, tra cui in primo luogo il fatto che i capitali utilizzati per coprire l'investimento debbano essere distratti (disinvestiti) da altre attività, che garantiscono già rendite o interessi non trascurabili.

Secondo i risultati riportati in Figura 82, la riduzione del tasso di interesse nominale al 2% porterebbe il TRA a 13 anni, ma tale ipotesi sembra francamente improbabile. Per ulteriore chiarezza, in Figura 83 si

analizza la variazione del VAN (misurato a 30 anni) e del Tempo di Ritorno Attualizzato (TRA) in funzione del tasso di interesse nominale: il valore del tasso nominale per cui il VAN si annulla, restituendo TRA = 30 anni, costituisce il cosiddetto *tasso interno di redditività* (TIR). Poiché risulta TIR = 7.7%, ciò significa che un qualunque investimento finanziario che consenta di ottenere un tasso di interesse costante superiore al 7.7% risulterebbe più conveniente di quello analizzato in questo studio.

Al limite, qualora si applicassero tutte le ipotesi più favorevoli ($i = 2\%$, ulteriore ribasso del 10% sui prezzi di materiali ed opere, scambio sul posto a 0.18 €/kWh, 60% di autoconsumo), sarebbe possibile ottenere **TRA = 10 anni**, con **VAN (30 anni) = 450 700 €** ed **IP = 0.975**. Si riporta in Figura 84 l'andamento temporale del flusso di cassa attualizzato per questo scenario particolarmente favorevole.

	Caso base	Tasso di interesse		Ulteriore ribasso	
		i = 2%	i = 4%	5%	10%
VAN (30 anni)	€ 272,794.91	€ 366,414.96	€ 195,591.86	€ 292,304.34	€ 311,806.39
Tempo ritorno attualizzato	14	13	16	13	12
Indice di profitto	0.506	0.679	0.363	0.583	0.674

	Caso base	Tariffa scambio sul posto		Percentuale di autoconsumo	
		0.16 €/kWh	0.18 €/kWh	50%	60%
VAN (30 anni)	€ 272,794.91	€ 279,867.30	€ 286,932.31	€ 287,315.27	€ 301,828.24
Tempo ritorno attualizzato	14	14	14	14	14
Indice di profitto	0.506	0.519	0.532	0.533	0.559

Figura 82. Sensività degli indicatori economici ad alcune variabili significative

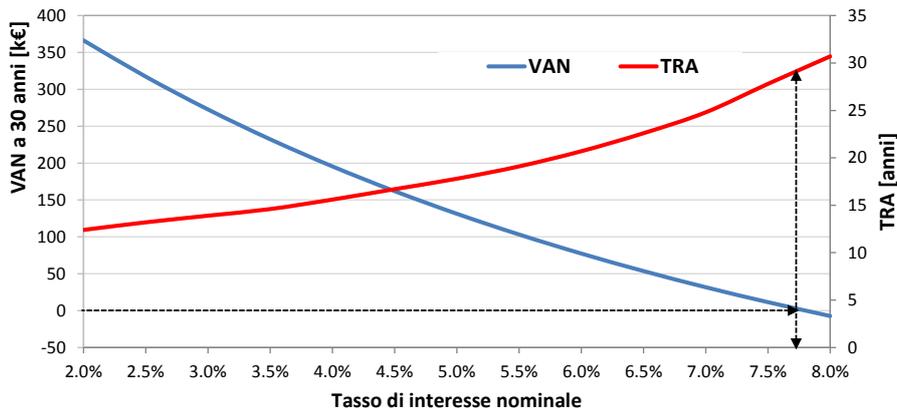


Figura 83. Dipendenza di VAN e TRA dal tasso di interesse nominale

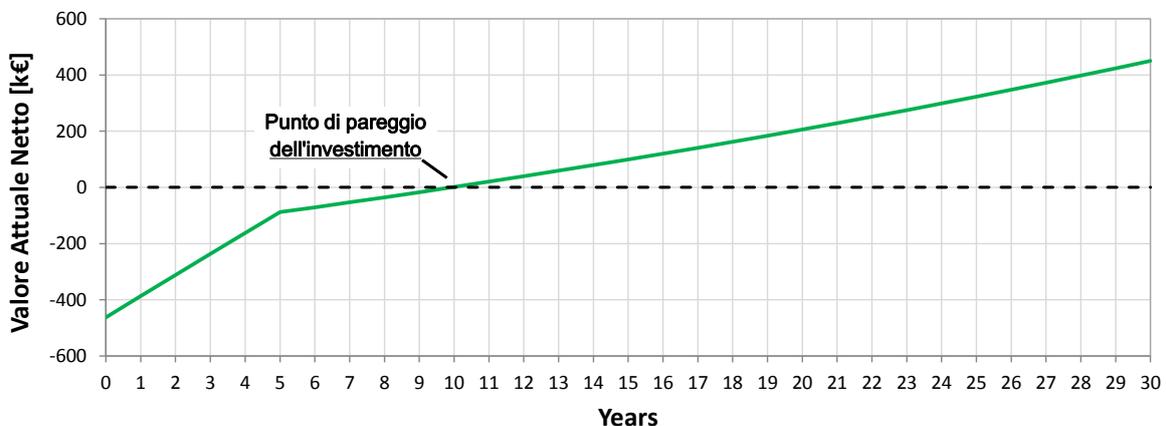


Figura 84. Flusso di cassa attualizzato per lo scenario più favorevole

7 Conclusioni

Lo studio descritto nel presente documento, relativo ad una proposta di intervento di ristrutturazione importante di primo livello per un edificio residenziale di proprietà pubblica sito in Catania (zona climatica B), permette di effettuare diverse considerazioni.

L'edificio, costruito nei primi anni '60, presenta allo stato attuale delle prestazioni energetiche scadenti, legate principalmente ad un involucro non isolato e caratterizzato da trasmittanze molto elevate. La climatizzazione, estiva ed invernale, viene effettuata tramite numerose unità split abbastanza obsolete; in alcuni appartamenti sono addirittura assenti gli impianti di climatizzazione, ed i residenti si affidano per il solo riscaldamento degli ambienti a stufe portatili a GPL. La produzione di acqua calda sanitaria è affidata in grande maggioranza a boiler elettrici, e solo in alcuni appartamenti a caldaie alimentate da bombole di GPL.

Nel tentativo di stimare i consumi energetici effettivi dell'edificio è stato richiesto ai residenti di fornire informazioni circa i consumi elettrici nell'anno 2017, e di descrivere le loro abitudini in merito all'eventuale uso di bombole di GPL per usi vari. E' stato però possibile procurare bollette e dati di consumo dettagliati per soli tre appartamenti, a causa della diffidenza degli inquilini e della scarsa propensione a fornire dati sensibili; inoltre, tre unità immobiliari risultavano non occupate nel momento in cui è stato condotto il presente studio.

Dai dati forniti si rileva innanzitutto un trend generale secondo cui i consumi elettrici crescono nei mesi invernali, molto probabilmente a causa di un maggiore utilizzo dell'illuminazione artificiale, dovuto al più elevato numero di ore di oscurità rispetto all'estate.

Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria, si è osservato che, mediamente, ogni persona è responsabile di un fabbisogno termico annuo pari a circa 280 kWh: ipotizzando che l'acqua debba essere consumata a 40°C, e che essa sia disponibile in rete alla temperatura di 15°C, ciò corrisponde ad un consumo giornaliero pro-capite di circa 30 litri. Nel caso in cui tale fabbisogno venga garantito dall'utilizzo di boiler elettrici, ciò si traduce in un consumo elettrico di circa 320 kWh/anno pro-capite; se invece vengono utilizzate caldaie alimentate da bombole di GPL, bisogna conteggiare circa 2 bombole da 15 kg l'anno a persona.

Per quanto riguarda i climatizzatori, laddove presenti sono state riscontrate una o due unità monosplit per gli appartamenti più piccoli, e due o tre unità monosplit per gli appartamenti più grandi. Il profilo di utilizzo è però fortemente variabile, ed addirittura alcuni residenti dichiarano di farne pieno uso solo in estate, mentre in inverno essi vengono accesi solo di rado nelle giornate più fredde, ad integrare il più gradevole contributo di una stufa portatile a GPL. In tal senso, si è registrato un consumo medio annuo pro-capite pari a circa 1 bombola da 15 kg per ogni stagione invernale.

Infine, i consumi elettrici stimati per illuminazione artificiale ed elettrodomestici si attestano tra i 500 kWh/anno, in un appartamento con un solo inquilino, ed i 1700 kWh/anno, in un appartamento con 4 inquilini. In tal senso può essere utile ricordare che secondo le statistiche dei consumi elettrici pro-capite al 2016 la media della regione Sicilia è di 1055 kWh/anno pro-capite, comprensiva dei consumi associati ad illuminazione, apparecchiature, riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria.

I dati di consumo stimati in fase di diagnosi sono stati quindi utilizzati al fine di verificare la coerenza dei risultati delle simulazioni energetiche. E' il caso di sottolineare che non è stato possibile eseguire una vera e propria "calibrazione" del modello, non disponendo di una ben precisa situazione di riferimento. Cosa del resto altamente improbabile nel caso degli edifici residenziali multi-utenza, considerato il carattere fortemente aleatorio del profilo d'uso delle singole unità abitative. Si è in questo caso ritenuto più opportuno riferirsi a profili standard, suggeriti dalla letteratura e dalle normative, anche al fine della replicabilità dei calcoli.

La disponibilità di dati di consumi reali ha in ogni caso consentito di verificare che le simulazioni dinamiche costituiscono uno strumento efficace, affidabile e sufficientemente preciso nella stima dei consumi energetici per la climatizzazione. Esse permettono peraltro di personalizzare i profili d'uso dei locali ed i tempi di accensione degli impianti. In tal senso sono state effettuate due diverse simulazioni: una prima simulazione (simulazione A) è stata realizzata considerando l'impianto di riscaldamento attivo per 8

ore al giorno nei mesi invernali, e per 9 ore al giorno nei mesi estivi, ed una seconda simulazione (simulazione B) nell'ipotesi in cui gli impianti siano attivi per 3 ore al giorno in inverno e per 2 ore al giorno in estate. Questa seconda simulazione intende dunque avvicinarsi maggiormente al reale comportamento degli inquilini, e quindi al reale fabbisogno energetico. Poiché comunque il comportamento e le attitudini delle utenze sono aleatorie e non del tutto prevedibili, è corretto affermare che le due simulazioni effettuate possano essere considerate come casi estremi, e che le prestazioni reali dell'edificio si attestino verosimilmente in posizione intermedia.

Al contrario, la procedura di calcolo quasi-stazionaria descritta nelle UNI 11300, adottata ai fini della certificazione energetica, si basa su profili d'uso predefiniti e non modificabili, e addirittura considera gli impianti di climatizzazione costantemente accesi. Come conseguenza, i fabbisogni energetici restituiti dalle simulazioni dinamiche, assumendo per queste la media tra i risultati della simulazione A e della simulazione B, risultano quasi il 50% inferiori rispetto al calcolo quasi-stazionario. Il consumo elettrico medio per appartamento attribuibile alla climatizzazione e desumibile dalle simulazioni dinamiche ammonterebbe a circa 1100 kWh/anno. Questo valore oscilla ragionevolmente tra 800 kWh e 1400 kWh, al variare del comportamento degli utenti e del loro profilo di utilizzo degli impianti.

Le analisi quasi-stazionarie rimangono comunque necessarie per definire la classe energetica dell'edificio e valutare la rispondenza ai criteri di "edificio a quasi zero energia", ai sensi del DM 26/06/2015.

Dalle valutazioni energetiche condotte si evince che i fabbisogni di energia primaria più elevati in assoluto si riscontrano negli alloggi che fanno uso dello scaldabagno elettrico per la produzione di acqua calda sanitaria e che non sono dotati di impianti finalizzati alla climatizzazione estiva ed invernale. Si ricorda in tal senso che, in assenza di impianti di climatizzazione, la procedura di calcolo ipotizza comunque la presenza di un impianto di riscaldamento fittizio dotato di caldaia a gas e caratterizzato da rendimenti predefiniti, mentre l'impianto di climatizzazione estiva non viene effettivamente considerato. In questi appartamenti si raggiungono consumi di energia primaria tra i 150 kWh/(m² anno) e i 200 kWh/(m² anno), con classi energetiche comprese tra D ed F.

La classe energetica migliore si ottiene invece negli appartamenti con caldaia a GPL per la produzione di acqua calda sanitaria e sistemi split a pompa di calore per la climatizzazione: in questo caso si giunge infatti alla classe B, con fabbisogni di energia primaria non rinnovabile inferiori ai 100 kWh/ (m² anno).

Le soluzioni di intervento proposte per la ristrutturazione importante di primo livello sono le seguenti:

1. Isolamento delle chiusure verticali esterne tramite cappotto termico realizzato con pannelli in fibra di legno di spessore 100 mm;
2. Isolamento delle chiusure verticali verso il vano scala tramite controparete in cartongesso da 13 mm con pannelli in fibra di legno di spessore 20 mm, da realizzare da ambo i lati;
3. Isolamento del solaio di copertura tramite pannelli di polistirene espanso estruso da 50 mm;
4. Isolamento delle chiusure orizzontali interpiano tramite controsoffitti in cartongesso con pannelli in fibra di legno di spessore 30 mm;
5. Sostituzione degli attuali serramenti con nuovi serramenti aventi telaio in PVC e vetrocamera con lastra interna basso-emissiva ($\epsilon \leq 0,05$);
6. Sostituzione dell'impianto di climatizzazione attuale con un impianto centralizzato ad alta efficienza energetica, consistente in una pompa di calore reversibile aria-acqua e distribuzione idronica fino ai ventilconvettori installati all'interno degli appartamenti; la pompa di calore è dotata di desurriscaldatore, grazie al quale riesce a provvedere anche in estate alla produzione di acqua calda sanitaria;
7. Inserimento di impianto fotovoltaico con moduli in silicio monocristallino, per una potenza totale installata di 18.9 kW di picco, sufficiente a coprire i fabbisogni elettrici annuali dell'edificio nella sua configurazione successiva alla ristrutturazione. Il montaggio dei moduli fotovoltaici sarà realizzato su apposita pensilina da posizionare in corrispondenza della copertura piana.

Grazie agli interventi proposti, è possibile trasformare l'edificio in esame in un *edificio a energia quasi zero* (nZEB), abbassando il fabbisogno di energia primaria complessiva da fonti non rinnovabili a soli 12,6 kWh/m² per anno, con una percentuale di copertura dei fabbisogni energetici tramite fonti rinnovabili pari all'86,4%. In seguito agli interventi proposti, l'edificio risulterebbe in classe energetica A4. Il fabbisogno di energia elettrica totale per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria si abbasserebbe a 28000 kWh/anno, cioè a circa 15 kWh/anno per m² di superficie utile.

Sul fronte economico, la ristrutturazione di primo livello dell'edificio sembra essere sufficientemente sostenibile. Il costo totale dell'intervento ammonta a circa 770 000 €, sulle base dei prezzi di listino e dei dati del prezzario del Comune di Milano. Applicando però un ribasso su tali prezzi, come consueto nell'aggiudicazione di appalti pubblici, si giunge ad un costo iniziale inferiore: nell'ipotesi che il ribasso sia del 30%, il prezzo finale sarà di 540 000 €, di cui il 65% dovuto agli interventi sull'involucro edilizio, il 12,5% alla realizzazione dell'impianto fotovoltaico e il 22,5% agli impianti di climatizzazione.

Grazie alla possibilità di accedere agli incentivi del Conto Termico 2.0, che ammontano al 65% delle spese sostenute nel caso in cui si ottenga la qualifica di edificio nZEB, il tempo di ritorno attualizzato dell'investimento proposto risulta essere pari a 14 anni. Una delle ragioni principali di tale risultato risiede senza dubbio nell'elevato investimento iniziale richiesto, caratterizzato da un costo specifico di circa 295 € per unità di superficie utile calpestabile.

L'analisi di sensitività ha dimostrato che la redditività dell'investimento potrebbe essere migliorata ottenendo ulteriori ribassi del 10% sui prezzi stimati, il che comporterebbe una riduzione a 12 anni del tempo di ritorno; effetti meno significativi sono da attribuirsi ad un aumento della tariffa incentivante riconosciuta per l'immissione in rete di energia elettrica secondo il meccanismo dello scambio sul posto, o da un aumento della percentuale di autoconsumo fino al 60%. Il tasso di interesse nominale gioca invece un ruolo predominante, ma sembra difficile poter spuntare, nella pratica, un valore significativamente più basso di quello considerato come ipotesi di base (3%). Una opportuna combinazione favorevole di queste variabili consentirebbe di abbassare il tempo di ritorno dell'investimenti fino a 10 anni.

8 Riferimenti bibliografici

1. UNI TS 11300-1:2014. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
2. UNI TS 11300-2:2014. 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.
3. UNI TS 11300-3:2010. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
4. UNI TS 11300-4:2016. 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.
5. UNI TS 11300-5:2016. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili
6. UNI 10349-1:2016. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata.
7. UNI 10349-2:2016. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 2: Dati di progetto.
8. UNI 10349-3:2016. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 3: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno) ed altri indici sintetici.
9. UNI EN 15193:2008. Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione.
10. UNI EN ISO 10077-1:2007. Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità.
11. UNI 10339:1995. Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.
12. Decreto Interministeriale del 26 giugno 2015, "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".
13. Decreto Interministeriale del 26 giugno 2015, "Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".
14. Decreto Interministeriale del 16 febbraio 2016, "Aggiornamento delle discipline per l'innovazione dei piccoli interventi di incremento dell'efficienza energetica e per la produzione di energia termica da fonti rinnovabili di cui al DM 28 dicembre 2012 (c.d. Conto termico)".
15. Comune di Milano - Direzione Facility Management - Area Opere pubbliche e Coordinamento Tecnico. Listino prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni – Volume 1.1: opere compiute civili e urbanizzazioni. 1° gennaio 2017.
16. Comune di Milano - Direzione Facility Management - Area Opere pubbliche e Coordinamento Tecnico. Listino prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni – Volume 1.2: opere compiute impianti elettrici e meccanici. 1° gennaio 2017.
17. Comune di Milano - Direzione Facility Management - Area Opere pubbliche e Coordinamento Tecnico. Listino prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni – Volume 2.1: costi unitari e piccola manutenzione civili e urbanizzazioni. 1° gennaio 2018.

9 Abbreviazioni ed acronimi

ACS	Acqua calda sanitaria
$A_{sol,est}$	Area solare equivalente estiva, m^2
$A_{sup,ut}$	Superficie utile in pianta dell'edificio, m^2
C	Calore Specifico, $J/(kg\ K)$
COP	Coefficient of Performance, -
EER	Energy Efficiency Ratio, -
EP_H	Prestazione Energetica per il servizio di riscaldamento, $kWh/(m^2\ anno)$
EP_C	Prestazione Energetica per il servizio di condizionamento/raffrescamento, $kWh/(m^2\ anno)$
EP_W	Prestazione Energetica per il servizio di produzione di ACS, $kWh/(m^2\ anno)$
EP_{gl}	Prestazione Energetica globale, $kWh/(m^2\ anno)$
H_T'	coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione, $W/(m^2\ K)$
R_T	Resistenza termica, $(m^2\ K)/W$
s	spessore, m
U	Trasmittanza termica, $W/(m^2\ K)$
α	Angolo di altezza solare, $^\circ$
β	Angolo di tilt dei pannelli solari, $^\circ$
λ	Conducibilità termica, $W/(m\ K)$
ρ	Densità, kg/m^3
ψ	Trasmittanza termica lineare, $W/(m\ K)$

10 Autori

PROF. ING. LUIGI MARLETTA

E' attualmente Professore Ordinario di Fisica Tecnica Ambientale presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Elettronica e Informatica (DIEEI) dell'Università degli Studi di Catania, dove insegna Fisica Tecnica presso il corso di laurea a ciclo unico in Ingegneria Edile-Architettura, e Sustainable Energy Conversion Techniques presso il corso di laurea specialistica in Ingegneria Chimica. E' stato Coordinatore del Dottorato Internazionale di Energetica dell'Università degli Studi di Catania.

Svolge attività di ricerca scientifica dal 1979 nel campo delle energie rinnovabili, della termofisica degli edifici, dell'acustica applicata e dell'illuminotecnica. Ha partecipato alla redazione del Piano Energetico Regionale della Regione Sicilia. E' stato *Invited Lecturer* presso l'Università del Comahue (Buenos Aires, Argentina), presso l'Università di Vienna e presso l'Università di Malta. E' delegato regionale dell'Associazione Italiana di illuminazione (AIDI), ed è stato delegato territoriale dell'Associazione Italiana del condizionamento dell'aria (AICARR). E' stato responsabile di progetti di ricerca CNR, PON, POR, ENEA, MURST 60% e 40%. E' autore di cinque opere didattiche e di oltre duecento comunicazioni a congressi e pubblicazioni scientifiche su riviste nazionali ed internazionali.

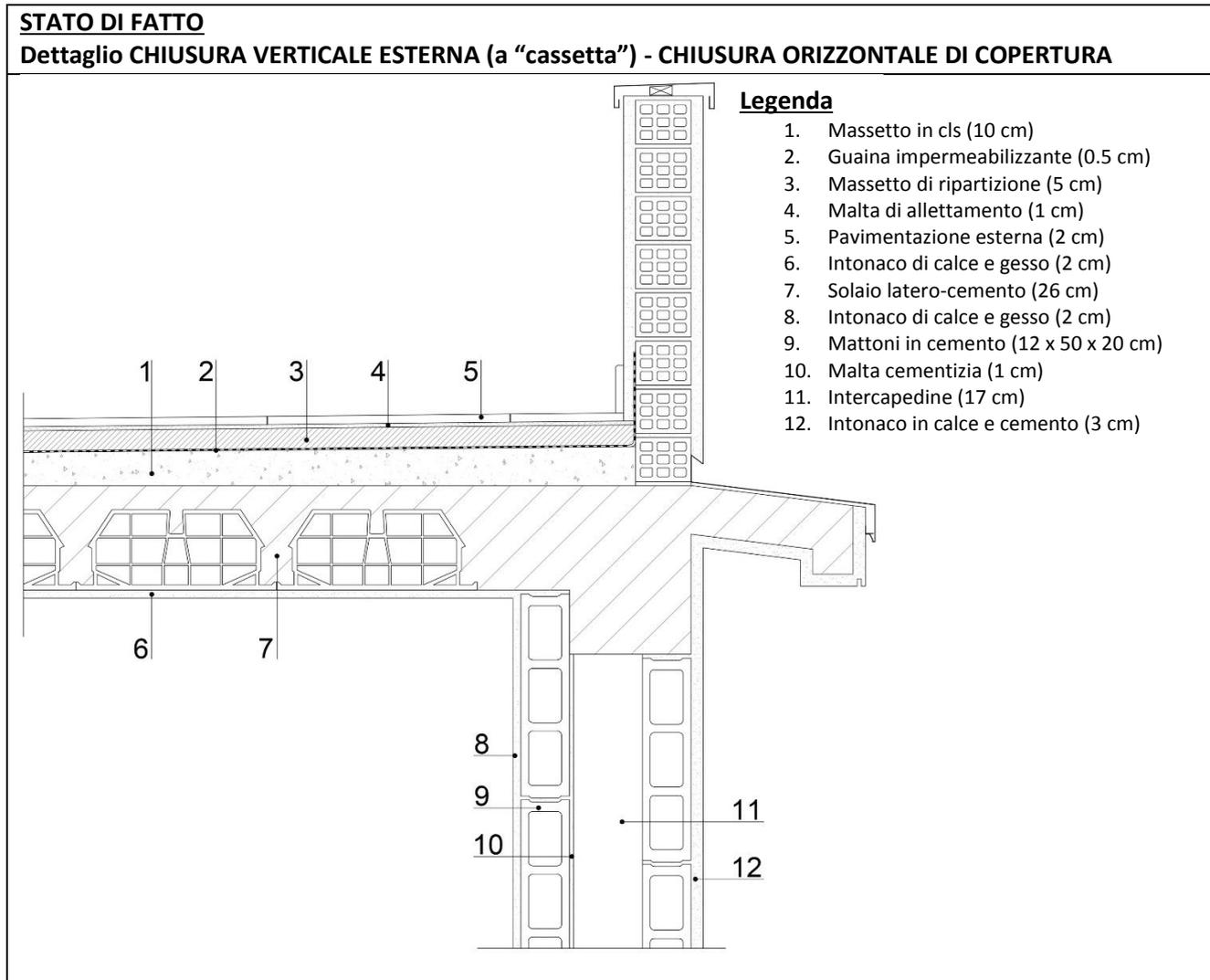
DOTT. ING. GIANPIERO EVOLA

Ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Fisica Tecnica Ambientale, ed è attualmente titolare di assegno di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Elettronica e Informatica (DIEEI) dell'Università degli Studi di Catania, e docente a contratto per l'insegnamento di Progetto della Qualità Energetica degli Edifici presso il corso di laurea a ciclo unico in Ingegneria Edile-Architettura. Ha conseguito l'Abilitazione Nazionale per Professore di II fascia per il raggruppamento disciplinare ING-IND 11 (Fisica Tecnica Ambientale).

Ha svolto attività di ricerca, sia in Italia che presso istituti di ricerca esteri, su tematiche relative alle prestazioni energetiche dinamiche degli edifici e all'utilizzo delle energie rinnovabili in ambito residenziale. In particolare, si è occupato della modellazione dinamica di sistemi di climatizzazione elio-assistiti, delle performance di materiali a cambiamento di fase in edilizia, della costruzione di modelli matematici per lo studio del transitorio termico di pareti multistrato. Ha esperienza progettuale pluriennale nel campo dell'impiantistica termotecnica, nonché dell'acustica edilizia ed ambientale. E' autore di oltre quaranta lavori su riviste nazionali ed internazionali, e di quattro capitoli di libri sulle tematiche della Fisica Tecnica Ambientale.

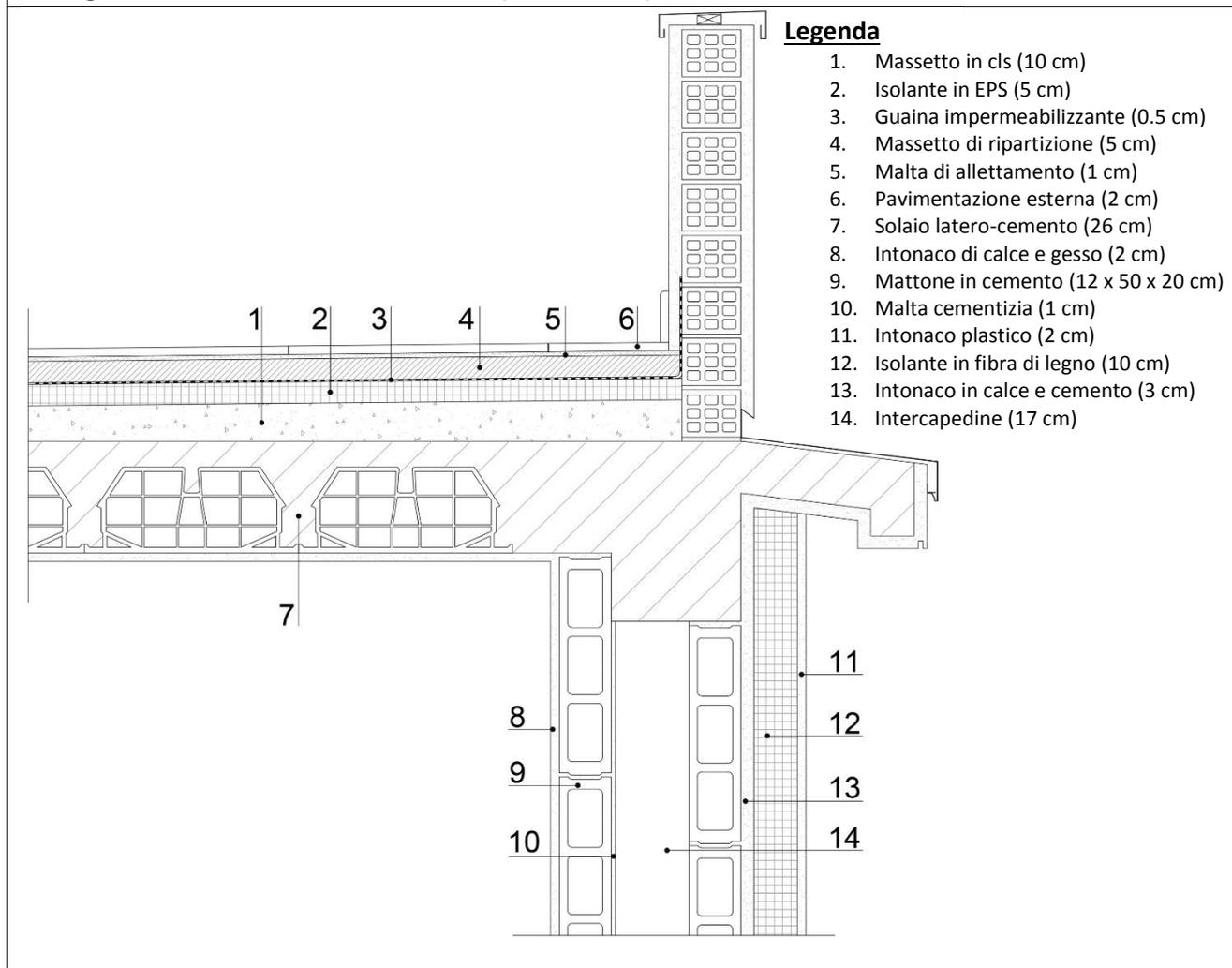
ALLEGATO I

Dettagli costruttivi



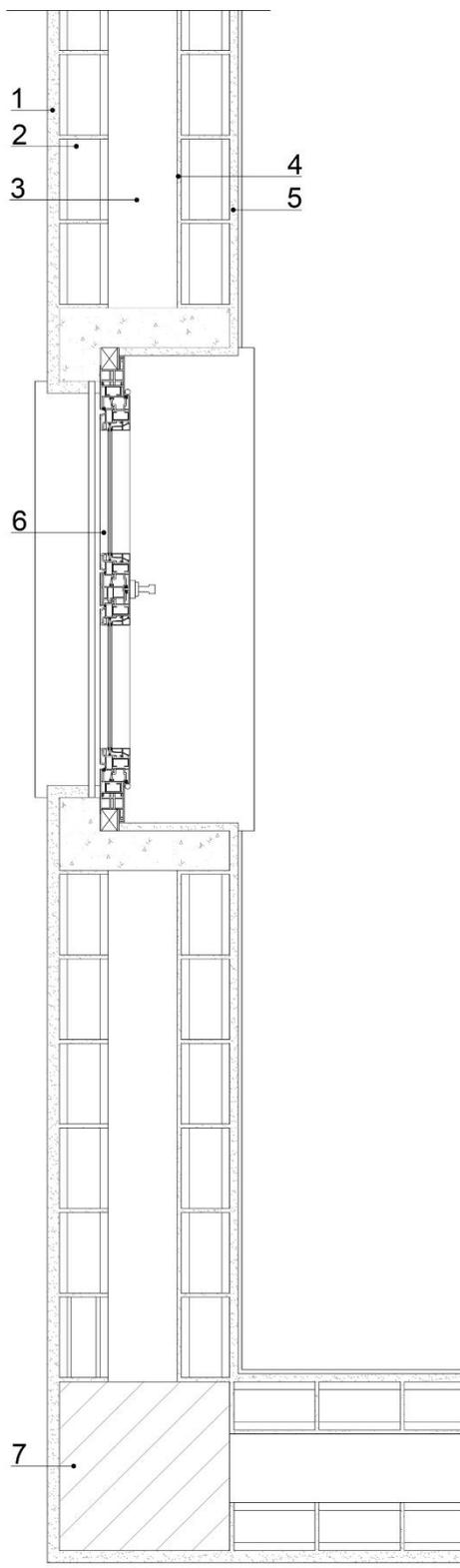
STATO DI PROGETTO

Dettaglio CHIUSURA VERTICALE ESTERNA (a "cassetta") - CHIUSURA ORIZZONTALE DI COPERTURA



STATO DI FATTO

CHIUSURA VERTICALE ESTERNA (a "cassetta") - INFISSO

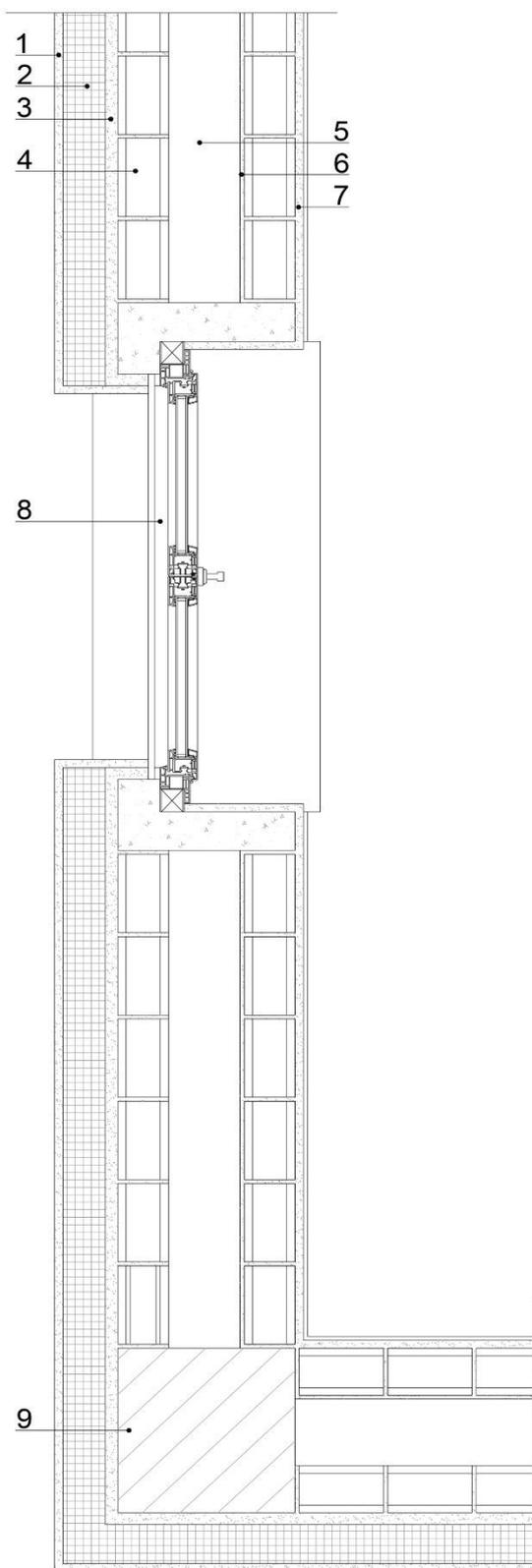


Legenda

1. Intonaco di calce e cemento (3 cm)
2. Mattone in cemento (12 x 50 x 20 cm)
3. Intercapedine (17 cm)
4. Malta cementizia (1 cm)
5. Intonaco interno in calce e gesso (2 cm)
6. Infisso in alluminio senza taglio termico e vetro semplice (4 mm)
7. Pilastro in cls

STATO DI PROGETTO

CHIUSURA VERTICALE ESTERNA (a "cassetta") - INFISSO

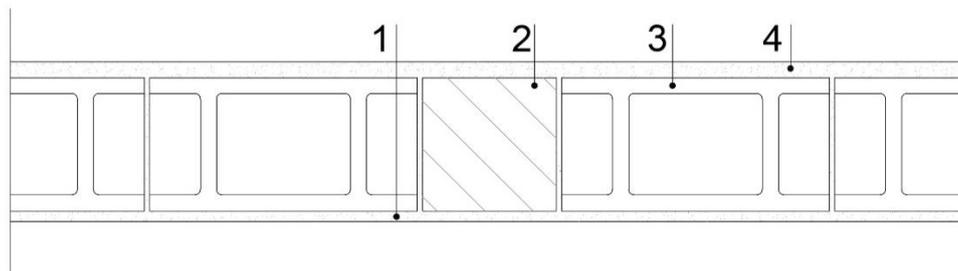


Legenda

1. Intonaco plastico per cappotto (2 cm)
2. Isolante in fibra di legno (10 cm)
3. Intonaco di calce e cemento (3 cm)
4. Mattone in cemento (12 x 50 x 20 cm)
5. Intercapedine (17 cm)
6. Malta cementizia (1 cm)
7. Intonaco interno in calce e gesso (2 cm)
8. Infisso in pvc e vetrocamera basso emissiva
9. Pilastro in cls

STATO DI FATTO

CHIUSURA VERTICALE ESTERNA (monostrato)

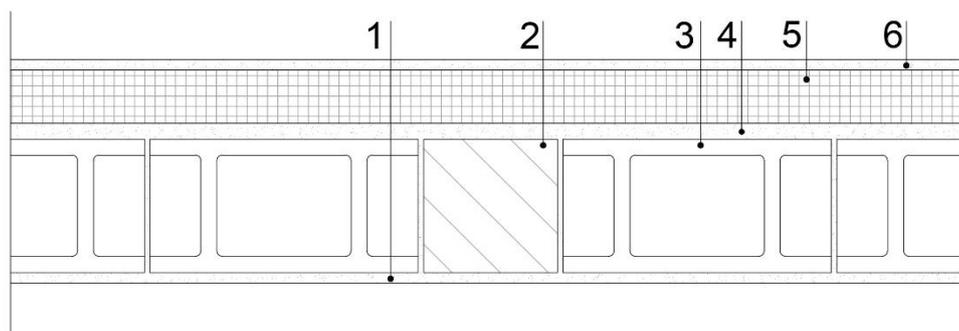


Legenda

1. Intonaco di calce e gesso (2 cm)
2. Pilastro in cls
3. Mattone in cemento (25 x 50 x 25 cm)
4. Intonaco di calce e cemento (3 cm)

STATO DI PROGETTO

CHIUSURA VERTICALE ESTERNA (monostrato)

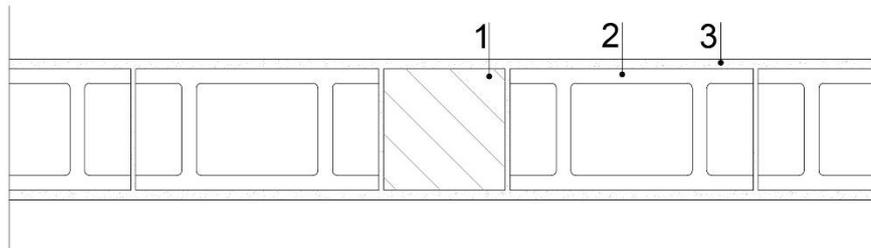


Legenda

1. Intonaco di calce e gesso (2 cm)
2. Pilastro in cls
3. Mattone in cemento (25 x 50 x 25 cm)
4. Intonaco di calce e cemento (3 cm)
5. Isolante in fibra di legno (10 cm)
6. Intonaco plastico per cappotto (2 cm)

STATO DI FATTO

CHIUSURA VERTICALE INTERMEDIA



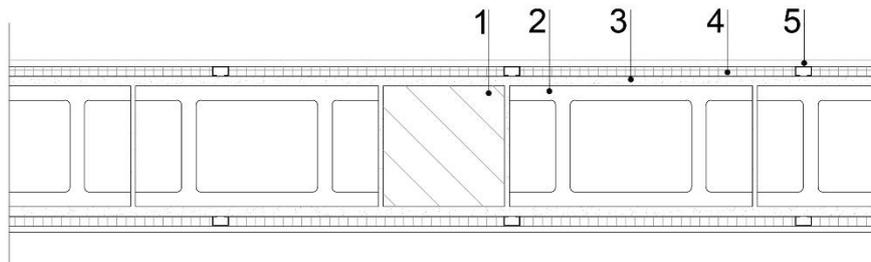
Legenda

1. Pilastro in cls
2. Mattone in cemento (25 x 50 x 25 cm)
3. Intonaco di calce e gesso (2 cm)

STATO DI PROGETTO

CHIUSURA VERTICALE INTERMEDIA

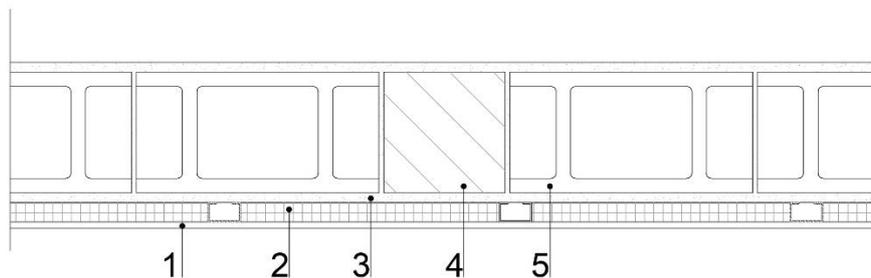
Tipologia A - Chiusura verticale di separazione tra unità immobiliari



Legenda

1. Pilastro in cls
2. Mattone in cemento (25 x 50 x 25 cm)
3. Intonaco di calce e gesso (2 cm)
4. Isolante in fibra di legno (2cm)
5. Lastre di cartongesso con struttura metallica di supporto (1.3 cm)

Tipologia B - Chiusura verticale verso ambienti non climatizzati

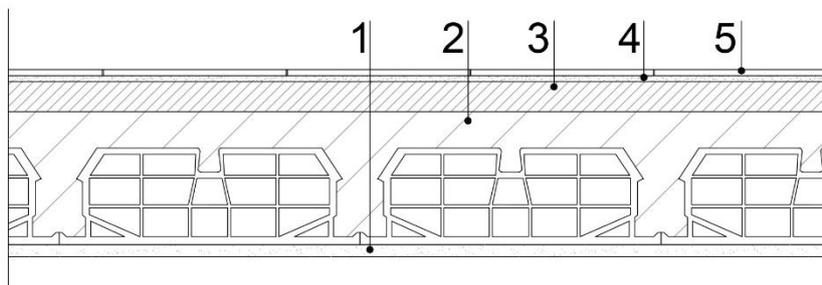


Legenda

1. Lastre di cartongesso con struttura metallica di supporto (1.3 cm)
2. Isolante in fibra di legno (4 cm)
3. Intonaco di calce e gesso (2 cm)
4. Pilastro in cls
5. Mattone in cemento (25 x 50 x 25 cm)

STATO DI FATTO

CHIUSURA ORIZZONTALE INTERMEDIA

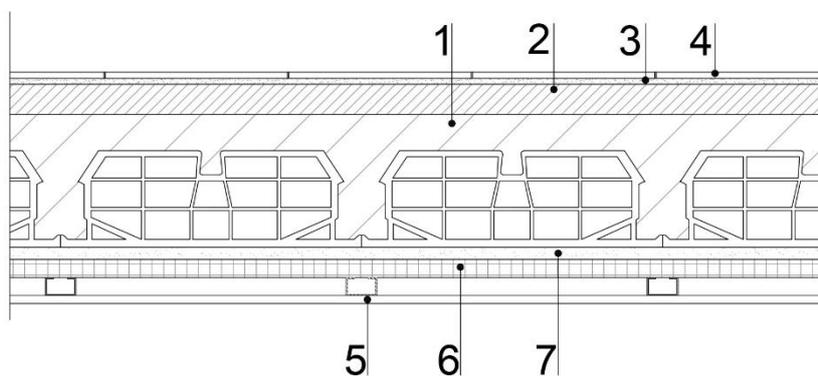


Legenda

1. Intonaco di calce e gesso (2 cm)
2. Solaio in latero-cemento (22 cm)
3. Massetto in cls (5 cm)
4. Malta di allettamento (1 cm)
5. Pavimentazione in marmo (1 cm)

STATO DI PROGETTO

CHIUSURA ORIZZONTALE INTERMEDIA

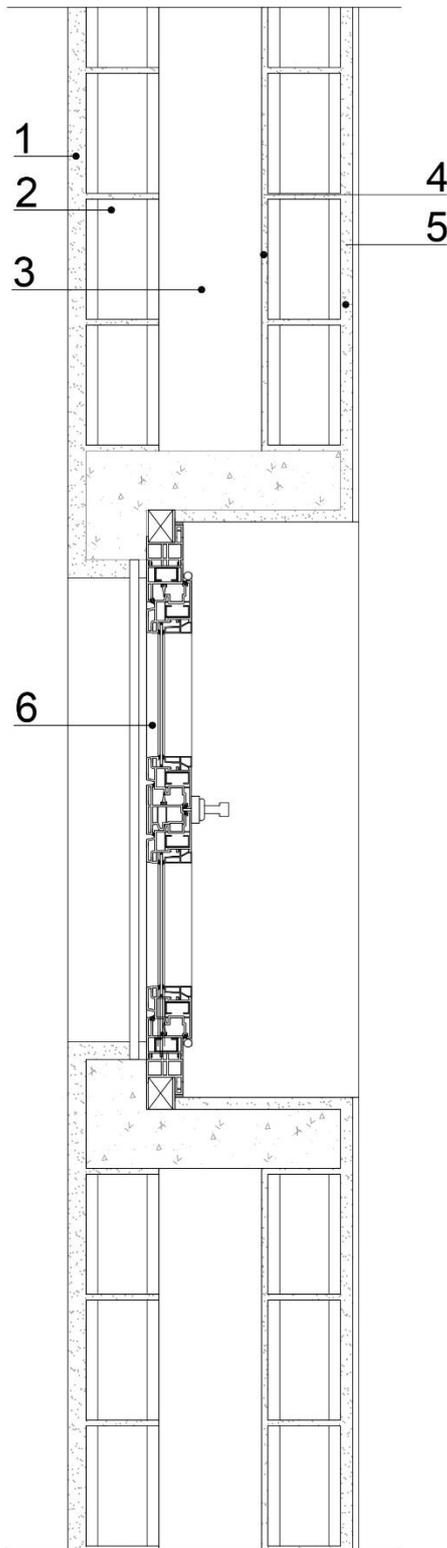


Legenda

1. Solaio in latero-cemento (22 cm)
2. Massetto in cls (5 cm)
3. Malta di allettamento (1 cm)
4. Pavimentazione in marmo (1 cm)
5. Lastre di cartongesso con struttura metallica di supporto (1.3 cm)
6. Isolante in fibra di legno (3 cm)
7. Intonaco di calce e gesso (2 cm)

STATO DI FATTO

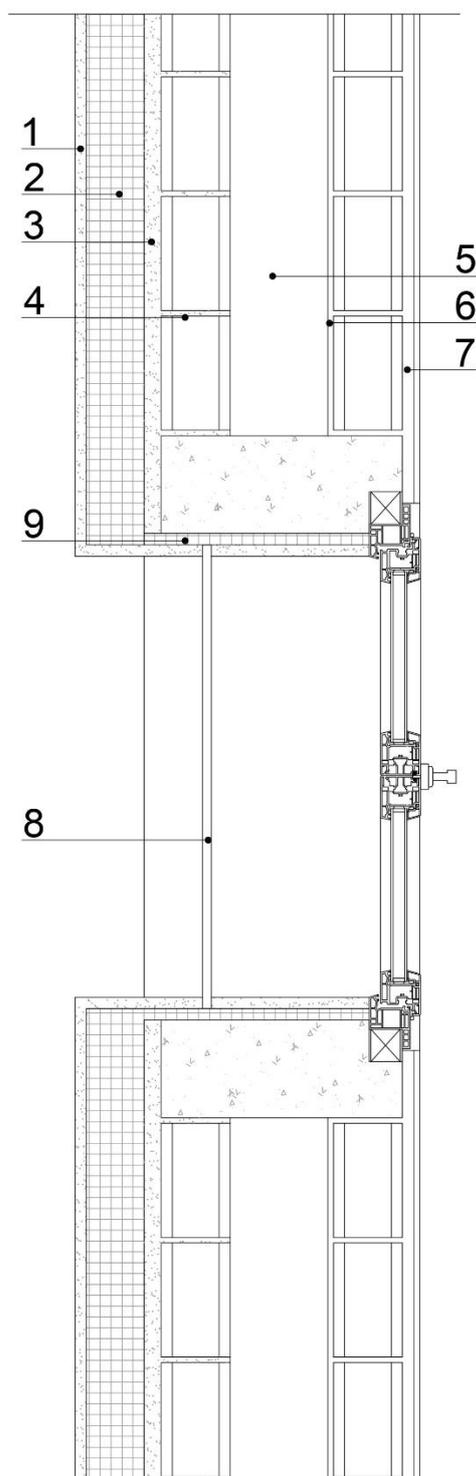
INFISSO (porta finestra)



Legenda

1. Intonaco di calce e cemento (3 cm)
2. Mattone in cemento (12 x 50 x 20 cm)
3. Intercapedine (17 cm)
4. Malta cementizia (1 cm)
5. Intonaco di calce e gesso (2 cm)
6. Infisso in alluminio senza taglio termico e vetro semplice (4 mm)

STATO DI PROGETTO
INFISSO (porta finestra)



Legenda

1. Intonaco plastico per cappotto (2 cm)
2. Isolante in fibra di legno (10 cm)
3. Intonaco di calce e cemento (3 cm)
4. Mattone in cemento (12 x 50 x 20 cm)
5. Intercapedine (17 cm)
6. Malta cementizia (1 cm)
7. Intonaco di calce e gesso (2 cm)
8. Infisso in pvc e vetrocamera basso emissiva
9. Isolante in fibra di legno (2 cm)

ALLEGATO II

Attestati di prestazione energetica per l'edificio ristrutturato



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO: _____ VALIDO FINO AL: _____



DATI GENERALI

<p>Destinazione d'uso</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Residenziale</p> <p><input type="checkbox"/> Non residenziale</p> <p>Classificazione D.P.R. 412/93: <u>E.1.1</u></p>	<p>Oggetto dell'attestato</p> <p><input type="checkbox"/> Intero edificio</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Unità immobiliare</p> <p><input type="checkbox"/> Gruppo di unità immobiliari</p> <p>numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: _____</p>	<p><input type="checkbox"/> Nuova costruzione</p> <p><input type="checkbox"/> Passaggio di proprietà</p> <p><input type="checkbox"/> Locazione</p> <p><input type="checkbox"/> Ristrutturazione importante</p> <p><input type="checkbox"/> Riqualificazione energetica</p> <p><input type="checkbox"/> Altro: _____</p>
--	--	---

Dati identificativi																														
<input style="width: 100%;" type="text"/>	Regione: Sicilia	Zona climatica: B																												
	Comune: CATANIA	Anno di costruzione: 1959																												
	Indirizzo: Via Aurora , n. 10	Superficie utile riscaldata (m ²): 46.44																												
	Piano: primo	Superficie utile raffrescata (m ²): 46.44																												
	Interno: U1	Volume lordo riscaldato (m ³): 197.86																												
	Coordinate GIS: _____	Volume lordo raffrescato (m ³): 197.86																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <tr> <td style="width: 25%;">Comune catastale</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">CATANIA</td> <td style="width: 10%;">Sezione</td> <td style="width: 10%;">Foglio</td> <td style="width: 10%;">Particella</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Subalterni</td> <td>da</td> <td>a</td> <td>da</td> <td>a</td> <td>da</td> <td>a</td> <td>da</td> <td>a</td> </tr> <tr> <td>Altri subalterni</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Comune catastale	CATANIA				Sezione	Foglio	Particella		Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	Altri subalterni								
Comune catastale	CATANIA				Sezione	Foglio	Particella																							
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a																						
Altri subalterni																														

Servizi energetici presenti

<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica	<input type="checkbox"/> Illuminazione
<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input checked="" type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.

<p>Prestazione energetica del fabbricato</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"> <p>INVERNO</p>  </td> <td style="text-align: center;"> <p>ESTATE</p>  </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	<p>INVERNO</p> 	<p>ESTATE</p> 			<p>Prestazione energetica globale</p> 	<p>Riferimenti</p> <p>Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:</p> <p>se nuovi:</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">A3</p> <p style="text-align: center;">41.80 kWh/m² anno</p>
<p>INVERNO</p> 	<p>ESTATE</p> 					
						

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U1 – Primo Piano



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO:

VALIDO FINO AL:



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

- Residenziale
 Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

- Intero edificio
 Unità immobiliare
 Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio:

- Nuova costruzione
 Passaggio di proprietà
 Locazione
 Ristrutturazione importante
 Riqualificazione energetica
 Altro:

Dati identificativi

Regione:	Sicilia	Zona climatica:	B
Comune:	CATANIA	Anno di costruzione:	1959
Indirizzo:	Via Aurora, n. 10	Superficie utile riscaldata (m ²):	84.93
Piano:	primo	Superficie utile raffrescata (m ²):	84.93
Interno:	U2	Volume lordo riscaldato (m ³):	362.25
Coordinate GIS:		Volume lordo raffrescato (m ³):	362.25

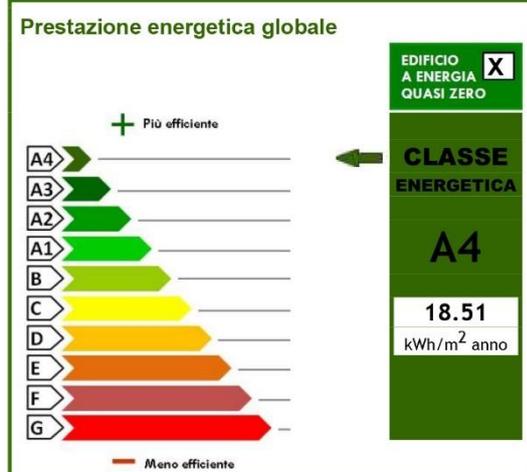
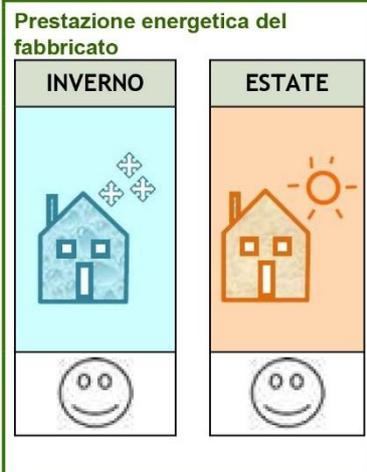
Comune catastale		CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a	
Altri subalterni											

Servizi energetici presenti

- Climatizzazione invernale
 Ventilazione meccanica
 Illuminazione
 Climatizzazione estiva
 Prod. acqua calda sanitaria
 Trasporto di persone o cose

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

35.77
kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U2 – Primo Piano



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO: _____ VALIDO FINO AL: _____



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

Residenziale

Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

Intero edificio

Unità immobiliare

Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: _____

Nuova costruzione

Passaggio di proprietà

Locazione

Ristrutturazione importante

Riqualificazione energetica

Altro: _____

Dati identificativi

Regione: Sicilia Comune: CATANIA Indirizzo: Via Aurora, n. 10 Piano: primo Interno: U3 Coordinate GIS: _____	Zona climatica: B Anno di costruzione: 1959 Superficie utile riscaldata (m ²): 84.33 Superficie utile raffrescata (m ²): 84.33 Volume lordo riscaldato (m ³): 360.52 Volume lordo raffrescato (m ³): 360.52
---	--

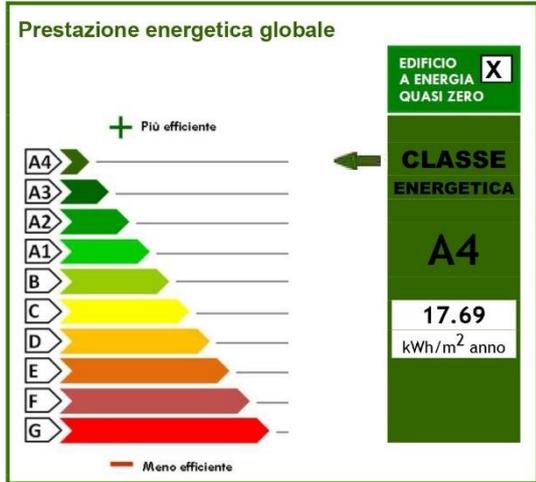
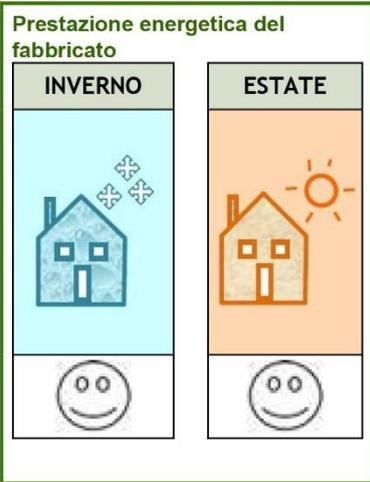
Comune catastale			CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a		
Altri subalterni												

Servizi energetici presenti

<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica	<input type="checkbox"/> Illuminazione
<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input checked="" type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

38.93 kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U3 – Primo Piano



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO:

VALIDO FINO AL:



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

- Residenziale
 Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

- Intero edificio
 Unità immobiliare
 Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio:

- Nuova costruzione
 Passaggio di proprietà
 Locazione
 Ristrutturazione importante
 Riqualificazione energetica
 Altro:

Dati identificativi

Regione:	Sicilia	Zona climatica:	B
Comune:	CATANIA	Anno di costruzione:	1959
Indirizzo:	Via Aurora , n. 10	Superficie utile riscaldata (m ²):	46.44
Piano:	primo	Superficie utile raffrescata (m ²):	46.44
Interno:	U4	Volume lordo riscaldato (m ³):	197.86
Coordinate GIS:		Volume lordo raffrescato (m ³):	197.86

Comune catastale		CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a	
Altri subalterni											

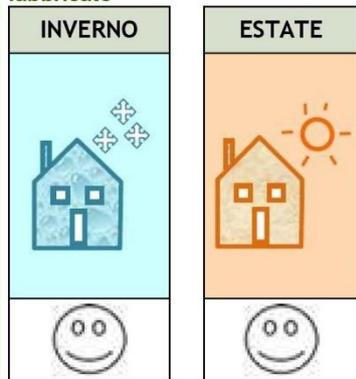
Servizi energetici presenti

- Climatizzazione invernale
 Ventilazione meccanica
 Illuminazione
 Climatizzazione estiva
 Prod. acqua calda sanitaria
 Trasporto di persone o cose

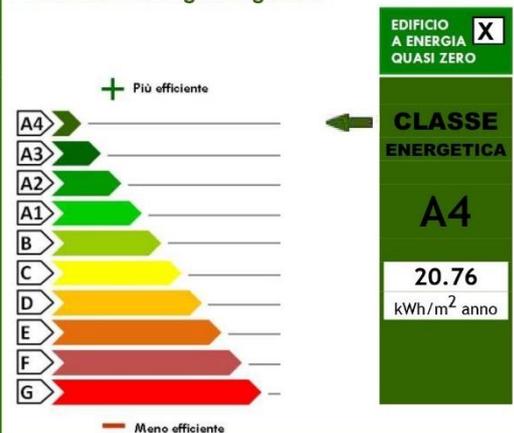
PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

45.36
kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U4 – Primo Piano



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO: VALIDO FINO AL:



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

Residenziale

Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

Intero edificio

Unità immobiliare

Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio:

Nuova costruzione

Passaggio di proprietà

Locazione

Ristrutturazione importante

Riqualificazione energetica

Altro:

Dati identificativi

Regione: Sicilia

Comune: CATANIA

Indirizzo: Via Aurora , n. 10

Piano: tipo

Interno: U1

Coordinate GIS:

Zona climatica: B

Anno di costruzione: 1959

Superficie utile riscaldata (m²): 46.44

Superficie utile raffrescata (m²): 46.44

Volume lordo riscaldato (m³): 197.86

Volume lordo raffrescato (m³): 197.86

Comune catastale			CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a		
Altri subalterni												

Servizi energetici presenti

Climatizzazione invernale

Ventilazione meccanica

Illuminazione

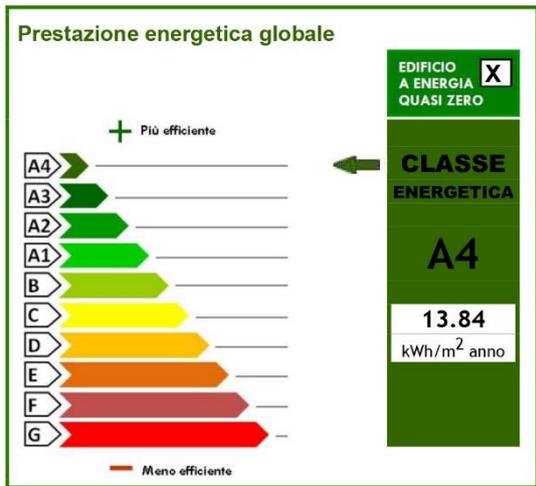
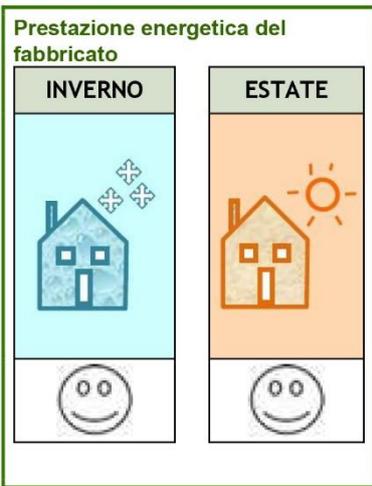
Climatizzazione estiva

Prod. acqua calda sanitaria

Trasporto di persone o cose

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

36.95
kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U1 – Piano Tipo



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO:

VALIDO FINO AL:



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

- Residenziale
 Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

- Intero edificio
 Unità immobiliare
 Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio:

- Nuova costruzione
 Passaggio di proprietà
 Locazione
 Ristrutturazione importante
 Riqualificazione energetica
 Altro:

Dati identificativi

Regione:	Sicilia	Zona climatica:	B
Comune:	CATANIA	Anno di costruzione:	1959
Indirizzo:	Via Aurora, n. 10	Superficie utile riscaldata (m ²):	84.93
Piano:	tipo	Superficie utile raffrescata (m ²):	84.93
Interno:	U2	Volume lordo riscaldato (m ³):	362.25
Coordinate GIS:		Volume lordo raffrescato (m ³):	362.25

Comune catastale		CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a	
Altri subalterni											

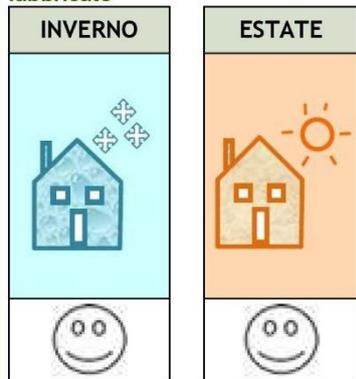
Servizi energetici presenti

- Climatizzazione invernale
 Ventilazione meccanica
 Illuminazione
 Climatizzazione estiva
 Prod. acqua calda sanitaria
 Trasporto di persone o cose

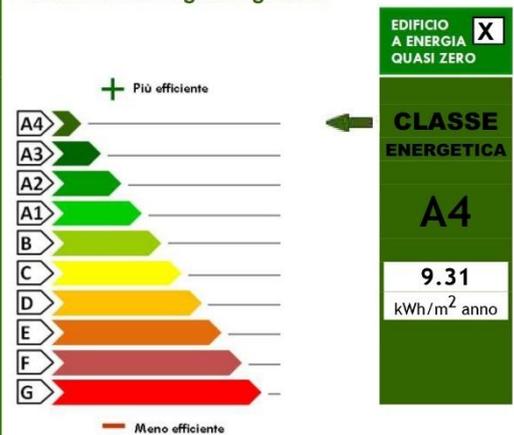
PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

26.44 kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U2 – Piano Tipo



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO: _____ VALIDO FINO AL: _____



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

Residenziale

Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

Intero edificio

Unità immobiliare

Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: _____

Nuova costruzione

Passaggio di proprietà

Locazione

Ristrutturazione importante

Riqualificazione energetica

Altro: _____

Dati identificativi

Regione: Sicilia Comune: CATANIA Indirizzo: Via Aurora, n. 10 Piano: tipo Interno: U3 Coordinate GIS: _____	Zona climatica: B Anno di costruzione: 1959 Superficie utile riscaldata (m ²): 84.33 Superficie utile raffrescata (m ²): 84.33 Volume lordo riscaldato (m ³): 360.52 Volume lordo raffrescato (m ³): 360.52
--	--

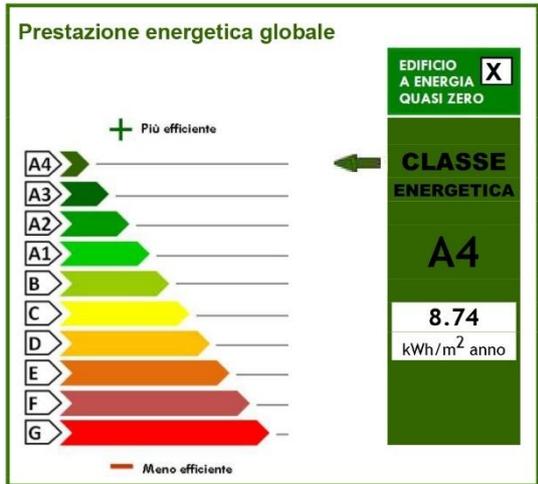
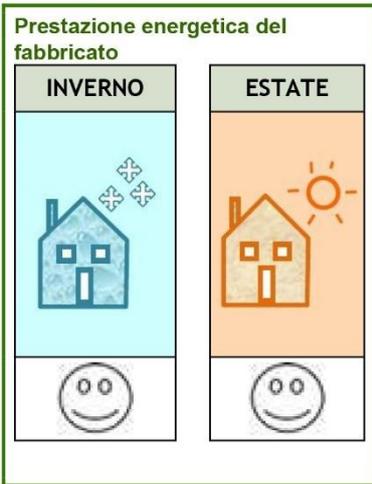
Comune catastale		CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a	
Altri subalterni											

Servizi energetici presenti

<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica	<input type="checkbox"/> Illuminazione
<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input checked="" type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

29.19 kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U3 – Piano Tipo



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO:

VALIDO FINO AL:



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

- Residenziale
 Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

- Intero edificio
 Unità immobiliare
 Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio:

- Nuova costruzione
 Passaggio di proprietà
 Locazione
 Ristrutturazione importante
 Riqualificazione energetica
 Altro:

Dati identificativi

Regione:	Sicilia	Zona climatica:	B
Comune:	CATANIA	Anno di costruzione:	1959
Indirizzo:	Via Aurora , n. 10	Superficie utile riscaldata (m ²):	46.44
Piano:	tipo	Superficie utile raffrescata (m ²):	46.44
Interno:	U4	Volume lordo riscaldato (m ³):	197.86
Coordinate GIS:		Volume lordo raffrescato (m ³):	197.86

Comune catastale		CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a	
Altri subalterni											

Servizi energetici presenti

- Climatizzazione invernale
 Ventilazione meccanica
 Illuminazione
 Climatizzazione estiva
 Prod. acqua calda sanitaria
 Trasporto di persone o cose

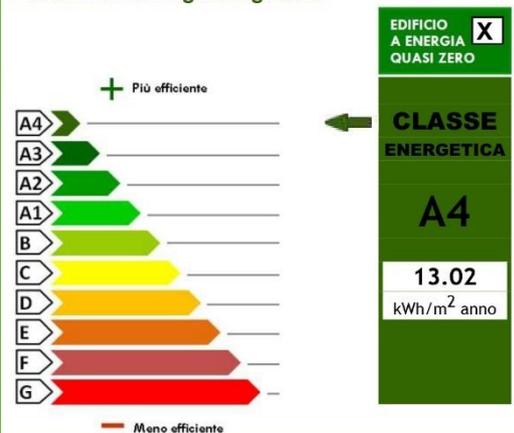
PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

39.33

kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U4 – Piano Tipo



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO: _____ VALIDO FINO AL: _____



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

Residenziale

Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

Intero edificio

Unità immobiliare

Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: _____

Nuova costruzione

Passaggio di proprietà

Locazione

Ristrutturazione importante

Riqualificazione energetica

Altro: _____

Dati identificativi

Regione:	Sicilia	Zona climatica:	B
Comune:	CATANIA	Anno di costruzione:	1959
Indirizzo:	Via Aurora , n. 10	Superficie utile riscaldata (m ²):	46.44
Piano:	ultimo	Superficie utile raffrescata (m ²):	46.44
Interno:	U1	Volume lordo riscaldato (m ³):	197.86
Coordinate GIS:		Volume lordo raffrescato (m ³):	197.86

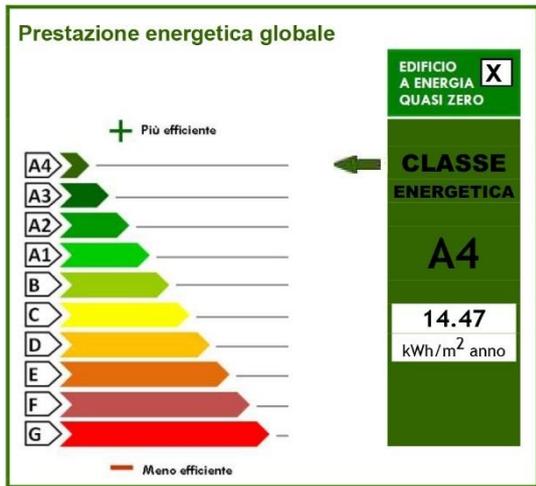
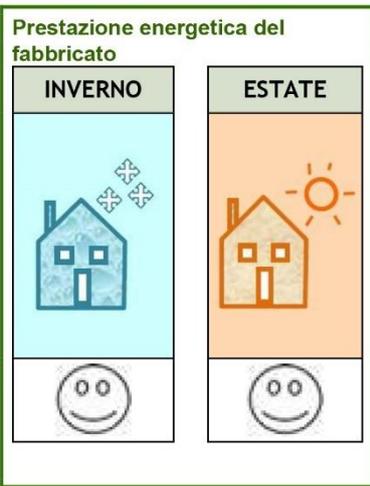
Comune catastale		CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a	
Altri subalterni											

Servizi energetici presenti

<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica	<input type="checkbox"/> Illuminazione
<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input checked="" type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

46.55
kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U1 – Ultimo Piano



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO:

VALIDO FINO AL:



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

- Residenziale
 Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

- Intero edificio
 Unità immobiliare
 Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio:

- Nuova costruzione
 Passaggio di proprietà
 Locazione
 Ristrutturazione importante
 Riqualificazione energetica
 Altro:

Dati identificativi

Regione:	Sicilia	Zona climatica:	B
Comune:	CATANIA	Anno di costruzione:	1959
Indirizzo:	Via Aurora, n. 10	Superficie utile riscaldata (m ²):	84.93
Piano:	ultimo	Superficie utile raffrescata (m ²):	84.93
Interno:	U2	Volume lordo riscaldato (m ³):	362.25
Coordinate GIS:		Volume lordo raffrescato (m ³):	362.25

Comune catastale		CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a	
Altri subalterni											

Servizi energetici presenti

- Climatizzazione invernale
 Ventilazione meccanica
 Illuminazione
 Climatizzazione estiva
 Prod. acqua calda sanitaria
 Trasporto di persone o cose

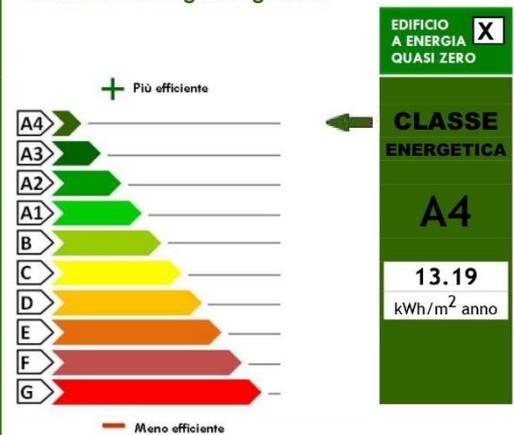
PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

31.63 kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U2 – Ultimo Piano



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO: _____ VALIDO FINO AL: _____



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

Residenziale

Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

Intero edificio

Unità immobiliare

Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: _____

Nuova costruzione

Passaggio di proprietà

Locazione

Ristrutturazione importante

Riqualificazione energetica

Altro: _____

Dati identificativi

Regione:	Sicilia	Zona climatica:	B
Comune:	CATANIA	Anno di costruzione:	1959
Indirizzo:	Via Aurora, n. 10	Superficie utile riscaldata (m ²):	84.33
Piano:	ultimo	Superficie utile raffrescata (m ²):	84.33
Interno:	U3	Volume lordo riscaldato (m ³):	360.52
Coordinate GIS:		Volume lordo raffrescato (m ³):	360.52

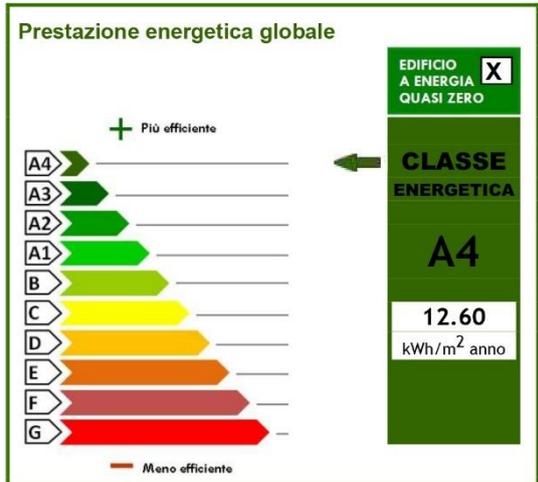
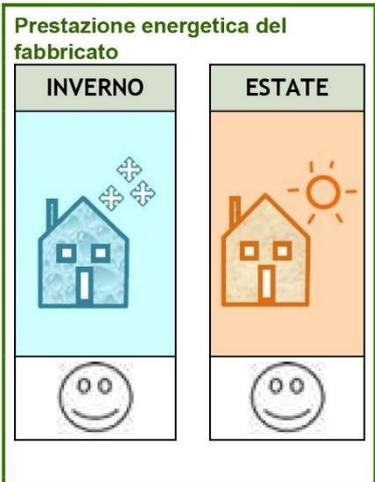
Comune catastale		CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a	
Altri subalterni											

Servizi energetici presenti

<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica	<input type="checkbox"/> Illuminazione
<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input checked="" type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

32.19
kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U3 – Ultimo Piano



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO:

VALIDO FINO AL:



DATI GENERALI

Destinazione d'uso

- Residenziale
 Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1.1

Oggetto dell'attestato

- Intero edificio
 Unità immobiliare
 Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio:

- Nuova costruzione
 Passaggio di proprietà
 Locazione
 Ristrutturazione importante
 Riqualificazione energetica
 Altro:

Dati identificativi

Regione:	Sicilia	Zona climatica:	B
Comune:	CATANIA	Anno di costruzione:	1959
Indirizzo:	Via Aurora , n. 10	Superficie utile riscaldata (m ²):	46.44
Piano:	ultimo	Superficie utile raffrescata (m ²):	46.44
Interno:	U4	Volume lordo riscaldato (m ³):	197.86
Coordinate GIS:		Volume lordo raffrescato (m ³):	197.86

Comune catastale		CATANIA				Sezione		Foglio		Particella	
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a	
Altri subalterni											

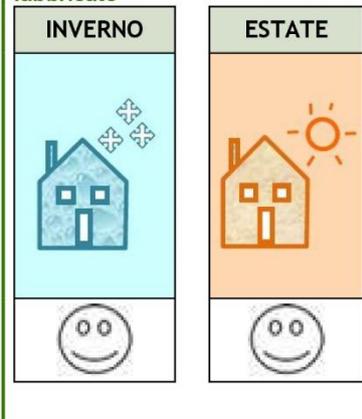
Servizi energetici presenti

- Climatizzazione invernale
 Ventilazione meccanica
 Illuminazione
 Climatizzazione estiva
 Prod. acqua calda sanitaria
 Trasporto di persone o cose

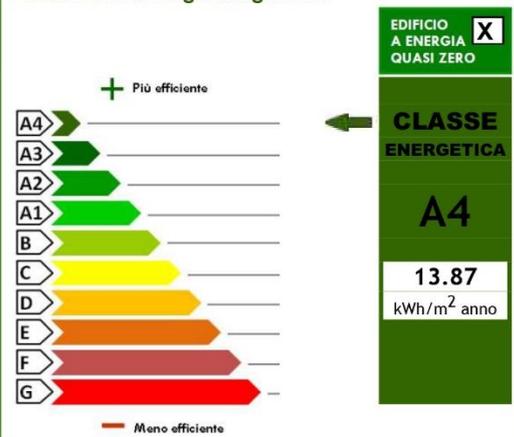
PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti

Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione:

se nuovi:

A3

43.06
kWh/m² anno

Attestato di Prestazione Energetica – Unità U4 – Ultimo Piano

ALLEGATO III

Computo metrico e analisi prezzi per l'intervento di ristrutturazione

CATEGORIA	DESCRIZIONE LAVORI	Quantita'	Prezzo Unit.	Importo
Chiusura orizzontale intermedia	LISTINO AZIENDA			
	Isolamento termico di locali, realizzato all'estradosso dei solai (cappotto orizzontale), con pannelli di fibra di legno spessore 3 cm. Compresi: tagli e sigillature relative, adattamenti, fissaggi con qualsiasi mezzo su qualsiasi struttura, raccordi, assistenze murarie e piani di lavoro. Esclusa la eventuale formazione di finiture superficiali. Negli spessori: 3 cm.	m ² 1834	3.22 €	5,905.48 €
	COD_1C.20.050.0050			
	Controsoffitto in lastre di gesso rivestito larghezza 1200 mm, spessore 13 mm; orditura costituita da idonei traversini portanti e profili. Compreso l'impiego di trabattelli, tutte le assistenze murarie, la pulizia finale con allontanamento dei materiali di risulta.	m ² 1834	37.99 €	69,673.66 €
Totale chiusura orizzontale intermedia				75,579.14 €
Chiusura verticale esterna	LISTINO AZIENDA			
	Isolamento termico con sistema a cappotto realizzato con pannelli di fibra di legno. Compresi l'incollaggio con adesivo naturale privo di solventi, la chiodatura con tasselli ad espansione. Esclusi: i ponteggi esterni, gli intonaci di finitura. Per spessore di isolante: 10 cm.	m ² 1923.16	38.22 €	73,497.79 €
	COD_1C.07.270.0010			
	Intonaco completo per esterni ad esecuzione manuale, con finitura a civile fine, su superfici orizzontali e verticali, costituiti da rinzaffo, intonaco rustico con premiscelato a base di leganti aerei ed idraulici, ed arriccatura eseguita con rasante a base di cemento, calce, inerti selezionati, additivi; esclusi i ponteggi esterni.	m ² 1923.16	25.30 €	48,655.95 €
COD_NC.10.350.0015.b				
Nolo ponteggio in struttura metallica tubolare multidirezionale, costituito da montanti modulari con rosette a più fori. Compresi: il trasporto, il montaggio, lo smontaggio, la messa a terra, i parapetti, gli ancoraggi, le segnalazioni e tutte le misure ed accorgimenti atti a garantire la sicurezza degli operai e pubblica. Esclusi i piani di lavoro e i paraschegge.	m ² 2246.80	13.37 €	30,039.72 €	
Totale chiusura verticale esterna				152,193.45 €

chiusura verticale intermedia (tra unità)	LISTINO AZIENDA				
	Isolamento termico con sistema a cappotto realizzato con pannelli di fibra di legno. Compresi l'incollaggio con adesivo naturale privo di solventi e la chiodatura con tasselli ad espansione. Esclusi: i ponteggi esterni, gli intonaci di finitura. Per spessore di isolante: 2 cm.	m ²	493.92	7.73 €	3,815.63 €
	COD_1C.06.550.0350				
	Controparete realizzata con lastre in gesso rivestito a bordi assottigliati, spessore 13 mm ed interposta armatura in profilati acciaio zincati da 6/10 per guide a pavimento e a soffitto e per montanti ad interasse di 60 cm, compresa la rasatura dei giunti, i piani di lavoro interni e l'assistenza muraria dell'Impresa.	m ²	493.92	36.48 €	18,018.20 €
Totale chiusura verticale intermedia (tra unità immobiliari)				21,833.83 €	
Chiusura verticale intermedia (verso ambiente non climatizzato)	LISTINO AZIENDA				
	Isolamento termico con sistema a cappotto realizzato con pannelli di fibra di legno compresi l'incollaggio con adesivo naturale privo di solventi; la chiodatura con tasselli ad espansione. Esclusi: i ponteggi esterni, gli intonaci di finitura. Per spessore di isolante: 4 cm.	m ²	476.01	10.74 €	5,110.06 €
	COD_1C.06.550.0350				
	Controparete realizzata con lastre in gesso rivestito a bordi assottigliati, spessore 13 mm ed interposta armatura in profilati acciaio zincati da 6/10 per guide a pavimento e a soffitto e per montanti ad interasse di 60 cm, compresa la rasatura dei giunti, i piani di lavoro interni e l'assistenza muraria dell'Impresa	m ²	476.01	36.48 €	17,364.84 €
Totale chiusura verticale intermedia (verso ambiente non climatizzati)				22,474.91 €	

Chiusura orizzontale di copertura	COD_ 1C.01.110.0030.a	Demolizione di pavimenti esterni con relativa malta di allettamento. Compresi e compensati: le opere provvisorie di protezione; la cernita, pulizia ed accatastamento del materiale di recupero; il carico e trasporto delle macerie agli impianti di stoccaggio, di recupero o a discarica. Esclusi gli oneri di smaltimento: in piastrelle di cemento, ceramica, cotto.	m ²	343.34	6.77 €	2,324.41 €	
	COD_ 1C.01.110.0100.a	Demolizione di massetti e sottofondi in conglomerato cementizio anche leggermente armato, per pavimentazioni esterne, platee e similari, eseguita con l'ausilio di qualsiasi mezzo meccanico o manuale, compresa la movimentazione nel cantiere con qualsiasi mezzo, il carico ed il trasporto alle discariche autorizzate: spessore fino a 8 cm	m ²	343.34	6.97 €	2,393.08 €	
	COD_ 1C.27.050.0100.a	Conferimento a discarica autorizzata per lo smaltimento dei seguenti rifiuti: macerie inerti provenienti da demolizioni, rimozioni, scavi.	t	48.07	11.67 €	560.95 €	
	COD_ 1C.10.100.0030.a	Isolamento termico di coperture piane pedonabili, realizzato con lastre di polistirene espanso estruso. Compresi: tagli e relative sigillature, adattamenti, fissaggi di qualsiasi tipo a qualsiasi struttura, raccordi, assistenza muraria; negli spessori: 5cm.	m ²	343.34	12.51 €	4,295.18 €	
	COD_ 1C.08.450.0010.c	Strato separatore in teli di polietilene espanso estruso 5 mm.	m ²	343.34	2.44 €	837.75 €	
	COD_ 1C.08.050.0050	Massetto in calcestruzzo per formazione pendenze su lastrici, con impasto a 250 kg di cemento 32,5 R per m ³ di sabbia, con superficie tirata a frattazzo fine. spessore medio cm 6.	m ²	343.34	16.15	5,544.94 €	
	COD_ 1C.16.200.0010.a	Pavimento in piastrelle di cemento con strato di finitura di 12 mm a 12 kg/m ² di granulato sferoidale di quarzo con indurenti, spessore totale 30 mm. Compreso il letto di malta di cemento dello spessore di 4 cm, i tagli, gli sfridi, gli adattamenti, le assistenze murarie: 30 x 30 cm, colore chiaro.	m ²	343.34	28.91 €	9,925.96 €	
	Totale chiusura orizzontale di copertura						25,882.27 €

COD_ 1C.01.150.0010.b				
Rimozione di serramenti interni ed esterni in ferro o leghe, pareti mobili, impennate e simili di qualunque forma e dimensione, inclusi falsi telai, telai, imbotti, mostre: con abbassamento, separazione dei vetri, carico, trasporto ad impianti di stoccaggio, di recupero o a discarica.				
	F01 - 0.6 x 1.2 m - n° 14	10.08		
	F02 - 1.2 x 1.2 m - n° 108	155.52		
	PF - 1 x 2.2 m - n° 56	123.2		
		m ² 288.8	13.62 €	3,933.46 €
COD_ 1C.01.140.0010.b				
Rimozione di serramenti in legno interni ed esterni, impennate e simili, di qualunque forma e dimensione, incluse mostre, controtelai, imbotti ecc. compresa la movimentazione in cantiere con qualsiasi mezzo, il carico ed il trasporto a deposito o alle discariche autorizzate.				
	Porte - 1 x 2.2 m - n° 28	61.6		
		m ² 61.6	13.86 €	853.78 €
COD_ 1C.01.140.0040.b				
Rimozione di avvolgibili in legno o plastica e dei relativi accessori con carico e trasporto ad impianti di stoccaggio, di recupero o a discarica, esclusi oneri di smaltimento.				
		m ² 106.7	8.03 €	856.80 €
COD_ 1C.21.150.0010.a				
Avvolgibile di legno con stecche di 14 ÷ 15 mm di spessore, fisse o distanziate e sovrapponibili fino a completa chiusura, collegate con ganci di acciaio cadmiato spessore 10/10, traverso inferiore in legno duro; compresi i supporti normali zincati, il rullo di abete a sezione poligonale completo di testate a capsula di acciaio zincato, puleggia in lamiera zincata spessore 8/10 o plastica antiurto, passacinghia con pareti arcuate, cinghia di manovra di plastica, cinghia di nylon per il collegamento dei teli al rullo, squadrette o tappi di arresto, guide fisse ad U in profilato di ferro zincato spessore 8/10, avvolgitore contenuto incassetta metallica zincata spessore 8/10 o di plastica antiurto, placca di acciaio inox. Verniciatura a tre mani, trasparente od opaca (imprimitura, fondo e finitura), che potrà essere eseguita in stabilimento o comunque prima della posa in opera. Compresa la posa in opera nonchè le prestazioni di assistenza muraria, pulizia ed allontanamento dei materiali di risulta. Misurazione: luce netta del vano con aumento di 25 cm sull'altezza e 3 cm sulla larghezza. (legno pino)				
		m ² 106.7	103.46 €	11,039.18 €

Infissi	COD_ 1C.21.100.0010.a				
	Finestre e porte finestre in pvc antiurto, ad alta resistenza, colori di serie. Telaio armato con profilati di acciaio, sezione pluricamera, angoli termosaldati, finitura superficiale liscia, adatti per vetro camera. Comprese le guarnizioni in materiale elastomero, tutte le necessarie ferramenta, maniglia, falso telaio. Sono comprese altresì le prestazioni di assistenza muraria alla posa con tutte le movimentazioni e la sigillatura tra falso telaio e telaio con nastro autoespandente. Tipo e apertura: finestre antiribalta ad un battente.	m ²	10.08	248.75 €	2,507.40 €
	COD_ 1C.21.100.0010.b				
	Finestre e porte finestre in pvc antiurto, ad alta resistenza, colori di serie. Telaio armato con profilati di acciaio, sezione pluricamera, angoli termosaldati, finitura superficiale liscia, adatti per vetro camera. Comprese le guarnizioni in materiale elastomero, tutte le necessarie ferramenta, maniglia, falso telaio. Sono comprese altresì le prestazioni di assistenza muraria allaposa con tutte le movimentazioni e la sigillatura tra falso telaio e telaio con nastro autoespandente. Misurazione esterno telaio. Tipo e apertura: finestre antiribalta ad due battenti.	m ²	155.52	166.21 €	25,848.98 €
	COD_ 1C.21.100.0010.d				
Finestre e porte finestre in pvc antiurto, ad alta resistenza, colori di serie. Telaio armato con profilati di acciaio, sezione pluricamera, angoli termosaldati, finitura superficiale liscia, adatti per vetro camera. Comprese le guarnizioni in materiale elastomero, tutte le necessarie ferramenta, maniglia, falso telaio. Sono comprese altresì le prestazioni di assistenza muraria alla posa con tutte le movimentazioni e la sigillatura tra falso telaio e telaio con nastro autoespandente. Misurazione esterno telaio. Tipo e apertura: porte finestre antiribalta a due battenti.	m ²	123.2	139.21 €	17,150.67 €	
COD_ 1C.21.200.0060.b					
Portoncino d'ingresso interno a battente ad un'anta, in legno tamburato, con struttura interna cellulare a nido d'ape, spess. finito mm. 56, intelaiatura perimetrale in legno di abete e pannelli fibrolegnosi, battente con spalla, completa di mostre e contromostre, telaio ad imbotte da mm 80 a 120, fornitura e posa del falso telaio. Maniglia in alluminio tipo pesante, cerniere tipo anuba in acciaio da 13 mm, serratura di sicurezza con tre chiavi; finitura con mano di fondo e verniciatura con lacche poliuretatiche. Compresa la posa in opera nonché le prestazioni di assistenza muraria per movimentazioni, pulizia ed allontanamento dei materiali di risulta. Con misure e rivestimento sulle due facce: misure standard 90-100x210-220, finitura noce tanganika lucidato.	cad	28	375.63 €	10,517.64 €	

	COD_1C.23.150.0010.a	Fornitura di vetro basso emissivo di spessore 4 mm.			
		m ²	244.22	20.30 €	4,957.67 €
	COD_1C.23.170.0010.a	Fornitura di cristallo float incolore del tipo: sottile 4 mm (± 0.2).			
		m ²	244.22	15.84 €	3,868.44 €
	COD_1C.23.190.0010.a	Assemblaggio e posa di vetrata isolante termoacustica, in conformità alla UNI 7697, con distanziatore plastico/metallico, saldato con siliconi o polisolfuri; intercapedine adeguata alle esigenze di progetto. Nel prezzo è compresa e compensata la costruzione della vetrata isolante in laboratorio e la posa su qualsiasi tipo di serramento, compresi i materiali necessari quali mastice, guarnizioni, silicone, ecc.			
		m ²	244.22	22.69 €	5,541.35 €
	COD_1C.23.190.0020	Riempimento dell'intercapedine con gas Argon in sostituzione dell'aria disidratata per migliorare l'isolamento termico ed acustico.			
		m ²	244.22	5.28 €	1,289.48 €
	COD_1C.22.400.0060.a	Tende alla veneziana con lamelle di alluminio verniciate a smalto, complete di nastri, comando di sollevamento a fune e orientamento ad asta, cassonetto e spiaggiante metallici, accessori coordinati in tinta con lamelle. Compresa la posa in opera nonché le assistenze murarie, pulizia ed allontanamento dei materiali di risulta: lamelle da 25 mm			
		m ²	244.22	51.29 €	12,526.04 €
				Totale Infissi	100,890.89 €
				Totale INVOLUCRO EDILIZIO	398,854.50 €
IMPIANTO FOTOVOLTAICO	COD_1E.17.010.0010.b	Fornitura e posa di impianto fotovoltaico costituito da: Modulo fotovoltaico a struttura rigida in silicio monocristallino di forma quadrata o pseudoquadrata, compreso di sostegno e struttura per qualsiasi tipo di tetto in materiale anticorrosivo inossidabile. Sono altresì compresi idonei cablaggi, condutture, connettori e scatole IP 65, diodi di bypass, involucro in classe II con struttura sandwich e telaio anodizzato. Inverter bidirezionale, quadro di parallelo inverter, oneri relativi a tutte le pratiche documentali e fiscali necessarie, domanda di connessione presso gestore energia elettrica. Con potenza complessiva per singolo impianto da 7 kWp fino a 20 kWp			
		kWp	18.9	2,760.60 €	52,175.34 €
	LISTINO AZIENDA	Fornitura e posa in opera di pensilina metallica per il fissaggio dei moduli fotovoltaici, compresi gli oneri di trasporto, montaggio e fissaggio.			
		corpo	1	25,000.00 €	25,000.00 €
				Totale fotovoltaico	77,175.34 €

CLIMATIZZAZIONE	LISTINO AZIENDA				
	Impianto di climatizzazione centralizzato comprensivo di:				
	Pompa di calore Aermec NRL 0350 HE-D-P, dotata di desurriscaldatore, pompa di circolazione integrata a bassa prevalenza, scheda interfaccia seriale, pannello comandi remoti, kit antivibranti	cad	1	37,000.00 €	37,000.00 €
	Ventilconvettori FCWI 222V con telecomando TLW2				
		cad	70	670.00 €	46,900.00 €
	Pompe di circolazione per circuiti secondari di distribuzione, portata XXXX				
		cad	3	1,000.00 €	3,000.00 €
	Collettori di distribuzione complanari a 4 uscite				
		cad	28	50.00 €	1,400.00 €
	Tubazioni in acciaio 1" con coibentazione in lana di roccia				
		m	140	10.00 €	1,400.00 €
	Tubazioni in rame preisolato da 12 mm				
		m	1150	8.00 €	9,200.00 €
	Serbatoio tampone da 2000 litri per circuito climatizzazione, comprensivo di coibentazione	cad	1	1,400.00 €	1,400.00 €
	Serbatoio da 1000 litri per accumulo acqua calda sanitaria				
	cad	1	800.00 €	800.00 €	
Valvole, pezzi speciali e accessori per la sicurezza					
	corpo	1	5,000.00 €	7,500.00 €	
Oneri per la dismissione dell'impianto esistente, il trasporto ed il montaggio del nuovo impianto					
	corpo	1	30,000.00 €	30,000.00 €	
Totale climatizzazione			138,600.00 €		
Totale impianti			215,775.34 €		
TOTALE involucro + impianti			614,629.84 €		

COSTI AMMINISTRATIVI			
Per Progettazione e direzione dei lavori	8%		49,170.39 €
Per Responsabile Unico del Procedimento	2%		12,292.60 €
Per Commissione di Appalto e di collaudo	4%		24,585.19 €
Totale parziale			700,678.02 €
Per IVA agevolata	10%		70,067.80 €
TOTALE			770,745.82 €