



Ricerca di Sistema elettrico

Diagnosi energetica di un edificio rappresentativo
uso uffici della PA sottoposto a riqualificazione
energetica nZEB in zona climatica B (Sud Italia),
e analisi economica degli interventi proposti

Luigi Marletta, Gianpiero Evola, G. Centi



Dipartimento di Ingegneria
Elettrica, Elettronica e
Informatica

Report RdS/PAR2016/254

DIAGNOSI ENERGETICA DI UN EDIFICIO RAPPRESENTATIVO USO UFFICI DELLA PA SOTTOPOSTO A RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA NZEB IN ZONA CLIMATICA B (SUD ITALIA), E ANALISI ECONOMICA DEGLI INTERVENTI PROPOSTI

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

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

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

ProgettoD.2: 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 dell'edificio di riferimento uso uffici della PA nella zona climatica Sud Italia (zona B: $600 < GG \leq 900$)

Responsabile del Progetto: Ing. Luciano TERRINONI, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: "Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB - Studio dell'edificio di riferimento uso uffici della PA nella zona climatica Sud Italia (zona B: $600 < GG \leq 900$)"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Giulia CENTI

Responsabile scientifico UNICT: Prof. Ing. Luigi MARLETTA

Indice

SOMMARIO	1
1 INTRODUZIONE	2
2 IL CASO STUDIO: UFFICI COMUNALI DI VIA PIER GIORGIO FRASSATI	4
2.1 TOPOLOGIA	4
2.2 DATI COSTRUTTIVI	5
2.3 PLANIMETRIE E PROSPETTI	7
2.4 GLI IMPIANTI ESISTENTI	12
2.4.1 <i>Impianto di riscaldamento e raffrescamento</i>	12
2.4.2 <i>Impianti per la produzione di ACS</i>	13
2.4.3 <i>Impianti di illuminazione artificiale</i>	14
2.5 I CONSUMI ELETTRICI ATTUALI	14
3 VERIFICA ENERGETICA AI SENSI DEL DECRETO 26 GIUGNO 2015	19
3.1 SOFTWARE UTILIZZATO	19
3.1.1 <i>Dati generali</i>	20
3.1.2 <i>Suddivisione in zone ed ambienti</i>	20
3.1.3 <i>Dati climatici</i>	22
3.1.4 <i>Materiali e caratteristiche termo-fisiche dell'involucro edilizio</i>	23
3.1.5 <i>Ponti termici</i>	24
3.1.6 <i>Caratteristiche di illuminazione e ventilazione degli ambienti interni</i>	27
3.1.7 <i>Dati impianti</i>	27
3.2 VERIFICA ENERGETICA DELL'EDIFICIO	30
3.2.1 <i>Fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale</i>	30
3.2.2 <i>Fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva</i>	31
3.2.3 <i>Fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria</i>	31
3.2.4 <i>Fabbisogno energetico per l'illuminazione</i>	32
3.2.5 <i>Prestazione energetica globale</i>	33
3.2.6 <i>Confronto tra consumi reali e consumi calcolati</i>	34
4 SIMULAZIONE DINAMICA DELL'EDIFICIO	36
4.1 IL MODELLO DI CALCOLO DINAMICO: DESIGN BUILDER	36
4.2 INPUT DEL PROGRAMMA	37
4.2.1 <i>Località</i>	37
4.2.2 <i>Layout</i>	38
4.2.3 <i>Attività</i>	40
4.2.4 <i>Costruzione</i>	43
4.2.5 <i>Aperture</i>	45
4.2.6 <i>Illuminazione</i>	47
4.2.7 <i>HVAC</i>	49
4.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	51
4.3.1 <i>Fabbisogni energetici per il condizionamento estivo</i>	52
4.3.2 <i>Profili di temperatura</i>	53
5 INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE	57
5.1 INTERVENTI SULL'INVOLUCRO	57
5.1.1 <i>Interventi sulle pareti esterne</i>	57
5.1.2 <i>Interventi sulla copertura</i>	59
5.1.3 <i>Interventi sul pavimento</i>	61

5.1.4	<i>Interventi sui serramenti</i>	62
5.1.5	<i>Ponti termici</i>	62
5.1.6	<i>Verifiche dei requisiti minimi</i>	63
5.2	INTERVENTI SULL'IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE	64
5.3	INTERVENTI SULL'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE	70
5.4	LO SFRUTTAMENTO DELLE FONTI RINNOVABILI	71
5.4.1	<i>Impianto solare termico</i>	71
5.4.2	<i>Impianto fotovoltaico</i>	74
5.5	VALUTAZIONE ENERGETICA DELL'EDIFICIO RISTRUTTURATO	81
5.5.1	<i>Fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale</i>	81
5.5.2	<i>Fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva</i>	82
5.5.3	<i>Fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria</i>	82
5.5.4	<i>Fabbisogno energetico per l'illuminazione</i>	83
5.5.5	<i>Prestazione energetica globale</i>	84
5.6	LA SIMULAZIONE DINAMICA DELL'EDIFICIO RISTRUTTURATO	86
5.6.1	<i>Modellazione dell'edificio ristrutturato</i>	86
5.6.2	<i>Risultati delle simulazioni</i>	89
5.6.3	<i>L'effetto della ventilazione</i>	93
6	VALUTAZIONI ECONOMICHE	97
6.1	GLI INCENTIVI SECONDO IL DECRETO 16 FEBBRAIO 2016 (CONTO TERMICO)	97
6.2	I COSTI PER LA RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI I LIVELLO	99
6.2.1	<i>Opere di ristrutturazione importante: involucro edilizio</i>	99
6.2.2	<i>Opere di ristrutturazione importante: gli impianti tecnici</i>	101
6.2.3	<i>Riepilogo dei Costi - costi amministrativi e IVA</i>	103
6.2.4	<i>Calcolo degli incentivi ottenibili</i>	103
6.3	ANALISI COSTI-BENEFICI	104
6.3.1	<i>Analisi di sensitività</i>	109
7	CONCLUSIONI	111
8	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	113
9	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI	114
10	AUTORI	115

ALLEGATO I – Dettagli costruttivi

ALLEGATO II – Attestato di prestazione energetica (stato di fatto)

ALLEGATO III – Attestato di prestazione energetica (edificio ristrutturato)

ALLEGATO IV – 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 2016, progetto D.2.1.

L'edificio di cui si sono studiate le prestazioni energetiche è sede di uffici comunali e sito in via Pier Giorgio Frassati 2, Catania (zona climatica B). Il manufatto, costruito nei primi anni '60, rispecchia perfettamente i criteri di selezione indicati da ENEA. Esso 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, seppur al momento parzialmente ingombra da alcuni abbaini. 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 le documentazioni inerenti i consumi energetici (bollette dell'energia elettrica), al fine di redigere una completa analisi 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 dell'immobile. Sono state inoltre analizzate le bollette elettriche degli ultimi tre anni, potendo quindi calibrare i risultati del modello di calcolo per giungere a convergenza con i consumi reali.

Inoltre, limitatamente al periodo estivo, sono state studiate le prestazioni termiche dinamiche dell'edificio, utilizzando un software di simulazione dinamica basato sul motore di calcolo di Energy Plus: ciò ha consentito di valutare le condizioni di comfort estivo tramite la determinazione dei profili di temperatura interna in assenza di impianti di climatizzazione, e di valutare con maggiore precisione i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva.

Sono stati quindi individuati degli interventi sull'involucro e sugli impianti, inquadrabili nel complesso come intervento di ristrutturazione importante di I 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;
- utilizzo di pompe di calore reversibili ad elevata efficienza per la climatizzazione;
- sostituzione dei corpi illuminanti (relamping);
- installazione di moduli fotovoltaici in copertura;
- installazione di collettori solari termici per l'acqua calda sanitaria.

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, anche tramite la routine di calcolo "Analisi economica" del software SEAS 3.0, sviluppato da ENEA e DESTEC dell'Università di Pisa e rilasciato nel Settembre 2014.

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 ufficio conseguendo per essi la qualifica di *edifici a energia quasi zero* (nZEB). Dal punto di vista economico, però, tali interventi sembrano al momento non sostenibili: infatti, nonostante gli incentivi concessi dal Conto Termico, il tempo di ritorno dell'investimento risulta superiore ai 20 anni, a meno che non si riescano ad ottenere condizioni di mercato particolarmente favorevoli in merito (tassi di interesse nominale ridotti) o ad effettuare importanti economie sui costi dei lavori.

1 Introduzione

Il presente documento si colloca nell'ambito del Piano Annuale di Realizzazione 2016, 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 dell'edificio di riferimento uso uffici della PA nella zona climatica Sud Italia (zona B: $600 < GG \leq 900$).

Il programma prevede l'individuazione di edifici esistenti ad uso uffici della Pubblica Amministrazione, sufficientemente rappresentativi del patrimonio edilizio italiano. Per questi edifici dovranno essere identificati quegli interventi di retrofit inquadabili come ristrutturazione importante di I 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, illuminazione, ventilazione), nonché la generazione di energia termica ed 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 degli uffici comunali siti in Via Pier Giorgio Frassati 2, 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) per almeno tre anni

Considerato il periodo costruttivo dell'edificio (anni '60), e i vari lavori effettuati all'interno della scuola nei diversi anni, quali ad esempio la redistribuzione delle aule e dei servizi, il rilievo dimensionale ha richiesto numerosi giorni di lavoro di una squadra di tecnici. Il lavoro svolto ha comunque consentito di ottenere disegni aggiornati dell'edificio e tutti i dati relativi all'illuminazione esistente e ai componenti di impianto installati. In particolare, è stato redatto un censimento dei corpi illuminanti, delle apparecchiature d'ufficio, delle unità di condizionamento split, di stufe elettriche e ventilatori, individuandone numero e potenza elettrica per ogni singolo locale.

La fase di analisi energetica è stata sviluppata su diversi livelli. Premesso che tutti gli impianti tecnici a servizio dell'edificio sono alimentati da energia elettrica, sono state innanzitutto analizzate le bollette elettriche del triennio 2014-2106. I consumi in bolletta non risultano però disaggregati: al fine di poter stimare i consumi legati ai singoli servizi (illuminazione, climatizzazione, apparecchiature d'ufficio, acqua calda sanitaria) è stato quindi necessario effettuare delle ipotesi sui profili di utilizzo delle varie apparecchiature censite.

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 (climatizzazione) e UNI 15193:2008 (illuminazione artificiale). Ciò ha consentito di valutare i consumi stimati di energia elettrica e di energia primaria per i vari servizi; dal confronto tra i risultati e i dati disaggregati ricavati dalle bollette è stato possibile tarare i modelli e giungere ad un buon accordo tra i due risultati.

Inoltre, sono state studiate le prestazioni termiche dinamiche dell'edificio, utilizzando il software di simulazione dinamica Design Builder, basato sul motore di calcolo di Energy Plus. Limitatamente al periodo estivo, sono quindi stati analizzati i profili di temperatura operativa all'interno di alcuni vani rappresentativi per i giorni più caldi dell'estate, al fine di valutare le condizioni di comfort garantite agli occupanti in assenza di impianti di climatizzazione. Inoltre, sono stati calcolati i fabbisogni di energia dell'edificio legati alla climatizzazione estiva, sotto l'ipotesi di mantenere – nelle ore d'ufficio – la temperatura interna dei locali sui 26°C tramite un sistema di climatizzazione ideale.

La seguente fase di identificazione degli interventi di ristrutturazione di I livello è stata guidata dall'obiettivo di raggiungere il target di edificio a energia quasi zero (nZEB). Sono stati a tal fine effettuati dei dimensionamenti dei componenti di impianto da installare, preliminari alla definizione di un computo economico affidabile. La fase di valutazione tecnico-economica, basata sull'utilizzo della routine di calcolo "Analisi economica" del software SEAS 3.0, ha consentito infine di calcolare il costo totale, il tempo di ritorno ed il VAN.

2 Il caso studio: uffici comunali di via Pier Giorgio Frassati

2.1 Topologia

L'edificio oggetto di studio è un edificio polifunzionale, in quanto ospita l'Unità Sanitaria Locale n° 3 di Catania, gli uffici Anagrafe e Stato Civile e alcuni locali del Centro Sociale del Comune di Catania. Esso è sito in via Pier Giorgio Frassati n° 2, dove si trova l'ingresso principale, sul lato est dell'edificio. Come mostrato in Figura 1, l'edificio prospetta a nord sulla Via Pietro Novelli e ad Ovest sulla Via Antonio Gagini, mentre il prospetto sud si affaccia su un piccolo cortile interno che confina con il lotto adiacente.



Figura 1. Localizzazione dell'edificio oggetto di studio



Figura 2. Targa posta all'ingresso dell'edificio.

2.2 Dati Costruttivi

L'edificio è stato costruito verosimilmente negli anni '60 del Novecento, 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 a cassetta con mattoni forati nel lato interno e mattoni pieni all'esterno, separati da un'intercapedine d'aria. Non è presente l'isolamento né sulle pareti verticali, né sul solaio di copertura realizzato con pignatte in laterizio e soletta in calcestruzzo armato. L'attacco a terra è realizzato semplicemente attraverso un basamento in calcestruzzo che funge da posa per il piano di calpestio dell'edificio. Gli infissi sono in alluminio senza taglio termico e con vetro semplice da 3 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. Nelle figure seguenti si riportano le immagini dei quattro prospetti dell'edificio.



Figura 3. Ingresso dell'ufficio sul lato est (Via Pier Giorgio Frassati)



Figura 4. Retro dell'edificio, prospetto ovest (Via Antonio Gagini)



Figura 5. Lato nord dell'edificio (Via Pietro Novelli)



Figura 6. Lato sud dell'edificio che si affaccia sul cortile interno

L'edificio si trova in un discreto stato di conservazione. L'unica forma visibile di degrado è quella dovuta all'umidità ascendente, che ha determinato il deterioramento dello strato di finitura e in alcune parti anche dello strato di intonaco della parte bassa dell'edificio, tutto attorno al perimetro. Ciò è dovuto alla posa in opera della messa a terra dell'edificio effettuata senza nessun accorgimento volto a contrastare l'umidità da risalita. Altro degrado visibile, seppur meno grave, è il degrado antropico dato dalla presenza di graffiti sui muri esterni dell'edificio. Gli ambienti interni invece non presentano particolari forme di degrado degne di nota in questa sede.

In Figura 7 e Figura 8 si possono osservare due esempi dei degradi presenti nell'involucro esterno dell'edificio.



Figura 7. Distacco dell'intonaco dovuto all'umidità ascendente



Figura 8. Degrado antropico sulle pareti esterne dell'edificio

2.3 Planimetrie e prospetti

L'impianto planimetrico dell'edificio è piuttosto semplice: esso è rettangolare e su un unico livello. Gli uffici si trovano nei lati nord e sud dell'edificio, divisi dal corridoio centrale; lo spazio riservato al centro sociale si trova nella parte ovest, ed è separato dalla zona uffici tramite un disimpegno posto alla fine del corridoio, come visibile dalla planimetria in Figura 9.

In Tabella 1 si riporta nel dettaglio l'elenco dei locali presenti all'interno dell'edificio, le loro superfici ed il relativo tasso di occupazione degli utenti. La superficie utile complessiva dell'immobile ammonta a 891.5 m², il volume netto complessivo a 3768.5 m³.

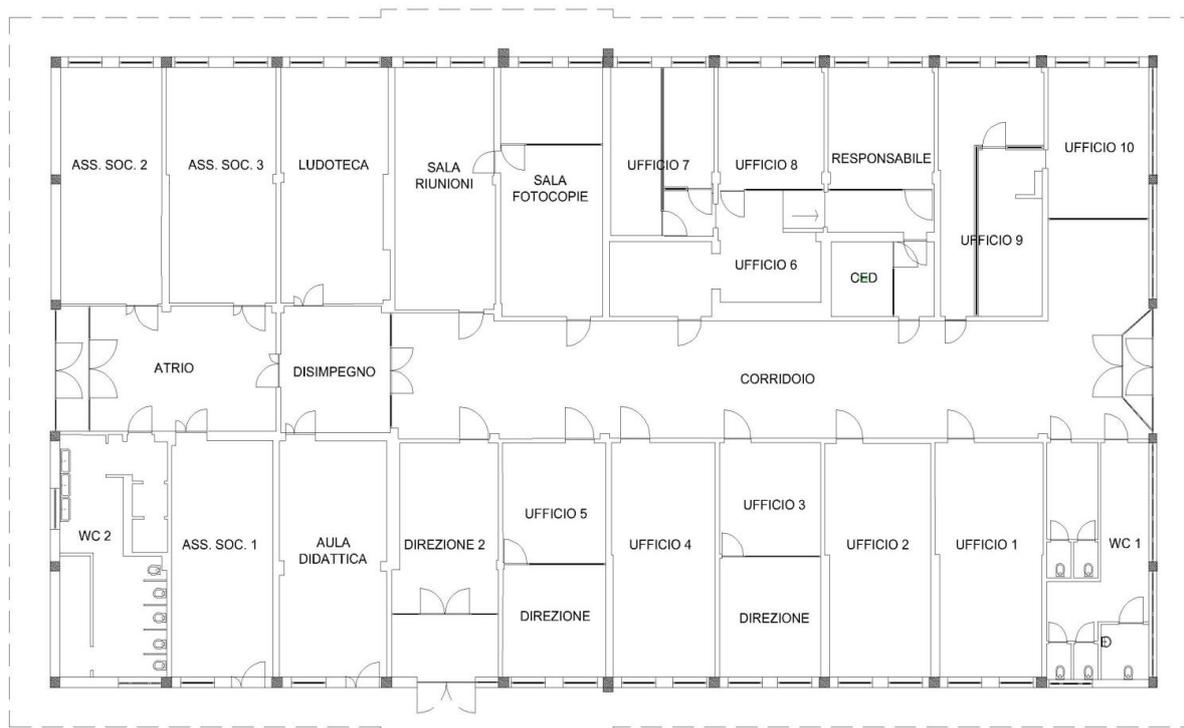


Figura 9. Pianta dell'edificio

Locali interni	Superficie [m ²]	Volume [m ³]	N° occupanti
Corridoio/ingresso	144.84	850.2	-
WC_1	23.68	98.3	-
WC_2	10.00	41.5	-
Ufficio_1	35.82	147.6	3
Ufficio_2	35.17	142.8	4
Ufficio_3 / Direzione	35.56	66.6	2
Ufficio_4	34.95	69.9	3
Ufficio_5	17.95	139.1	1
Direzione_1	16.59	70.9	1
Direzione_2	35.09	65.5	2
Disimpegno	20.14	138.6	-
Aula_didattica_1	37.06	96.7	5
Atrio	39.14	136.8	-
Ass_sociale_1	34.48	140.1	4
WC_3	35.08	124.8	-
Ass_sociale_2	33.51	119.3	3
Ass_sociale_3	34.64	125.7	3
Ludoteca	34.71	126.7	-
Sala riunioni 2	34.93	137.3	6
Sala fotocopie	36.58	144.1	2
Ufficio_6	34.75	139.3	3
Ufficio_7	24.44	98.0	3
Ufficio_8	18.34	73.5	3
Ufficio responsabile	18.37	74.9	1
CED	11.05	45.1	-
Ufficio_9	34.42	141.1	2
Ufficio_10	21.81	89.4	3
TOTALE	891.5	3768.5	54

Tabella 1. Censimento delle superfici e dei volumi dei locali interni e numero di occupanti

L'edificio presenta in copertura dei lucernari, che forniscono luce al corridoio e al disimpegno. Il lucernario sul corridoio ha forma rettangolare e presenta una copertura a falda con quattro abbaini su ciascun lato della falda: ciò consente l'apertura di grandi finestre triangolari che danno luce agli ambienti interni. Il lucernario sul disimpegno invece ha una forma a C ed ha una copertura piana, con finestre a nastro rettangolari su tutti i lati della struttura. E' stata però riscontrata una anomalia: entrambi i lucernari risultano parzialmente "oscurati", nel senso che è stato realizzato un solaio di separazione tra questi volumi e gli ambienti sottostanti. Ciò impedisce di usufruire pienamente della luce naturale.

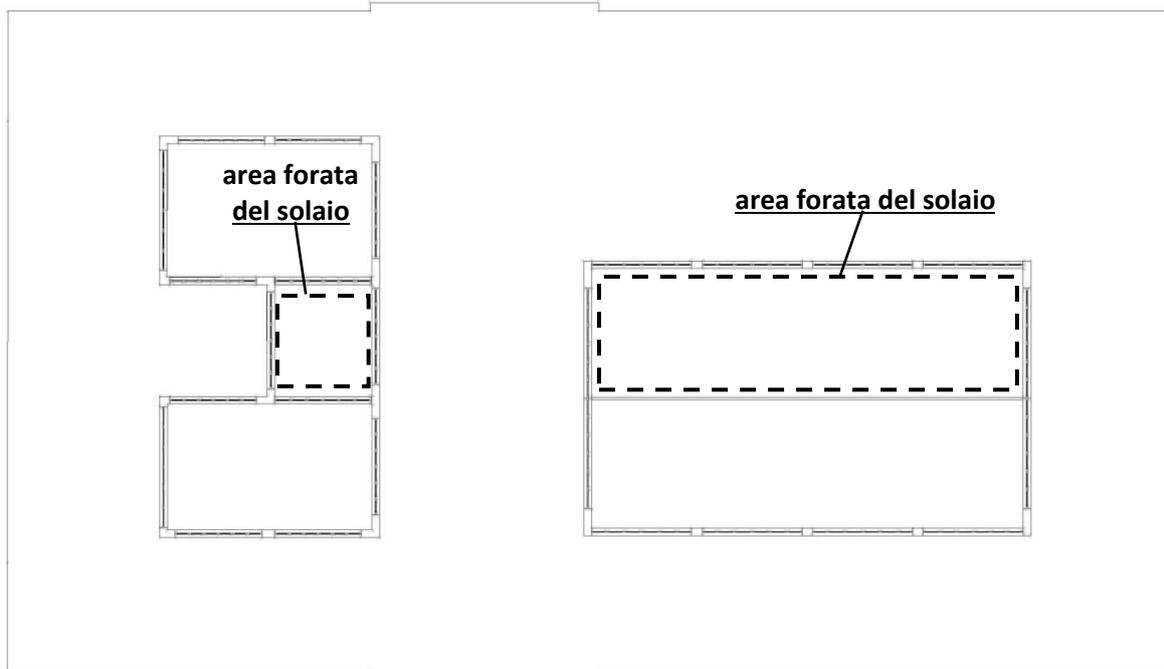


Figura 10. Pianta dei lucernari

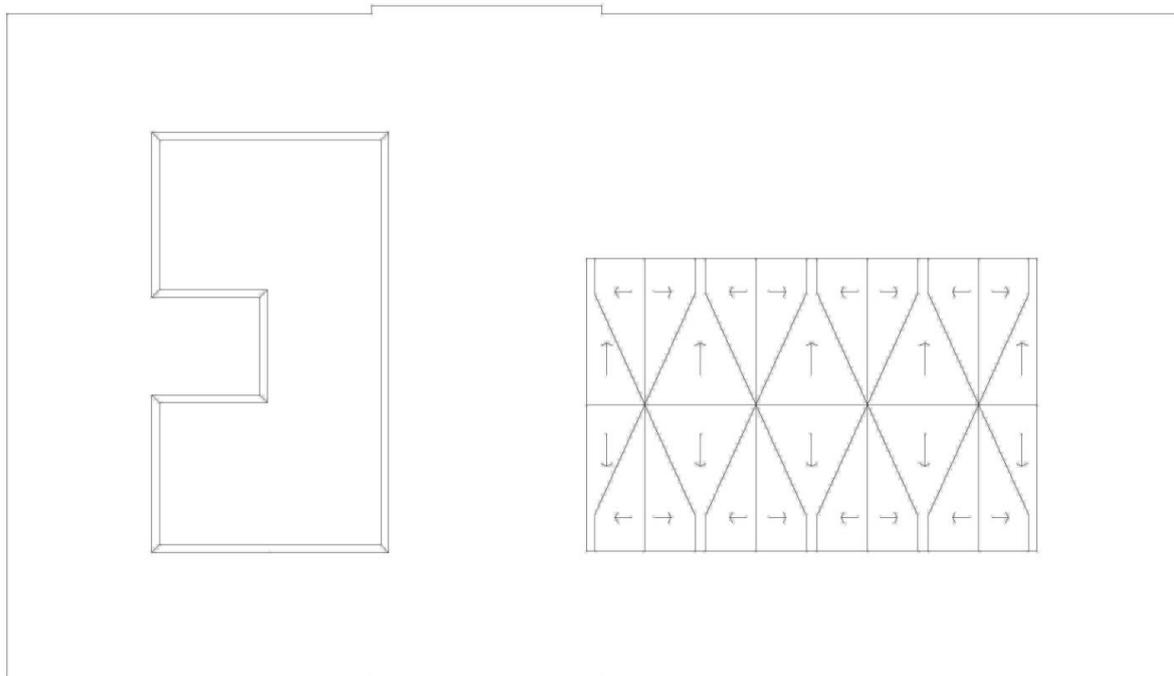


Figura 11. Pianta della copertura

In Figura 12 e Figura 13 è possibile osservare la copertura dei lucernai sopra descritti. I prospetti dell'edificio, riportati in Figura 14 e Figura 15, sono semplici e scanditi solo dal susseguirsi dei pilastri in calcestruzzo visibili all'esterno e dalle aperture. Le tamponature sono intonacate e la copertura è aggettante rispetto al filo della facciata.



Figura 12. Copertura del lucernario sul corridoio



Figura 13. Copertura del lucernario sul disimpegno

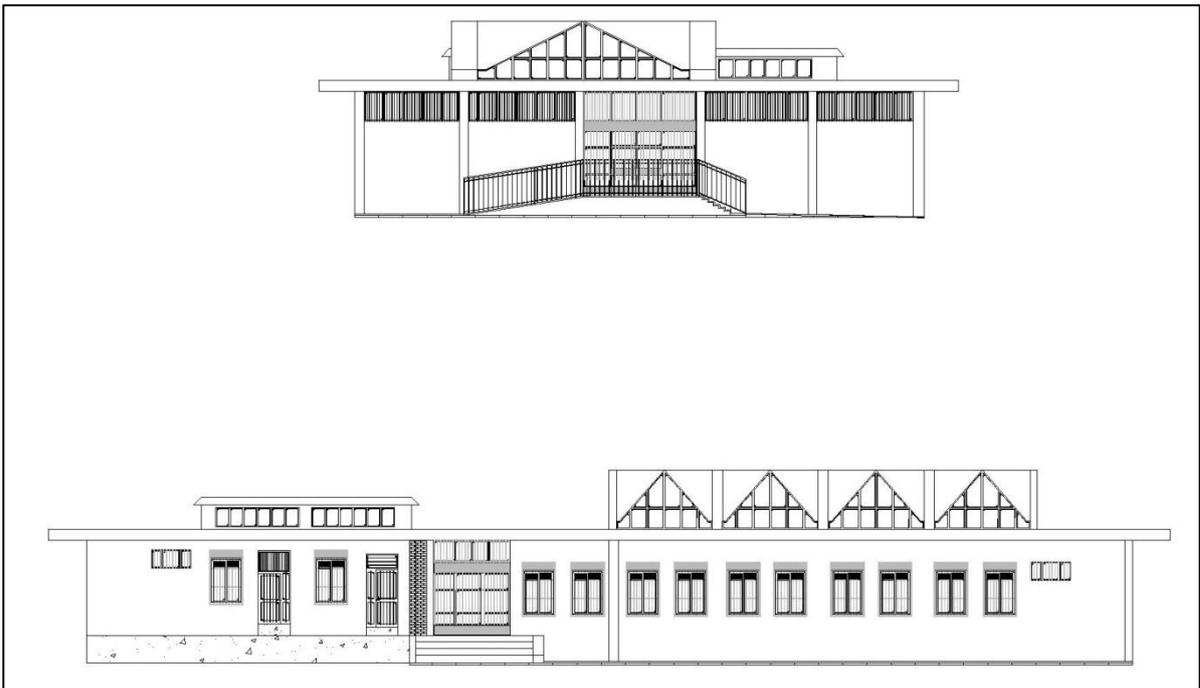


Figura 14. Prospetti Est (in alto) e Sud (in basso)

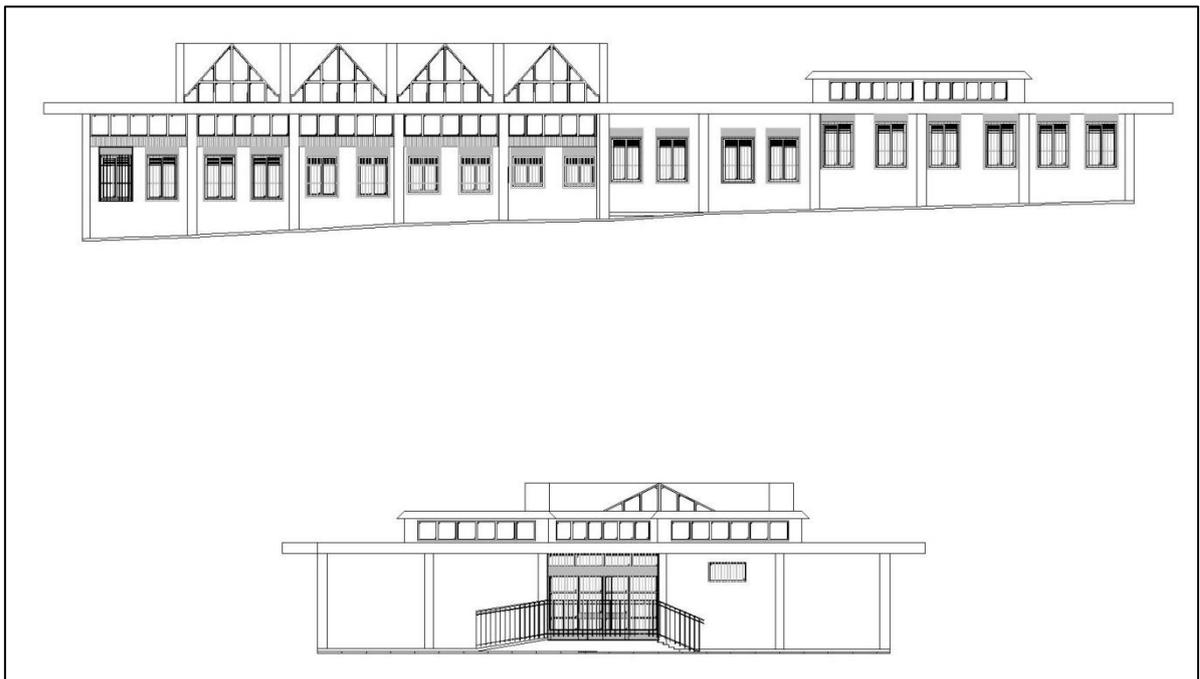


Figura 15. Prospetti Nord (in alto) e Ovest (in basso)

2.4 Gli impianti esistenti

Al fine di garantire temperature adeguate all'interno dei locali, la struttura in esame è servita da un impianto di riscaldamento e raffrescamento autonomo costituito da numerose pompe di calore reversibili elettriche di tipo *monosplit*, mentre il servizio di produzione dell'acqua calda sanitaria è garantito da due boiler elettrici. L'impianto di climatizzazione è stato oggetto di numerosi interventi distribuiti negli anni, e ciò ha portato all'installazione di diversi modelli di climatizzatori, delle marche più svariate e caratterizzati da diverse prestazioni.

A supporto degli impianti appena citati sono presenti, ma solo in alcuni locali, ulteriori apparecchiature finalizzate al riscaldamento dei locali (stufe elettriche) e ventilatori, nonché tutti quei dispositivi utili per lo svolgimento delle attività d'ufficio quali computer, stampanti e fotocopiatrici. Nel complesso, emerge dunque un uso irrazionale degli impianti per la climatizzazione estiva ed invernale dei locali.

2.4.1 Impianto di riscaldamento e raffrescamento

Le pompe di calore di tipo split presenti, in numero totale di 23, hanno le unità interne posizionate in ogni locale ad esclusione di quelli di servizio e del corridoio. Tali pompe di calore presentano, a seconda del modello installato, diversa capacità e potenza: in particolare, è possibile effettuare una distinzione tra unità con regolazione ad inverter e unità con regolazione di tipo on/off. Le potenze frigorifere delle unità variano dai 9 000 ai 12 000 Btu/h, ma sono presenti anche alcune unità da 18 000 Btu/h. Tutte le pompe di calore sono posizionate ad un'altezza di circa 2,50 m, tranne le due unità presenti all'interno degli uffici 9 e 10 che, invece, sono a pavimento. Infine, sono presenti 9 stufe di tipo elettrico, ciascuna con potenza pari a 2000 W, e 12 ventilatori, con potenze elettriche rispettivamente di 55 W e 30 W.



Figura 16. Immagini di alcuni condizionatori presenti nei locali

Locali interni	Unità split	Ventilatori	Stufe elettriche
Corridoio/ingresso	-	-	-
WC_1	-	-	-
WC_2	-	-	-
Ufficio_1	1	-	-
Ufficio_2	1	1	1
Ufficio_3 / Direzione	1	1	-
Ufficio_4	1	-	-
Ufficio_5	1	1	1
Direzione_1	-	1	1
Direzione_2	1	1	1
Disimpegno	-	-	-
Aula_didattica_1	1	2	-
Atrio	2	-	-
Ass_sociale_1	1	-	-
WC_3	-	-	-
Ass_sociale_2	1	-	-
Ass_sociale_3	1	-	-
Ludoteca	1	2	2
Sala riunioni 2	1	-	-
Sala fotocopie	1	-	-
Ufficio_6	1	1	-
Ufficio_7	1	-	-
Ufficio_8	1	1	2
Ufficio responsabile	1	-	-
CED	-	-	-
Ufficio_9	2	1	-
Ufficio_10	2	-	1
TOTALE	23	12	9

Tabella 2. Censimento dei condizionatori split, dei ventilatori e delle stufe elettriche

2.4.2 Impianti per la produzione di ACS

Il servizio di acqua calda sanitaria è garantito da due boiler elettrici da 30 lt e della potenza di 1200 W, posizionati all'interno dei due servizi igienici.



Figura 17. Scaldacqua elettrici

2.4.3 Impianti di illuminazione artificiale

All'interno dei locali sono presenti lampade a tubo fluorescente con potenza da 18 W, 36 W e 58 W, mentre nel corridoio, a cui si accede tramite l'ingresso ad Est, si segnala la presenza di faretti da 250 W. Infine, sono presenti 6 faretti da 250 W all'esterno della struttura, e 27 lampade di emergenza da 18 W all'interno della struttura.



Figura 18. Immagini della tipologia di faretti e lampade presenti

2.5 I consumi elettrici attuali

Dall'analisi delle bollette relative alla fornitura di energia elettrica è stato possibile determinare il consumo elettrico medio dell'edificio comunale oggetto dello studio. La fornitura di energia elettrica è garantita da Enel; le bollette elettriche disponibili sono relative al triennio 2014-2016, ma per quanto riguarda il 2014 le bollette sono disponibili solo a partire dal mese di Luglio.

Si rileva inoltre che i consumi elettrici in bolletta, dovuti all'impianto di illuminazione artificiale, ai dispositivi per uffici (computer, stampanti, fotocopiatrici) e all'impianto di climatizzazione con sistemi split reversibili, non sono disaggregati: non è quindi possibile conoscere con esattezza l'incidenza delle diverse voci. Si procederà pertanto nel seguito a una stima dei singoli contributi a partire dal dato relativo alle potenze installate e sulla base di possibili profili d'uso.

Nelle tabelle seguenti si riassumono i dati di consumo elettrico relativi al triennio 2014-2016.

Mese	Consumo [kWh]	Picco [kW]	Importo [€]	Costo medio [€/kWh]
Gennaio	-	-	-	-
Febbraio	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-
Aprile	-	-	-	-
Maggio	-	-	-	-
Giugno	-	-	-	-
Luglio	4606	28.0	1213.94	0.264
Agosto	4059	30.0	1088.00	0.268
Settembre	4556	29.0	1200.18	0.263
Ottobre	3460	16.0	897.35	0.259
Novembre	3622	21.0	947.26	0.262
Dicembre	4126	33.0	1099.79	0.267

Tabella 3. Consumi elettrici anno 2014

Mese	Consumo [kWh]	Picco [kW]	Importo [€]	Costo medio [€/kWh]
Gennaio	5936	43.0	1511.71	0.255
Febbraio	4072	30.0	1019.74	0.250
Marzo	6877	50.0	1707.41	0.248
Aprile	3743	34.0	922.11	0.246
Maggio	4072	30.0	985.26	0.242
Giugno	4072	30.0	976.60	0.240
Luglio	3573	21.0	832.47	0.233
Agosto	5471	39.0	1253.77	0.229
Settembre	4903	12.0	931.65	0.190
Ottobre	-	-	-	-
Novembre	7646	18.0	1508.10	0.197
Dicembre	3446	12.0	746.76	0.217

Tabella 4. Consumi elettrici anno 2015

Mese	Consumo [kWh]	Picco [kW]	Importo [€]	Costo medio [€/kWh]
Gennaio	4796	12.0	877.12	0.183
Febbraio	6384	47.0	1237.04	0.194
Marzo	5334	46.0	1033.77	0.194
Aprile	5736	12.0	1095.73	0.191
Maggio	3120	12.0	554.49	0.178
Giugno	5032	12.0	1006.11	0.200
Luglio	3514	12.0	751.32	0.214
Agosto	5222	33.0	1241.94	0.238
Settembre	4555	34.0	1049.04	0.230
Ottobre	3502	12.0	849.08	0.242
Novembre	3248	12.0	805.64	0.248
Dicembre	4266	31.0	1056.11	0.248

Tabella 5. Consumi elettrici anno 2016

Anno	Semestre	Consumo [kWh]	Importo [€]	Costo medio [€/kWh]
2014	I	-	-	-
	II	24429	6446.52	
	TOT	24429	6446.52	0.264
2015	I	28772	7122.83	0.248
	II	25039	5272.75	0.211
	TOT	53811	12395.58	0.230
2016	I	30402	5804.26	0.191
	II	24307	5753.13	0.237
	TOT	54709	11557.39	0.211

Tabella 6. Consumi elettrici: riepilogo triennio 2014-2016

Dall'analisi delle bollette, si evince un consumo medio annuo di circa 54000 kWh (esattamente, 54260 kWh con riferimento al biennio 2015-2016). Durante il primo semestre si riscontrano consumi mediamente superiori (circa 29000-30000 kWh), mentre durante il secondo semestre i consumi si attestano tra i 24300 e i 25000 kWh. Nei mesi in cui non sono in funzione gli impianti di climatizzazione (ottobre, novembre, aprile, maggio), i consumi si attestano mediamente tra i 3200 e i 3700 kWh, mentre nei mesi estivi o invernali i consumi crescono a causa dell'utilizzo dei sistemi split, nonché delle stufe elettriche e dei ventilatori.

Nel tentativo di determinare le singole voci di consumo in bolletta (illuminazione, apparecchiature, condizionamento) è stato innanzitutto effettuato un censimento dei carichi elettrici presenti in ciascun locale. Sono state inoltre effettuate le seguenti ipotesi:

- Apertura della struttura: 5 giorni a settimana, 8 ore al giorno
- Tempi giornalieri di utilizzo carichi elettrici:
 - Illuminazione uffici: fattore utilizzazione = 0.75
 - Illuminazione corridoi, bagni ed esterni: fattore utilizzazione = 0.2
 - Computer e monitor: fattore utilizzazione = 0.75
 - Fotocopiatrici: fattore utilizzazione = 0.2
 - Scaldabagno elettrico: fattore utilizzazione = 0.5
 - Stufette elettriche: 1 ora al giorno, solo mesi invernali (Dicembre – Marzo)
 - Ventilatori: 2 ore al giorno, solo mesi estivi (Giugno – Settembre)

Per quanto riguarda i tempi di accensione degli apparecchi di illuminazione, le ipotesi sopra descritte conducono, coerentemente con quanto disposto dalla UNI EN 15193:2008, ad un tempo di accensione diurno di 1560 ore/anno per locali ad uso ufficio, e di 416 ore/anno per locali di servizio (WC, corridoi). Sempre in coerenza con la UNI EN 15193:2008, sono state conteggiate anche 250 ore annue di accensione notturna.

Si riporta infine in Tabella 7 e Tabella 8 il censimento delle apparecchiature elettriche. Per semplicità non è stato calcolato il contributo delle stampanti, utilizzate per pochi minuti al giorno. Per la comprensione delle tabelle si consideri che tutte le lampade installate negli uffici e nei bagni sono del tipo a tubo fluorescente, e che nel costruire la Tabella 8 si è tenuto conto di:

- PC e schermi, di potenza pari a 340 W per postazione;
- Scaldabagni elettrici nei WC (1200 W)
- Estrattori nei WC (15 W)
- Ventilatori (potenze di 30 W e 55 W)
- Fotocopiatrice (1500 W)
- Stufette elettriche (2000 W)

I locali in cui sono presenti le stufe elettriche sono individuati in Tabella 8 da un asterisco.

	Qtà	Potenza [W]	Qtà	Potenza [W]	Potenza totale [W]
Esterno	6	250	-	-	1500
Corridoio - ingresso	8	250	3	58	2174
WC_1	4	36	3	18	198
WC_2	2	36	2	18	108
Ufficio_1	16	58	-	-	928
Ufficio_2	16	58	-	-	928
Ufficio_3	6	36	-	-	216
Direzione	4	36	-	-	144
Ufficio_4	8	36	-	-	288
Ufficio_5	4	58	-	-	232
Direzione_1	6	36	-	-	216
Direzione_2	10	36	-	-	360
Disimpegno	1	36	-	-	36
Aula_didattica_1	8	58	-	-	464
Atrio	4	58	-	-	232
Ass_sociale_1	4	58	-	-	232
WC_3	8	58	-	-	464
Ass_sociale_2	4	58	-	-	232
Ass_sociale_3	4	58	-	-	232
Ludoteca	8	58	-	-	464
Sala riunioni 2	12	58	-	-	696
Sala fotocopie	12	36	-	-	432
Ufficio_6	6	36	-	-	216
Ufficio_7	6	36	-	-	288
Ufficio_8	8	36	-	-	288
Ufficio responsabile	8	36	-	-	288
CED	4	36	-	-	144
Ufficio_9	10	58	2	18	616
Ufficio_10	12	58	-	-	696

Tabella 7. Censimento dei carichi elettrici – illuminazione artificiale

	Qtà	Potenza [W]	Qtà	Potenza [W]	Potenza totale [W]
Corridoio - ingresso	-	-	-	-	-
WC_1	1	1200	2	15	1230
WC_2	-	-	-	-	-
Ufficio_1	3	340	-	-	1020
Ufficio_2*	4	340	1	30	3390
Ufficio_3	1	340	1	30	370
Direzione	1	340	-	-	340
Ufficio_4	3	340	-	-	1020
Ufficio_5*	1	340	1	30	2370
Direzione_1*	1	340	1	30	2370
Direzione_2*	2	340	1	30	2710
Disimpegno	-	-	-	-	-
Aula_didattica_1	1	340	2	55	450
Atrio	-	-	-	-	-
Ass_sociale_1	4	340	-	-	1360
WC_3	1	1200	2	15	1230
Ass_sociale_2	3	340	-	-	1020
Ass_sociale_3	3	340	-	-	1020
Ludoteca**	1	340	2	55	4450
Sala riunioni 2	-	-	-	-	-
Sala fotocopie	1	1500	-	-	1500
Ufficio_6	2	340	1	30	710
Ufficio_7	3	340	-	-	1020
Ufficio_8**	1	340	1	30	4370
Ufficio responsabile	1	340	-	-	340
CED	1	340	-	-	340
Ufficio_9	2	340	-	-	680
Ufficio_10*	3	340	1	30	3050

Tabella 8. Censimento dei carichi elettrici – apparecchiature

Si riscontra anche la presenza di 27 lampade di emergenza da 18 W. Non essendo possibile stimare con precisione il consumo elettrico delle lampade di emergenza, si è preferito fare affidamento alla norma UNI EN 15193:2008, in cui all'illuminazione di emergenza viene attribuito un consumo standard di 1 kWh/anno per m² di superficie utile. Poiché la superficie utile dell'edificio ammonta a circa 900 m², i consumi legati all'illuminazione di emergenza saranno approssimativamente considerati pari a 900 kWh/anno.

Alla luce del risultato del censimento dei carichi elettrici, e avendo adottato opportuni profili di utilizzo come indicato precedentemente, sono stati stimati i seguenti contributi ai consumi elettrici dell'edificio:

- **Illuminazione artificiale:** 18160 kWh/anno
- **Illuminazione emergenza:** 900 kWh/anno
- **Apparecchiature d'ufficio:** 22370 kWh/anno
- **Boiler elettrici e ventilazione bagni:** 2560 kWh/anno
- **Stufe elettriche e ventilatori:** 1510 kWh/anno

Il totale dei precedenti contributi ammonta a **45500 kWh/anno**. Sottraendo il contributo delle stufe elettriche e dei ventilatori (**1510 kWh**), e dividendo per 12 mesi, si possono determinare i consumi mensili medi per l'illuminazione, le apparecchiature d'ufficio e la produzione di acqua calda sanitaria:

$$(45500 - 1510) / 12 = 3665 \text{ (kWh/mese)}$$

Tale risultato è in accordo con quanto riscontrato in bolletta nei mesi in cui non vengono utilizzati gli impianti di climatizzazione.

In conclusione, agli **impianti di climatizzazione** è possibile attribuire un consumo elettrico stimato attorno agli **8700 kWh/anno**, risultato ottenuto sottraendo ai consumi medi totali riscontrati in bolletta (circa 54200 kWh/anno) i contributi stimati per tutte le utenze diverse dai condizionatori split. Non è possibile definire nel dettaglio come si distribuiscano all'interno di questa voce i consumi di riscaldamento e di raffreddamento. Poiché normalmente gli impianti di climatizzazione vengono utilizzati per un numero superiore di ore in inverno, si può azzardare la seguente stima di massima:

- **RISCALDAMENTO:** 4500 ÷ 5000 kWh/anno
- **RAFFRESCAMENTO:** 3500 ÷ 4000 kWh/anno

Non bisogna comunque dimenticare che anche **stufe elettriche e ventilatori** (consumo **1510 kWh/anno**) contribuiscono alla climatizzazione dei locali.

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 20.



Figura 19. Software utilizzato per la valutazione delle prestazioni energetiche

Produttore	Denominazione	Metodo semplificato	Protocollo	Versione protocollata	Certificato	Versione certificata
Blumatica S.r.l.	Blumatica Energy	No	n. 69 (29/06/2016)	6.2.0.0	n. 64 (15/03/2017)	6.2.0.15
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	-	-
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	-	-

Figura 20. 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 ufficio, 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

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" suddivisa nei vari ambienti interni. L'edificio è costituito da un unico piano climatizzato con le stesse modalità e lo stesso tipo di impianti, pertanto si è reputato opportuno attribuirlo nel suo complesso ad una singola "zona termica climatizzata".

Poiché nella realtà i vari ambienti presentano altezze diverse, ai fini della creazione del modello si è stabilito di associare a tutti gli ambienti la stessa altezza, pari ad un valor medio e tale da mantenere invariato il volume complessivo degli ambienti. Nel complesso, la zona climatizzata presenta una superficie utile totale netta di **891,50 m²** ed un volume netto totale di **3730,34 m³**.

Per quanto riguarda i due corpi esterni presenti in copertura all'edificio (lucernai), sono state create due zone non climatizzate denominate Ambiente 3 e 4.

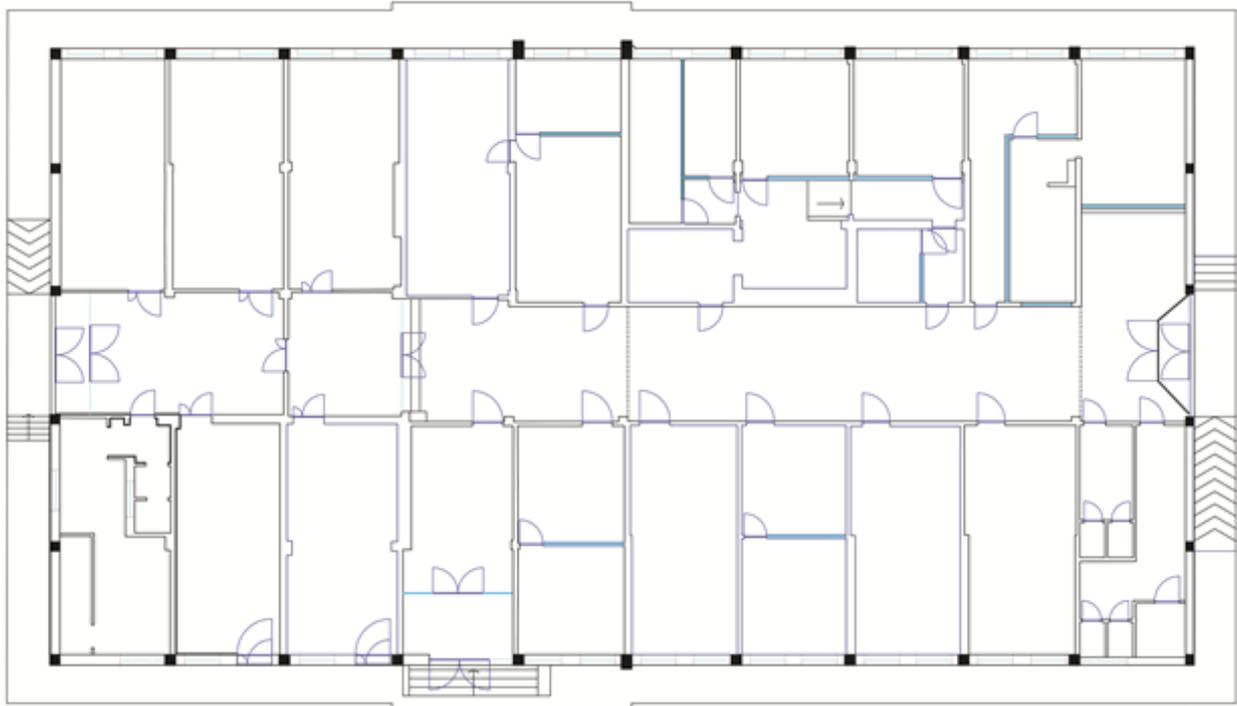


Figura 21. Pianta dell'edificio e suddivisione reale degli ambienti

13.Ass Soc 2	14.Ass Soc 3	15.Ludoteca	16. Sala riunione	17.Sala fotocopie	18.Ufficio 7	19.Ufficio 9	20.Responsabile/ CED	21. Ufficio 9	22. Ufficio 10
12.Atrio			Corridoio/ingresso 01						
11.WC 2	10.Ass Soc 1	09.Aula didattica 1	08.Direzione	07.Ufficio 5/ direzione	06.Ufficio 4	05.Ufficio 3/ direzione	04. Ufficio 2	03. Ufficio 1	02. WC 1

Figura 22. Suddivisione degli ambienti interni ai fini della modellazione su Blumatica Energy



Figura 23. Individuazione delle zone non climatizzate

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 24 un estratto dei principali dati ricavati dal software.

Comune		CATANIA	Provincia		CT						
Zona climatica		B	Giorni di riscaldamento		121						
Temp.di progetto risc.		5,0	Velocità del vento [m/s]		4,40						
Gradi giorno		833									
Geolocalizzazione											
<input checked="" type="checkbox"/> Utilizza dati climatici UNI 10349:2016				Latitudine [°]	37,505833						
Altitudine s.l.m. [m]		7	Longitudine [°]		15,087500						
Temperature medie mensili [°C]											
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
11,9	10,4	11,8	15,4	18,8	23,4	25,8	26,5	22,9	19,8	15,1	12,3
Pressione del vapore [Pa]											
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1.074	840	906	1.346	1.566	1.778	1.896	2.074	1.784	1.783	1.272	1.029
Umidità relativa mensile [%]											
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
77,1	66,6	65,4	76,9	72,1	61,7	57,1	59,9	63,9	77,2	74,1	71,9
Irradiazioni solari [MJ/m²]											
	N	NE/NO	E/O	SE/SO	S	ORIZZ.					
Gennaio	4,23	4,36	5,38	6,58	7,37	8,30					
Febbraio	5,12	5,71	7,78	9,57	10,57	11,70					
Marzo	6,28	8,07	11,15	12,69	12,81	16,80					
Aprile	6,87	9,23	11,55	11,60	10,23	18,00					
Maggio	8,64	12,11	14,58	12,96	9,84	23,10					
Giugno	9,78	13,19	15,24	12,58	8,92	24,50					
Luglio	9,89	13,70	16,16	13,69	9,88	25,80					
Agosto	8,26	11,65	14,50	13,79	11,29	22,70					
Settembre	6,83	8,79	11,28	12,03	11,41	17,40					
Ottobre	6,00	6,80	8,83	10,28	10,91	13,50					
Novembre	5,07	5,31	6,62	8,03	8,92	10,20					
Dicembre	3,90	3,99	4,84	5,93	6,65	7,50					

Figura 24. Dati climatici utilizzati dal software (Catania)

3.1.4 Materiali e caratteristiche termo-fisiche dell'involucro edilizio

Le chiusure verticali esterne, costituenti l'involucro edilizio dell'edificio oggetto di intervento, sono di varia tipologia e spessore. In particolare, la parete esposta a sud ha uno spessore pari a 30 cm, mentre tutte le altre hanno spessore di 40 cm. La stratigrafia, riportata in Tabella 9 e Tabella 10, è costituita in entrambi i casi da una muratura a cassetta con un'intercapedine d'aria tra due file di mattoni forati (lato interno) e pieni (lato esterno). I valori calcolati di trasmittanza relativi alle due chiusure verticali, piuttosto elevati, sono pari a 1,332 W/(m²·K) per entrambe le pareti. I divisori verticali interni, invece, hanno uno spessore complessivo di 16 cm ed una trasmittanza pari a 1,580 W/(m²·K).

Anche le chiusure orizzontali, prive di un opportuno isolamento, presentano valori di trasmittanza elevati: U = 1,124 W/(m²·K) nel caso della chiusura orizzontale di copertura e U = 1,816 W/(m²·K) nel caso della chiusura orizzontale di base, quest'ultima posta a contatto diretto con il terreno.

Chiusura verticale (30 cm)	s [m]	λ [W/m·K]	R _r [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,130		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,700		840	1400
MATTONI FORATI	0,08	0,400		840	775
GAP ARIA	0,06	0,000	0,180	1000	1300
MATTONI PIENI	0,12	0,800		840	1800
INTONACO ESTERNO calce e cemento	0,02	0,900		840	1800
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza U = 1,332 W/(m²·K)					

Tabella 9. Stratigrafia chiusura verticale esterna spessore 30 cm

Chiusura verticale (40 cm)	s [m]	λ [W/m·K]	R _r [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,130		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,700		840	1400
MATTONI FORATI	0,08	0,400		840	775
GAP ARIA	0,16	0,000	0,180	1000	1300
MATTONI PIENI	0,12	0,800		840	1800
INTONACO ESTERNO calce e cemento	0,02	0,900		840	1800
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza U = 1,332 W/(m²·K)					

Tabella 10. Stratigrafia chiusura verticale esterna spessore 40 cm

Partizione interna (16 cm)	s [m]	λ [W/m·K]	R _r [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,130		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,700		840	1400
MATTONI FORATI	0,12	0,380		840	958
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,02	0,700		840	1800
Strato liminare interno			0,130		
Trasmittanza U = 1,58 W/(m²·K)					

Tabella 11. Stratigrafia partizione verticale interna

Chiusura orizzontale copertura	s [m]	λ [W/m·K]	R _r [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,100		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,020	0,700		840	1400
SOLAIO IN LATERO CEMENTO	0,310	0,810		860	1110
MASSETTO DELLE PENDENZE	0,120	0,500		657	1400
GUAINA BITUMINOSA	0,004	0,088		1966	900
MALTA DI ALLETTAMENTO	0,020	0,753		657	2000
MATTONELLE IN CEMENTO	0,010	0,380		840	1120
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza U = 1,124 W/(m²·K)					

Tabella 12. Stratigrafia chiusura orizzontale di copertura

Chiusura orizzontale copertura	s [m]	λ [W/m·K]	R_r [m² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m³]
Strato liminare interno			0,100		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,020	0,700		840	1400
SOLAIO IN LATERO CEMENTO	0,260	0,810		860	1110
GUAINA BITUMINOSA	0,004	0,088		1966	900
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza U = 1,769 W/(m²·K)					

Tabella 13. Stratigrafia chiusura orizzontale di copertura dei lucernai

Chiusura orizzontale di base	s [m]	λ [W/m·K]	R_r [m² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m³]
Strato liminare interno			0,170		
MATTONELLE PER INTERNI	0,015	0,309		657	1900
MALTA DI ALLETTAMENTO	0,020	0,753		657	2000
BASAMENTO IN CLS	0,300	1,130		1000	2000
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza U = 1,816 W/(m²·K)					

Tabella 14. Stratigrafia chiusura orizzontale di base

Le pareti perimetrali e la copertura presentano finiture superficiali di colore medio-scuro, alle quali è stato attribuito un coefficiente di assorbimento solare pari a 0.6.

Per quanto concerne i serramenti, ne sono stati riscontrati di varia dimensione. Tutti i serramenti presentano telai metallici senza taglio termico – la cui trasmittanza, ai sensi della UNI 10077-1, è considerata pari a 7,00 W/(m²·K) – e vetri semplici da 3 mm, con trasmittanza pari a 5,70 W/(m²·K). Inoltre alcune delle superfici finestrate presentano sistemi oscuranti ed avvolgibili, con cassonetti non isolati. In Figura 25 si riporta l'abaco degli infissi presenti nell'edificio oggetto di intervento. Le trasmittanze complessive dei singoli serramenti sono variabili in funzione della loro dimensione, con valori compresi tra 6,10 W/(m²·K) e 6,50 W/(m²·K).

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 interne dei locali.

Le tipologie di ponte termico presenti sono diverse: sono stati individuati quelli relativi agli aggetti, all'intersezione tra la copertura e le pareti verticali esterne, ai serramenti, agli angoli sporgenti ed alla presenza di pilastri tra due pareti esterne. 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 più elevata sono quelli determinati dall'intersezione tra le pareti esterne e la copertura orizzontale (o gli aggetti); significative sono anche le dispersioni determinate dai pilastri. Ai fini di una corretta stima delle dispersioni attraverso i ponti termici è necessario tenere conto anche del loro sviluppo lineare: in Tabella 16 si riportano quindi, per ogni vano, i valori dei coefficienti di dispersione per trasmissione, distinguendo il contributo dei ponti termici (468.02 W/K) dai contributi delle superfici disperdenti (opache e trasparenti). Sommando i valori relativi ai singoli vani si ottiene:

$$H_{TR} = 468.02 + 3193.88 = 3661.90 \text{ W/K}$$

Al momento, i ponti termici pesano dunque per circa il 13% sul totale delle dispersioni termiche attraverso l'involucro.

Tipo di ponte termico	CODICE	Ψ [W/m·K]
Copertura – Parete (30 cm)	COP 004	0,981
Copertura – Parete (40 cm)	COP 004	0,963
Aggetto superiore – Parete (30 cm)	BAL 004	0,890
Aggetto superiore – Parete (40 cm)	BAL 004	0,778
Finestra – Parete (30 cm)	SER 006	0,338
Finestra – Parete (40 cm)	SER 006	0,462
Angolo sporgente – Parete (30 cm)	ASP 004	0,396
Angolo sporgente – Parete (40 cm)	ASP 004	0,414
Pilastro – Parete (30 cm)	PIL 004	0,618
Pilastro – Parete (40 cm)	PIL 004	0,569

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

Ambiente	$\Psi \cdot L$ [W/K]	U·A [W/K]	Ambiente	$\Psi \cdot L$ [W/K]	U·A [W/K]
Corridoio - ingresso	35,45	457,08	Atrio	29,36	210,21
WC 1 - WC 2	40,75	162,69	Ass_Soc_2	34,86	148,63
Ufficio 1	15,81	107,12	Ass_Soc_3	14,90	104,66
Ufficio 2	15,69	105,30	Ludoteca	14,97	103,35
Ufficio 3 - Direzione	15,36	101,69	Sala riunione	11,98	104,07
Ufficio 4	15,57	104,07	Sala fotocopie	16,75	110,41
Ufficio 5 - Direzione	15,57	111,01	Ufficio 7	16,51	130,30
Direzione 2 - Disimpegno	20,96	157,81	Ufficio 8 - Ufficio 6	16,62	132,02
Aula didattica_1	17,06	121,64	Responsabile - CED	16,75	133,46
Ass_Soc_1	16,66	117,96	Ufficio 9	16,51	129,38
WC 3	34,99	186,03	Ufficio 10	34,94	154,99

Tabella 16. Valori dei coefficienti di dispersione per trasmissione per i singoli ambienti

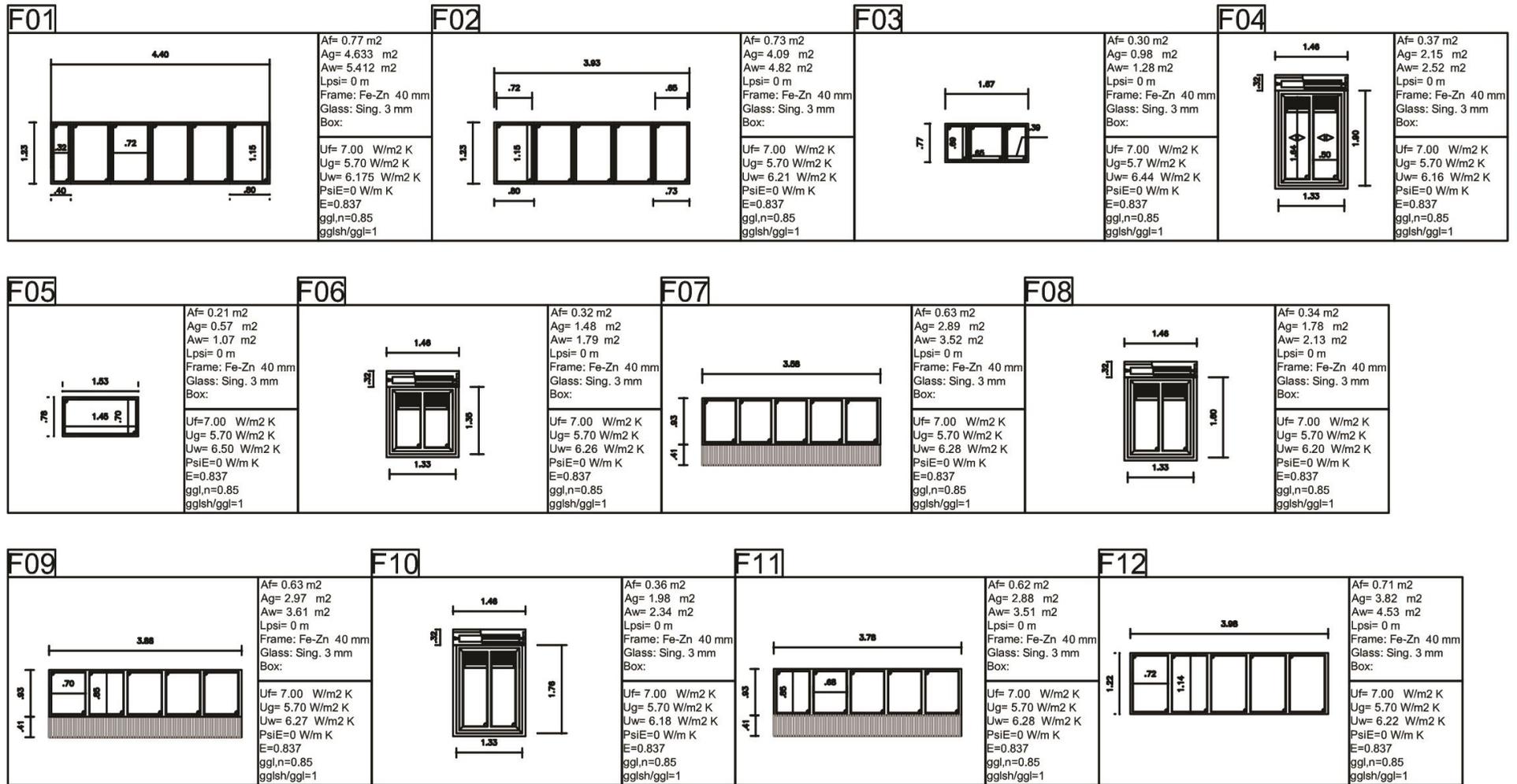


Figura 25. Abaco degli infissi

3.1.6 Caratteristiche di illuminazione e ventilazione degli ambienti interni

All'interno dei singoli ambienti presenti nella zona termica si è provveduto all'inserimento dei parametri relativi all'illuminazione artificiale ed alla ventilazione naturale. Non sono presenti impianti di ventilazione meccanica.

Per quanto riguarda l'illuminazione artificiale, sono stati inseriti i dati di potenza installata coerentemente con i risultati del censimento, già riportati in Tabella 7. A partire dai valori della potenza installata, i consumi elettrici sono calcolati facendo riferimento alla norma UNI EN 15193:2008.

Inoltre, non essendo presente un sistema di ventilazione meccanica controllata, il ricambio d'aria è da attribuire alla sola aerazione dei locali. In questo caso, per edifici non residenziali, la procedura di calcolo della UNI 11300-1 prevede, alla sezione 12.2, la determinazione del numero di ricambi orari nominali, valutati ai sensi della UNI 10339 in relazione alla destinazione d'uso dell'ambiente e all'indice di affollamento. Al numero di ricambi orari nominali viene quindi applicato un fattore di correzione, che tiene conto dell'effettivo profilo di utilizzo e delle infiltrazioni che si hanno quando non si opera l'aerazione, pervenendo così al numero di ricambi orari effettivi. Secondo il prospetto E.2 della UNI 11300-1, il fattore di correzione vale 0.59 negli uffici e 0.08 nei servizi igienici con estrazione forzata.

In Tabella 17 si riportano i risultati per ogni singolo ambiente. Nel complesso, il coefficiente di dispersione per ventilazione risulta $H_v = 474.13 \text{ W/K}$.

Ambiente	Tipo di locale	Ricambi orari nominali [h ⁻¹]	Ricambi orari effettivi [h ⁻¹]	H _v [W/K]
Corridoio - ingresso	-	-	-	-
WC 1 - WC 2	Servizi	8.00	0.64	29.0
Ufficio 1	Uffici	0.78	0.46	22.2
Ufficio 2	Uffici	1.05	0.62	29.3
Ufficio 3 - Direzione	Uffici	0.55	0.32	14.8
Ufficio 4	Uffici	0.80	0.47	22.2
Ufficio 5 - Direzione	Uffici	0.53	0.31	14.5
Direzione 2 - Disimpegno	Uffici	0.54	0.32	23.7
Aula didattica_1	Locale riunione	1.11	0.57	28.2
Ass_Soc_1	Uffici	1.03	0.61	28.2
WC 3	Servizi	8.00	0.64	30.2
Atrio	-	-	-	-
Ass_Soc_2	Uffici	0.83	0.49	22.1
Ass_Soc_3	Uffici	0.77	0.45	21.2
Ludoteca	Uffici	1.20	0.71	33.1
Sala riunione	Locale riunione	1.48	0.75	35.5
Sala fotocopie	Uffici	0.51	0.30	14.8
Ufficio 7	Uffici	0.76	0.45	21.4
Ufficio 8 - Ufficio 6	Uffici	1.50	0.89	50.2
Responsabile - CED	Uffici	0.25	0.15	5.8
Ufficio 9	Uffici	0.51	0.30	13.9
Ufficio 10	Uffici	1.31	0.77	22.7

Tabella 17. Valori del tasso di ricambio d'aria per singolo ambiente

3.1.7 Dati impianti

Come esposto nel paragrafo 2.3, nell'edificio oggetto di intervento la produzione di acqua calda sanitaria avviene tramite due scaldacqua elettrici da 1200 W di potenza, mentre la climatizzazione estiva ed invernale è realizzata tramite n°23 pompe di calore reversibili di tipo monosplit, di cui n°10 con regolazione ad inverter e n°13 con funzionamento on/off, di marche e modelli diversi.

Per via dell'irreperibilità di tutte le schede tecniche afferenti ad ogni singola macchina, la simulazione è stata effettuata considerando come riferimento una unità split di caratteristiche intermedie, con potenza termica di 3,81 kW in riscaldamento e di 3,52 kW in raffrescamento. Ai fini del calcolo sono quindi state

simulate nel software due pompe di calore reversibili, una di tipo on/off ed una di tipo ad inverter, con potenze complessive pari ai valori sopra citati moltiplicati per il numero di unità dello stesso tipo reperite all'interno dell'edificio. Si riportano di seguito le schede descrittive impostate nel software di calcolo ai fini della valutazione della prestazione energetica.

Le caratteristiche tecniche delle unità split, ed in particolare i valori di COP ed EER nelle condizioni nominali, sono stati ricavati dai cataloghi tecnici con riferimento ad unità datate e non più in commercio, e non rappresentano quindi lo stato dell'arte in termini di efficienza energetica. 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 precisi.

Figura 26. Impostazioni per unità split ad inverter (raffrescamento)

Prestazioni della pompa di calore			
Aggiungi - Elimina - Stampa			
	Potenze [kW]	COP/GUE	
	20	20	
7,0		38,1	3,2

Figura 27. Impostazioni per unità split ad inverter (riscaldamento)

Marca:
 Modello:
 Descrizione: ON/OFF
 Note: Totali PDC N° 13
 Codice catasto impianti: Anno di installazione:
 Tipo pompa: Elettrica Condizionatore / Split
 Tipo funzionamento: On-Off
 Combustibile: Elettricità
 Potenza nominale [kW]: 45,7600
 Oggetto di intervento / riqualificazione
 Sorgenti: Aria - Aria
 Temperatura bulbo esterno [°C]: 35,0000
 Temperatura bulbo interno [°C]: 19,0000
 Valori di EER / GUE
 EER 100%: 2,8300
 EER 75%: 3,1000
 EER 50%: 3,4000
 EER 25%: 3,2500
 Coefficienti di correzione del rendimento
 Velocità del ventilatore unità interna: Media 0,9900
 Lunghezza equivalente della tubazione fra unità esterna e interna [m]: 7,5000 1,0000
 Percentuale della portata nominale dei canali dell'unità interna [%]: 100,0000 1,0000
 Percentuale della portata nominale dei canali dell'unità esterna [%]: 100,0000 1,0000

Figura 28. Impostazioni per unità split on/off (raffrescamento)

Marca:
 Modello:
 Descrizione: ON/OFF |
 Note: Totali PDC N° 13
 Codice catasto impianti: Anno di installazione:
 Tipo pompa: Elettrica Condizionatore / Split
 Tipo funzionamento: On-Off
 Combustibile: Elettricità
 Temperatura di disattivazione (SH,off) [°C]: 20,0000
 Pozzo freddo
 Tipo sorgente: Aria esterna
 Temperatura minima di disattivazione (Scut,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
 + Aggiungi - Elimina Stampa

	Potenze [kW]	Cop/Gue
-	20	20
7,0	49,5	3,2

 Potenza nominale [kW]: 49,5300

Figura 29. Impostazioni per unità split on/off (riscaldamento)

3.2 Verifica energetica dell'edificio

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

3.2.1 Fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale

Il computo del fabbisogno di energia termica utile, riferito a condizioni di temperatura interna di 20°C, avviene tramite la procedura prevista dalla norma UNI TS 11300-1, che considera i limiti di esercizio dell'impianto e la durata della stagione di riscaldamento in funzione della zona climatica (zona B). I risultati, in termini di fabbisogno di energia termica utile, sono riportati in Tabella 18.

La Figura 30 riporta inoltre i valori degli indici di prestazione EP per il riscaldamento (kWh/m²). Si ricorda in tal senso che il pedice "nd" (need) fa riferimento al fabbisogno di energia utile, mentre gli altri dati si riferiscono al fabbisogno di energia primaria, rispettivamente rinnovabile (*ren*) e non rinnovabile (*nren*). Ai fini del computo del contributo delle fonti rinnovabili, si ricorda altresì che non sono presenti impianti solari termici o fotovoltaici, ma che comunque la pompa di calore elettrica contribuisce alla definizione della quota rinnovabile tramite il calore (gratuito) prelevato dall'ambiente esterno.

Analizzando i risultati, è possibile notare come l'indice EP_{H,nren} risulti molto al di sopra del valore limite previsto per il corrispondente edificio di riferimento. Il rendimento globale di impianto ($\eta_H = 1.784$) risulta invece confacente, in quanto superiore al valore calcolato per l'edificio di riferimento.

Nonostante tali verifiche non siano obbligatorie ai sensi del DM 26/06/15 per edifici esistenti, ma solo in caso di nuova costruzione o ristrutturazioni importanti di I livello, ciò segnala comunque una prestazione energetica scadente dell'edificio in esame.

Infine, è interessante sottolineare che il fabbisogno di energia elettrica per la climatizzazione invernale stimato dal software è pari a **19 374,0 kWh/anno**, il che corrisponde ad una performance media annua per le pompe di calore pari a **COP = 3.48**.

MESI	kWh
Gennaio	20 959
Febbraio	16 684
Marzo	13 013
Dicembre	16 751
TOTALE	67 407

Tabella 18. Fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento

Servizio: Riscaldamento			Edificio reale	Edificio di riferimento
Indice di prestazione termica utile per il riscaldamento	EPH,nd	kWh/m ² anno	75,61	22,36
Rendimento medio stagionale	η_H	-	1,784	1,276
Energia primaria non rinnovabile per il servizio	EPH,nren	kWh/m ² anno	42,38	17,52
Energia primaria rinnovabile per il servizio	EPH,ren	kWh/m ² anno	64,07	4,22
Energia primaria totale per il servizio	EPH	kWh/m ² anno	106,44	21,74

Figura 30. Prestazioni globali del servizio di riscaldamento

3.2.2 Fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva

Per quanto concerne il servizio di raffrescamento, per il periodo compreso tra giugno e settembre, si rimanda alla Tabella 19 ed alla Figura 31. In tal caso l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva ($EP_{C,nren}$) è inferiore al valore calcolato per l'edificio di riferimento, ed il rendimento globale di impianto ($\eta_C = 1.651$) risulta superiore al valore calcolato per l'edificio di riferimento.

Infine, è interessante sottolineare che il fabbisogno di energia elettrica per la climatizzazione estiva stimato dal software è pari a **11740 kWh/anno**, il che corrisponde ad una performance media annua per le unità split pari a **EER = 3.22**.

MESI	kWh
Giugno	5 888
Luglio	14 685
Agosto	13 547
Settembre	3 664
TOTALE	37 810

Tabella 19. Fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento

Servizio: Raffrescamento		Edificio reale		Edificio di riferimento
Indice di prestazione termica utile per raffrescamento	EPC,nd kWh/m ² anno	42,41	43,83	
Rendimento medio stagionale	η_C -	1,651	1,064	
Energia primaria non rinnovabile per il servizio	EPC,nren kWh/m ² anno	25,68	41,19	
Energia primaria rinnovabile per il servizio	EPC,ren kWh/m ² anno	6,19	9,93	
Energia primaria totale per il servizio	EPC kWh/m ² anno	31,87	51,12	

Figura 31. Prestazioni globali del servizio di raffrescamento

3.2.3 Fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria

Analogamente al servizio di climatizzazione estiva ed invernale, il software effettua il computo del fabbisogno di energia termica utile per l'acqua calda sanitaria tramite la procedura prevista dalla norma UNI TS 11300-2. In Tabella 20 si riportano i valori mensili del fabbisogno di energia termica (1650,5 kWh), calcolati assumendo un consumo standard di 178 litri al giorno erogati a 40°C. Il corrispondente fabbisogno di energia elettrica per l'alimentazione dei boiler, calcolato secondo la UNI 11300-2, risulta di **2865 kWh/anno**. L'efficienza media complessiva del sistema è dunque pari al 57%.

Dai risultati riportati in Figura 32 si nota come l'indice $EP_{W,nren}$ risulti di poco inferiore al valore limite dell'edificio di riferimento, mentre il rendimento globale di impianto ($\eta_W = 0.295$) risulta di poco superiore.

MESI	kWh
Gennaio	140,2
Febbraio	126,6
Marzo	140,2
Dicembre	135,7
Maggio	140,2
Giugno	135,7
Luglio	140,2
Agosto	140,2
Settembre	135,7
Ottobre	140,2
Novembre	135,7
Dicembre	140,2
TOTALE	1650,5

Tabella 20. Fabbisogno ideale di energia termica per l'ACS

 Servizio: Produzione acqua calda sanitaria			<u>Edificio reale</u>	<u>Edificio di riferimento</u>
Indice di prestazione termica utile per ACS	EPW,nd	kWh/m ² anno	1,85	1,85
Rendimento medio stagionale	η_W	-	0,295	0,269
Energia primaria non rinnovabile per il servizio	EPW,nren	kWh/m ² anno	6,27	6,88
Energia primaria rinnovabile per il servizio	EPW,ren	kWh/m ² anno	1,51	1,66
Energia primaria totale per il servizio	EPW	kWh/m ² anno	7,78	8,53

Figura 32. Prestazioni globali del servizio di ACS

3.2.4 Fabbisogno energetico per l'illuminazione

Tale fabbisogno è determinato in conformità alla UNI EN 15193:2008, ed è individuato solo per gli edifici ad uso non residenziale, come nel caso oggetto di studio. Ai fini del calcolo, la UNI EN 15193:2008 assume un tempo di accensione diurno pari a 1560 ore/anno per locali ad uso ufficio, e a 416 ore/anno per locali di servizio (WC, corridoi); inoltre, per tutti i locali si considerano ulteriori 250 ore/anno di accensione notturna.

In Tabella 21 si riportano i valori del fabbisogno energetico di illuminazione artificiale e del fabbisogno totale. Per una migliore comprensione dei risultati si consideri che, ai sensi della UNI EN 15193:2008, vengono conteggiati 6 kWh/m² di consumi parassiti, di cui 1 kWh/m² per le lampade di emergenza e 5 kWh/m² per tenere conto dei sistemi di controllo delle luci dimmerabili, nonché dei consumi di queste ultime quando in stand-by. In realtà, nell'edificio in esame quest'ultimo contributo non è pertinente, ma il software utilizzato non permette di eliminarlo. Volendo dunque scomputarlo, il fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione risulterebbe 17681 kWh/anno + 890 kWh/anno (emergenza) = **18571 kWh/anno**.

MESI	Illuminazione [kWh]	Parassita [kWh]	TOTALE [kWh]
Gennaio	1501,7	454,3	1956,0
Febbraio	1356,4	410,3	1766,7
Marzo	1501,7	454,3	1956,0
Dicembre	1453,3	439,6	1892,9
Maggio	1501,7	454,3	1956,0
Giugno	1453,3	439,6	1892,9
Luglio	1501,7	454,3	1956,0
Agosto	1501,7	454,3	1956,0
Settembre	1453,3	439,6	1892,9
Ottobre	1501,7	454,3	1956,0
Novembre	1453,3	439,6	1892,9
Dicembre	1501,7	454,3	1956,0
TOTALE	17681,2	5348,8	23020,3

Tabella 21. Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione

 Servizio: Illuminazione			<u>Edificio reale</u>	<u>Edificio di riferimento</u>
Energia primaria non rinnovabile per il servizio	EPL,nren	kWh/m ² anno	52,77	48,90
Energia primaria rinnovabile per il servizio	EPL,ren	kWh/m ² anno	12,72	11,79
Energia primaria totale per il servizio	EPL	kWh/m ² anno	65,49	60,69

Figura 33. Prestazioni globali del servizio d'illuminazione

3.2.5 Prestazione energetica globale

A complemento dei risultati commentati nei paragrafi precedenti, si riportano in Tabella 22 e Tabella 23 i fabbisogni di energia primaria (rinnovabile e non rinnovabile) associati a ciascun servizio energetico, espressi rispettivamente in termini di kWh/anno e kWh/m² per anno.

Per una migliore comprensione dei risultati si osservi che, ai sensi delle UNI TS 11300, si utilizzano per l'energia elettrica i seguenti coefficienti di conversione in energia primaria:

RINNOVABILE:	0.47
NON RINNOVABILE:	1.95

In pratica, ciò corrisponde al ritenere che il 19.42% dell'energia elettrica prelevata dalla rete provenga da fonti rinnovabili, in ragione del mix delle tecnologie ad oggi utilizzate per la produzione dell'energia elettrica in Italia. Inoltre, non si dimentichi che le pompe di calore contribuiscono, ai sensi della UNI TS 11300-4, all'utilizzo di energia primaria da fonti rinnovabili, in misura corrispondente all'energia gratuita prelevata dall'ambiente esterno. Per il servizio di riscaldamento l'aliquota di energia primaria da fonti rinnovabili corrisponde in questo caso al 50,3%; facendo invece riferimento ai fabbisogni totali, tale percentuale scende al 40%.

Servizio	Rinnovabile [kWh]	Non Rinnovabile [kWh]	TOTALE [kWh]
Riscaldamento (R)	57 115.29	37 779.32	94 894.61
Raffrescamento (C)	5 518.41	22 895.55	28 413.97
Acqua calda sanitaria (W)	1 346.41	5 586.18	6 932.59
Illuminazione (L)	11 338.85	47 044.17	58 383.02
TOTALE Servizi	75 318.96	113 305.22	188 624.19

Tabella 22. Fabbisogno annuo di energia primaria per singolo servizio

Servizio	Rinnovabile [kWh/m ²]	Non Rinnovabile [kWh/m ²]	TOTALE [kWh/m ²]
Riscaldamento (R)	64.07	42.38	106.45
Raffrescamento (C)	6.19	25.68	31.87
Acqua calda sanitaria (W)	1.51	6.27	7.78
Illuminazione (L)	12.72	52.77	65.49
TOTALE Servizi	84.49	127.1	211.59

Tabella 23. Fabbisogno annuo specifico di energia primaria per singolo servizio

Una volta elaborati i fabbisogni di energia primaria per i singoli servizi, il software consegna come output la classe energetica complessiva. L'appartenenza ad una delle classi energetiche previste dal DM 26/06/2015 è stabilita in funzione dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) che, nel caso in esame, risulta pari a 127,10 kWh/m²; tale valore è superiore al valore previsto per l'edificio di riferimento ($EP_{gl,nren,rif,standard} = 114,49$ kWh/m²).

L'edificio oggetto di studio rientra pertanto in una classe energetica media (**classe B**); la qualità prestazionale dell'involucro, sia invernale che estiva, è bassa. E' qui il caso di osservare che, nonostante le prestazioni energetiche dell'involucro siano scadenti, come testimoniato anche dagli elevati valori di trasmittanza termica evidenziati al paragrafo 3.1.4, le prestazioni globali del sistema edificio-impianto non risultano pessime. Ciò è senza dubbio da attribuire all'utilizzo delle pompe di calore per il riscaldamento invernale: per quanto obsolete e caratterizzate da prestazioni non di prim'ordine, le pompe di calore 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).



Figura 34. Prestazione energetica globale dello stato di fatto



Figura 35. Qualità dell'involucro annuale

3.2.6 Confronto tra consumi reali e consumi calcolati

In Tabella 24 vengono riepilogati i consumi di energia elettrica associati a tutti i servizi energetici (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, illuminazione), alla luce dei risultati del calcolo condotto tramite Blumatica Energy e secondo le stime effettuate a partire dal dato non disaggregato delle bollette elettriche.

In generale, si nota una discrepanza tra consumi calcolati dal software e consumi (stimati) desunti a partire dal dato non disaggregato di bolletta, fatta eccezione per il consumo relativo alla produzione di acqua calda sanitaria, per cui si osserva uno scarto di circa il 10%, Ciò è del tutto comprensibile, in quanto il calcolo condotto dal software si basa su un profilo di utilizzo standard degli impianti, diverso dall'utilizzo reale da parte degli utenti. Inoltre, per disaggregare le voci di consumo in bolletta sono state introdotte ulteriori ipotesi: i consumi in bolletta costituiscono di conseguenza un riferimento affidabile solo in relazione al totale, mentre la stima delle singole voci è affetta da un grado di incertezza non trascurabile.

In ogni caso, la maggiore discrepanza si rileva sulla voce “climatizzazione”, comprensiva di riscaldamento e raffrescamento, nel senso di una forte sovrastima del fabbisogno da parte del modello di calcolo rispetto ai valori esibiti in bolletta.

Per una più attendibile interpretazione dei 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, e comunque solo durante le ore di lavoro. Ciò giustifica la notevole discrepanza tra i consumi calcolati ed i consumi (stimati) in bolletta per le voci di riscaldamento e di raffreddamento;
- per quanto riguarda i consumi legati all’illuminazione parassita, la UNI 15193:2008 considera 5 kWh/m² per tenere conto dei sistemi di controllo delle luci dimmerabili. In realtà, nell’edificio in esame quest’ultimo contributo non è pertinente, ma il software utilizzato non permette di eliminarlo.

In conclusione, tenendo conto dei limiti segnalati, si ritiene che vi sia una buona convergenza tra i due risultati, e che le stime effettuate a partire dai dati disaggregati disponibili in bolletta costituiscano un buon riferimento per valutare l’impatto delle singole voci di consumo sul bilancio energetico dell’edificio.

Servizio	Dispositivi	Bollette [kWh/anno]	Calcolati [kWh/anno]
Riscaldamento	Unità split	5000	19374
	Stufe elettriche	1440	-
	TOTALE	6440	19374
Raffrescamento	Unità split	3700	11740
	Ventilatori	75	-
	TOTALE	3775	11740
Acqua calda sanitaria	TOTALE (Boiler)	2560	2865
Illuminazione	Luci	18160	17680
	Emergenza	900	890
	Consumi parassiti	-	4450
	TOTALE	19060	23020
Apparecchiature	TOTALE (PC, stampanti)	22370	-
	TOTALE Servizi	54200	-

Tabella 24. Fabbisogno di energia elettrica per singoli servizi – confronto tra bollette e calcoli

4 Simulazione dinamica dell'edificio

La simulazione numerica 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, illuminazione e tutte le attività e consumi attinenti all'edificio, 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: Design Builder

Design Builder è un software utilizzato per eseguire analisi energetiche di tipo dinamico sugli edifici calcolandone, in modo dettagliato, i fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento, le dispersioni termiche e i guadagni, e analizzandone il comfort interno. Permette di disegnare in 3D il modello dell'edificio e di assegnare caratteristiche fisiche dettagliate in merito alle dimensioni, ai materiali, agli impianti termici e ai carichi endogeni. Sviluppato da Design Builder Software, risulta essere l'interfaccia utente più completa per il software di calcolo EnergyPlus, creato dall'U.S. Department of Energy, simulando contemporaneamente l'ambiente e l'impianto di climatizzazione. In questa indagine è stata usata la versione 3.4.0.041.

In Design Builder è possibile creare un modello dell'edificio tramite il disegno di "blocchi" che rappresentano uno spazio tridimensionale; ogni blocco, a sua volta, può successivamente essere suddiviso in "zone", ossia ambienti con diverse caratteristiche termiche, ciascuna delle quali viene definita dalle superfici che la delimitano, come riportato in Figura 36.

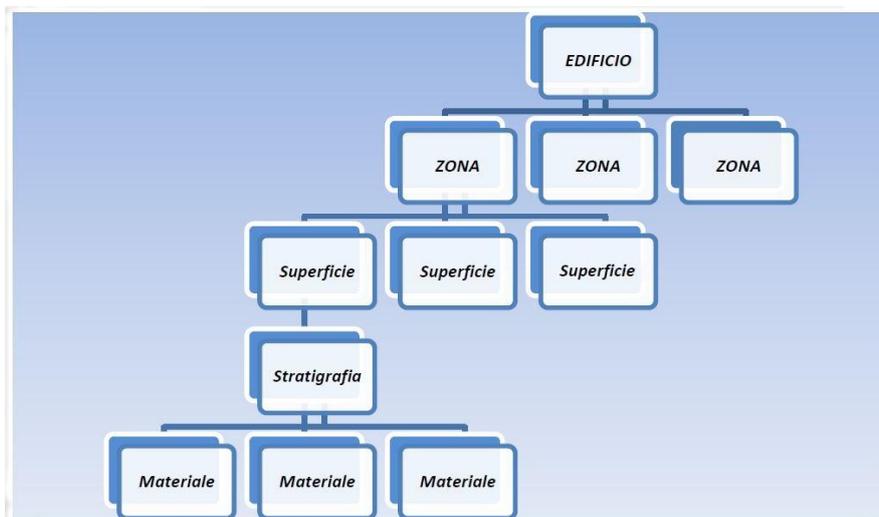


Figura 36. Schema della costruzione del modello di edificio

4.2 Input del programma

Design Builder riprende la struttura modulare di Energy Plus componendosi di diverse schede, ciascuna associata ad un diverso tipo di input:

- Località
- Layout
- Attività
- Costruzione
- Aperture
- Illuminazione
- HVAC

Andiamo adesso a vedere nel dettaglio i settaggi impostati come dati di input in ciascuna delle schede sopra citate, con riferimento alla simulazione dell'edificio oggetto di studio.

4.2.1 Località

Prima di creare il modello dell'edificio, è necessario definire la localizzazione: dal pannello "Località" viene richiesto di impostare il *template* (modello) della località, le coordinate geografiche, i dati climatici per la progettazione del riscaldamento e del raffrescamento, il file climatico ed infine alcuni dettagli geomorfologici del luogo come la quota sul livello del mare, l'esposizione al vento, le caratteristiche del terreno e le relative temperature mensili e le precipitazioni. Tutti questi dati, una volta definita la località, vengono inseriti automaticamente dal programma considerando i dati meteorologici dell'anno-tipo contenuti nel database di EnergyPlus e riferiti al template considerato. In Figura 37 sono riportati i settaggi impostati nella scheda "Località" che si rifanno al file climatico di CATANIA/FONTANAROSSA presente nel software.



Ufficio P. Frassati	
Layout	Località
Regione	
Template della località	CATANIA/FONTANAROSSA
Coordinate Geografiche	
Latitudine (°)	37.47
Longitudine (°)	15.05
Dettagli geomorfologici del luogo	
Altezza sopra il livello del mare (m)	17.0
Esposizione al vento	2-Normale
Orientamento del luogo (°)	0
Terreno	>>
Temperatura dell'Acqua dalla rete	>>
Precipitazione	>>
Irrigazione tetto verde	>>
Zona Oraria e parametri ora legale	>>
File climatico per la simulazione	>>
Dati climatici Progetto Riscaldamento	>>
Dati climatici Progetto Raffrescamento	>>
Correttori Intervallo di Temperatura	>>
Temperatura di progetto	>>
<input checked="" type="radio"/> attendibilità del 99.6% (basato sulla temperatura a bulbo secco)	
Temperatura massima a bulbo secco (°C)	34.9
Temperatura a bulbo umido coincidente (°C)	22.7
Temperatura minima a bulbo secco (°C)	23.4
<input type="radio"/> attendibilità del 99% (basato sulla temperatura a bulbo secco)	
<input type="radio"/> attendibilità del 98% (basato sulla temperatura a bulbo secco)	
<input type="radio"/> attendibilità del 99.6% (basato sulla temperatura a bulbo umido)	

Figura 37. Design Builder: esempio di impostazione "Località" e file climatico di Catania

4.2.2 Layout

Nella scheda “Layout” è possibile modellare l’edificio grazie all’interfaccia grafica della scheda “Edita” che consente di creare la geometria del modello. Come abbiamo precedentemente accennato, il modello viene creato attraverso la costruzione di “blocchi”; l’edificio oggetto di studio, composto da un solo livello abitabile al piano terra, è stato modellato disegnando un unico blocco che comprende tutti gli ambienti e chiamato “Blocco 1”, individuato seguendo il filo esterno dell’involucro edilizio.

I vari ambienti interni sono stati ricavati tracciando le varie partizioni, tenendo conto del fatto che il software richiede di considerare come superfici di divisione le linee che passano per la mezzeria dei tramezzi. La pianta base utilizzata per tracciare la geometria del modello è riportata in Figura 38.

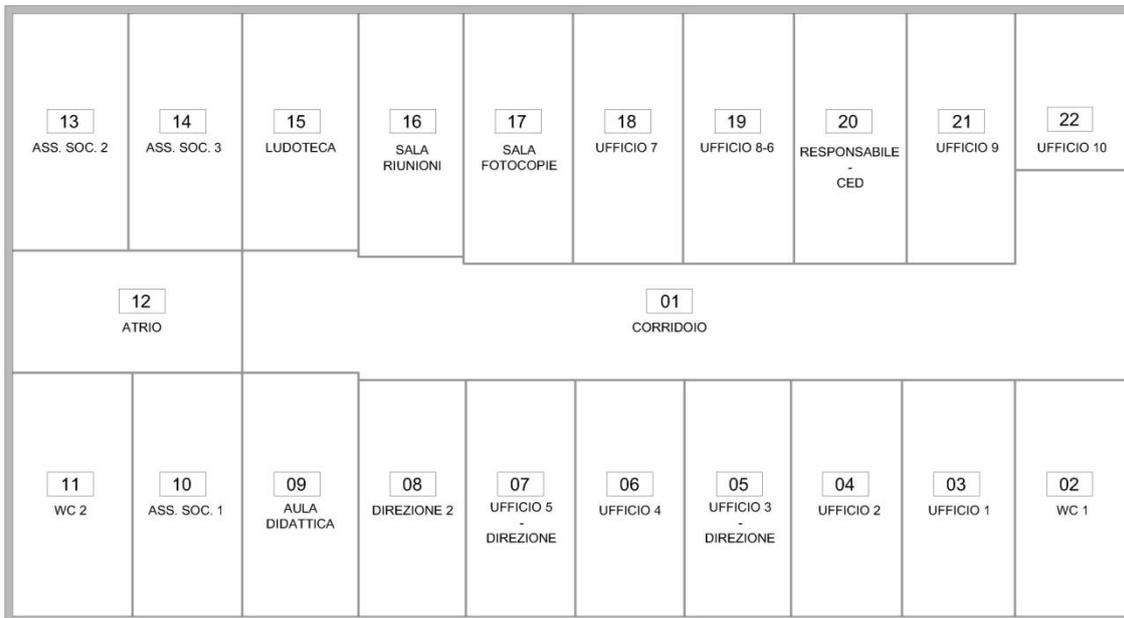


Figura 38. Pianta base dell’edificio importata in Design Builder

Ulteriori blocchi sono stati creati per simulare le coperture dei lucernai, ed in particolare il “Blocco 2” per la copertura piana del lucernaio ad ovest ed il blocco “Tetto” per la copertura a falda con abbaini del lucernaio ad est. Sono stati poi creati dei “blocchi componente”, che il software non considera come volumi e quindi esclude dai calcoli energetici, per simulare gli aggetti presenti nella copertura, importanti ai fini del calcolo in quanto intercettano la radiazione solare che incide sull’involucro.

Una volta definita la geometria delle pareti dell’involucro, delle partizioni interne e della copertura si è passati al disegno della geometria delle aperture esterne ed interne, ed infine sono state create delle sotto-superfici sulle pareti per simulare le porzioni di parete a diversa trasmittanza quali i cassonetti dell’avvolgibile e i vari ponti termici esistenti tra la parete e il pilastro, la parete e la finestra e la parete con il solaio di copertura.

In Figura 39 sono riportati il Blocco 1 e il modello completo così come visualizzati nella scheda “Edita” del software.

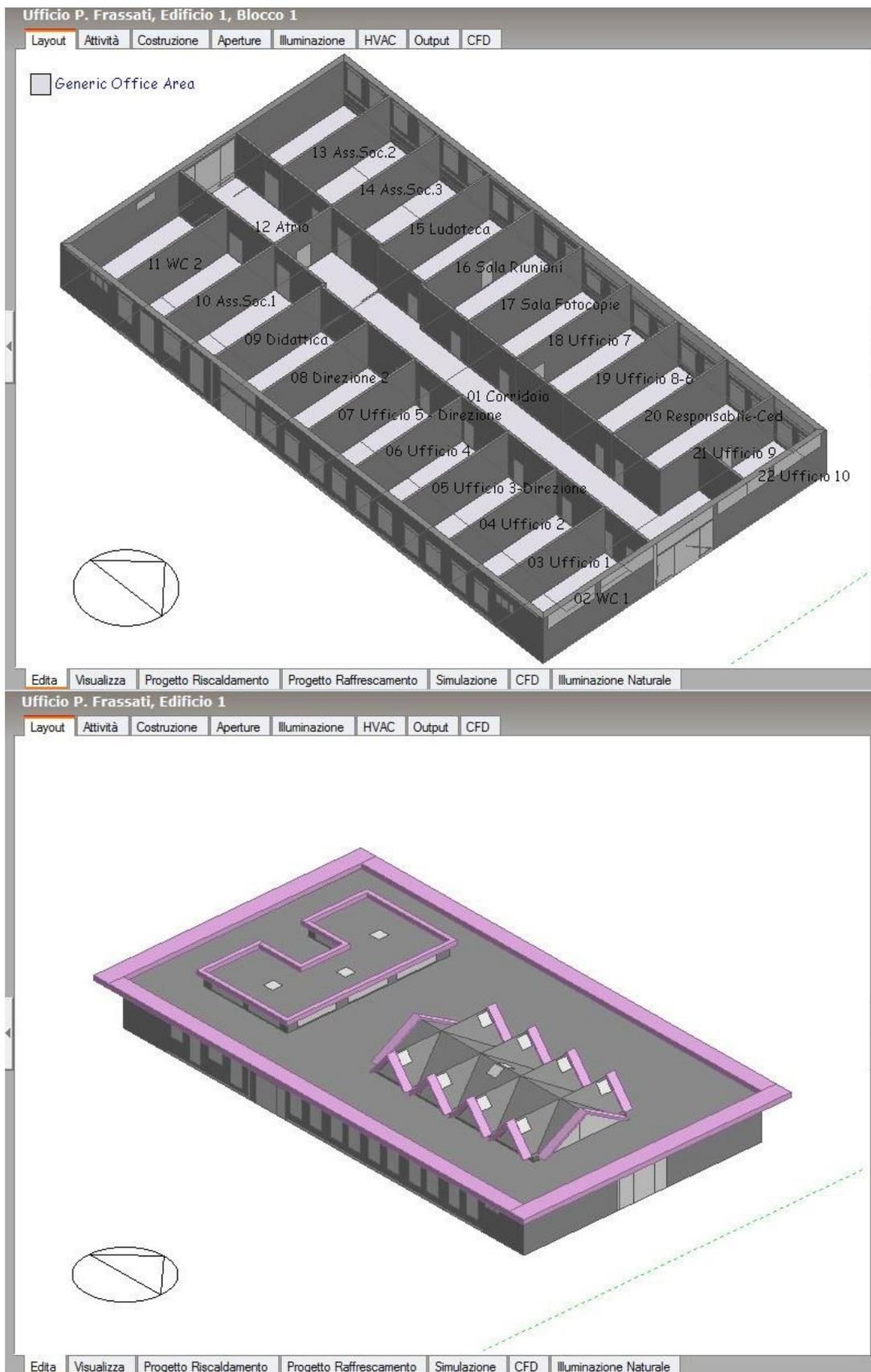


Figura 39. Design Builder: visualizzazione del "Blocco 1" e del modello completo

4.2.3 Attività

In questa scheda è possibile impostare, per ciascuna zona precedentemente definita, le modalità di utilizzo dell'ambiente; in particolare, si possono impostare i carichi endogeni (luci, apparecchiature), il tasso di occupazione e le temperature di set-point per il riscaldamento e raffrescamento.

In merito a quest'ultimo punto, sono state impostate le stesse temperature di set-point per tutti i locali riscaldati del Blocco 1, ovvero tutte le zone eccetto i servizi e l'atrio: in particolare, si è utilizzata una temperatura di set-point di 20°C per il riscaldamento invernale e di 26°C per il raffrescamento estivo.

Per quanto riguarda i dati relativi ai carichi endogeni, il software permette di impostare il tasso di occupazione dei locali e il contributo dovuto alle apparecchiature, nella fattispecie i computer. È possibile prevedere un programma che descriva come l'occupazione e l'utilizzo delle apparecchiature variano nelle ore del giorno e nei giorni dell'anno; in entrambi i casi si è creato un programma che segue i giorni e gli orari tipici previsti in un ufficio, ovvero un impiego settimanale dal lunedì al venerdì, dalle 8:00 alle 18:00 con un'ora di pausa dalle 13:00 alle 14:00. Il profilo giornaliero è stato impostato supponendo un fattore di contemporaneità del 75%, per tenere conto del fatto che verosimilmente i locali non sono costantemente occupati dalla totalità degli impiegati, e che le apparecchiature non sono pienamente utilizzate nella totalità delle ore considerate. Questo settaggio è applicato ai locali adibiti ad ufficio, mentre nelle zone Corridoio, Sala Riunioni, Aula Didattica e Ludoteca è stato ipotizzato un profilo di utilizzo diverso, di entità minore; nei servizi, in quanto zona di sosta breve, l'entità dei carichi endogeni dovuta all'occupazione è trascurabile e non sono presenti apparecchiature.

Riportiamo in Figura 40 e Figura 41 il profilo orario e il programma annuale di occupazione e utilizzo apparecchiature per le zone adibite ad ufficio.

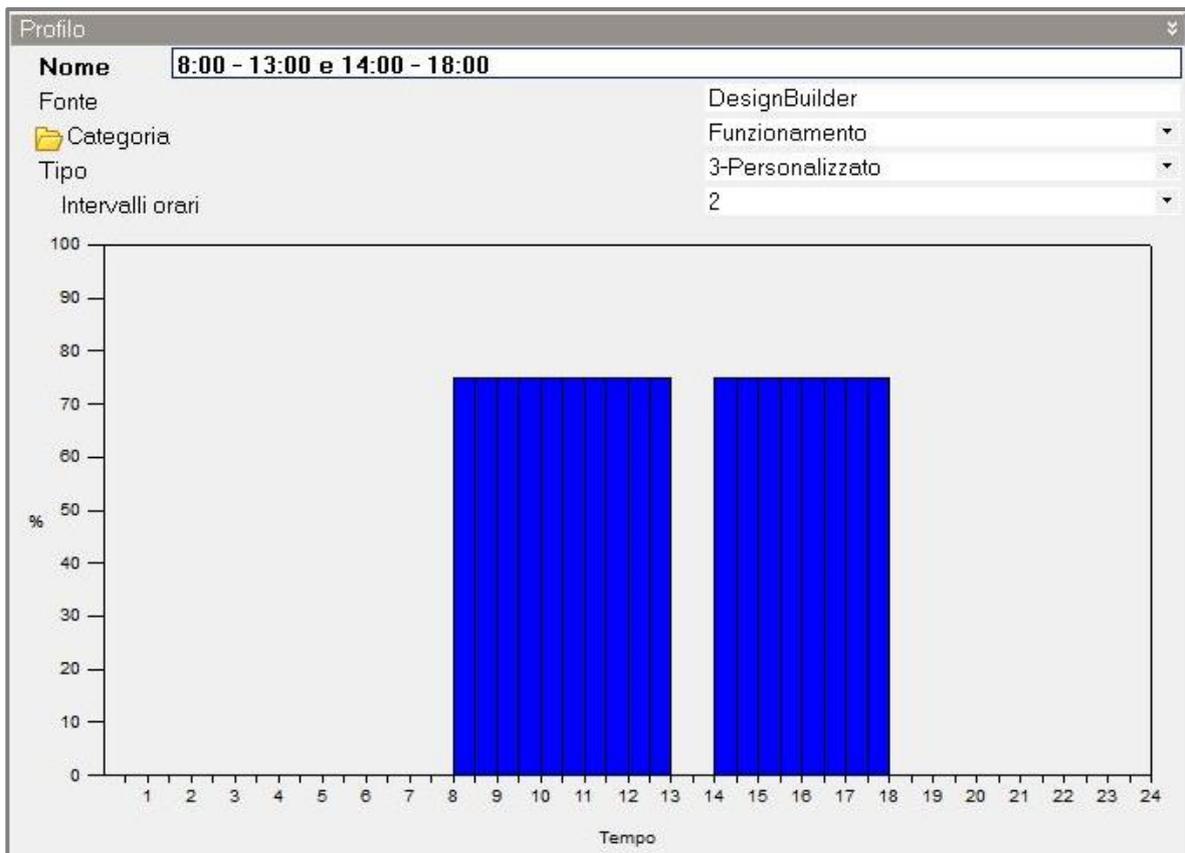


Figura 40. Design Builder: profilo orario di occupazione locali e di utilizzo apparecchiature

Giorni di progetto							
Definizione giorno di progetto						2-Profili	
<input checked="" type="checkbox"/> Profilo giorno di progetto invernale <input checked="" type="checkbox"/> Profilo giorno di progetto estivo						On	
						Off	
Profili							
Mese	Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato	Domenica
Gen	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Feb	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Mar	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Apr	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Mag	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Giu	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Lug	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Ago	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Set	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Ott	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Nov	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				
Dic	8:00 - 13:00 e 14:00 - 18:00	Off	Off				

Figura 41. Design Builder: programma annuale di occupazione locali e di utilizzo apparecchiature

Il tasso di occupazione nominale deve essere inserito nel software in termini di “Densità”, espressa in persone/m², mentre il contributo dei computer va inserito modificando la voce “Apporti”, espressi in W/m²; entrambi i dati vanno attribuiti ad ogni singola zona, in quanto i locali sono in generale occupati da un numero diverso di persone e in essi sono presenti diverse apparecchiature. Riportiamo nella Tabella 25 i valori di densità di occupazione, e in Tabella 26 gli apporti legati alle apparecchiature per ogni zona del modello. Nella scheda Attività è possibile inoltre indicare il tasso metabolico degli occupanti sulla base del tipo di attività svolta, nella fattispecie attività di ufficio, e la resistenza dovuta al vestiario: quest’ultima è stata impostata su 1 clo per quanto riguarda l’abbigliamento invernale e su 0.5 clo per l’abbigliamento estivo. Si riporta in Figura 42 la scheda Attività dell’Ufficio 1 a titolo di esempio.

Zona	Tipo	Superficie [m ²]	Persone [p]	Densità [p/m ²]
1	Corridoio	164.98	20	0.12
2	WC 1	35.08	0	0.00
3	Ufficio 1	35.82	3	0.08
4	Ufficio 2	35.17	4	0.11
5	Ufficio 3 - Direzione	33.96	2	0.06
6	Ufficio 4	34.95	3	0.09
7	Ufficio 5 - Direzione	34.56	2	0.06
8	Direzione 2	45.09	2	0.04
9	Didattica	37.06	10	0.27
10	Ass. Soc. 1	34.48	4	0.12
11	WC 2	33.68	0	0.00
12	Atrio	39.14	10	0.26
13	Ass. Soc. 2	33.51	1	0.03
14	Ass. Soc. 3	34.64	3	0.09
15	Ludoteca	34.71	10	0.29
16	Sala Riunioni	34.93	10	0.29
17	Sala Fotocopie	36.58	1	0.03
18	Ufficio 7	35.47	6	0.17
19	Ufficio 8-6	53.09	6	0.11
20	Responsabile - CED	29.42	1	0.03
21	Ufficio 9	34.42	2	0.06
22	Ufficio 10	21.81	3	0.14

Tabella 25. Valori di densità di occupazione per ciascuna zona del modello

Zona	Tipo	Superficie [m ²]	n° Computer	Potenza totale [W]	Apporti [W/m ²]
1	Corridoio	164.98	0	0	0
2	WC 1	35.08	0	0	0
3	Ufficio 1	35.82	3	1020	28
4	Ufficio 2	35.17	4	1360	39
5	Ufficio 3 - Direzione	33.96	2	680	20
6	Ufficio 4	34.95	3	1020	29
7	Ufficio 5 - Direzione	34.56	2	680	20
8	Direzione 2	45.09	2	680	15
9	Didattica	37.06	1	340	9
10	Ass. Soc. 1	34.48	4	1360	39
11	WC 2	33.68	0	0	0
12	Atrio	39.14	0	0	0
13	Ass. Soc. 2	33.51	3	1020	30
14	Ass. Soc. 3	34.64	4	1360	39
15	Ludoteca	34.71	1	340	10
16	Sala Riunioni	34.93	0	0	0
17	Sala Fotocopie	36.58	1	1500	41
18	Ufficio 7	35.47	3	1020	29
19	Ufficio 8-6	53.09	3	1020	19
20	Responsabile - CED	29.42	1	340	12
21	Ufficio 9	34.42	3	1020	30
22	Ufficio 10	21.81	3	1020	47

Tabella 26. Valori degli apporti legati alle apparecchiature, per ciascuna zona del modello

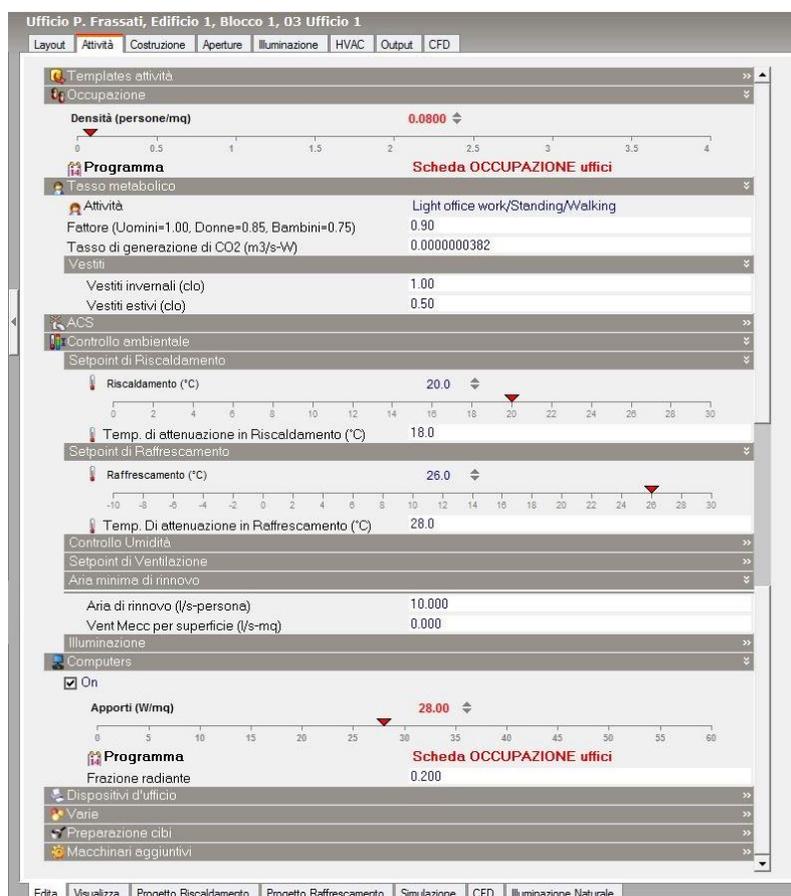


Figura 42. Design Builder: scheda Attività per l'Ufficio 1

4.2.4 Costruzione

Definita la geometria e la funzionalità degli ambienti, in questa scheda si passa a definire la composizione delle diverse strutture murarie e delle coperture.

Di ciascuna tipologia di struttura deve essere definita una stratigrafia che può essere scelta nel database o creata ex-novo. Nel nostro modello le strutture e le relative stratigrafie sono state create appositamente andando ad inserire i diversi materiali che le compongono, con i relativi spessori e caratteristiche, ed in particolare inserendo i valori di conducibilità [W/m·K], densità [kg/m³] e calore specifico [J/kg·K]. Design Builder calcola in automatico la resistenza superficiale [m² K/W], la capacità termica [J/K], la trasmittanza [W/m²·K] e la resistenza termica [m² K/W] della stratigrafia stessa.

Coerentemente con quanto rappresentato al paragrafo 3.1.4, sono state modellate due diverse tipologie di pareti verticali, una da 30 cm e una da 40 cm; una tipologia di partizione interna da 16 cm; due tipologie di chiusura orizzontale di copertura, una da 45 cm, copertura del primo livello, e una da 28 cm, copertura dei lucernai; una tipologia di chiusura orizzontale di base da 30 cm.

Per quanto riguarda le caratteristiche termo-fisiche dei componenti dell'involucro edilizio rimandiamo a quanto scritto nel paragrafo 3.1.4; in Tabella 27 si riportano le stratigrafie così come impostate nel software e i valori di trasmittanza ottenuti. I valori di trasmittanza risultano elevati e non rispettano gli standard di normativa, a causa del mancato isolamento dei componenti dell'involucro. Le chiusure verticali presentano un'intercapedine d'aria come unica resistenza alla trasmissione del calore, mentre la chiusura orizzontale di copertura e la chiusura orizzontale di base non sono isolate in alcun modo.

Nella scheda "Costruzione" si possono anche definire delle "sotto-superfici" ovvero delle superfici con una stratigrafia diversa rispetto a quella degli elementi a cui appartengono. In particolare, sono state create delle sotto-superfici sulle pareti esterne per simulare i cassonetti che contengono le serrande avvolgibili delle finestre. Queste presentano una stratigrafia formata da 2 strati di alluminio di 2 mm ciascuno, separati da uno strato di aria, e risultano avere una trasmittanza $U = 3.846 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Nella scheda "Costruzione" è possibile anche definire la permeabilità all'aria dell'edificio. Le simulazioni sono state condotte adottando l'opzione "Ventilazione naturale: Calcolata": in questo caso, il software calcola le portate d'aria legate alle infiltrazioni in funzione della qualità dell'involucro, e tenendo conto delle caratteristiche di ventosità del sito. Nel modello è stato impostato a tal fine un template "Povero" per quanto riguarda le fessurazioni, tenendo conto del fatto che per l'edificio non sono stati previsti accorgimenti relativi alla minimizzazione della permeabilità dell'involucro né in fase progettuale né in fase operativa e che i vari componenti edilizi hanno subito il fisiologico calo prestazionale dovuto all'usura del tempo. Si riporta in Figura 43 la scheda "Costruzione" del software.

CHIUSURA VERTICALE	CHIUSURA VERTICALE
Spessore = 40 cm U = 1.332 W m⁻² K⁻¹	Spessore = 30 cm U = 1.332 W m⁻² K⁻¹
<p>Superficie esterna</p> <p>Intonaco Esterno (cemento e gesso) 2 cm</p> <p>Mattone pieno 12 cm</p> <p>Gap d'aria 16 cm</p> <p>Mattone forato 8 cm</p> <p>Intonaco Interno (calce e gesso) 2 cm</p> <p>Superficie interna</p>	<p>Superficie esterna</p> <p>Intonaco Esterno (cemento e gesso) 20 cm</p> <p>Mattone pieno 12 cm</p> <p>Gap d'aria 6 cm</p> <p>Mattone forato 8 cm</p> <p>Intonaco interno (calce e gesso) 2 cm</p> <p>Superficie interna</p>
PARTIZIONE INTERNA	CHIUSURA ORIZZONTALE DI BASE
Spessore = 16 cm U = 1.580 W m⁻² K⁻¹	Spessore = 30 cm U = 1.816 W m⁻² K⁻¹
<p>Superficie esterna</p> <p>Intonaco interno (calce e gesso) 2 cm</p> <p>Mattone forato 12 cm</p> <p>Intonaco interno (calce e gesso) 2 cm</p> <p>Superficie interna</p>	<p>Superficie esterna</p> <p>Mattonelle per interni 1,5 cm (fuori scala)</p> <p>Malta di allettamento 2 cm (fuori scala)</p> <p>Basamento in CLS 30 cm</p> <p>Superficie interna</p>
CHIUSURA ORIZZONTALE DI COPERTURA	CHIUSURA ORIZZONTALE DI COPERTURA
Spessore = 45 cm U = 1.108 W m⁻² K⁻¹	Spessore = 28 cm U = 1.769 W m⁻² K⁻¹
<p>Superficie esterna</p> <p>Mattonelle in cemento 1,5 cm (fuori scala)</p> <p>Malta di allettamento 2 cm (fuori scala)</p> <p>Guaina bituminosa 4 mm (fuori scala)</p> <p>Massetto delle pendenze 12 cm</p> <p>Solaio in latero cemento (25+6) cm</p> <p>Intonaco interno (calce e gesso) 2 cm</p> <p>Superficie interna</p>	<p>Superficie esterna</p> <p>Guaina bituminosa 4 mm (fuori scala)</p> <p>Solaio in latero cemento (20+6) cm</p> <p>Intonaco interno (calce e gesso) 2 cm</p> <p>Superficie interna</p>

Tabella 27. Stratigrafie dei vari componenti edilizi impostati nella scheda "Costruzione"

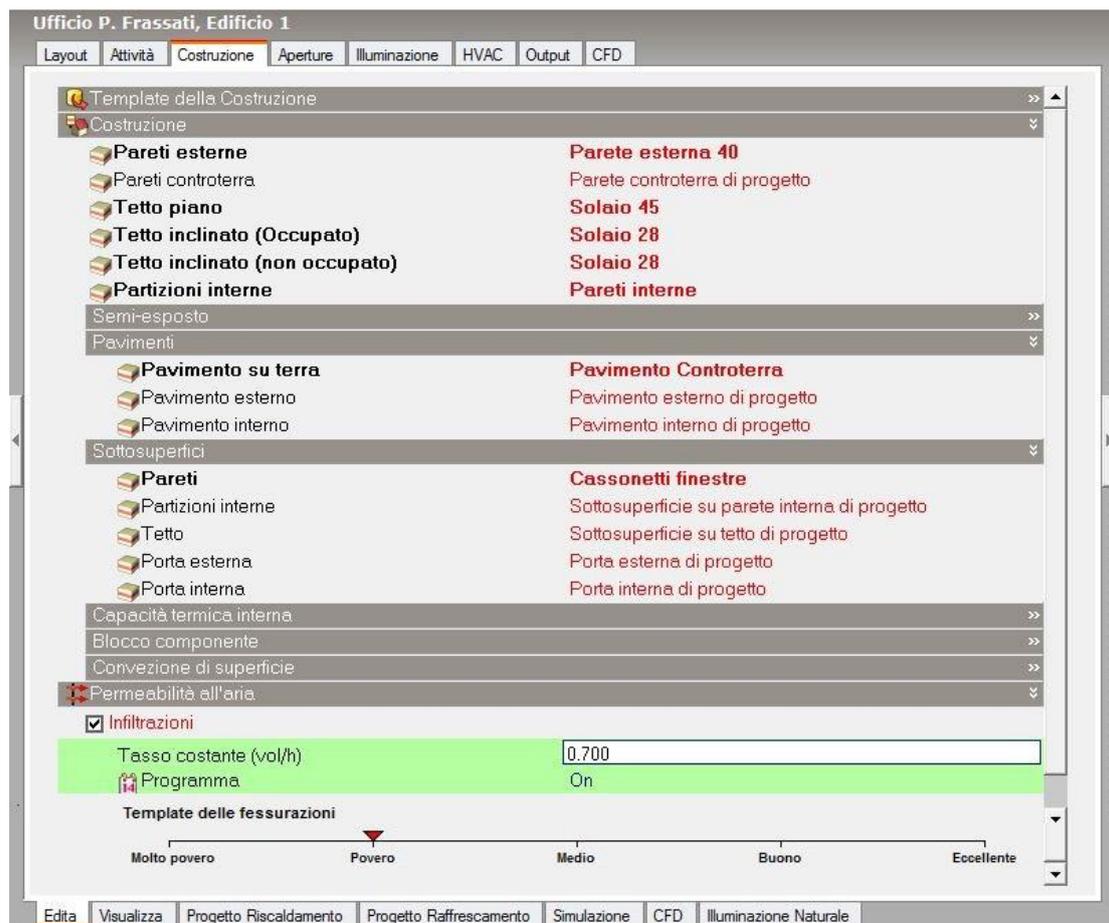


Figura 43. Design Builder: scheda Costruzione

4.2.5 Aperture

In questa scheda si possono descrivere nel dettaglio le caratteristiche di vetrate e porte, sia interne che esterne. Le finestre sono state disegnate nella fase di modellazione attraverso la scheda "Layout", dunque non è necessario specificare le loro dimensioni. E' possibile però specificare altre grandezze, quali la profondità della spalletta esterna ed interna e le dimensioni geometriche del telaio.

Si passa poi ad impostare i materiali che costituiscono i serramenti, che sono uguali per tutte le finestre presenti nell'edificio. Il tipo di vetro è un vetro singolo di 3 mm, al quale è stato conferito un valore di "riflessione solare" di 0.7 per simulare il fatto che i vetri dell'edificio in esame sono leggermente opacizzati per motivi di privacy; le vetrate hanno una trasmittanza $U_v = 5.89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, mentre il telaio è in alluminio senza taglio termico ed ha una trasmittanza $U_t = 5.88 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

In questa sezione della scheda è possibile anche specificare la percentuale di vetro ipotizzato aperto rispetto alla totalità della superficie vetrata: per tutti i serramenti è stato impostato un valore del 25%. Si è ipotizzato inoltre che gli utenti tengano chiuse le finestre in tutte le ore del giorno nel periodo invernale, ovvero nei mesi che vanno da Gennaio e Marzo e da Ottobre a Dicembre. Nei mesi estivi si è invece previsto, almeno per le simulazioni senza impianto di climatizzazione (*free running*), che le finestre siano costantemente aperte dalle 8:00 alle 18:00, in modo da regolare la temperatura interna grazie al significativo contributo della ventilazione naturale. Le finestre dei lucernai invece sono considerate sempre chiuse, in quanto essendo poste molto in alto non sono mai aperte dagli utenti o comunque lo sarebbero per una frazione di tempo trascurabile ai fini del calcolo.

In Figura 44 è possibile osservare i settaggi relativi al programma annuale di apertura delle finestre e il profilo giornaliero impostati per l'Ufficio 1.

Giorni di progetto							
Definizione giorno di progetto				1-Usò finale di default			
Utilizza default				2-Occupazione			
Profili							
Mese	Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato	Domenica
Gen	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Apr	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Off	Off
Mag	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Off	Off
Giù	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Off	Off
Lug	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Off	Off
Ago	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Off	Off
Set	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Apertura Finestre	Off	Off
Ott	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Nov	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Dic	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off

Figura 44. Design Builder: programma annuale di aperture finestre

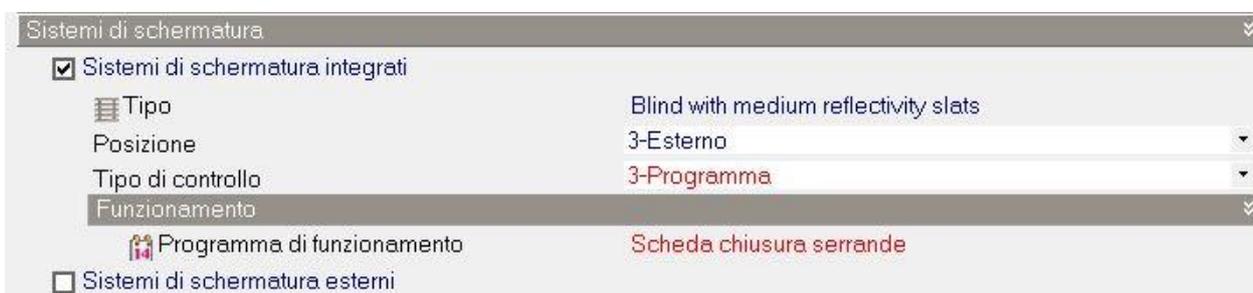


Figura 45. Design Builder: definizione del sistema di schermatura all'interno della scheda "Aperture"

Nella scheda relativa alle aperture è anche possibile inserire i dati relativi ai sistemi di schermatura specificandone la tipologia, la posizione rispetto alla finestra e il programma di funzionamento per ogni giorno dell'anno e per ogni ora del giorno. Nell'edificio oggetto di studio sono presenti sistemi di oscuramento esterni costituiti da serrande avvolgibili: per simularne il comportamento, nel modello sono state inserite delle schermature con lamelle opache a media riflettività, scelte tra le varie disponibili nella libreria di Design Builder. Anche per gli oscuranti, sulla base delle indagini condotte in situ, si è definito un profilo d'uso che prevede la chiusura delle serrande al 50%, in tutti i giorni della settimana e per tutte le ore del giorno. In Figura 45 si riporta la sezione relativa al sistema di schermatura e i settaggi impostati per una finestra dell'Ufficio 1.

Ci si è occupati infine delle porte, esterne ed interne, grazie all'apposita sezione presente nella scheda delle aperture, nella quale è possibile impostare le modalità di apertura e le percentuali ipotizzate aperte. L'edificio ha un ingresso unico, quindi per le porte presenti sul lato ovest e sul lato sud è stato previsto che le porte siano sempre chiuse. Per la porta d'ingresso, sita sul lato est, si è invece pensato di considerare la porta aperta per il 25% delle ore d'ufficio, con una percentuale di porta apribile del 25%, come mostrato in Figura 46. Per quanto riguarda le porte interne, è più difficile prevedere le modalità di funzionamento in quanto essa è a discrezione dell'utenza. È stato ipotizzato che esse siano aperte tutti i giorni per un totale di un'ora e mezza al giorno e con una percentuale di porta apribile del 100%.

Si riporta in conclusione a titolo di esempio, in Figura 47, la scheda "Aperture" per una finestra appartenente all'Ufficio 1.



Figura 46. Design Builder: settaggi relativi alla porta di ingresso all'interno della scheda "Aperture"

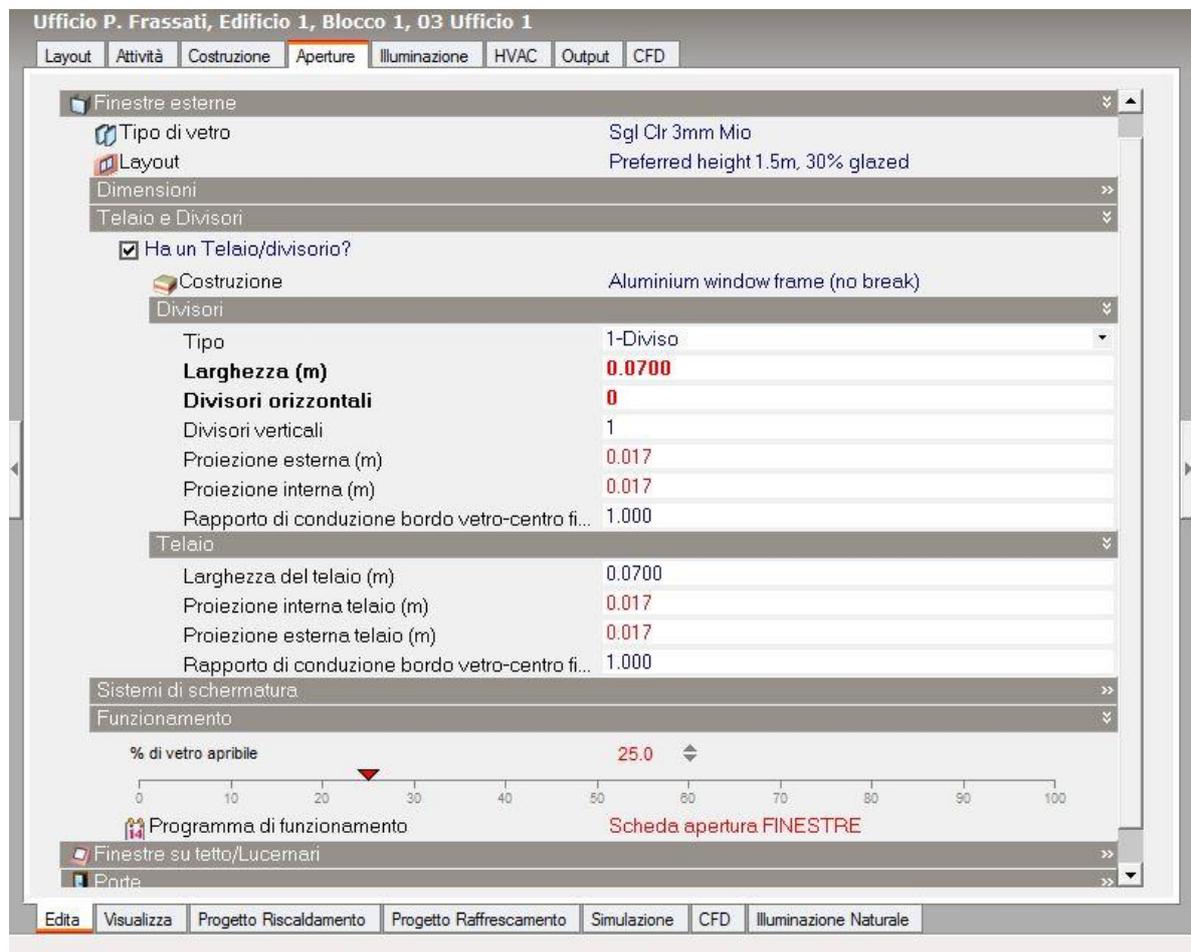


Figura 47. Design Builder: scheda "Aperture" per una finestra dell'Ufficio 1.

4.2.6 Illuminazione

A conclusione della descrizione dell'edificio, attraverso la scheda riguardante l'illuminazione, è possibile impostare la tipologia dei corpi illuminanti, la potenza e le schede di funzionamento. Bisogna anche specificare la modalità di installazione, scegliendo tra le opzioni "sospeso", "applicato alla superficie" o "incassato". Nell'edificio oggetto di studio sono stati riscontrati corpi illuminanti sospesi.

Per ciascuna zona, poi, è necessario specificare la potenza installata espressa in W/m^2 . In Tabella 28 sono riportati i valori impostati nel software, coerenti con quanto riscontrato nei vari locali.

Locale	Tipo	Potenza installata	
		Superficie [m ²]	[W] [W/m ²]
	ESTERNI		1500
0	Corridoio ingresso	144.84	2174 15
1	WC_1	23.68	198 8
2	WC_2	10.00	108 11
3	Ufficio_1	35.82	928 26
4	Ufficio_2	35.17	928 26
5	Ufficio_3	16.56	216 13
6	Direzione	17.40	144 8
7	Ufficio_4	34.95	288 8
8	Ufficio_5	17.95	232 13
9	Direzione_1	16.59	216 13
10	Direzione_2	35.09	360 10
11	Disimpegno	20.14	36 2
12	Aula_didattica_1	37.06	464 13
13	Atrio	39.14	232 6
14	Ass_sociale_1	34.48	232 7
15	WC_3	35.08	464 13
16	Ass_sociale_2	33.51	232 7
17	Ass_sociale_3	34.64	232 7
18	Ludoteca	34.71	464 13
19	Sala riunioni 2	34.93	696 20
20	Sala fotocopie	36.58	432 12
21	Ufficio_6	34.75	216 6
22	Ufficio_7	24.44	288 12
23	Ufficio_8	18.34	288 16
24	Responsabile	18.37	288 16
25	CED	11.05	144 13
28	Ufficio_9	34.42	616 18
30	Ufficio_10	21.81	696 32
TOTALE		891.5	11812 -

Tabella 28. Potenza installata in ciascun locale per l'illuminazione artificiale

Anche per l'illuminazione è possibile impostare un programma di funzionamento per ogni giorno dell'anno e un profilo giornaliero di accensione; per gli uffici, sulla base delle indagini in situ, si prevede l'accensione delle luci tutti i giorni per otto ore al giorno, dalle 10:00 alle 18:00, riducendo però la percentuale di funzionamento al 75% in modo da tener conto del fattore di contemporaneità. Per i servizi e per le zone di collegamento come il corridoio o l'atrio, invece, è stato ipotizzato un profilo di accensione giornaliero di tre ore totali distribuite nell'arco della giornata lavorativa. Tali ipotesi sono coerenti con quanto già ipotizzato al punto 2.4. Riportiamo in Figura 48 il profilo orario di accensione per l'Ufficio 1 a titolo di esempio.

Per l'edificio è anche possibile considerare il contributo dovuto all'illuminazione esterna attraverso l'apposita sezione presente nella scheda relativa all'illuminazione. In particolare è opportuno inserire la potenza installata e, anche in questo caso, il programma di funzionamento. Nel nostro caso, all'esterno, sono installati 6 faretti da 250 W ciascuno, per un totale di 1500 W. In Figura 49 è possibile vedere la scheda illuminazione settata al livello "Edificio".

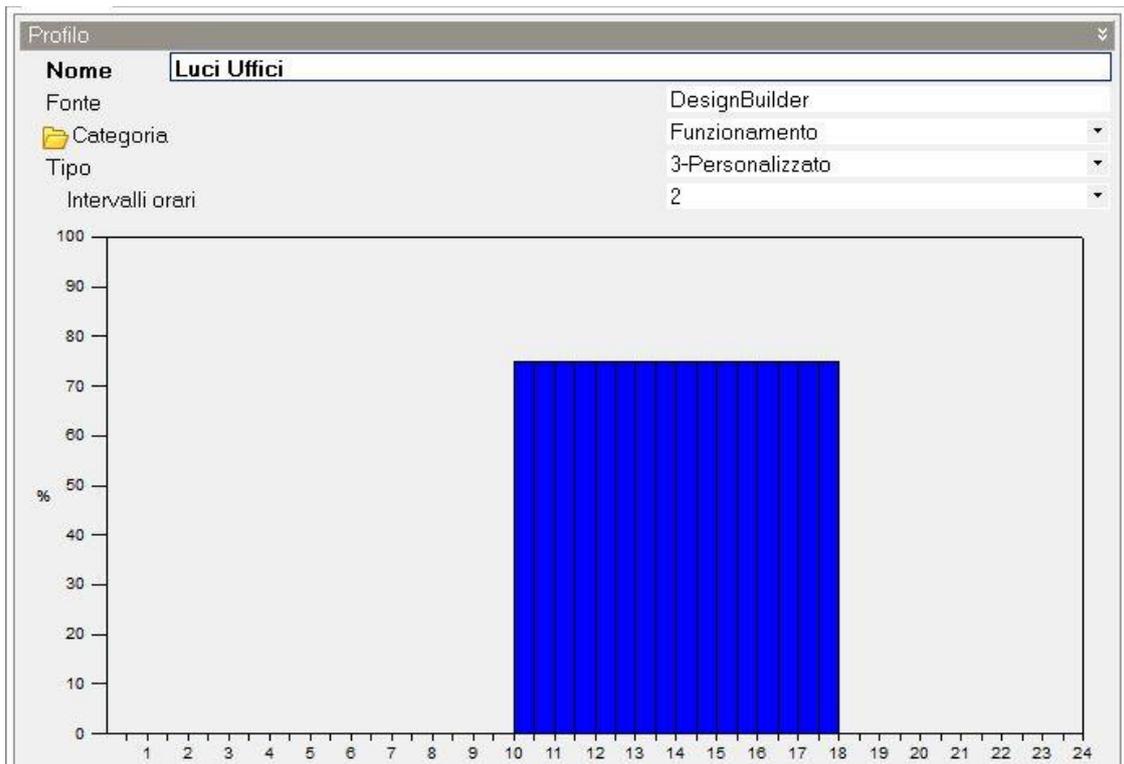


Figura 48. Design Builder: profilo orario di accensione luci per l'Ufficio 1

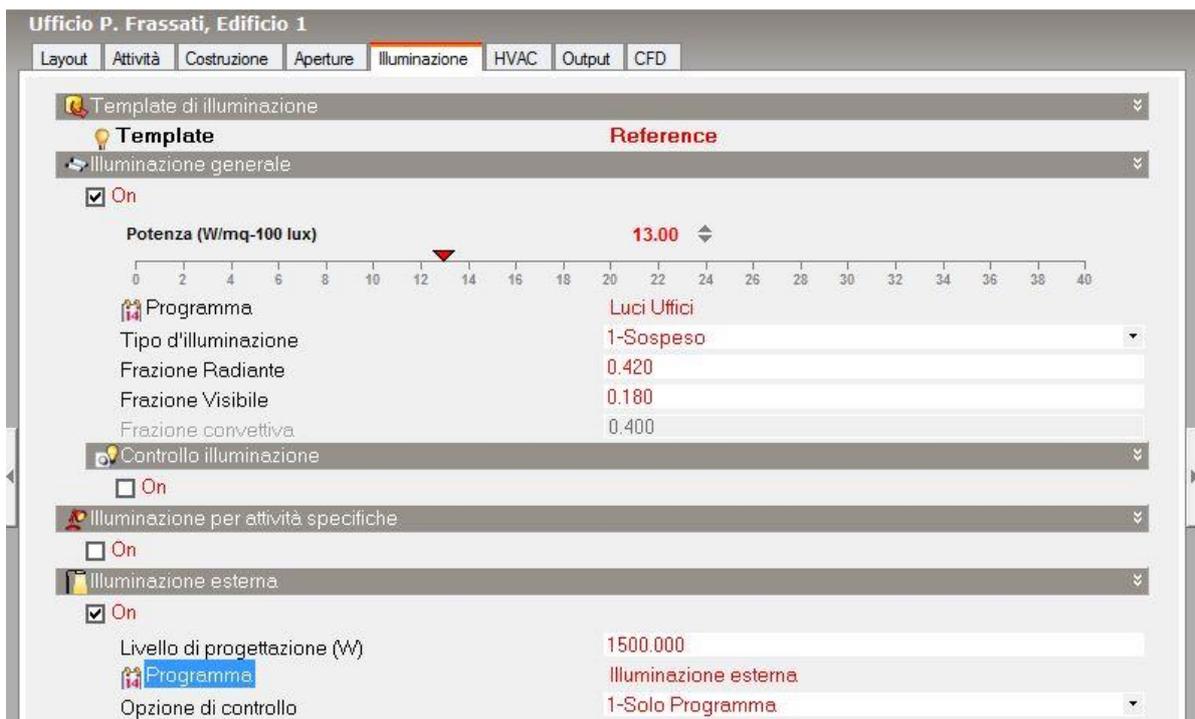


Figura 49. Design Builder, scheda "Illuminazione" al livello dell'edificio

4.2.7 HVAC

Per quanto riguarda gli impianti di climatizzazione, ai fini del calcolo del fabbisogno energetico ci si limita ad impostare un impianto ideale, in grado di mantenere la temperatura interna al valore desiderato.

In realtà, una prima serie di simulazioni è stata condotta in assenza di impianti di condizionamento, al fine di determinare le temperature interne attese nel caso di regime *free running*. In un secondo momento è stato impostato l'impianto di raffrescamento, volendo valutare il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva. La scheda HVAC prevede a tal fine una sezione in cui è possibile settare la tipologia di impianto, la sua efficienza e il programma di funzionamento. Nel nostro modello, in particolare, è stato inserito un impianto di raffrescamento in tutti i locali eccetto i servizi. Esso è costituito da unità split reversibili ad espansione diretta, alimentate da elettricità dalla rete e aventi EER =3.22 come efficienza media stagionale per il raffrescamento. Il programma di funzionamento prevede un'accensione nei mesi estivi per tutte le ore lavorative, dalle 8:00 alle 18:00, per un totale di 10 ore.

Nella scheda "Impostazioni" del software si è specificato che l'impianto di condizionamento abbia taglia "Sufficiente", cioè in grado di garantire in qualsiasi momento le condizioni desiderate di progetto (temperatura interna 26°C, umidità relativa del 50%).

Per quanto riguarda il programma di apertura finestre, invece, nel modello di simulazione con impianto di raffrescamento è stata impostata una diversa modalità di utilizzo; è infatti improbabile che gli utenti, in presenza di climatizzazione, mantengano costantemente aperte le finestre per raffrescare i locali, in quanto otterrebbero l'effetto contrario. Per tale ragione il programma di apertura finestre prevede un profilo orario, mostrato in Figura 50, in cui le finestre risultano aperte per un tempo totale di un'ora e mezza al giorno, distribuito nell'arco della giornata, in maniera da garantire un minimo ricambio d'aria fisiologico.

Per concludere, a titolo di esempio riportiamo in Figura 51 la scheda HVAC relativa all'Ufficio 1.

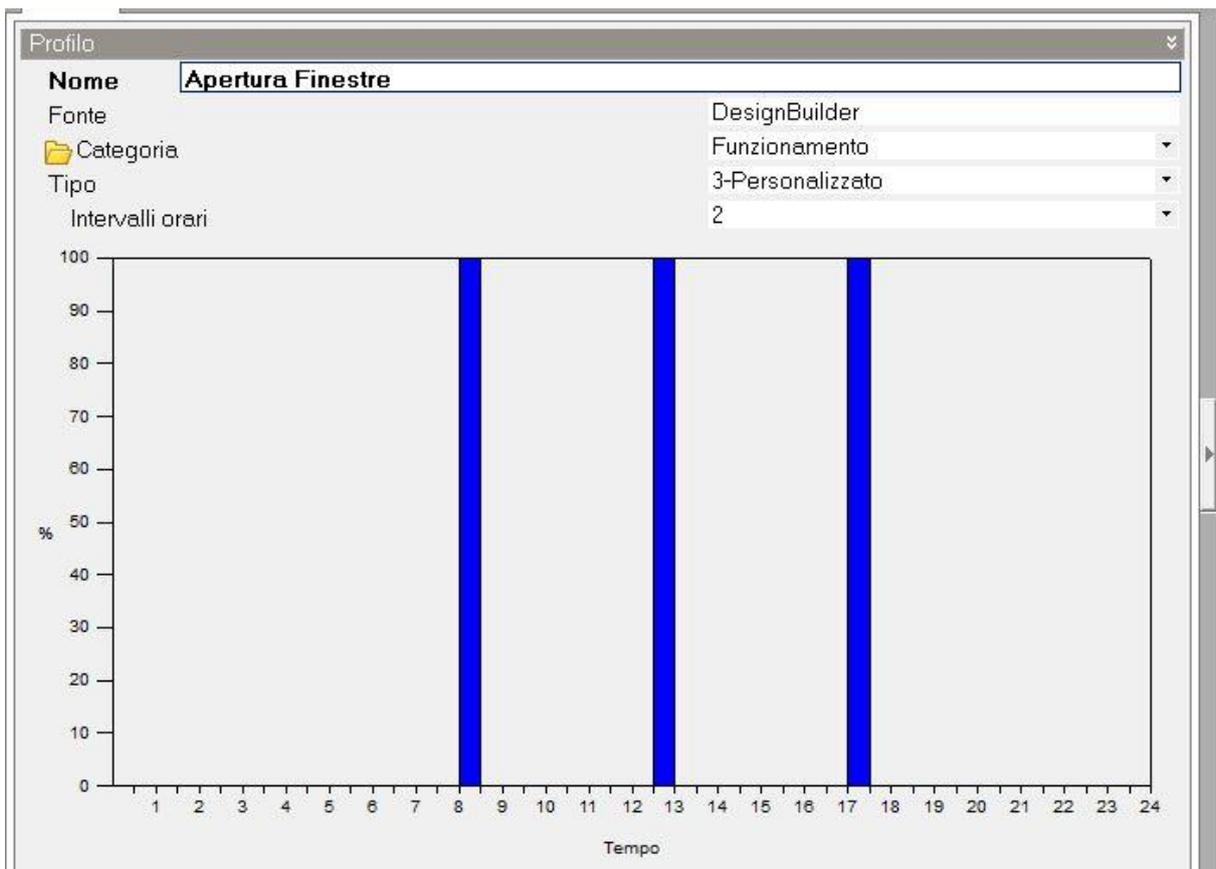


Figura 50. Design Builder: profilo orario di apertura finestre nel modello con impianto di raffrescamento

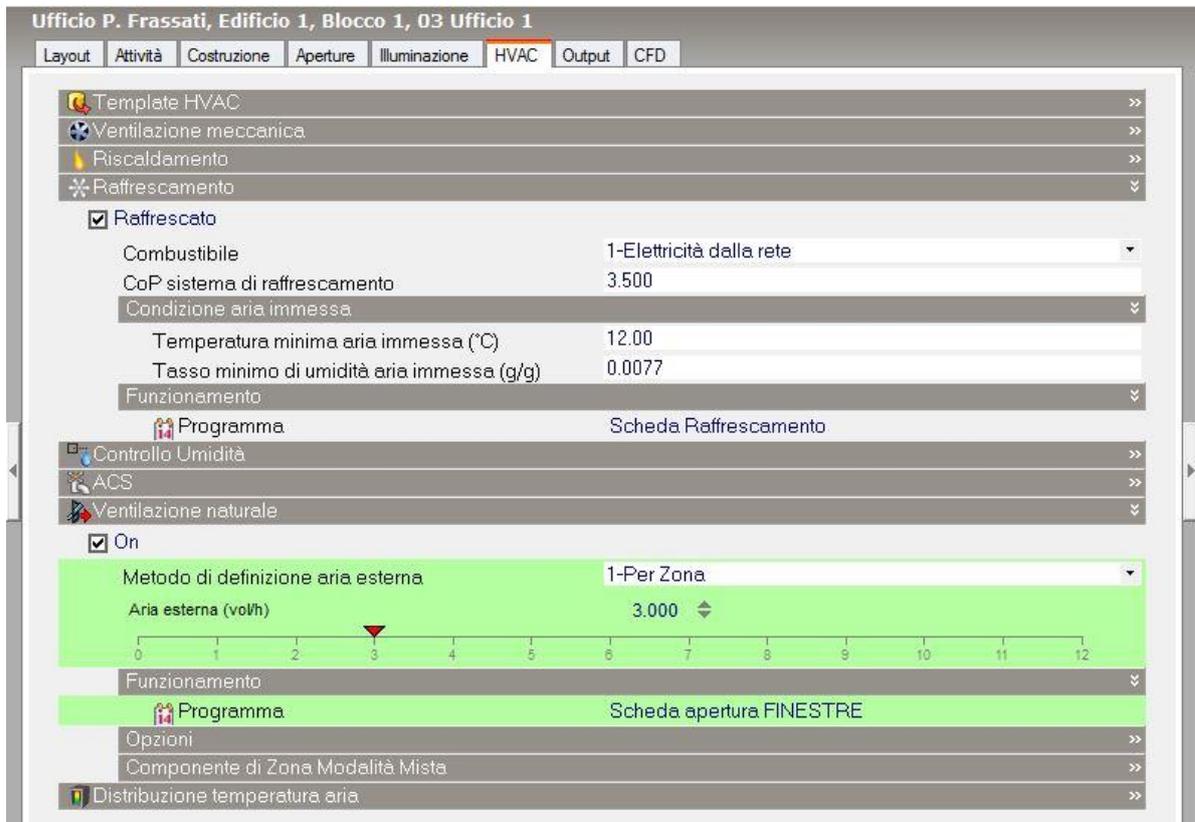


Figura 51. Design Builder: scheda “HVAC” per l’Ufficio 1

4.3 Risultati delle simulazioni

Il comando “Simulazione” permette di svolgere le analisi in regime dinamico, ossia di 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 (periodo estivo o periodo invernale). Inoltre è necessario impostare l’intervallo di restituzione dei risultati (mensile, annuale, giornaliero, orario e sub-orario) e il numero di step di calcolo orari (più alto sarà il numero di step, maggiore sarà l’accuratezza dell’analisi).

Per il contesto geografico in cui si trova l’edificio oggetto di studio la condizione più penalizzante è quella estiva: si è deciso dunque di studiare tale caso impostando il periodo della simulazione dall’ 1 Giugno al 30 Settembre, scegliendo come intervallo di restituzione dei risultati quello mensile, annuale, giornaliero e orario, come è possibile vedere nella Figura 52.

Come output si ottiene una serie di informazioni, divise per categorie e visualizzabili sotto forma di grafico, tabella, griglia o come report riepilogativo; I risultati possono essere aggregati al livello dell’edificio oppure estrapolati per ogni singola zona. Le categorie degli output sono:

- Dati luogo
- Comfort
- Apporti interni
- Bilancio termico e ventilazione
- Consumi (separati e totali)
- Carichi del sistema



Figura 52. Design Builder: periodo e intervalli della Simulazione impostati nel modello.

Ai fini del nostro studio, le categorie di interesse sono i “Dati del luogo”, per quanto riguarda la temperatura esterna, il “Comfort” da cui è possibile estrarre i valori di temperatura interna e operativa dei locali, e i “Carichi del sistema” da cui si determinano i valori del fabbisogno di raffrescamento sensibile a livello dell’intero edificio.

4.3.1 Fabbisogni energetici per il condizionamento estivo

Al fine di calcolare i fabbisogni energetici per il condizionamento estivo si considerano i risultati ottenuti per l’intero edificio. Il software fornisce il valore dei carichi di Raffrescamento Sensibile e di Raffrescamento Totale (in kW) per ogni ora del periodo considerato, dal 1 Giugno al 30 Settembre; sommando tutti i valori orari si determina un fabbisogno energetico stagionale di **10527 kWh**.

Riportiamo in Tabella 29 uno stralcio della griglia ottenuta come output, che mostra i valori di “raffrescamento sensibile” e “raffrescamento totale” per ogni ora del giorno più caldo di tutto il periodo della simulazione, ovvero il 9 Agosto.

Ora	Raffrescamento Sensibile [kW]	Raffrescamento Totale [kW]
06:00	0	0
07:00	0	0
08:00	-9.78	-12.39
09:00	-11.21	-14.32
10:00	-18.50	-24.15
11:00	-20.99	-28.44
12:00	-21.77	-31.51
13:00	-7.53	-12.00
14:00	-18.01	-30.03
15:00	-17.09	-27.51
16:00	-17.91	-28.49
17:00	-20.09	-31.96
18:00	0	0

Tabella 29. Valori del carico di raffrescamento per ogni ora del giorno più caldo.

Dividendo il fabbisogno energetico per la climatizzazione per l'EER medio stagionale, si ottiene infine un consumo stimato di **energia elettrica di 3270 kWh/anno**. Tale valore è assolutamente in linea con le stime effettuate a partire dalle bollette elettriche e commentate al paragrafo 2.5, secondo cui il fabbisogno di energia elettrica per la climatizzazione estiva ammonta a circa 3500 kWh/anno.

Ciò testimonia la maggiore affidabilità delle simulazioni dinamiche rispetto al calcolo quasi-stazionario basato sulle UNI 11300-1 e UNI 11300-2.

4.3.2 Profili di temperatura

Nella simulazione senza impianto di condizionamento sono stati analizzati i profili di temperatura interna e di temperatura operativa, ricavati dalla categoria di output "Comfort". In particolare, delle 22 zone del modello, se ne sono analizzate 4 aventi caratteristiche diverse:

- Locale 09: *Aula Didattica* con esposizione Sud
- Locale 04: *Ufficio 2* con esposizione Sud
- Locale 16: *Sala Riunioni* con esposizione Nord
- Locale 22: *Ufficio 10* con esposizione Nord-Ovest

Si è individuato per ciascun locale il giorno più caldo, ovvero quello in cui si è registrata la più alta temperatura dell'aria interna (9 Agosto), con valori di picco di circa 33°C registrati alle ore 12:00 nell'Ufficio 10. Per ogni locale sono stati estratti i valori di temperatura interna dell'aria e di temperatura operativa, messi quindi in relazione in un grafico che mostra il loro andamento nell'arco della settimana che va dal 5 all'11 Agosto. Riportiamo nelle figure seguenti i grafici relativi ai quattro locali presi in esame.

Si noti come negli uffici si verifichi normalmente una brusca riduzione delle temperature interne in corrispondenza della pausa pranzo (dalle 13:00 alle 14:00), poiché in questo intervallo di tempo vengono meno i carichi endogeni associati alle persone e alle apparecchiature d'ufficio, coerentemente con quanto rappresentato in Figura 40.

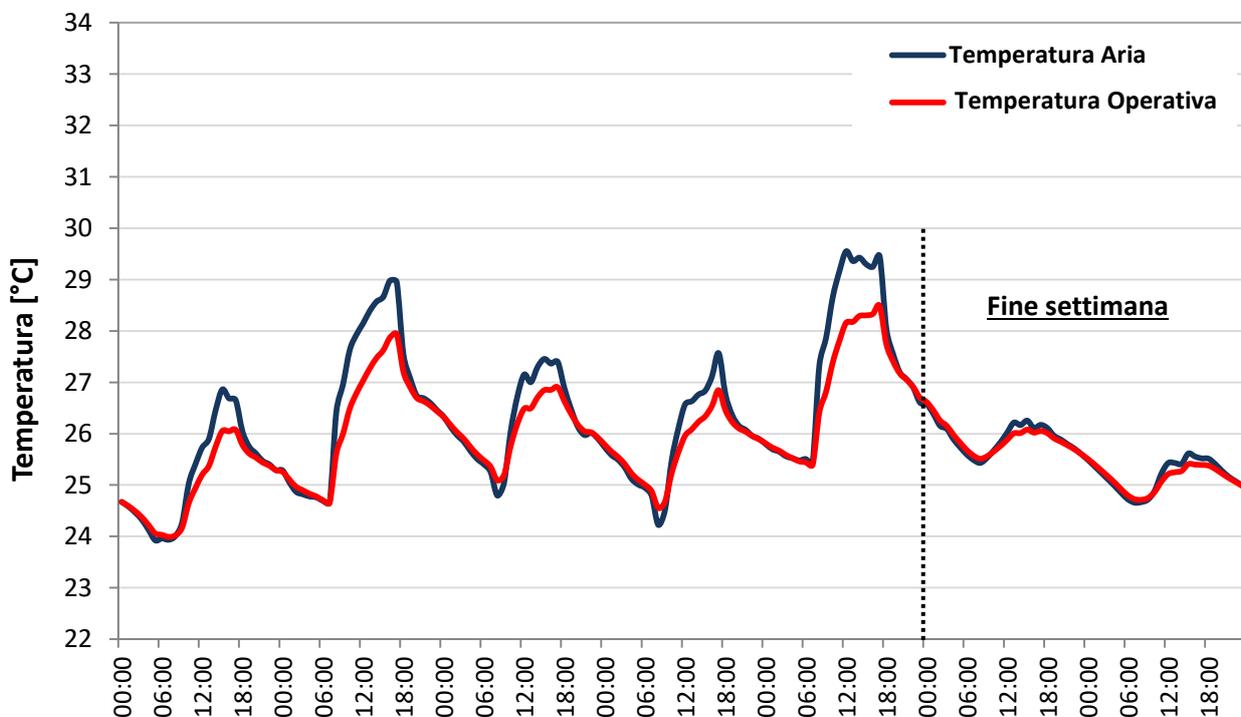


Figura 53. Andamento della temperatura dell'aria interna e della temperatura operativa - Aula Didattica

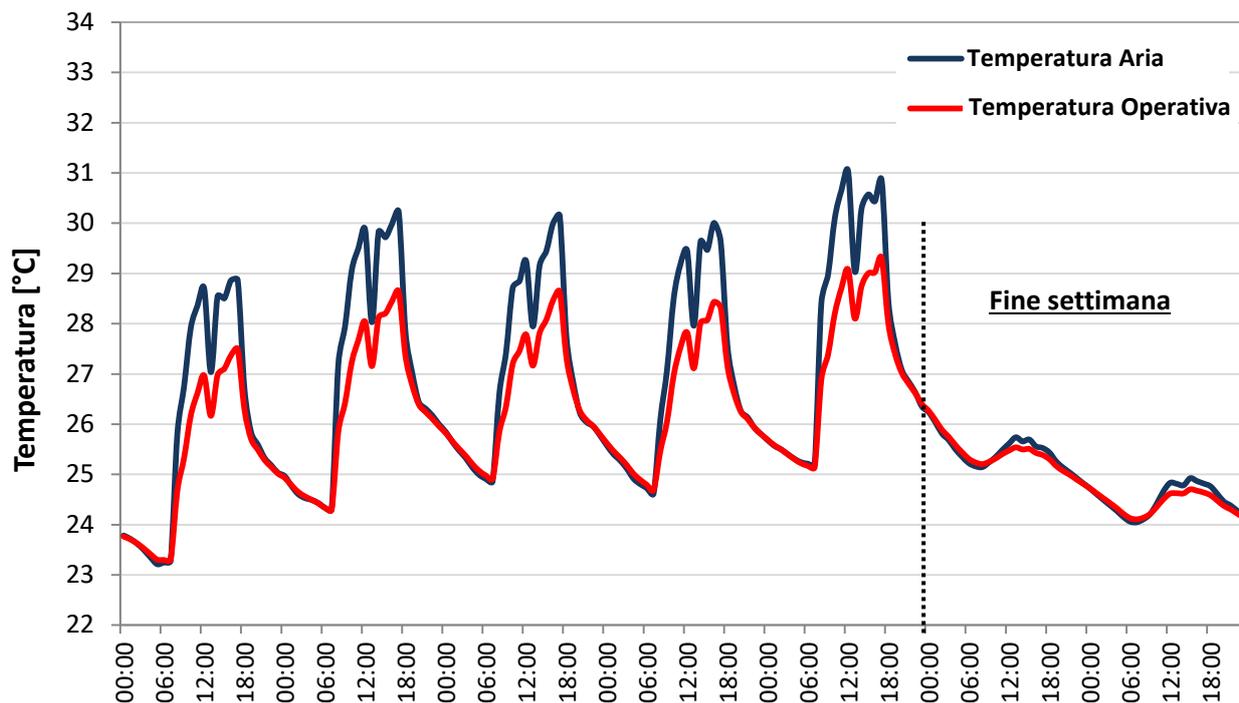


Figura 54. Andamento della temperatura dell'aria interna e della temperatura operativa - Ufficio 2

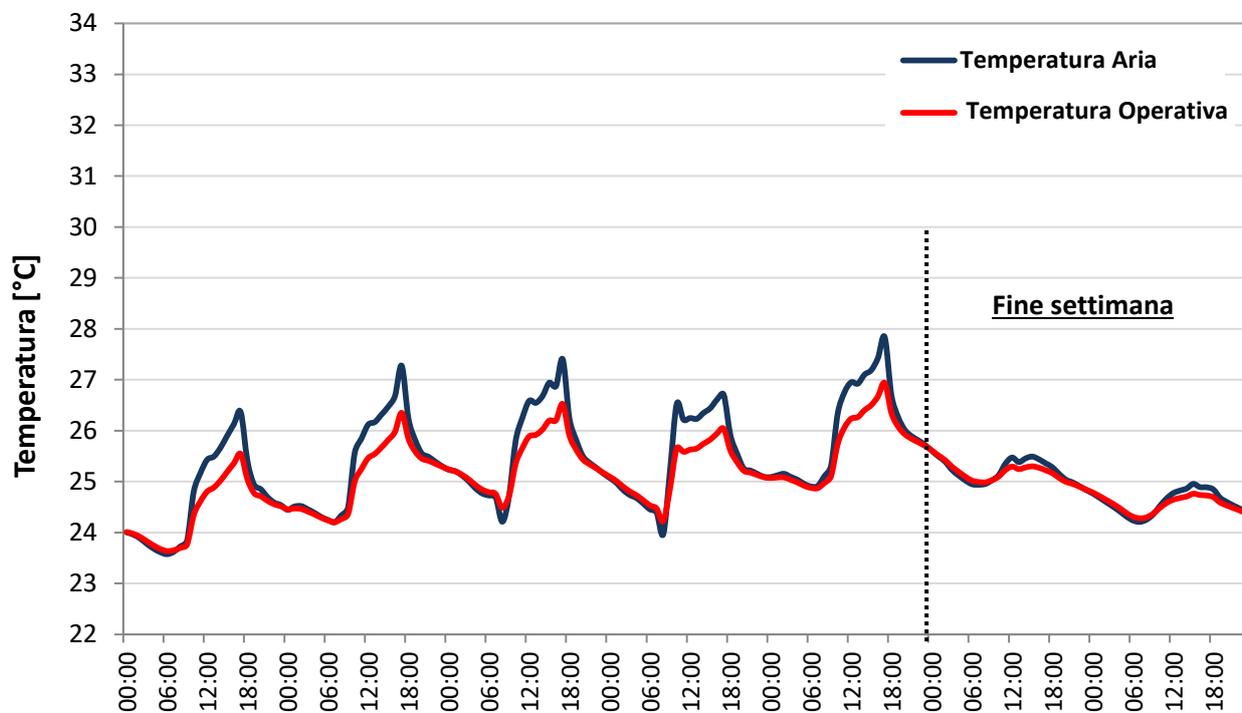


Figura 55. Andamento della temperatura dell'aria interna e della temperatura operativa - Sala Riunioni

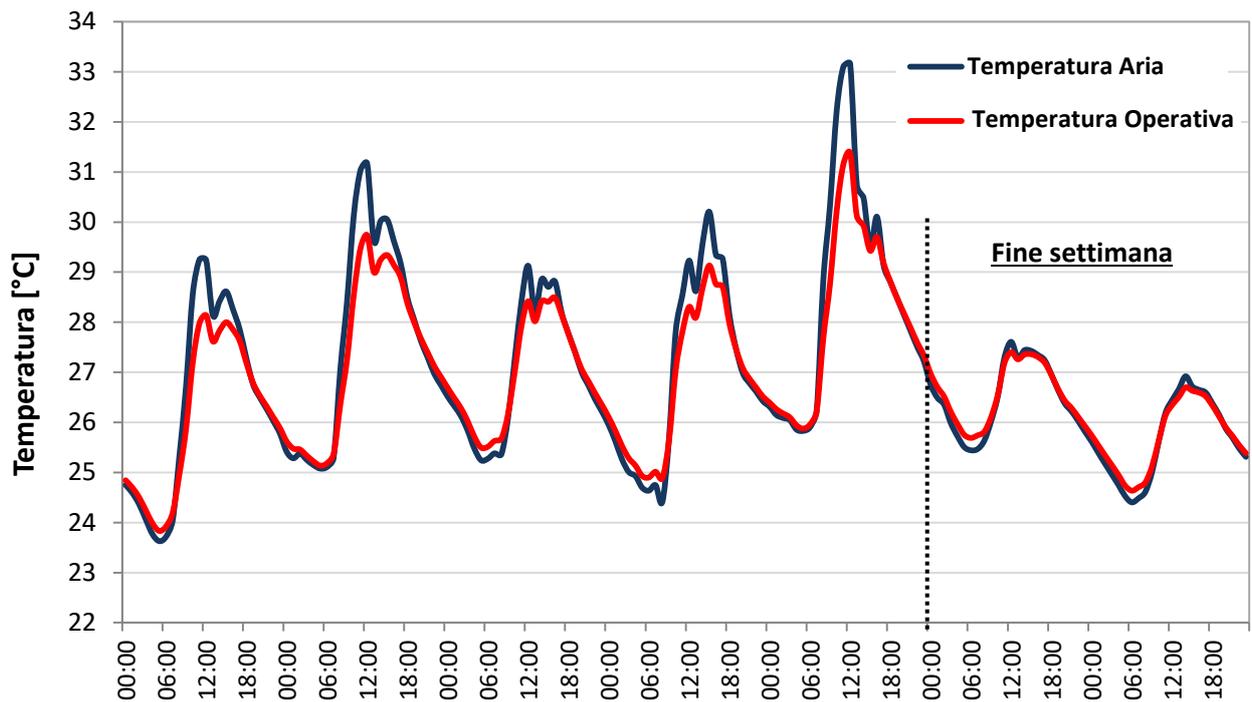


Figura 56. Andamento della temperatura dell'aria interna e della temperatura operativa - Ufficio 10

Dall'analisi dei risultati emerge inoltre una notevole differenza di temperatura tra i giorni feriali, quindi con locali occupati dai dipendenti, e il fine settimana, in cui invece l'ufficio rimane chiuso. Questa differenza manifesta l'elevata incidenza dei carichi endogeni sulla temperatura dell'aria interna: l'occupazione dei locali e la presenza di apparecchiature quali computer e illuminazione determina l'innalzamento della temperatura, che differisce mediamente di circa 4°C rispetto alla condizione in cui i locali siano inutilizzati.

Le temperature raggiunte in presenza di occupazione risultano essere eccessive, con valori frequentemente superiori ai 28-29°C. Nel fine settimana, invece, si raggiungono temperature più ragionevoli, nonostante la scarsa qualità dell'involucro. Questo è molto probabilmente dovuto al fatto che l'edificio riesce ad essere difeso dalla radiazione solare incidente grazie al solaio di copertura che aggetta di 1,5 m rispetto al filo della facciata, e alle finestre che presentano vetri opacizzati e schermature.

Si è passati infine ad analizzare i profili di temperatura giornalieri, riferiti al giorno più caldo, andando a confrontare il comportamento dei vari locali. I grafici che rappresentano tale confronto sono mostrati in Figura 57 e Figura 58.

Dall'analisi dei grafici si evince come i locali in cui si registrano le temperature più elevate sono quelli adibiti ad uffici, e quindi occupate dagli utenti con più frequenza rispetto all'aula Didattica e alla Sala Riunioni; questo conferma l'incidenza dei carichi endogeni sulla temperatura interna.

Si vede inoltre che il locale più caldo è l'Ufficio 10, che arriva a raggiungere i 33°C: questo è dovuto alla sua parziale esposizione a ovest, e alla elevata entità dei carichi endogeni. L'Ufficio 10 è infatti quello che risulta avere la superficie minore (21.81 m²) con una densità di occupazione particolarmente elevata (0.14 persone/m²), come evidenziato in Tabella 25.

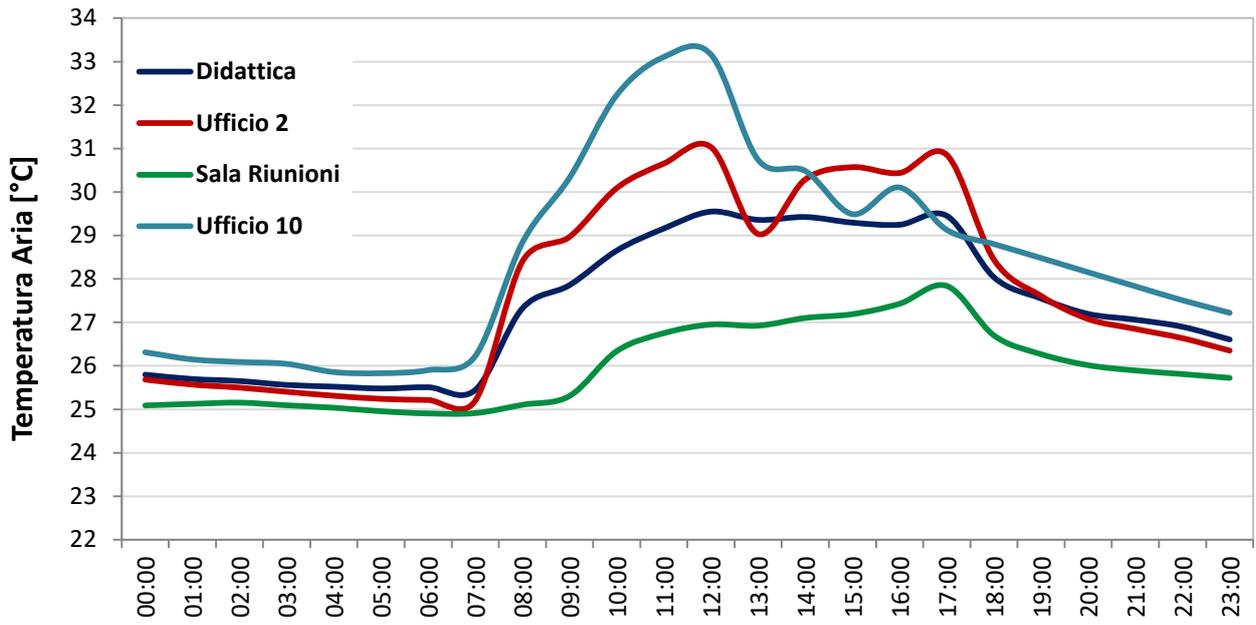


Figura 57. Andamento della temperatura interna dell'aria per il giorno più caldo (9 Agosto)

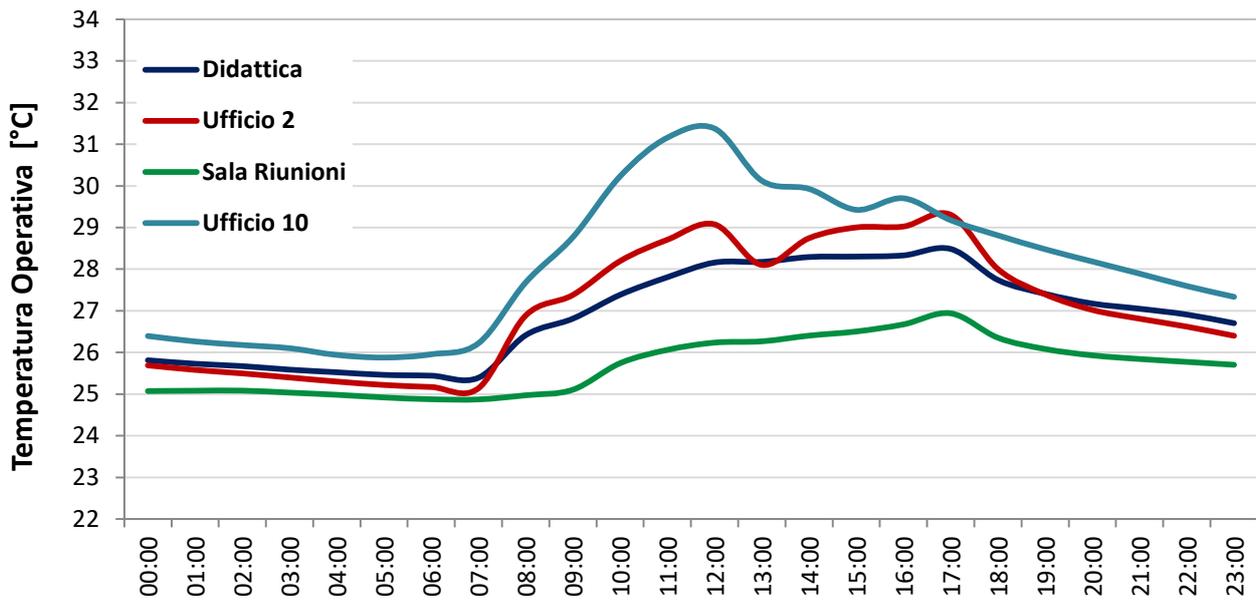


Figura 58. Andamento della temperatura operativa per il giorno più caldo (9 Agosto)

5 Interventi di ristrutturazione importante

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 lastre di EPS;
2. Isolamento delle chiusure orizzontali, quali solaio di base e di copertura;
3. Sostituzione degli attuali serramenti con nuovi serramenti aventi telai in alluminio a taglio termico e vetrocamera con lastra interna basso-emissiva ($\epsilon \leq 0,05$)

Per quanto concerne gli interventi relativi all'impiantistica sono stati previsti:

1. Sostituzione dell'impianto di climatizzazione attuale, basato sull'utilizzo di numerose pompe di calore elettriche reversibili di tipo split, con un impianto centralizzato ad alta efficienza energetica, consistente in due pompe di calore reversibili aria-acqua di ultima generazione e distribuzione idronica fino ai ventilconvettori;
2. Sostituzione delle lampade presenti con lampade a risparmio energetico basate sulla tecnologia LED, ed installazione di sensori di presenza nei locali di servizio;
3. Inserimento di impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria, con pannelli piani vetrati di alta efficienza;
4. Inserimento di impianto fotovoltaico con moduli in silicio monocristallino, di taglia sufficiente a coprire i fabbisogni elettrici annuali dell'edificio nella sua configurazione successiva alla ristrutturazione.

Gli interventi previsti si configurano, nel complesso, come *intervento di ristrutturazione importante di I 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, 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 superfici vetrate piuttosto ampie, costituite da un singolo vetro con infissi in alluminio senza taglio termico, non adeguate 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 polistirene espanso dello spessore di 8 cm che, oltre ad abbassare il valore di trasmittanza al di sotto dei limiti consentiti, permette di

risolvere buona parte dei ponti termici che, come visto precedentemente, incidono in maniera notevole sulle dispersioni complessive dell'involucro.

L'isolamento "a cappotto" sarà realizzato attraverso l'utilizzo di pannelli isolanti in EPS (Polistirene espanso sinterizzato) Polyfoam® della Knauf, aventi le seguenti caratteristiche:

- Bassa conducibilità termica ($\lambda = 0.034 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
- Spessore = 80 mm;
- Densità di circa 30 kg/m^3 ;
- Classe di reazione al fuoco E (ignifugo);

Per la realizzazione del cappotto termico è necessario procedere alla stesura di una malta adesiva con funzione di collante (2), su cui verranno posate le lastre in EPS (3), successivamente fissate tramite tasselli a percussione di lunghezza non inferiore ai 135 mm, in numero non inferiore ai 6 tasselli al m^2 . Sui pannelli in EPS verrà applicato un rasante minerale da 5 mm di spessore (4) ed una rete di armatura con grammatura circa 160 g/m^2 (5). Infine, un altro strato di rasante (6) ed il primer pigmentato (7) di colore analogo a quello della finitura a base di resina siliconica (8).

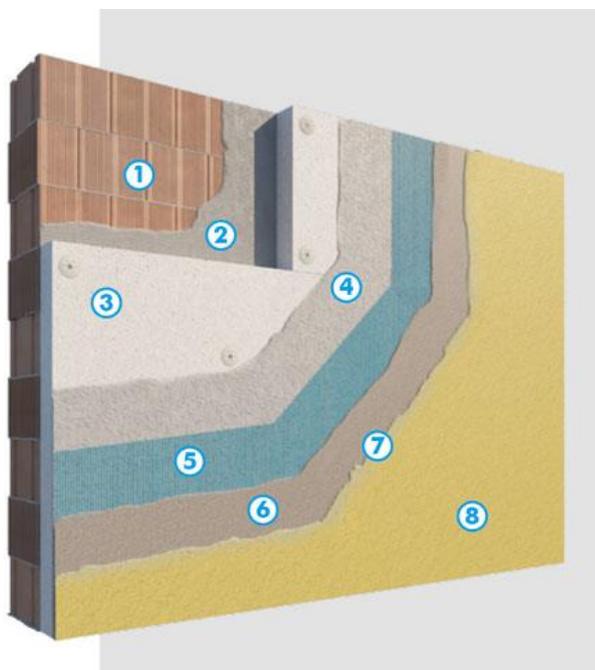


Figura 59. Componenti del sistema cappotto

(1: supporto, 2: collante, 3: EPS, 4: rasante minerale, 5: rete di armatura, 6: rasante, 7: primer, 8: finitura)

In Tabella 30 e Tabella 31 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).

Grazie all'applicazione del sistema cappotto, la trasmittanza delle pareti esterne si riduce ad $U = 0,322 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Tale valore è inferiore al limite previsto dal Conto Termico 2.0 per accedere agli incentivi destinati agli edifici pubblici (Decreto 16.02.2016), pari a $0,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ per la zona climatica B.

Per questo tipo di interventi l'incentivo ammonta al 40% dell'importo totale dei lavori per la realizzazione del cappotto termico, con un costo massimo ammissibile di 100 €/m^2 . Se però l'intervento descritto consente, insieme ad altri interventi, di trasformare l'edificio in nZEB, l'ammontare degli incentivi aumenta fino al 65%. In ogni caso, l'incentivo verrà erogato in 5 rate annuali.

Ai fini del calcolo si è anche ipotizzato di utilizzare per le pareti perimetrali una finitura superficiale di colore chiaro, con coefficiente di assorbimento solare pari a 0.3.

Chiusura verticale (38 cm)	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,130		
INTONACO INTERNO	0,02	0,700		840	1400
MATTONE FORATO	0,08	0,400		840	775
GAP ARIA	0,06	0,000	0,180	1000	1300
MATTONE PIENO	0,12	0,800		840	1800
ISOLAMENTO IN POLISTIRENE	0,08	0,034		1700	32
INTONACO ESTERNO	0,02	0,900		840	1800
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza U = 0,322 W/(m²·K)					

Tabella 30. Stratigrafia chiusura verticale (spessore 38 cm)

Chiusura verticale (48 cm)	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,130		
INTONACO INTERNO	0,02	0,700		840	1400
MATTONE FORATO	0,08	0,400		840	775
GAP ARIA	0,16	0,000	0,180	1000	1300
MATTONE PIENO	0,12	0,800		840	1800
ISOLAMENTO IN POLISTIRENE	0,08	0,034		1700	32
INTONACO ESTERNO	0,02	0,900		840	1800
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza U = 0,322 W/(m²·K)					

Tabella 31. Stratigrafia chiusura verticale esterna (spessore 48 cm)

5.1.2 Interventi sulla copertura

Anche nel caso della chiusura orizzontale di copertura è stato previsto un opportuno isolamento tramite l'applicazione di uno strato di 10 cm di polistirene. La pavimentazione della copertura esistente è costituita da uno strato di mattonelle in cemento che dovranno essere rimosse al fine di permettere l'inserimento dello strato isolante, costituito da pannelli di polistirene espanso EPS Knauf Therm Tetto®, di conducibilità $\lambda = 0.034 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. A copertura dei pannelli in EPS verrà ripristinata una pavimentazione con mattonelle in cemento da 10 mm, con interposizione di guaina bituminosa e malta di allettamento da 20 mm. Come mostrato in Tabella 32, la trasmittanza conseguita è $U = 0,261 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, valore inferiore al limite di $0,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ previsto dal Conto Termico per accedere agli incentivi destinati agli edifici pubblici in zona climatica B. Per quanto riguarda le modalità di erogazione degli incentivi, vale quanto già discusso al punto 5.1.1.

Chiusura orizzontale copertura	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,100		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,020	0,700		840	1400
SOLAIO IN LATERO CEMENTO	0,310	0,810		860	1110
MASSETTO DELLE PENDENZE	0,120	0,500		657	1400
ISOLAMENTO in EPS	0,100	0,034		1700	32
GUAINA BITUMINOSA	0,004	0,088		1966	900
MALTA DI ALLETTAMENTO	0,020	0,753		657	2000
MATTONELLE IN CEMENTO	0,010	0,380		840	1120
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza U = 0,261 W/(m²·K)					

Tabella 32. Stratigrafia chiusura orizzontale di copertura

L'intervento di ristrutturazione a carico della copertura non si limita però alla sola coibentazione esterna: si intende infatti procedere alla demolizione e alla conseguente ricostruzione di uno dei due lucernai.

In particolare, il lucernaio che insiste sul corridoio, sul lato est dell'edificio, si presenta al momento di forma molto articolata, con copertura a falde di piccola estensione, che non permettono l'installazione efficace di sistemi solari termici o fotovoltaici (Figura 60). Dovendo, in sede di ristrutturazione, prevedere anche l'installazione di moduli fotovoltaici di superficie sufficiente, si è ritenuto opportuno da calcoli preliminari costruire, al posto di questo lucernaio, un nuovo volume sovrastante l'ambiente corridoio, di superficie pari a circa 97 m² e con copertura piana. Tale struttura sarà costituita da una chiusura verticale in Porotherm da 30 cm ed un isolamento esterno in polistirene dello spessore di 4 cm; saranno inoltre presenti otto superfici vetrate laterali a nastro con doppi vetri e telaio a taglio termico, al fine di garantire l'accesso della luce naturale. In Tabella 33 e Tabella 34 si riportano le stratigrafie della copertura e delle pareti perimetrali del nuovo lucernaio; in Figura 61 sono invece disponibili piante e prospetti aggiornati.



Figura 60. Copertura esistente del lucernario sul corridoio

Chiusura orizzontale copertura	s [m]	λ [W/m·K]	R _T [m ² K/W]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m ³]
Strato liminare interno			0,100		
INTONACO INTERNO di calce e gesso	0,020	0,700		840	1400
SOLAIO IN LATERO CEMENTO	0,310	0,810		860	1110
MASSETTO DELLE PENDENZE	0,120	0,500		657	1400
ISOLAMENTO IN EPS	0,120	0,034		1700	32
GUAINA BITUMINOSA	0,004	0,088		1966	900
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza U = 0,261 W/(m²·K)					

Tabella 33. Stratigrafia chiusura orizzontale di copertura del nuovo lucernaio

Chiusura verticale nuovo lucernaio	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	0,700		840	1400
BLOCCO SEMIPIENO	0,30	0,149		1000	720
ISOLAMENTO IN EPS	0,04	0,034		1700	32
INTONACO ESTERNO	0,02	0,900		840	1800
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza U = 0,261 W/(m²·K)					

Tabella 34. Stratigrafia chiusura verticale del nuovo lucernaio

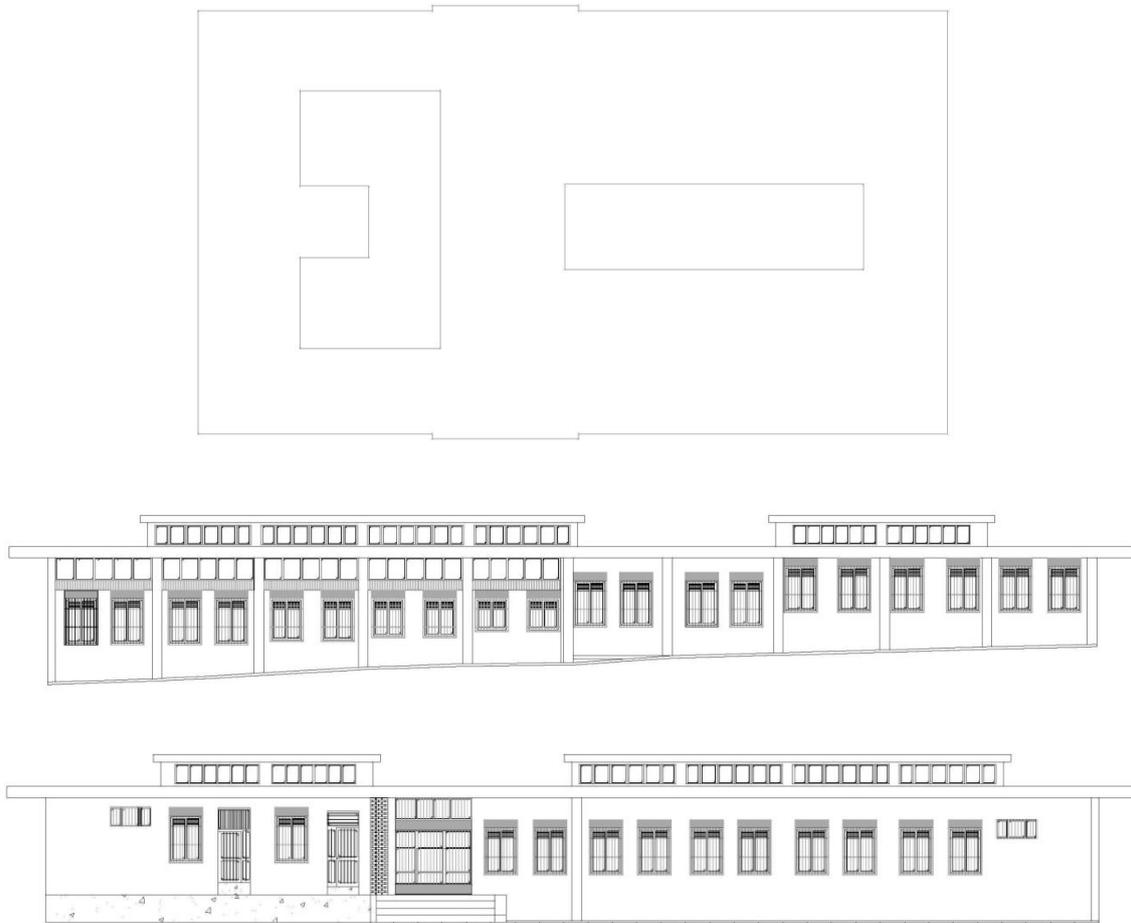


Figura 61. Pianta della copertura e Prospetti Nord (sopra) e Sud (sotto) dell'edificio con la nuova copertura

5.1.3 Interventi sul pavimento

Per quanto riguarda il pavimento controterra, è necessario procedere allo svellimento della pavimentazione esistente, e all'inserimento di uno strato di isolamento termico dello spessore di 60 mm in Stiferite GTE, un pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma di poliuretano, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, rivestito su entrambe le facce con un rivestimento impermeabile di alluminio multistrato rinforzato su entrambe le facce con rete di vetro. L'intervento sarà completato tramite l'apposizione di impermeabilizzazione (10 mm) e sottofondo in calcestruzzo (40 mm).

La nuova stratigrafia è riportata in Tabella 35; il nuovo valore di trasmittanza, pari a $0.316 \text{ W/m}^2\text{K}$, è notevolmente ridotto rispetto a quello della condizione attuale ($U = 1.816 \text{ W/m}^2\text{K}$), ed inferiore rispetto al valore limite previsto dal Conto Termico ($U = 0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Chiusura orizzontale di base	s [m]	λ [W/m·K]	R_T [$\text{m}^2\text{K/W}$]	C [J/kg·K]	ρ [kg/m^3]
Strato liminare interno			0,170		
PAVIMENTAZIONE IN GRES	0,020	1,470		1000	1700
SOTTOFONDO IN CLS	0,040	1,400		1000	2000
IMPERMEABILIZZAZIONE	0,010	0,026		880	1300
ISOLAMENTO TERMICO	0,060	0,023		1442	34
BASAMENTO IN CLS	0,300	1,130		1000	2000
Strato liminare esterno			0,040		
Trasmittanza $U = 0,316 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					

Tabella 35. Stratigrafia chiusura orizzontale di base

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 in alluminio a taglio termico con vetrocamera riempita con argon, e lastra interna basso-emissiva ($\epsilon \leq 0,05$). Le trasmittanze così ottenute, riportate in Tabella 36, sono notevolmente inferiori rispetto allo stato di fatto, e comunque inferiori al limite massimo consentito al fine di accedere agli incentivi del Conto Termico nel caso di sostituzione degli infissi, pari a $2,60 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Saranno sostituiti tutti i componenti vetrati della struttura, ad eccezione di quelli presenti nel lucernaio sovrastante gli uffici dell'ala ovest, che non saranno oggetto di intervento.

	Esistenti [W m ⁻² K ⁻¹]	Nuovi [W m ⁻² K ⁻¹]
F01	6.18	1.68
F02	6.21	1.71
F03	6.44	1.94
F04	6.16	1.66
F05	6.50	2.00
F06	6.26	1.76
F07	6.28	1.78
F08	6.20	1.70
F09	6.27	1.77
F10	6.18	1.68
F11	6.28	1.78
F12	6.22	1.72

Tabella 36. Trasmittanze dei serramenti (confronto tra serramenti esistenti e nuovi serramenti)

5.1.5 Ponti termici

L'ipotesizzato cappotto esterno ed un adeguato isolamento delle chiusure orizzontali, come già anticipato, comporta 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.

Ancora una volta i ponti termici con trasmittanza più elevata sono quelli determinati dall'intersezione tra le pareti esterne e la copertura orizzontale (o gli aggetti). In Tabella 37 e Tabella 38 si riportano i valori di trasmittanza lineare ottenuti, rispettivamente per i locali a piano terra e per la nuova copertura (lucernaio) che sovrasta l'ambiente a tutt'altezza della zona corridoio.

Tipo di ponte termico	CODICE	Ψ [W/m·K] (edificio esistente)	CODICE	Ψ [W/m·K] (edificio ristrutturato)
Copertura – Parete (38 cm)	COP 004	0,981	COP 005	0,399
Copertura – Parete (48 cm)	COP 004	0,963	COP 005	0,399
Aggetto superiore – Parete (38 cm)	BAL 004	0,890	BAL 001	0,705
Aggetto superiore – Parete (48 cm)	BAL 004	0,778	BAL 001	0,705
Finestra – Parete (38 cm)	SER 006	0,338	SER 001	0,271
Finestra – Parete (48 cm)	SER 006	0,462	SER 001	0,366
Angolo sporgente – Parete (38 cm)	ASP 004	0,396	ASP 005	0,138
Angolo sporgente – Parete (48 cm)	ASP 004	0,414	ASP 005	0,118
Pilastro – Parete (38m)	PIL 004	0,618	PIL 007	0,000
Pilastro – Parete (48 cm)	PIL 004	0,569	PIL 007	0,000

Tabella 37. Ponti termici a confronto per l'edificio esistente e quello ristrutturato

Tipo di ponte termico	CODICE	Ψ [W/m·K]
Copertura – Parete (38 cm)	COP 005	0,361
Aggetto superiore – Parete (38 cm)	BAL 001	0,649
Finestra – Parete (38 cm)	SER 001	0,087

Tabella 38. Ponti termici relativi alla nuova copertura del lucernaio

Ambiente	$\Psi \cdot L$ [W/K]	U·A [W/K]	Ambiente	$\Psi \cdot L$ [W/K]	U·A [W/K]
Corridoio - ingresso	21,27	107,38	Atrio	20,17	48,11
WC 1 - WC 2	22,68	47,62	Ass_Soc_2	19,45	42,02
Ufficio 1	9,54	31,75	Ass_Soc_3	8,796	64,82
Ufficio 2	9,47	31,28	Ludoteca	8,840	65,27
Ufficio 3 - Direzione	9,26	30,07	Sala riunione	8,376	30,35
Ufficio 4	9,39	30,83	Sala fotocopie	8,542	32,07
Ufficio 5 - Direzione	9,39	31,00	Ufficio 7	10,13	37,23
Direzione 2 - Disimpegno	13,68	38,70	Ufficio 8 - Ufficio 6	10,20	37,74
Aula didattica_1	10,50	68,53	Responsabile - CED	10,29	38,18
Ass_Soc_1	10,24	67,50	Ufficio 9	10,13	37,00
WC 3	19,45	44,01	Ufficio 10	21,61	44,34

Tabella 39. Valori dei coefficienti di dispersione per trasmissione per i singoli ambienti

Infine, in Tabella 39 si riportano, per ogni vano, i valori dei coefficienti di dispersione per trasmissione, distinguendo il contributo dei ponti termici dai contributi delle superfici disperdenti (opache e trasparenti).

Nel complesso, sommando i valori relativi ai singoli vani, in seguito alla ristrutturazione il coefficiente di dispersione termica totale per trasmissione risulta $H_{TR} = 1103.5 \text{ W/K}$. Le dispersioni termiche per trasmissione si sono quindi ridotte del 70% rispetto allo stato di fatto, in cui il coefficiente di dispersione termica totale per trasmissione risulta $H_{TR} = 3661.9 \text{ W/K}$.

Il coefficiente di dispersione termica globale, includendo il contributo della ventilazione, risulta invece:

$$H_{TR} + H_V = 1103.5 + 474.1 = 1577.6 \text{ W/K}$$

Tale valore si è ridotto del 62% rispetto allo stato di fatto. Il carico termico di progetto, ottenuto moltiplicando il valore precedente per il salto termico di progetto ($\Delta t = 15^\circ\text{C}$), risulta pari a 23650 W. Il software Blumatica applica una maggiorazione del 35% per ragioni di sicurezza, e per tenere conto della ripresa dell'impianto dopo lo spegnimento notturno, giungendo ad un totale di 31930 W.

5.1.6 Verifiche dei requisiti minimi

Infine, limitatamente ai parametri che riguardano l'involucro edilizio, si riporta in Figura 62 la schermata del software Blumatica Energy relativa alle verifiche dei Requisiti Minimi previsti dal Decreto 26/06/2015 in caso di ristrutturazioni importanti di I livello.

Si tratta, nello specifico, del *coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie* (H_T') e dell'*area solare equivalente estiva per unità di superficie*. In entrambi i casi le verifiche di legge sono ampiamente soddisfatte: ciò parrebbe suggerire la possibilità di ridurre lo spessore di isolante applicato ai componenti di involucro rispetto a quanto finora ipotizzato, ma in realtà ciò contrasterebbe con l'esigenza di rispettare i requisiti fissati dal Conto Termico per l'accesso agli incentivi.

Indici di prestazione energetica					
Parametro	U.M.	Valore calcolato	<>	Limite	Verificato
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie - HT	[W/m²K]	0,322	<	0,630	Verificato
Area solare equivalente estiva per unità di superficie - Asol,est/Asup,utile	[-]	0,028	<	0,040	Verificato

Figura 62. Verifiche dei Requisiti Minimi per l'involucro edilizio.

5.2 Interventi sull'impianto di climatizzazione

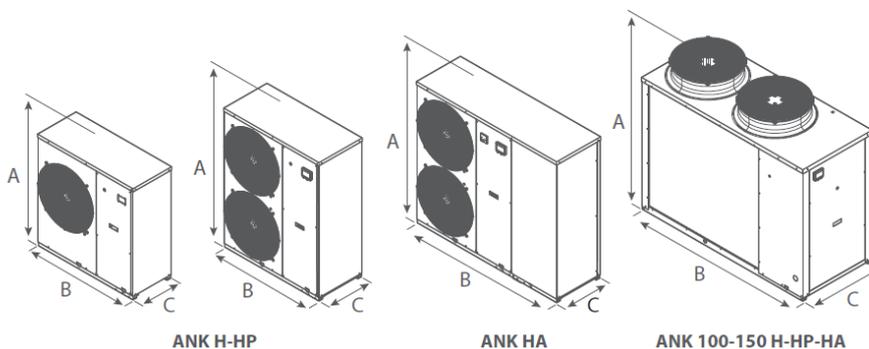
Come indicato nelle sezioni precedenti, gli impianti presenti all'interno dell'edificio oggetto di studio risultano obsoleti e comportano un consumo energetico eccessivo.

L'ipotesi di intervento per il nuovo impianto di climatizzazione consiste nell'installazione di due pompe di calore reversibili aria-acqua per installazione esterna. Lo schema di impianto ipotizzato prevede che le due pompe di calore, di caratteristiche identiche e operanti in parallelo, alimentino un buffer da 500 litri con funzione di separatore idraulico e serbatoio tampone, da cui una pompa di circolazione preleverà il fluido termovettore da inviare alle utenze tramite una rete di distribuzione a due tubi. Per i terminali d'impianto si prevede l'installazione di ventilconvettori installati a parete, di taglia opportuna.

Le due pompe di calore saranno del tipo AERMEC ANK 085 HP (Figura 63). Si tratta di una pompa di calore dotata di singolo compressore scroll, ventilatori assiali, 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 HP possiede un kit idronico integrato, con portata d'acqua di 3000 litri/ora e prevalenza utile 65 kPa in riscaldamento. L'unità è equipaggiata di serie con ventilatori assiali ad inverter.



Figura 63. Pompa di calore AERMEC ANK 085 HP



ANK				020	030	040	045	050	085	100	150
Altezza	(A)	tutte	mm	1028	1281	1281	1281	1281	1281	1450	1450
Larghezza	(B)	H/HP	mm	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1750	1750
		HA	mm	1358	1450	1450	1450	1450	1450	1750	1750
Profondità	(C)	tutte	mm	400	400	450	450	450	450	750	750
		H	kg	118	149	152	165	172	174	296	341
Peso a vuoto		HP	kg	123	154	157	175	182	184	314	362
		HA	kg	160	211	214	232	238	241	364	412

Figura 64. Dimensioni e peso della pompa di calore selezionata

La Figura 64 riporta dimensioni e peso della pompa di calore prescelta. In particolare, il peso a vuoto risulta pari a 184 kg, l'altezza è di 1281 mm e la larghezza di 1000 mm. Le due unità saranno posizionate all'aperto, negli spazi disponibili nel cortile interno sul lato sud.

In Figura 65 sono disponibili le prestazioni nominali della pompa di calore. Il modello selezionato (ANK 085 HP) è in grado di sviluppare, in condizioni nominali¹, una potenza frigorifera di 15.68 kW e una potenza termica di 17.25 kW. 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 (Figura 66).

ANK - HP/HA			020	030	040	045	020	030	040	045	050	085	100	150
		V/ph/Hz	230V	230V	230V	230V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V
12°C / 7°C	Potenza frigorifera (1)	kW	6,91	8,25	9,67	11,85	6,84	8,25	10,61	11,74	13,22	15,68	25,78	29,92
	Potenza assorbita (1)	kW	2,43	2,89	3,30	3,89	2,41	2,89	3,61	4,12	4,5	5,35	8,13	10,21
	EER (1)		2,84	2,85	2,93	3,05	2,84	2,85	2,94	2,85	2,94	2,93	3,17	2,93
	ESEER (1)		3,28	3,37	3,45	3,47	3,3	3,35	3,44	3,26	3,45	3,41	4,08	3,93
40°C / 45°C	Classe Eurovent a freddo (1)		C	C	B	B	C	C	B	C	B	B	A	B
	Portata d'acqua (1)	l/h	1187	1417	1661	2035	1175	1417	1822	2016	2271	2693	4428	5139
	Prevalenza utile (1)	kPa	65	70	64	87	65	70	61	87	80	70	113	140
	Potenza termica (2)	kW	7,87	9,92	10,74	13,29	7,867	9,915	12,103	13,852	15,15	17,246	26,59	32,72
23°C / 18°C	Potenza assorbita (2)	kW	2,60	3,15	3,51	3,98	2,56	3,15	3,82	4,28	4,54	5,16	8,36	10,62
	COP (2)		3,03	3,15	3,06	3,34	3,078	3,15	3,17	3,24	3,34	3,34	3,18	3,08
	Classe Eurovent a caldo (2)		B	B	B	A	B	B	B	A	A	A	B	B
	Portata d'acqua (2)	l/h	1368	1725	1868	2311	1368	1725	2105	2409	2635	3000	4625	5691
30°C / 35°C	Prevalenza utile (2)	kPa	62	67	62	82	62	67	57	79	72	65	113	127
	Potenza frigorifera (3)	kW	9,57	11,43	13,38	16,26	9,48	11,42	14,67	16,26	18,3	21,69	34,41	39,96
	Potenza assorbita (3)	kW	2,51	3,00	3,43	4,27	2,48	3	3,76	4,27	4,66	5,59	8,73	11,04
	EER (3)		3,81	3,81	3,90	3,81	3,82	3,81	3,9	3,81	3,93	3,88	3,94	3,62
30°C / 35°C	Classe Eurovent a freddo (3)		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C
	Portata d'acqua (3)	l/h	1651	1972	2308	2805	1635	1970	2531	2805	3157	3742	5936	6893
	Prevalenza utile (3)	kPa	52	63	52	64	53	63	46	64	50	33	68	54
	Potenza termica (4)	kW	8,58	10,84	11,90	13,84	8,58	10,84	13,24	14,88	16,12	18,31	28,49	35,06
30°C / 35°C	Potenza assorbita (4)	kW	2,21	2,64	2,90	3,37	2,18	2,64	3,23	3,6	3,91	4,45	6,95	8,94
	COP (4)		3,88	4,11	4,10	4,11	3,94	4,11	4,1	4,13	4,12	4,11	4,1	3,92
	Classe Eurovent a caldo (4)		C	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	B
	Portata d'acqua (4)	l/h	1486	1877	2061	2397	1486	1877	2293	2577	2792	3171	4934	6072
30°C / 35°C	Prevalenza utile (4)	kPa	58	65	58	79	58	65	53	73	65	58	103	105

Figura 65. Prestazioni nominali della pompa di calore

ANK085HP/HA

Prestazioni a pieno carico						
T acqua prodotta [°C]	35		45		55	
T esterna [°C]	Potenza termica [kW]	COP	Potenza termica [kW]	COP	Potenza termica [kW]	COP
-7	11,24	2,63	10,51	2,20	9,27	1,70
2	12,26	2,90	11,86	2,43	11,04	1,98
7	18,31	4,11	17,32	3,43	16,01	2,79
12	21,75	4,47	20,67	3,80	19,28	3,18
15	23,06	4,53	22,08	3,93	20,71	3,34
20	24,80	4,60	23,86	4,06	22,45	3,52
35	26,55*	4,76*	25,61*	4,10*	23,94*	3,59*

Dati per il calcolo del fattore correttivo					
T esterna [°C]	A	T _{biv}	B	C	D
-7					
2					
7					
12					
15					
20					
35					
PLR	0,88		0,54	0,35	0,15
DC [kW]	11,24		12,26	18,31	21,75
COP' a pieno carico	2,63		2,90	4,11	4,47
COP a carico parziale	2,63		2,88	3,97	4,15
CR	1,00		0,56	0,24	0,09
f _{cop}	1,00		0,99	0,97	0,93

Figura 66. Prestazioni della pompa di calore alle diverse condizioni operative

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.

La potenza termica totale della pompa di calore è coerente con il valore del carico termico determinato nella sezione precedente. In Figura 66 è anche possibile osservare che il COP della pompa di calore nelle condizioni operative a cui fa riferimento il Conto Termico (temperatura aria esterna 7°C, temperatura acqua 35°C) è pari a 4.11, cioè superiore al valore minimo previsto ai fini della concessione degli incentivi (COP = 3.8).

La pompa di calore selezionata risulta essere dunque caratterizzata da prestazioni di livello elevato; la configurazione di impianto prescelta non rende necessario l'utilizzo di pompe di calore con compressore modulato tramite inverter, in quanto la presenza del buffer consente di evitare frequenti pendolazioni nel funzionamento dei compressori. Il volume del serbatoio di accumulo è stato calcolato considerando un contenuto d'acqua totale nell'impianto pari a 20 litri al kW termico, e sottraendo a tale risultato il contenuto d'acqua stimato per tubazioni e ventilconvettori.

In Figura 67 e Figura 68 si riportano le impostazioni utilizzate nel software Blumatica Energy per valutare le prestazioni energetiche della pompa di calore. Per quanto riguarda le prestazioni in riscaldamento (Figura 67), si osservi il valore del *fattore correttivo dichiarato* (Cc), che rappresenta il complemento all'unità del parametro rappresentato come f_{COP} in Figura 66. In raffreddamento (Figura 68), i valori dell'EER in condizioni di funzionamento parzializzate sono stati calcolati secondo le indicazioni della UNI TS 11300-4, in assenza di dati più precisi forniti dal costruttore.

Passando adesso ai ventilconvettori, sono stati selezionati dei modelli a parete del tipo FCW della AERMEC (Figura 69). In Figura 70 si riporta un estratto della scheda tecnica fornita dal costruttore. In particolare, sono stati selezionati i modelli 22VL e 33VL: si tratta di ventilconvettori privi di valvole per la regolazione della portata o della temperatura del fluido termovettore, in quanto si prevede che la regolazione della potenza termica erogata avvenga tramite variazione della velocità dei ventilatori. Il peso delle singole unità si aggira sui 10 kg, con una profondità di circa 210 mm (Figura 69).

Marca:
 Modello:
 Descrizione: ANK 085 HP
 Note:
 Codice catasto impianti: Anno di installazione:
 Tipo pompa: Elettrica Condizionatore / Split
 Tipo funzionamento: On-Off
 Combustibile: Elettricità
 Temperatura di disattivazione (θH,off) [°C]: 20,0000

Pozzo freddo: Tipo sorgente: Aria esterna
 Temperatura minima di disattivazione (θcut,off) [°C]: 2,0000
 Temperature pozzo freddo [°C]: Valori mensili

Tipo sorgente: Acqua impianto
 Temperature pozzo caldo [°C]: 40,0000
 Fattore correttivo dichiarato (Cc): 0,0300

Prestazioni della pompa di calore

-	Potenze [kW]			COP/GUE		
	35	45	55	35	45	55
-7,0	11,2	10,5	9,3	2,6	2,2	1,7
2,0	12,3	11,9	11,0	2,9	2,4	2,0
7,0	18,3	17,3	16,0	4,1	3,4	2,8
12,0	21,8	20,7	19,3	4,5	3,8	3,2

Potenza nominale [kW]: 17,3200
 Oggetto di intervento / riqualificazione

Figura 67. Impostazioni della pompa di calore (riscaldamento)

Marca:
 Modello:
 Descrizione: ANK 085 HP
 Note:
 Codice catasto impianti: Anno di installazione:
 Tipo pompa: Elettrica Condizionatore / Split
 Tipo funzionamento: On-Off
 Combustibile: Elettricità
 Potenza nominale [kW]: 15,6800
 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%: 2,9700
 EER 75%: 3,3900
 EER 50%: 3,7200
 EER 25%: 3,5600
 Coefficienti di correzione del rendimento
 Δ temperatura dell'acqua all'evaporatore diversa dal riferimento [°C]: 5 1,0000
 Fattore di sporco [m²K/kW]: 0,0440 1,0000
 Percentuale di glicole aggiunto all'acqua [%]: 0,0000 1,0000
 Percentuale della portata d'aria rispetto a quella nominale [%]: 100,0000 1,0000
 Lunghezza equivalente della tubazione fra unità esterna e interna [m]: 5,0000 1,0000
 Unità con valvola pressostatica / termostatica
 Uso di setti insonorizzati

Figura 68. Impostazioni della pompa di calore (raffrescamento)



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 69. Ventilconvettore a parete FCW (AERMEC)

FCW	222V			223V			22VL			322V			323V			32VL			422V			423V			42VL								
Velocità del ventilatore	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	H	M	L			
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 m ³ /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			1/2" F			1/2" F			1/2" F			1/2" F			1/2" F			1/2" F			1/2" F			1/2" F			1/2" F					
Caratteristiche elettriche																																	
Potenza assorbita W	27	24	23	27	24	23	27	24	23	27	23	22	27	23	22	27	23	22	48	41	31	48	41	31	48	41	31						
Collegamenti elettrici	V3	V2	V1	V3	V2	V1	V3	V2	V1	V3	V2	V1	V3	V2	V1	V3	V2	V1	V3	V2	V1	V3	V2	V1	V3	V2	V1	V3	V2	V1			
Alimentazione	230V-50Hz																																

Figura 70. Scheda tecnica dei ventilconvettore FCW

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°20 unità, di cui n°12 del modello 32VL e n°8 del modello 22VL; il dettaglio delle unità previste nei singoli locali, coerentemente con le potenze termiche richieste per il riscaldamento degli stessi, è riportato in Tabella 40. La potenza elettrica totale assorbita dai ventilatori in regime di velocità media ammonta a 468 W. La portata d’acqua complessiva, in condizioni nominali, ammonta a circa 7000 litri/h.

Infine, in Figura 72 si riportano le schermate del software Blumatica Energy relativamente 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 poco sopra sommando le portate nominali riportate nella scheda tecnica dei ventilconvettori. Ciò suggerisce che i ventilconvettori selezionati risultano leggermente sovradimensionati rispetto alle reali esigenze dell’impianto, e che in sede di progetto esecutivo si potrà prevedere di adottare valori più bassi della portata.

Ambiente	Modello	Ambiente	Modello
Ufficio_1	32VL	Ass_sociale_3	32VL
Ufficio_2	32VL	Ludoteca	32VL
Direzione/Ufficio_3	22VL	Sala riunioni 2	32VL
Ufficio_4	32VL	Sala fotocopie	22VL
Direzione_1/ Ufficio_5	22VL	Ufficio_6	22VL
Direzione_2	22VL	Ufficio_7	32VL
Aula_didattica_1	32VL	Ufficio_8	22VL
Atrio	32VL	Ufficio responsabile/ CED	22VL
Ass_sociale_1	32VL	Ufficio_9	32VL
Ass_sociale_2	32VL	Ufficio_10	22VL

Tabella 40. Elenco dei ventilconvettori previsti nel progetto di ristrutturazione.

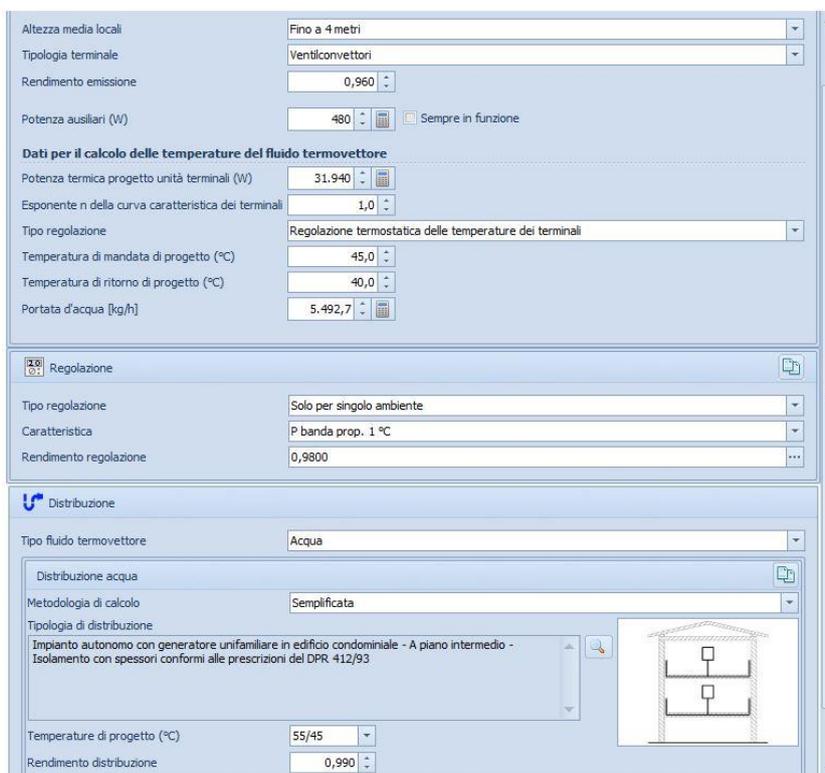


Figura 71. Impostazioni relative ai sottosistemi di emissioni, distribuzione e regolazione (funzionamento invernale)

E' presente un impianto di raffrescamento

Regolazione

Tipologia: Ambientale modulante (banda 1 °C)

Rendimento regolazione: 0,9800

Ore giornaliere funzionamento: 4,0000

Erogazione

Terminali: Ventilconvettori idronici

Rendimento emissione: 0,9800

Potenza ausiliari [W]: 480

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

Figura 72. Impostazioni relative ai sottosistemi di emissioni e regolazione (funzionamento estivo)

5.3 Interventi sull'impianto di illuminazione

Per quanto concerne il servizio di illuminazione, alla luce dell'obsolescenza della tecnologia utilizzata e degli elevati consumi energetici rilevati, si è ipotizzata la sostituzione dei tubi fluorescenti e dei faretti con lampade di dimensione analoga ma basate sulla tecnologia LED, a risparmio energetico di classe A++.

In particolare, i tubi fluorescenti da 36 W e 58 W saranno sostituiti con lampade MASTER LEDtube Universal 840 T8 della Philips (Figura 73), rispettivamente da 16 W (1200 mm di lunghezza) e 24 W (1500 mm di lunghezza), con efficienza luminosa rispettivamente pari a 156.3 lm/W e 154.2 lm/W. Il flusso luminoso emesso è dunque, nei due casi, 2500 lm e 3700 lm.

Il criterio di sostituzione consiste nel garantire, in seguito alla sostituzione, un flusso luminoso installato non inferiore allo stato di fatto. Le lampade fluorescenti attualmente presenti hanno efficienza di circa 65-70 lm/W, con flussi luminosi che si aggirano quindi esattamente sui 2500 lm per le lampade da 36 W e sui 3770 lm per le lampade da 58 W. In entrambi i casi l'indice di resa cromatica dichiarato nei cataloghi Philips è $R_a = 83$; tale dato è fondamentale, perché ai fini dell'accesso agli incentivi previsti dal Conto Termico è necessario che le lampade installate all'atto del *relamping* abbiano resa cromatica non inferiore a 80, insieme ad una efficienza maggiore di 80 lm/W, che in questo caso è ampiamente superata. La temperatura correlata del colore per entrambe le lampade è di 4000 K, idonea per attività d'ufficio. I faretti da 250 W presenti nell'ambiente corridoio/ingresso saranno invece sostituiti da nuove lampade LED della potenza di 100 W, mentre l'illuminazione esterna rimarrà invariata rispetto allo stato di fatto.

In Tabella 41 si riporta il dettaglio delle lampade installate in seguito al *relamping*. La potenza totale installata ammonta a 6516 W: rispetto ai 13310 W dello stato di fatto, si assiste ad una riduzione del 50%.



Figura 73. Lampada MASTER LEDtube Universal T8

	Qtà	Potenza [W]	Potenza totale [W]
Esterno	6	250	1500
Corridoio – ingresso *	8 (3)	100 (24)	872
WC_1 *	7	16	112
WC_2 *	4	16	64
Ufficio_1	16	24	384
Ufficio_2	16	24	384
Ufficio_3	6	16	96
Direzione	4	16	64
Ufficio_4	8	16	128
Ufficio_5	4	24	96
Direzione_1	6	16	96
Direzione_2	10	16	160
Disimpegno	1	16	16
Aula_didattica_1	8	24	192
Atrio *	4	24	96
Ass_sociale_1	4	24	96
WC_3	8	24	192
Ass_sociale_2	4	24	96
Ass_sociale_3	4	24	96
Ludoteca	8	24	192
Sala riunioni 2	12	24	288
Sala fotocopie *	12	16	192
Ufficio_6	6	16	96
Ufficio_7	8	16	128
Ufficio_8	8	16	128
Ufficio responsabile	6	16	96
CED	6	16	96
Ufficio_9	10 (2)	24 (16)	272
Ufficio_10	12	24	288

Tabella 41. Potenza installata per l'illuminazione - ristrutturazione

	Edificio esistente [kWh]	Edificio ristrutturato [kWh]
Fabbisogno energetico di illuminazione artificiale	18160	7935
Fabbisogno energetico di illuminazione parassita	900	900
Fabbisogno totale per illuminazione	19060	8835

Tabella 42. Fabbisogni di energia per l'illuminazione

Applicando gli stessi profili di accensione già utilizzati per lo stato di fatto, si ottengono i consumi elettrici riportati in Tabella 42, con risparmi del 53.6%. Ai fini del calcolo, nei vani indicati da un asterisco in Tabella 41 si è ipotizzata l'installazione di sensori di presenza, in grado di comandare lo spegnimento delle lampade in caso di assenza di persone all'interno dei vani; secondo la procedura di calcolo della UNI EN 15193:2008, ciò consente in questi vani di economizzare il 10% del fabbisogno elettrico per l'illuminazione.

5.4 Lo sfruttamento delle fonti rinnovabili

5.4.1 Impianto solare termico

Il DM del 3 Marzo 2011 n°28 impone, in caso di nuova costruzione o ristrutturazione importante, che la quota del fabbisogno per la produzione di acqua calda sanitaria coperta tramite fonti rinnovabili sia, a partire dal 1° gennaio 2017, non inferiore al 50%.

L'edificio in oggetto non necessita di un consumo particolarmente elevato di acqua calda sanitaria: si è reputato pertanto opportuno posizionare in copertura due collettori solari piani vetrati del modello Logasol SKS 4.0 della Buderus (Figura 74), per una superficie di apertura totale pari a 4,20 m². Le caratteristiche tecniche sono riportate nella scheda di Figura 75.

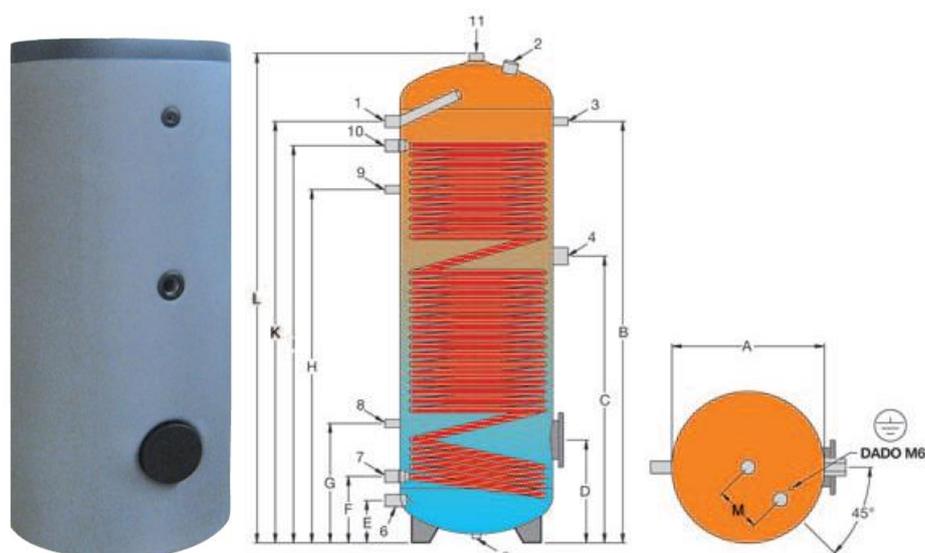


Figura 74. Collettore solare Buderus Logasol SKS 4.0

Caratteristiche tecniche	Unità di misura	SKS 4.0 - s	
		verticale	orizzontale
Montaggio			
Superficie esterna (superficie lorda)	m ²		2,37
Superficie d'apertura (superficie ingresso luce)	m ²		2,1
Grado di rendimento η_0	%		85,1
Coeff. di trasmissione termica k1	W/(m ² • K)		4,036
Coeff. di trasmissione termica k2	W/(m ² • K ²)		0,0108
Peso	kg	46	47
Dimensioni (LxAxP)	mm	1.145 x 2.070 x 90	2.070 x 1.145 x 90

Figura 75. Scheda tecnica del collettore solare Buderus Logasol SKS 4.0

I collettori solari presentano delle ottime performance, come testimoniato dal valore molto elevato del rendimento ottico ($\eta_o = 0.851$) e dal valore piuttosto contenuto del coefficiente di perdita lineare ($a_1 = 4.036 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$). I collettori saranno collegati idraulicamente in parallelo; il serbatoio di accumulo avrà un volume di 212 litri, ovvero di circa 50 litri per m^2 di superficie captante, avrà un singolo serpentino in acciaio al carbonio, completo di protezione anodica e trattamento interno, e sarà coibentato tramite uno strato di 50 mm di poliuretano rigido (Figura 76). L'altezza del serbatoio selezionato, al netto dell'isolante, è di 1200 mm, con un diametro di 500 mm.



euromax WWM		200	300	400	500	800	1000
Capacità totale / Gesamter Inhalt / Total capacity	l	212	291	423	500	765	932
Isolamento PU rigido iniet. / PU-Hartsch. fest eingeschäumt / Foamed polyur.	50 mm	1	1	1	1		
Isolamento Flex / PU-Weichschaum / Soft-insulation	100 mm					1	1
Isolamento Coppella / PU-Hartsch.-Schalen / Hard insulation shells	100 mm					1	1
Altezza totale con isolamento / Gesamte Höhe mit Isolierung / Tot. height with insulation	mm	1215	1615	1460	1690	1845	2080
Altezza massima in raddrizzamento / Kippmass / Diagonal size	mm	1375	1735	1700	1900	1900	2090
Bollitore isolamento 50 mm PU rigido iniet. / Speicher mit PU-Hartschaum fest eingeschäumt 50 mm / Tank with 50 mm foamed hard polyurethane	ø mm	600	600	750	750	-	-
Bollitore isolamento Flex-Copp / Speicher mit PU-Weichschaum 100 mm - PU-Hartschaum in Schalen 100 mm / Tank with soft polyurethane 100 mm -Hard polyurethane shells 100 mm	ø mm	-	-	-	-	990	990
Scambiatore inferiore / Unterwärmetauscher / Lower collector pipe coil	m^2	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Contenuto d'acqua del serpentino / Wasserinhalt des Wärmetauschers / Pipe coil water capacity	l	17,2	23,0	42,5	51,5	60,0	68,5
Acqua di riscaldamento / Heizungswasser / Heating water	60°C/50°C m^3/h	1,2	1,6	2,2	2,7	3,3	3,7
Potenza resa / Abgegebene Leistung / Heat deliver	60°C/50°C kW	14	19	26	31	38	43
Produzione sanitaria / Sanitär Wasser Leistung / Output sanitary water	10°C/45°C m^3/h	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1
Perdite di carico / Druckverlust / Pressure loss	60°C/50°C mbar	8	15	19	31	57	82
Acqua di riscaldamento / Heizungswasser / Heating water	80°C/60°C m^3/h	3,1	4,1	5,6	6,7	8,1	9,3
Potenza resa / Abgegebene Leistung / Heat deliver	80°C/60°C kW	72	96	130	156	189	216
Produzione sanitaria / Sanitär Wasser Leistung / Output sanitary water	10°C/45°C DIN 4708 m^3/h	1,8	2,4	31,2	3,8	4,6	5,3
Perdite di carico / Druckverlust / Pressure loss	80°C/60°C mbar	55	112	116	197	354	515
Coefficiente / Leistungs-Kennzahl / Power code	DIN 4708 NL	10	13	18	28	40	53
Flangia / Flansch / Flange	ø mm	180/120					
Peso a vuoto / Leergewicht / Weight empty	kg	120	160	190	220	280	320
Pressione max. / Max. Betriebsdruck / Max. working-pressure	bar	10					
Pressione max. dello scambiatore / Max. Betriebsdruck Wärmetauscher / Max. working-pressure heat exchanger	bar	6					
Temperatura max. di esercizio bollitore / Max. Betriebstemperatur Speicher / Max. working-temperature boiler	°C	95					

Figura 76. Bollitore solare da 212 litri (4 = attacco per resistenza elettrica)

Orientamento rispetto al SUD (Y) [°]

Inclinazione orizzontale pannelli (β) [°]

Tipo di riflessione ambientale
Coefficiente di riflessione standar... Coefficiente di riflessione (δ)

Ostruzioni

Irradiazione [kWh/m²]

Irradianze mensili

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
80,72	107,11	161,42	148,36	180,09	175,56	195,47	187,77	153,39	132,61	98,13	73,12

Irradianza totale

Caratteristiche Impianto

Tipo di collettore

η_e IAM

a₁ a₂

Efficienza circuito (η_{loop}) Potenza ausiliari elettrici [W]

Superficie captante [m²]

Accumulo presente

Accumulo

Tipo accumulo

Volume nominale [l]

Tipo di integrazione

Coefficiente di corr. della capacità di accumulo (fst)

Volume a carico dell'integrazione (Vbu) [l]

Ubicazione

Temperature ambiente installazione [°C]

Temperature acqua accumulo [°C]

Coefficiente di dispersione termica noto

Coeff. di dispersione termica (Kbol) [W/K]

Superficie esterna [m²]

Conducibilità isolamento [W/mK]

Spessore isolamento [mm]

Figura 77. Impostazioni dell'impianto solare termico su Blumatica Energy

La pompa di circolazione del circuito primario avrà una potenza stimata di 71 W, secondo la relazione di calcolo proposta dalla UNI TS 11300-2 ($P_{el} = 50 + 5 \cdot A_{col}$), e dovrà elaborare una portata di circa 200 l/h.

Infine, in Figura 78 si riportano le impostazioni relative ai sottosistemi di distribuzione e di erogazione dell'acqua calda sanitaria su Blumatica Energy. Si osservi la presenza della potenza della pompa di distribuzione sul circuito di distribuzione a valle del bollitore solare.

E' presente un impianto d'acqua calda sanitaria

Erogazione

Rendimento erogazione

Distribuzione

Metodologia di calcolo

Tipo di distribuzione

Rendimento distribuzione

Pompe di distribuzione

Potenza della pompa [W] Sempre in funzione

Figura 78. Impostazioni relative alla distribuzione e all'erogazione dell'acqua calda sanitaria

5.4.2 Impianto fotovoltaico

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 79, è suddivisa in tre sezioni: Dati geografici, Caratterizzazione dell’impianto FV, Caratteristiche del singolo modulo.

Nella sezione Dati geografici, mostrata in Figura 80, 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, diretto e diffuso), la temperatura esterna, l’escursione termica media e la velocità del vento, per ciascun mese dell’anno.

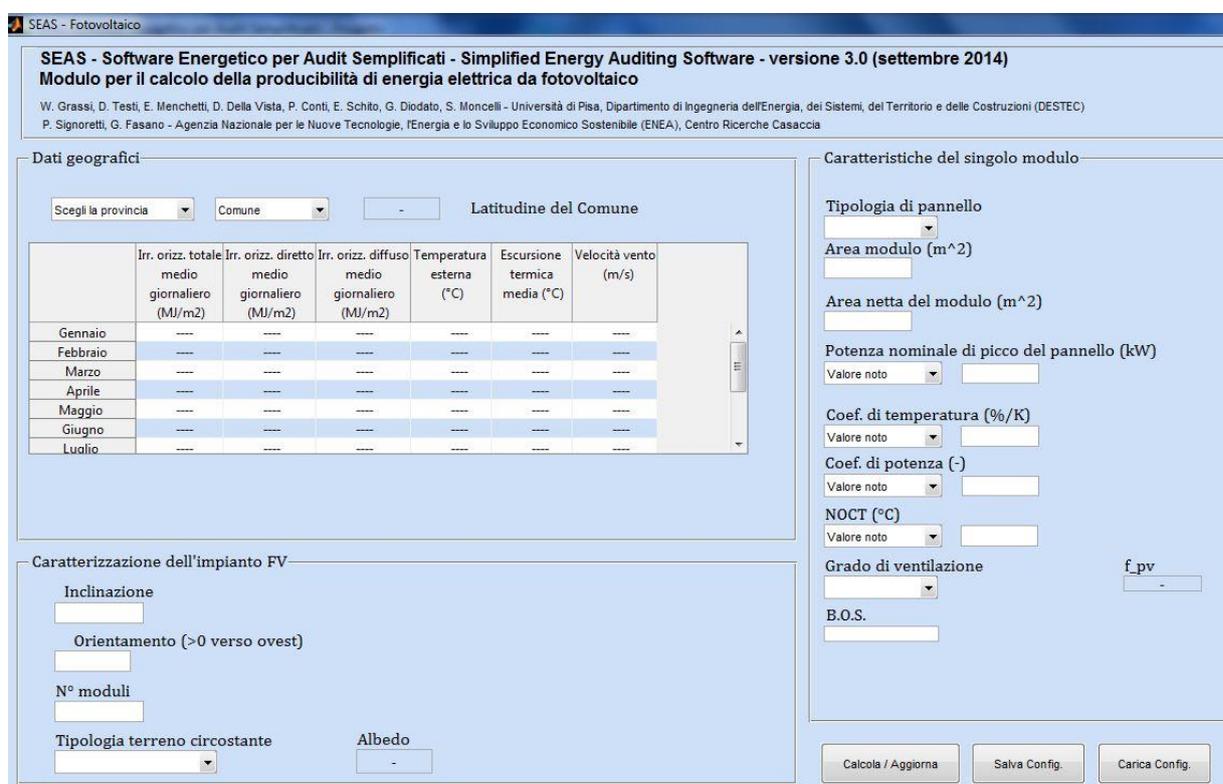


Figura 79. SEAS - schermata principale della routine per il calcolo dell’impianto fotovoltaico

	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	5.7000	3.3000	10.7000	7.3000	4.4000
Febbraio	11.9000	7.7000	4.2000	11.2000	7.9000	4.4000
Marzo	16	10.5000	5.5000	12.9000	8.1000	4.4000
Aprile	20.7000	14.1000	6.6000	15.5000	8.7000	4.4000
Maggio	25.5000	18.6000	6.9000	19.1000	9.1000	4.4000
Giugno	28.2000	21.6000	6.6000	23.5000	9.4000	4.4000
Luglio	28.2000	22.1000	6.1000	26.5000	9.6000	4.4000

Figura 80. SEAS - sezione “Dati geografici” con i risultati ottenuti per Catania

In seguito l'utente dovrà inserire i dati riguardanti la caratterizzazione dell'impianto fotovoltaico, come mostrato in Figura 81. E' necessario specificare l'inclinazione rispetto al piano orizzontale, che in questo caso è fissata a 37°, pari alla latitudine del sito, in modo da massimizzare la disponibilità di radiazione solare incidente. 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 chiare di edifici" in quanto la copertura su cui sarà installato l'impianto presenta una finitura costituita da mattonelle in cemento di un colore grigio chiaro, che determina un albedo di 0.6. Sempre in Figura 81, si osservi che alla voce "N° moduli" si è inserito un valore unitario: in questa fase l'obiettivo è infatti quello di valutare la produzione elettrica attesa da un singolo modulo fotovoltaico, dato a partire dal quale definire il numero di moduli da installare per coprire il fabbisogno elettrico dell'edificio (misurato in seguito alla ristrutturazione).

Nella sezione successiva, riguardante le caratteristiche del singolo modulo, vengono inserite le caratteristiche tecniche del modulo stesso, 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 E20-327, con una potenza nominale di picco di 327 W e un'area netta del modulo di 1.63 m², di cui possiamo riportare in Figura 82 le dimensioni geometriche e in Figura 83 i dettagli della scheda tecnica. Qui, sono segnati in rosso i dati inseriti nell'apposita sezione del software (Figura 84).

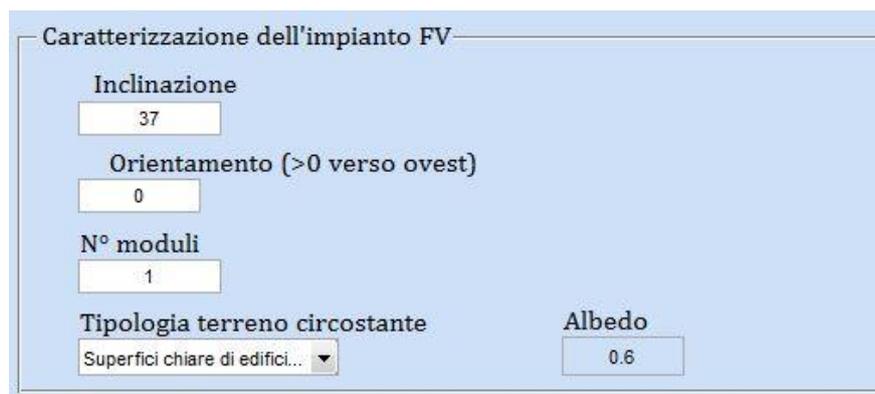


Figura 81. SEAS - sezione "Caratterizzazione dell'impianto FV" con i dati inseriti nel software

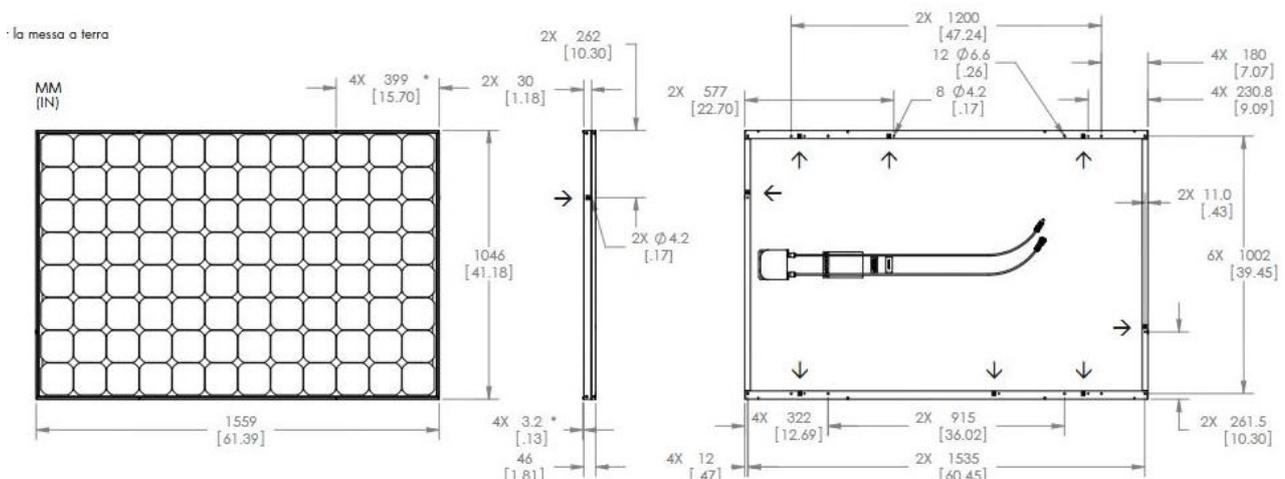


Figura 82. Dimensioni geometriche del modulo fotovoltaico scelto.

DATI ELETTRICI			
Misurato in condizioni di prova standard (STC): Irraggiamento 1000 W/m ² , AM 1,5 e temperatura della cella 25°C			
Potenza nominale (+5/-0%)	P _{nom}	333 W	327 W
Efficienza della cella	η	22,9%	22,5%
Efficienza del modulo	η	20,4%	20,1%
Tensione di punto di massima potenza	V _{mpp}	54,7 V	54,7 V
Corrente di punto di massima potenza	I _{mpp}	6,09 A	5,98 A
Tensione a vuoto	V _{oc}	65,3 V	64,9 V
Corrente di cortocircuito	I _{sc}	6,46 A	6,46 A
Tensione massima del sistema	IEC	1000 V	
Coefficiente di temperatura	Potenza (P)	- 0,38%/K	
	Tensione (V _{oc})	- 176,6 mV/K	
	Corrente (I _{sc})	3,5 mA/K	
NOCT		45°C +/- 2°C	
Corrente nominale del fusibile		20 A	
Limite di corrente inversa (3 stringhe)	I _r	16,2 A	
Messa a terra		Messa a terra positiva non necessaria	

Figura 83. Scheda tecnica del modulo fotovoltaico scelto.

Nella sezione “Caratteristiche del singolo modulo” bisogna descrivere 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, rialzati dal piano orizzontale e privi di ostruzioni: con tale modalità di installazione il software applica un coefficiente correttivo $f_{pv} = 0.80$ (Figura 84). 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 0.85.

Caratteristiche del singolo modulo

Tipologia di pannello
 Silicio monocris...

Area modulo (m²)

Area netta del modulo (m²)

Potenza nominale di picco del pannello (kW)
 Valore noto

Coef. di temperatura (%/K)
 Valore noto

Coef. di potenza (-)
 Valore non noto

NOCT (°C)
 Valore noto

Grado di ventilazione
 Moduli molto ve...

B.O.S.

Figura 84. SEAS - sezione “Caratteristiche del singolo modulo”

Una volta inseriti tutti i valori richiesti, il software calcolerà 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 85. Nella Tabella 43, invece, è possibile leggere i valori di energia elettrica prodotta per ogni mese dell'anno.

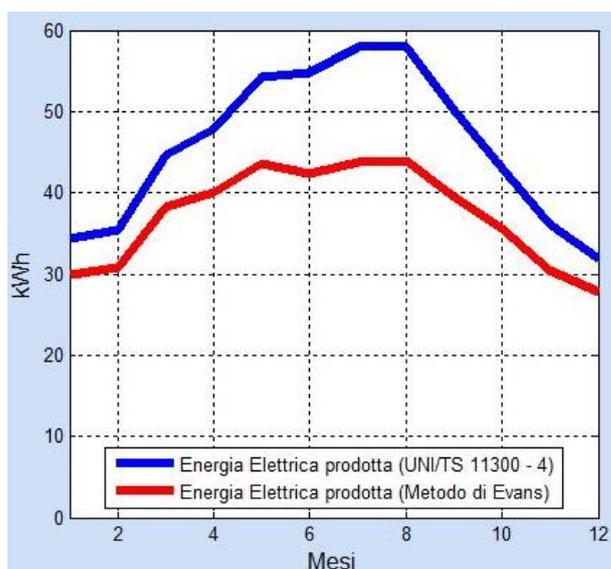


Figura 85. SEAS - grafico della producibilità mensile

	Irradiazione totale su superficie captante [kWh/m ²]	Energia Elettrica (metodo UNI TS 11300-4) [kWh]	Energia Elettrica (metodo di Evans) [kWh]
Gen	131.4	34.39	29.95
Feb	135.4	35.43	30.76
Mar	170.9	44.71	38.24
Apr	182.8	47.83	39.97
Mag	207.2	54.20	43.50
Giu	209.3	54.76	42.27
Lug	221.6	57.95	43.75
Ago	221.9	58.04	44.00
Set	191.9	50.20	39.55
Ott	164.9	43.14	35.22
Nov	137.8	36.05	30.44
Dic	121.9	31.89	27.73
TOT	2097.1	548.59	445.38

Tabella 43. Energia elettrica prodotta da un modulo fotovoltaico

Come precedentemente annunciato, il software effettua il calcolo attraverso due metodologie diverse: si consideri allora come valore di produzione elettrica la media fra i risultati delle due metodologie, ovvero **497 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 305 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 (2092.8 kWh/anno al m²), è pari al 14.5%. 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.

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 non è in grado di compensare il fabbisogno istantaneo.

Come descritto nel paragrafo 3.2.6, nello stato di fatto il fabbisogno elettrico rilevato in bolletta si aggira mediamente sui 54200 kWh/anno. Secondo le stime effettuate, tale fabbisogno può essere disaggregato come riportato in Tabella 24:

Illuminazione:	19060 kWh/anno
Apparecchiature:	22370 kWh/anno
Acqua calda sanitaria:	2560 kWh/anno
Stufe elettriche e ventilatori:	1515 kWh/anno
Unità split:	8700 kWh/anno

Per quanto riguarda invece i fabbisogni elettrici attesi dopo la ristrutturazione, non si prevedono variazioni delle voci "apparecchiature", mentre i nuovi fabbisogni per l'illuminazione artificiale sono già stati determinati al paragrafo 5.3 (8860 kWh/anno). Il fabbisogno elettrico per l'acqua calda sanitaria sarà pressoché annullato, grazie all'installazione dell'impianto solare termico: resterà da conteggiare solo il contributo delle pompe di circolazione e del sistema di integrazione, comunque trascurabili rispetto alla due voci precedenti.

Guardando invece ai consumi elettrici per la climatizzazione (invernale ed estiva), non è al momento possibile conoscerne con esattezza il valore, che verrà determinato nelle sezioni seguenti. Limitandosi al momento ad una stima, è ragionevole assumere che il fabbisogno elettrico per la climatizzazione estiva non vari significativamente: è risaputo, infatti, che un edificio ben isolato tende a surriscaldarsi più facilmente, soprattutto in presenza di elevati carichi endogeni. Tale eventuale effetto sarà però bilanciato dalle migliori performance delle nuove pompe di calore. In inverno, invece, l'isolamento termico dell'edificio produrrà grandi benefici, a cui si dovranno aggiungere anche le migliori performance delle nuove pompe di calore. E' dunque ragionevole ritenere nel complesso che, in seguito alla ristrutturazione, i fabbisogni delle unità di climatizzazione possano essere orientativamente dimezzati rispetto allo stato di fatto.

In conclusione, il fabbisogno elettrico stimato in seguito alla ristrutturazione sarà:

Illuminazione:	8835 kWh/anno
Apparecchiature:	22370 kWh/anno
Climatizzazione:	4500 kWh/anno

Il totale stimato ammonta a 35705 kWh/anno, arrotondato a 36000 kWh/anno per sicurezza. Poiché ciascun modulo fotovoltaico produce in media circa 500 kWh/anno, sarà necessario installare un numero di moduli pari a:

$$n = 36000 / 500 = 72 \text{ moduli}$$

Ragionando in termini di superficie, si ha invece:

$$A_m = 72 \cdot 1.63 \text{ m}^2 = 117.36 \text{ m}^2$$

Si è stimato, dunque, che servano 72 moduli fotovoltaici per soddisfare il fabbisogno elettrico dell'utenza; la potenza totale installata è pari a $327 \times 72 = 23540$ W di picco. I moduli saranno installati sulla copertura piana, prestando attenzione al rispetto della distanza minima reciproca tra i moduli al fine di evitare l'ombreggiamento reciproco che ne inficerebbe notevolmente la resa. A tal fine, si consideri la relazione riportata in Figura 86: assumendo $L = 1046$ mm (dimensione del modulo fotovoltaico), $\beta = 37^\circ$ (angolo di tilt dei moduli) ed $\alpha = 20^\circ$ (angolo di altezza solare invernale, cioè nella situazione più sfavorevole ai fini dell'ombreggiamento), si ottiene una distanza minima di 2.25 m. Per sicurezza si arrotonderà a **D = 2.5 m**.

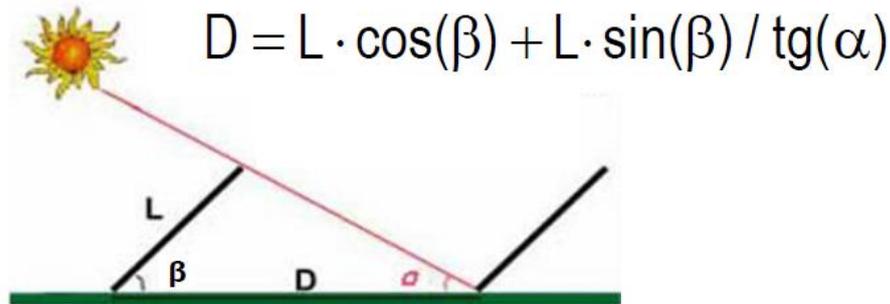


Figura 86. Calcolo della distanza minima tra moduli fotovoltaici

Si è pensato di installare i pannelli parallelamente al lato sud dell'edificio, disposti in tre file parallele tra loro, orientate verso sud e distanti, appunto, 2.5 m. Altri moduli potranno essere installati sulle coperture piane dei lucernai, mantenendo l'esposizione a sud e lo stesso angolo di inclinazione.

In Figura 87 è rappresentata la pianta delle coperture dell'edificio in cui si può vedere la disposizione dei moduli fotovoltaici; si osservi anche la disposizione dei due collettori solari e del bollitore, posizionato in prossimità dei collettori ma a nord di essi e a debita distanza dai moduli fotovoltaici, in modo da evitare problemi di ombreggiamento.

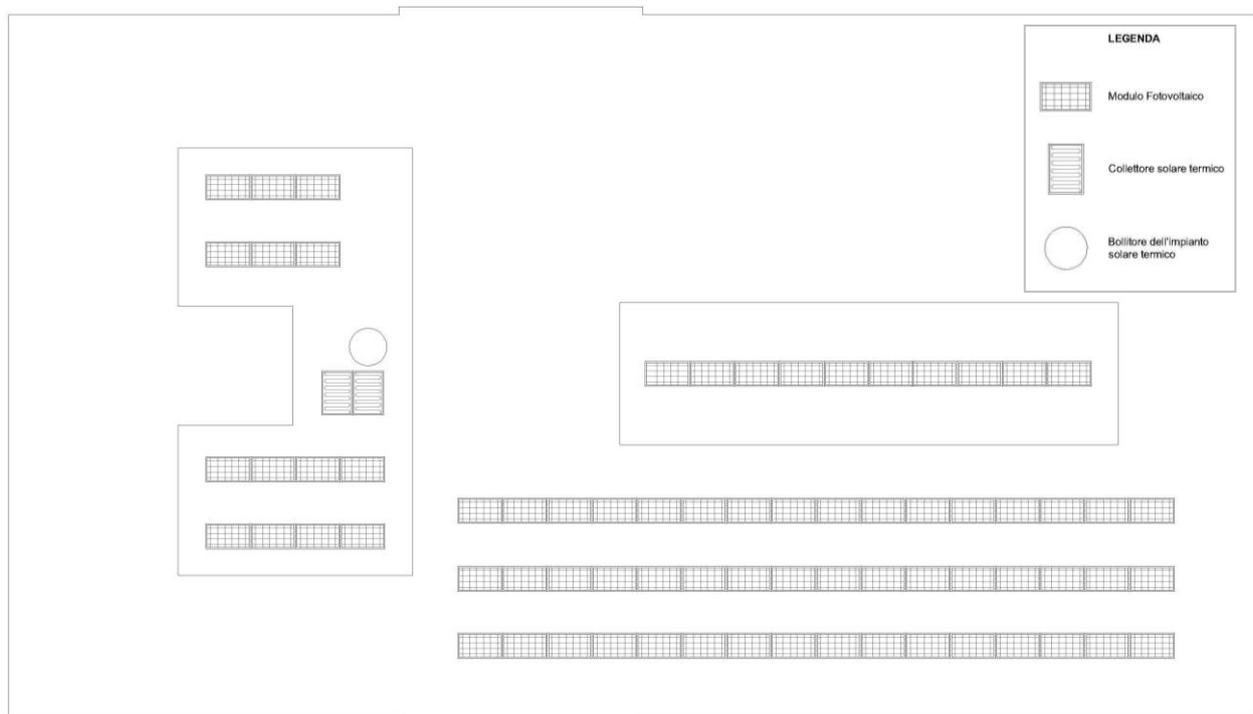


Figura 87. Disposizione dei moduli fotovoltaici e dei collettori solari termici in copertura

Infine, in Figura 88 si riporta la schermata del software Blumatica Energy con l'impostazione dei dati relativi all'impianto fotovoltaico. In basso, si leggono i valori dell'energia elettrica prodotta mensilmente dall'impianto fotovoltaico, per un totale di **31978 kWh/anno**. Si riscontra una leggera discordanza con i risultati ottenuti tramite il tool del software SEAS 3.0, verosimilmente perché vi è una discrepanza tra i dati dell'irradiazione solare mensile disponibile sul piano dei moduli fotovoltaici.

Per approfondire tale aspetto, si è deciso di verificare i valori dell'irradiazione solare disponibile sul piano dei moduli fotovoltaici facendo riferimento a una terza fonte, ed in particolare al sito <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> (Photovoltaic Geographical Information System - PVGIS), gestito dal Joint Research Center della Commissione Europea, che contiene un ricco database di dati climatici geo-referenziati. 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 norme UNI 11300:4 è fortemente sottostimata.

Irradianze mensili

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
80,72	107,11	161,42	148,36	180,09	175,56	195,47	187,77	153,39	132,61	98,13	73,12

Irradianza totale: 1.693,75

Energia elettrica prodotta totale [kWh]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1.524,05	2.022,32	3.047,67	2.800,97	3.400,06	3.314,48	3.690,38	3.545,05	2.896,01	2.503,64	1.852,76	1.380,51

Figura 88. Impostazioni relative all'impianto fotovoltaico su Blumatica Energy

	SEAS - Fotovoltaico	UNI TS 11300-4	PVGIS (Climate SAF)	PVGIS (Classic)
Gen	131.4	80.7	131.1	113.2
Feb	135.4	107.1	141.1	120.1
Mar	170.9	161.4	187.2	168.0
Apr	182.8	148.4	184.5	181.2
Mag	207.2	180.1	205.2	195.0
Giu	209.3	175.6	208.5	192.3
Lug	221.6	195.5	226.3	204.3
Ago	221.9	187.8	222.6	204.3
Set	191.9	153.4	187.8	185.1
Ott	164.9	132.6	168.9	162.8
Nov	137.8	98.1	136.2	116.7
Dic	121.9	73.1	121.2	102.0
TOT	2097.1	1693.7	2120.8	1944.9
Δ	-	- 19.3%	+1.1%	-7.1%

Tabella 44. Confronto fra dati climatici relativi all'irradiazione solare (tilt 37°, kWh/m²)

5.5 Valutazione energetica dell'edificio ristrutturato

Una volta descritte le ipotesi di intervento per la ristrutturazione importante di I livello, inerenti gli impianti e l'involucro edilizio, sono stati rielaborati dal software Blumatica Energy tutti i dati relativi ai fabbisogni di energia termica afferenti alla climatizzazione estiva ed invernale, alla produzione di acqua calda sanitaria ed all'illuminazione, ed è stato dunque possibile individuare la nuova classe energetica di appartenenza, verificando tutti parametri di legge introdotti dal Decreto Requisiti Minimi. Infine, è stato possibile verificare che sia stato raggiunto lo standard nZEB.

5.5.1 Fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale

Analogamente a quanto indicato nello stato di fatto, il computo del fabbisogno di energia termica utile, riferito a condizioni di temperatura interna di 20°C, avviene tramite la procedura prevista dalla norma UNI TS 11300-1, che considera i limiti di esercizio dell'impianto e la durata della stagione di riscaldamento in funzione della zona climatica (zona B).

I risultati, in termini di fabbisogno di energia termica utile, sono riportati in Tabella 45. La Figura 89 riporta inoltre i valori degli indici di prestazione EP per il riscaldamento (kWh/m^2). Si ricorda in tal senso che il pedice "nd" (need) fa riferimento al fabbisogno di energia utile, mentre gli altri dati si riferiscono al fabbisogno di energia primaria, rispettivamente rinnovabile (*ren*) e non rinnovabile (*nren*). Ai fini del computo del contributo delle fonti rinnovabili, si ricorda altresì che è in questo caso presente un impianto solare fotovoltaico, il cui contributo alla definizione della quota rinnovabile si va ad aggiungere a quello della pompa di calore elettrica (calore gratuito prelevato dall'ambiente esterno).

Analizzando i risultati, è possibile notare come il fabbisogno termico ideale per il servizio di riscaldamento si sia ridotto del 75.2% rispetto allo stato di fatto. Inoltre, l'indice $EP_{H,nren}$ risulta adesso molto inferiore rispetto al limite previsto per il corrispondente edificio di riferimento. Il rendimento globale di impianto ($\eta_H = 5.878$) risulta assolutamente soddisfacente, in quanto notevolmente al di sopra del valore calcolato per l'edificio di riferimento.

Infine, è interessante sottolineare che il fabbisogno di energia elettrica per la climatizzazione invernale stimato dal software è pari a **5201,4 kWh/anno**, il che corrisponde ad una performance media invernale per le pompe di calore pari a **COP = 3.22**, valore che tiene conto anche delle perdite di distribuzione e dei rendimenti di accumulo, emissione e regolazione.

MESI	kWh (edificio esistente)	kWh (edificio ristrutturato)	Riduzione (%)
Gennaio	20 959	4 083	80.5 %
Febbraio	16 684	4 574	72.6 %
Marzo	13 013	3 289	74.3 %
Dicembre	16 751	3 909	76.7 %
TOTALE	67 407	15 854	76.5 %

Tabella 45. Fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento - ristrutturazione

 Servizio: Riscaldamento		Edificio reale		Edificio di riferimento
Indice di prestazione termica utile per il riscaldamento	EPH,nd	kWh/m^2 anno	17,78	26,17
Rendimento medio stagionale	η_H	-	5,878	1,910
Energia primaria non rinnovabile per il servizio	EPH,nren	kWh/m^2 anno	3,03	13,70
Energia primaria rinnovabile per il servizio	EPH,ren	kWh/m^2 anno	18,19	30,53
Energia primaria totale per il servizio	EPH	kWh/m^2 anno	21,22	44,23

Figura 89. Prestazioni globali del servizio di riscaldamento - ristrutturazione

5.5.2 Fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva

Per quanto concerne il servizio di raffrescamento, per il periodo compreso tra giugno e settembre, è possibile notare la differenza, in termini di fabbisogno di energia termica utile, tra l'edificio esistente e quello ristrutturato alla Tabella 46. La Figura 90 riporta inoltre i valori degli indici di prestazione EP per il raffrescamento (kWh/m²).

In questo caso è possibile notare come il fabbisogno termico ideale per il servizio di raffrescamento si sia complessivamente ridotto del 24.3% rispetto allo stato di fatto; tale variazione è però di entità differente nei diversi mesi della stagione estiva, e addirittura nel mese di settembre si assiste ad un leggero aumento del fabbisogno. Inoltre, l'indice EP_{C,nren} risulta adesso molto inferiore rispetto al limite previsto per il corrispondente edificio di riferimento, e si avvicina allo zero.

Il rendimento globale di impianto ($\eta_c = 174.23$) è altissimo, complice il fatto di aver quasi annullato il ricorso ad energia primaria proveniente da fonte non rinnovabile. In tal senso è ovviamente fondamentale il ruolo dell'impianto fotovoltaico: in estate la produzione di energia elettrica viene massimizzata grazie alla maggiore disponibilità di radiazione solare, e ciò ben si concilia con l'utilizzo di un sistema di generazione alimentato da energia elettrica, quale la pompa di calore reversibile.

Infine, è interessante sottolineare che il fabbisogno di energia elettrica per la climatizzazione invernale stimato dal software è pari a **7673,8 kWh/anno**, il che corrisponde ad una performance media estiva per le pompe di calore pari a **EER = 3.73**, valore che tiene conto anche delle perdite di distribuzione e dei rendimenti di accumulo, emissione e regolazione.

MESI	kWh (edificio esistente)	kWh (edificio ristrutturato)	Riduzione (%)
Giugno	5 888	5 245	10.9 %
Luglio	14 685	8 276	43.6 %
Agosto	13 547	8 552	36.9 %
Settembre	3 664	3 746	- 2.2 %
TOTALE	37 810	27 522	27.2%

Tabella 46. Fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento - ristrutturazione

Servizio: Raffrescamento		Edificio reale	Edificio di riferimento
Indice di prestazione termica utile per raffrescamento	EPC,nd kWh/m ² anno	30,87	31,20
Rendimento medio stagionale	η_c -	174,230	2,101
Energia primaria non rinnovabile per il servizio	EPC,nren kWh/m ² anno	0,18	14,85
Energia primaria rinnovabile per il servizio	EPC,ren kWh/m ² anno	8,56	11,00
Energia primaria totale per il servizio	EPC kWh/m ² anno	8,74	25,85

Figura 90. Prestazioni globali del servizio di raffrescamento - ristrutturazione

5.5.3 Fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria

Analogamente al servizio di climatizzazione estiva ed invernale, il software effettua il computo del fabbisogno di energia termica utile per l'acqua calda sanitaria tramite la procedura prevista dalla norma UNI TS 11300-2.

In Tabella 47 si riportano i valori mensili del fabbisogno di energia termica dell'utenza. La Figura 91 riporta invece i valori dell'indice di prestazione EP per il servizio in esame (kWh/m²). Ovviamente non si assiste a variazioni significative del fabbisogno di energia termica utile, che dipende principalmente dal numero di utenti e dalla temperatura di erogazione dell'acqua calda sanitaria; la piccola variazione rispetto allo stato di fatto può derivare da una modifica alla rete di distribuzione, ed alla presenza di un serbatoio di accumulo da 212 litri che presenterà necessariamente delle perdite energetiche, seppur ridotte.

L'indice $EP_{W,ren}$ risulta inferiore rispetto al limite previsto per il corrispondente edificio di riferimento, e prossimo allo zero. Il rendimento globale di impianto ($\eta_w = 3.812$) risulta assolutamente soddisfacente, in quanto al di sopra del valore calcolato per l'edificio di riferimento.

MESI	kWh (edificio esistente)	kWh (edificio ristrutturato)
Gennaio	140,2	142
Febbraio	126,6	129
Marzo	140,2	142
Dicembre	135,7	138
Maggio	140,2	142
Giugno	135,7	138
Luglio	140,2	142
Agosto	140,2	142
Settembre	135,7	138
Ottobre	140,2	142
Novembre	135,7	138
Dicembre	140,2	142
TOTALE	1 650,5	1 676

Tabella 47. Fabbisogno ideale di energia termica per l'ACS - ristrutturazione

Servizio: Produzione acqua calda sanitaria		Edificio reale	Edificio di riferimento
Indice di prestazione termica utile per ACS	EPW,nd kWh/m ² anno	1,88	1,88
Rendimento medio stagionale	η_w	3,864	3,708
Energia primaria non rinnovabile per il servizio	EPW,nren kWh/m ² anno	0,49	0,51
Energia primaria rinnovabile per il servizio	EPW,ren kWh/m ² anno	2,04	2,25
Energia primaria totale per il servizio	EPW kWh/m ² anno	2,52	2,76

Figura 91. Prestazioni globali del servizio di ACS - ristrutturazione

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Totale
Rinn.	88,8	122,1	174,0	165,9	187,4	178,8	184,2	182,6	176,4	159,6	118,2	77,5	1815,7
Non rinn.	115,1	58,6	18,9	17,9	0,0	0,0	1,1	3,1	0,9	27,3	69,4	127,3	439,6
% rinn.	43,6%	67,6%	90,2%	90,3%	100,0%	100,0%	99,4%	98,3%	99,5%	85,4%	63,0%	37,9%	80,5%

Tabella 48. Energia primaria da fonti rinnovabili e non rinnovabili (kWh)

Tali prestazioni lusinghiere sono evidentemente legate alla presenza dell'impianto solare termico in copertura. A tal proposito, si riporta in Tabella 48 il contributo delle fonti rinnovabili (solare termico) e non rinnovabili (integrazione elettrica) al servizio di produzione di acqua calda sanitaria. Nei mesi estivi, ed in particolare da Maggio a Settembre, il solare termico copre quasi per intero il fabbisogno dell'utenza, con percentuali che variano dal 98.3% al 100%. Su base annuale, l'80.5% del fabbisogno di energia primaria deriva da fonti rinnovabili: questo risultato consente anche di comprendere come il dimensionamento dell'impianto solare termico, consistente di due soli collettori piani vetrati, sia stato effettuato correttamente e coerentemente con le reali esigenze dell'utenza.

Si sottolinea anche un esiguo consumo elettrico (**142 kWh/anno**), legato alle pompe di circolazione.

5.5.4 Fabbisogno energetico per l'illuminazione

Analogamente a quanto eseguito nello stato di fatto, il fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione è determinato in conformità alla UNI EN 15193:2008, ed è individuato solo per gli edifici ad uso non residenziale, come nel caso oggetto di studio. Ai fini del calcolo, la UNI EN 15193:2008 assume un tempo di accensione diurno pari a 1560 ore/anno per locali ad uso ufficio, e a 416 ore/anno per locali di

servizio (WC, corridoi); inoltre, per tutti i locali si considerano ulteriori 250 ore/anno di accensione notturna.

Oltre a variare la potenza delle lampade installate, a differenza dello stato di fatto si è considerata in alcuni locali l'installazione di sensori di presenza, in grado di comandare lo spegnimento delle luci in assenza di occupanti. I locali in questione sono individuati da un asterisco in Tabella 41.

In Tabella 49 si riportano i valori del fabbisogno energetico di illuminazione artificiale restituiti dal software Blumatica Energy. Per una migliore comprensione dei risultati si ricorda che, ai sensi della UNI EN 15193:2008, vengono conteggiati 6 kWh/m² di consumi parassiti, di cui 1 kWh/m² per le lampade di emergenza e 5 kWh/m² per tenere conto dei sistemi di controllo delle luci dimmerabili, nonché dei consumi di queste ultime quando in stand-by. In realtà, nell'edificio in esame quest'ultimo contributo non è pertinente, ma il software utilizzato non permette di eliminarlo. Volendo dunque scomputarlo, il fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione risulterebbe 7407,5 kWh/anno + 890 kWh/anno (emergenza) = **8 297,5 kWh/anno**. Tale valore è abbastanza prossimo a quanto stimato preliminarmente in Tabella 42.

MESI	Edificio esistente			Edificio ristrutturato		
	Illuminazione [kWh]	Parassita [kWh]	TOTALE [kWh]	Illuminazione [kWh]	Parassita [kWh]	TOTALE [kWh]
Gennaio	1 501,7	454,3	1 956,0	629,1	454,3	1 083,4
Febbraio	1 356,4	410,3	1 766,7	568,2	410,3	978,6
Marzo	1 501,7	454,3	1 956,0	629,1	454,3	1 083,4
Aprile	1 453,3	439,6	1 892,9	608,8	439,6	1 048,5
Maggio	1 501,7	454,3	1 956,0	629,1	454,3	1 083,4
Giugno	1 453,3	439,6	1 892,9	608,8	439,6	1 048,5
Luglio	1 501,7	454,3	1 956,0	629,1	454,3	1 083,4
Agosto	1 501,7	454,3	1 956,0	629,1	454,3	1 083,4
Settembre	1 453,3	439,6	1 892,9	608,8	439,6	1 048,5
Ottobre	1 501,7	454,3	1 956,0	629,1	454,3	1 083,4
Novembre	1 453,3	439,6	1 892,9	608,8	439,6	1 048,5
Dicembre	1 501,7	454,3	1 956,0	629,1	454,3	1 083,4
TOTALE	17 681,2	5 348,8	23 020,3	7 407,5	5 349,0	12 756,5

Tabella 49. Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione (kWh) - ristrutturazione

 Servizio: Illuminazione			Edificio reale	Edificio di riferimento
Energia primaria non rinnovabile per il servizio	EPL _{nren}	kWh/m ² anno	2,70	28,92
Energia primaria rinnovabile per il servizio	EPL _{ren}	kWh/m ² anno	14,80	6,97
Energia primaria totale per il servizio	EPL	kWh/m ² anno	17,50	35,89

Figura 92. Prestazioni globali del servizio d'illuminazione - ristrutturazione

5.5.5 Prestazione energetica globale

In Tabella 50 e Tabella 51 si riportano, per l'edificio ristrutturato, i fabbisogni di energia primaria (rinnovabile e non rinnovabile) associati a ciascun servizio energetico, espressi rispettivamente in termini di kWh/anno e kWh/m² per anno, restituiti dal software Blumatica Energy.

Una volta elaborati i fabbisogni di energia primaria per i singoli servizi, il software consegna inoltre come output la nuova classe energetica complessiva. L'edificio ristrutturato presenta un indice di prestazione energetica globale non rinnovabile $EP_{gl,nren} = 6,39 \text{ kWh/m}^2$, al quale compete la classe energetica assegnata più alta (**classe A4**). Anche la qualità prestazionale dell'involucro, sia invernale che estiva, è alta, come testimoniato in Figura 93.

In aggiunta a tale risultato, si consegue il **raggiungimento dello standard nZEB**, ovvero di edificio a quasi zero energia: ciò grazie al rispetto di tutti i Requisiti Minimi fissati per legge (con riferimento al 2019/21), nonché al contestuale soddisfacimento delle quote minime di energia rinnovabile fissate dal DM

n° 28 del 2011. In particolare, la Figura 94 riporta l'esito di tutte le verifiche previste in termini di legge: si osservi che la copertura totale dei fabbisogni energetici tramite fonti rinnovabili ammonta all'88.4%, ben superiore al minimo richiesto del 50%.

Tutti gli indici di prestazione energetica, misurati in kWh/m² anno, risultano inoltre ampiamente al di sotto dei limiti riferiti alla prestazione dell'edificio di riferimento.

SERVIZIO	Rinnovabile [kWh]		Non Rinnovabile [kWh]		TOTALE [kWh]	
	Edificio esistente	Edificio ristrutturato	Edificio esistente	Edificio ristrutturato	Edificio esistente	Edificio ristrutturato
Riscaldamento (R)	57 115.29	16 218.84	37 779.32	2 697.38	94 894.61	18 916.22
Raffrescamento (C)	5 518.41	7 630.90	22 895.55	157.96	28 413.97	7 788.87
Acqua calda sanitaria (W)	1 346.41	1 817.32	5 586.18	433.62	6 932.59	2 250.94
Illuminazione (L)	11 338.85	13 196.79	47 044.17	2 408.75	58 383.02	15 605.54
TOTALE Servizi	75 318.96	38 863.85	113 305.22	5 697.71	188 624.19	44 561.57

Tabella 50. Fabbisogno annuo di energia primaria per singolo servizio (edificio esistente e ristrutturato)

SERVIZIO	Rinnovabile [kWh/m ²]		Non Rinnovabile [kWh/m ²]		TOTALE [kWh/m ²]	
	Edificio esistente	Edificio ristrutturato	Edificio esistente	Edificio ristrutturato	Edificio esistente	Edificio ristrutturato
Riscaldamento (R)	64.07	18.19	42.38	3.03	106.45	21.2
Raffrescamento (C)	6.19	8.56	25.68	0.18	31.87	8.74
Acqua calda sanitaria (W)	1.51	2.04	6.27	0.49	7.78	2.52
Illuminazione (L)	12.72	14.80	52.77	2.70	65.49	17.50
TOTALE Servizi	84.49	43.59	127.1	6.39	211.59	49.98

Tabella 51. Fabbisogno annuo specifico di energia primaria per singolo servizio (edificio esistente e ristrutturato)



Figura 93. Classificazione energetica dell'edificio ristrutturato

^ Indici di prestazione energetica					
Parametro	U.M.	Valore calcolato	<>	Limite	Verificato
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per uni...	[W/m²K]	0,322	<	0,630	Verificato
Area solare equivalente estiva per unità di superficie - Asol,est/Asup,...	[-]	0,028	<	0,040	Verificato
Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale - EP...	[kWh/ m² anno]	17,784	<	26,170	Verificato
Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale - EPH,...	[kWh/ m² anno]	3,026	<	13,701	Verificato
Indice di prestazione termica utile per la produzione di acqua calda san...	[kWh/ m² anno]	1,880	<	1,880	Verificato
Indice di prestazione energetica per la produzione acqua calda sanitari...	[kWh/ m² anno]	0,486	<	0,507	Verificato
Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva - EPC,nd	[kWh/ m² anno]	30,872	<	31,201	Verificato
Indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva - EPC,nren	[kWh/ m² anno]	0,177	<	14,848	Verificato
Indice di prestazione energetica per la ventilazione meccanica - EPV,nren	[kWh/ m² anno]	0,000	<	0,000	Verificato
Indice di prestazione energetica per l'illuminazione - EPL,nren	[kWh/ m² anno]	2,702	<	28,923	Verificato
Indice di prestazione energetica per il trasporto di persone o cose - EP...	[kWh/ m² anno]	0,000	<	0,000	Verificato
Indice di prestazione energetica globale non rinnovabile - EPgl,nren	[kWh/ m² anno]	6,391	<	57,979	Verificato
Indice di prestazione energetica globale totale - EPgl,tot	[kWh/ m² anno]	49,985	<	108,736	Verificato
Percentuale di copertura produzione ACS da fonti rinnovabili	[%]	80,7	>	55,0	Verificato
Copertura totale da fonti rinnovabili	[%]	88,4	>	38,5	Verificato
Potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili	[kW]	23,6	>	0,0	Verificato

Figura 94. Verifiche dei requisiti minimi per l'edificio ristrutturato

5.6 La simulazione dinamica dell'edificio ristrutturato

La simulazione dinamica dell'edificio ristrutturato è un utile strumento, poiché permette di effettuare un confronto tra le prestazioni energetiche dell'edificio originario e quelle post-intervento, in termini di profili orari di temperatura e fabbisogni energetici estivi. A partire dal modello creato per lo stato di fatto, sono state inserite le modifiche alla luce degli interventi previsti dal progetto di riqualificazione energetica di cui al paragrafo 5; in particolare, in Design Builder è stato rimodellato l'edificio con l'inserimento dei cambiamenti all'involucro esterno, ai serramenti e all'illuminazione.

5.6.1 Modellazione dell'edificio ristrutturato

Per prima cosa, si sono apportate delle modifiche al modello geometrico dell'edificio, sostituendo il blocco "Tetto" del lucernario a falda con un lucernario piano, aventi caratteristiche analoghe a quello originario ad ovest che, invece, rimarrà inalterato. Il modello, così modificato, è riportato in Figura 95.

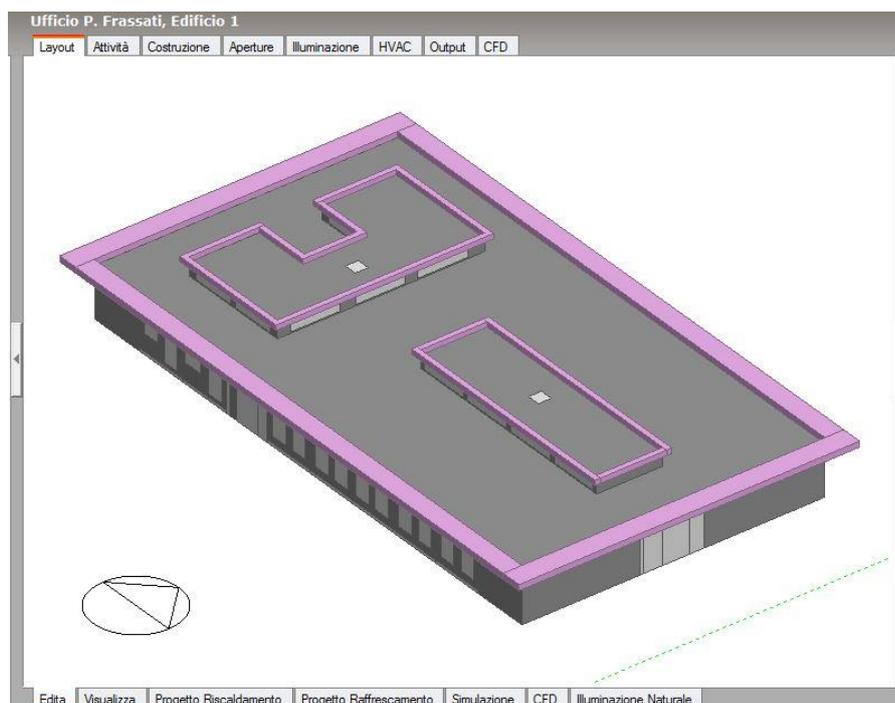


Figura 95. Design Builder: Layout dell'edificio ristrutturato

Per simulare l'intervento sull'involucro, si sono modificate le stratigrafie dei componenti edilizi attraverso la scheda "Costruzione", secondo quanto descritto nel Capitolo 5. Per esempio, alle pareti verticali si è aggiunto uno strato di EPS da 8 cm. In Tabella 52 è possibile vedere le stratigrafie previste dall'intervento e le relative trasmittanze.

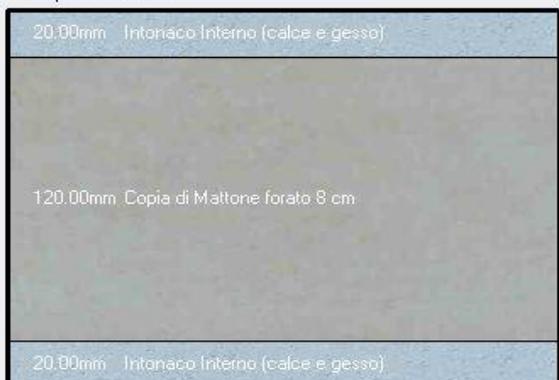
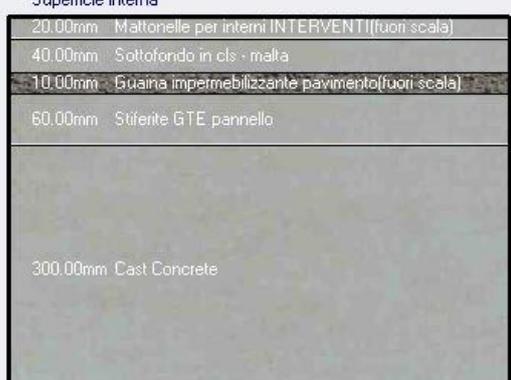
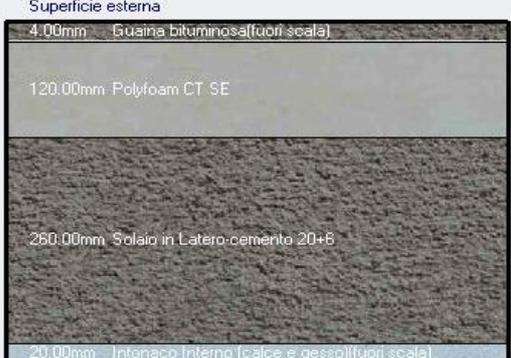
CHIUSURA VERTICALE		CHIUSURA VERTICALE	
Spessore = 48 cm	$U = 0.322 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$	Spessore = 38 cm	$U = 0.322 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
Superficie esterna 20.00mm Intonaco Esterno (cemento e gesso)(fuori scala) 80.00mm Polyfoam CT SE 120.00mm Mattone pieno 160.00mm GAP ARIA 80.00mm Mattone forato 12 cm 20.00mm Intonaco Interno (calce e gesso)(fuori scala) Superficie interna		Superficie esterna 20.00mm Intonaco Esterno (cemento e gesso)(fuori scala) 80.00mm Polyfoam CT SE 120.00mm Mattone pieno 60.00mm GAP ARIA 80.00mm Mattone forato 12 cm 20.00mm Intonaco Interno (calce e gesso)(fuori scala) Superficie interna	
PARTIZIONE INTERNA		CHIUSURA ORIZZONTALE DI BASE	
Spessore = 16 cm	$U = 1.580 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$	Spessore = 43 cm	$U = 0.311 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
Superficie esterna 20.00mm Intonaco Interno (calce e gesso) 120.00mm Copia di Mattone forato 8 cm 20.00mm Intonaco Interno (calce e gesso) Superficie interna		Superficie interna 20.00mm Mattonelle per interni INTERVENTI(fuori scala) 40.00mm Sottofondo in cls - malta 10.00mm Guaina impermeabilizzante pavimento(fuori scala) 60.00mm Stiferite GTE pannello 300.00mm Cast Concrete Superficie esterna	
CHIUSURA ORIZZONTALE DI COPERTURA		CHIUSURA ORIZZONTALE DI COPERTURA	
Spessore = 59 cm	$U = 0.260 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$	Spessore = 40 cm	$U = 0.244 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
Superficie esterna 15.00mm Mattonelle in cemento(fuori scala) 20.00mm Malta di allettamento(fuori scala) 4.00mm Guaina bituminosa(fuori scala) 100.00mm Polyfoam CT SE 120.00mm Massetto delle pendenze 310.00mm Solaio in Latero-cemento 25+6 200.00mm Intonaco Interno (calce e gesso) Superficie interna		Superficie esterna 4.00mm Guaina bituminosa(fuori scala) 120.00mm Polyfoam CT SE 260.00mm Solaio in Latero-cemento 20+6 20.00mm Intonaco Interno (calce e gesso)(fuori scala) Superficie interna	

Tabella 52. Stratigrafie dei vari componenti edilizi impostati nella scheda "Costruzione"

È possibile notare come i valori di trasmittanza si siano notevolmente abbassati dopo l’inserimento dell’isolante. Tutti i componenti, adesso, rispettano gli standard di normativa.

Dalla scheda “Costruzione” si è anche modificato il valore delle infiltrazioni attraverso l’involucro. Grazie agli interventi effettuati sull’esistente, infatti, si possono correggere le imperfezioni presenti e si può operare in maniera tale da minimizzare le infiltrazioni dovute alle fessurazioni; per tali ragioni, sul software è stato impostato un valore “medio” del tasso di infiltrazione, che contribuirà a ridurre le perdite.

Gli interventi di cui al paragrafo 5 prevedono anche la sostituzione degli infissi. Sul modello sono stati dunque inseriti nell’apposita scheda “Aperture” i serramenti aventi le caratteristiche scelte negli interventi. In particolare, pur mantenendo le stesse dimensioni geometriche, si è cambiato il tipo di vetro; il vetro singolo esistente è stato sostituito con una vetrocamera avente lastra interna con trattamento superficiale basso emissivo e un’intercapedine di 16 mm riempita ad Argon. La vetrata presenta un Fattore Solare (FS) di 0.670 e una trasmittanza U_v di 1.2 W/m²K. Il telaio esistente è stato sostituito con un telaio in alluminio a taglio termico, che presenta una trasmittanza U_t di 2.5 W/m²K; con tale modifica, si è riusciti ad abbassare notevolmente la trasmittanza dell’intero infisso.

Per quanto riguarda la percentuale di apertura delle vetrate e il programma di funzionamento mensile ed orario, i settaggi sono rimasti invariati rispetto a quanto specificato al paragrafo 4.2.5, così come la tipologia dei sistemi di schermatura. I serramenti sono dotati di un cassonetto isolato, e pertanto alle sotto-superfici create nel modello dello stato di fatto per simulare tali cassonetti è stato aggiunto uno strato di isolante di polistirene espanso di 8 cm, ottenendo una stratigrafia che presenta una trasmittanza pari a 0.370 W/m²K.

Locale	Tipo	Superficie	Potenza installata	
		[m ²]	[W]	[W/m ²]
	ESTERNI		1500	-
0	Corridoio ingresso	144.84	872	6
1	WC_1	23.68	112	5
2	WC_2	10.00	64	6
3	Ufficio_1	35.82	384	11
4	Ufficio_2	35.17	384	11
5	Ufficio_3	16.56	96	6
6	Direzione	17.40	64	4
7	Ufficio_4	34.95	128	4
8	Ufficio_5	17.95	96	5
9	Direzione_1	16.59	96	6
10	Direzione_2	35.09	160	4
11	Disimpegno	20.14	16	2
12	Aula_didattica_1	37.06	192	5
13	Atrio	39.14	96	2
14	Ass_sociale_1	34.48	96	3
15	WC_3	35.08	192	5
16	Ass_sociale_2	33.51	96	3
17	Ass_sociale_3	34.64	96	3
18	Ludoteca	34.71	192	6
19	Sala riunioni 2	34.93	288	8
20	Sala fotocopie	36.58	192	5
21	Ufficio_6	34.75	96	3
22	Ufficio_7	24.44	128	5
23	Ufficio_8	18.34	128	7
24	Responsabile	18.37	96	5
25	CED	11.05	96	9
28	Ufficio_9	34.42	272	8
30	Ufficio_10	21.81	288	13
TOTALI		891.5	65106	-

Tabella 53. Potenza installata in ciascun locale per l’illuminazione artificiale

Infine, nell'apposita scheda relativa all'illuminazione, sono stati impostati, per ciascuna zona, i valori della potenza installata, espressa in W/m^2 , alla luce delle nuove lampade che si prevede di utilizzare nell'intervento. Il programma di funzionamento e i profili di accensione giornalieri sono, invece, rimasti analoghi, in quanto il tasso di occupazione dei locali non è variato dopo l'intervento.

In Tabella 53 sono riportati i valori impostati nel software. Si può notare come, rispetto allo stato di fatto, la potenza installata si sia circa dimezzata.

5.6.2 Risultati delle simulazioni

Dopo aver apportato le modifiche al modello, alla luce degli interventi previsti per il progetto di ristrutturazione, si è passati ad analizzare i risultati al fine di verificare come tali interventi incidano sul comportamento dinamico dell'edificio.

Anche per lo stato di progetto, sono state effettuate delle simulazioni in relazione al regime estivo, ovvero nel periodo che va dal 1 Giugno al 30 Settembre. Il fabbisogno energetico per il condizionamento estivo, ricavato sommando tutti i valori del carico di raffrescamento totale (in kW) per ogni ora del periodo considerato, risulta essere di **16095 kW**. Dividendo il fabbisogno energetico per la climatizzazione per l'EER medio stagionale delle pompe di calore (EER = 3.73), ricavato dalle analisi condotte su Blumatica Energy, si ottiene infine un consumo stimato di **energia elettrica di 4315 kWh/anno**.

Riportiamo inoltre in Figura 96 i carichi di raffrescamento sensibile valutati prima e dopo la ristrutturazione, nel giorno più caldo (9 Agosto). Dall'istogramma è possibile evincere come tali valori siano clamorosamente maggiori se confrontati ai rispettivi ottenuti per lo stato di fatto, con differenze tra i valori orari che possono anche raggiungere il 50%. Ciò è giustificato dal fatto che l'involucro è adesso ben isolato e, pertanto, in grado di trattenere i carichi endogeni sviluppati all'interno dei locali, che come si è visto risultano essere non trascurabili.

Infine, nella simulazione senza impianto del modello post-intervento sono stati presi in esame i profili di temperatura interna e di temperatura operativa per gli stessi locali già analizzati nel paragrafo 4.3.2.

In particolare, per ogni ambiente, si è effettuato un confronto tra il profilo di temperatura operativa nello stato di fatto e nello stato di progetto, in relazione alla settimana più calda che, anche in questo caso, risultata essere quella che va dal 5 all'11 Agosto. Il confronto è riportato da Figura 97 a Figura 100.

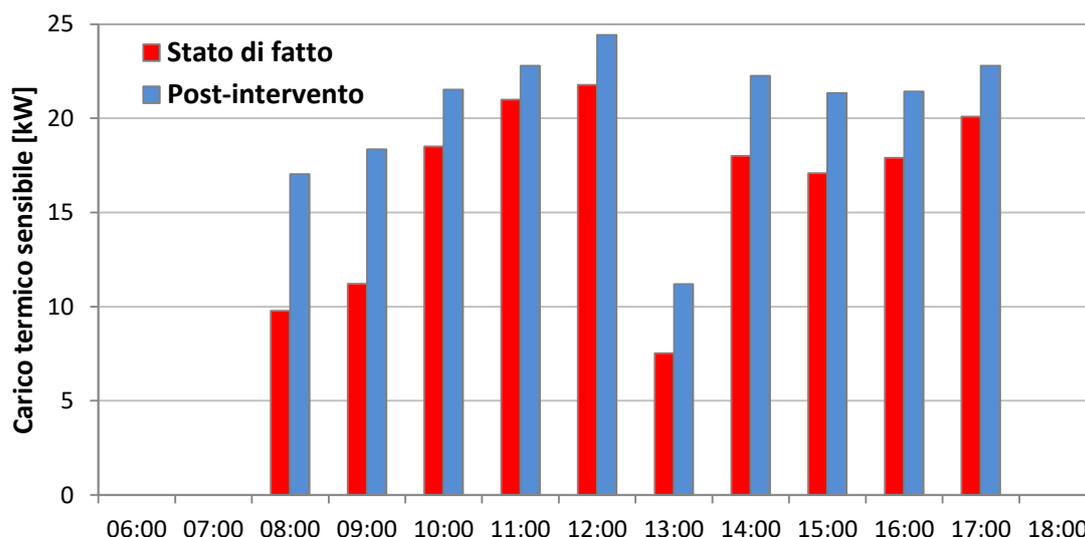


Figura 96. Confronto tra i carichi di raffrescamento sensibile valutati prima e dopo la ristrutturazione (9 Agosto)

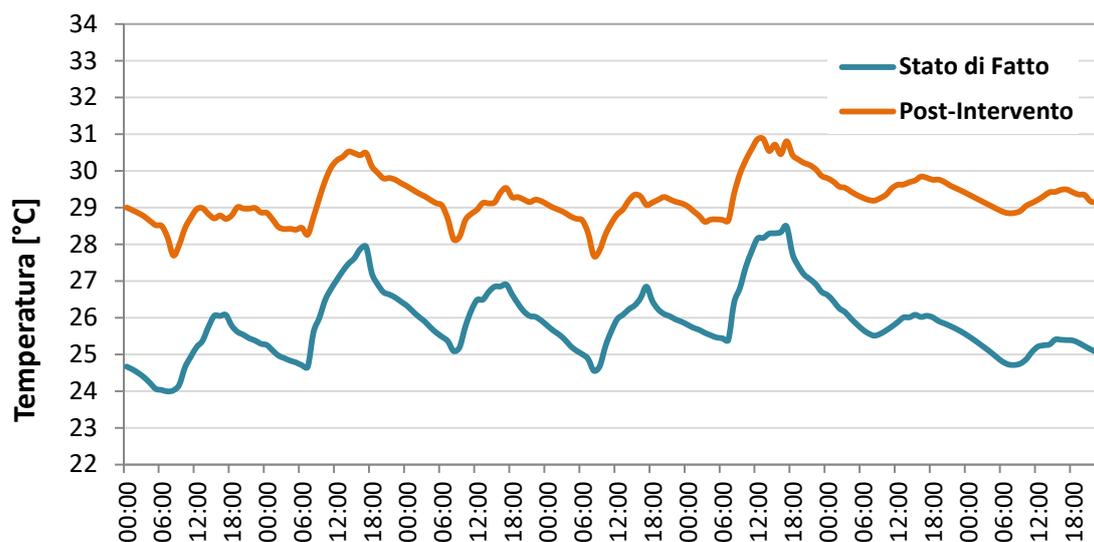


Figura 97. Confronto delle temperature operative nello stato di fatto e di progetto - aula Didattica

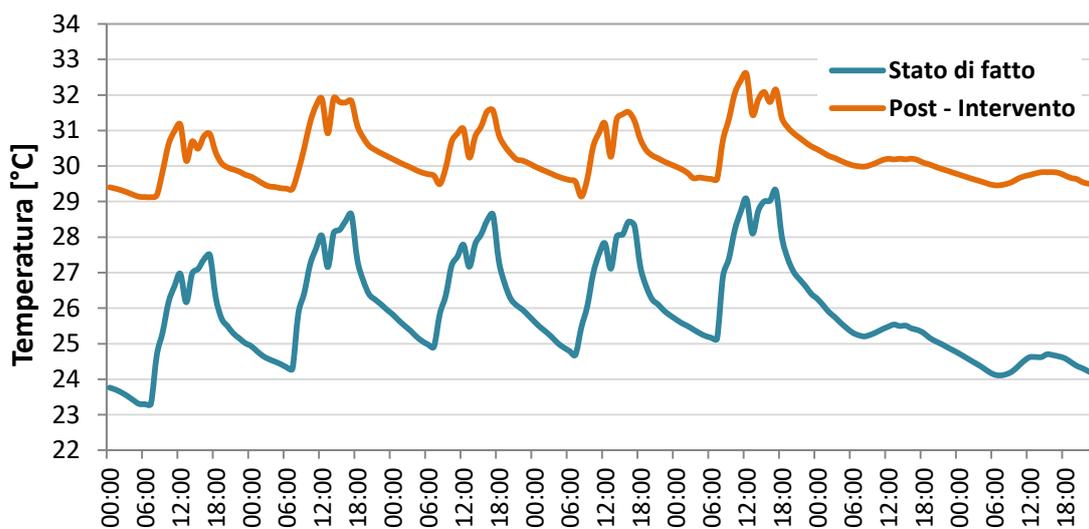


Figura 98. Confronto delle temperature operative nello stato di fatto e di progetto - Ufficio 2

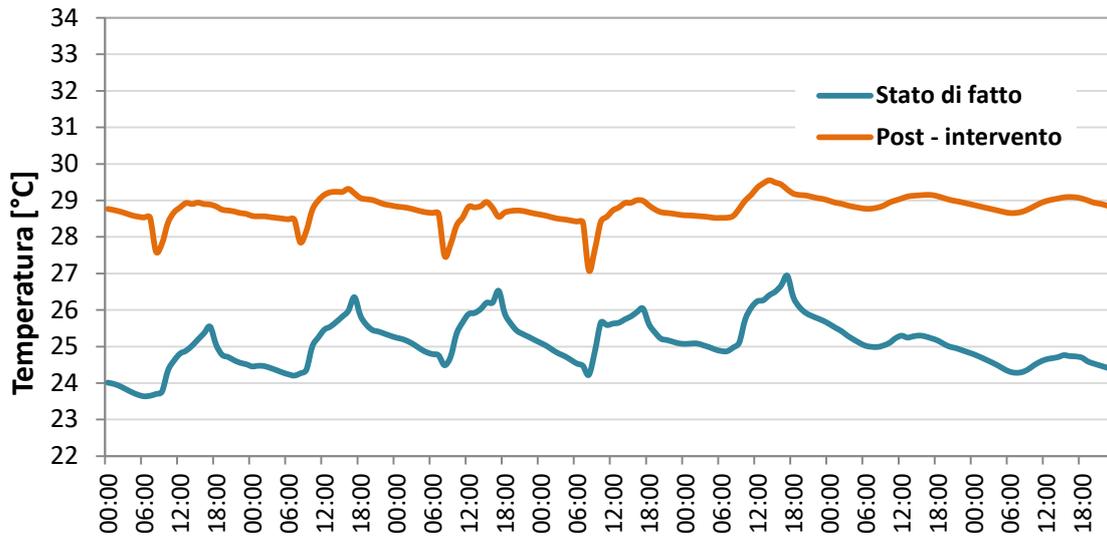


Figura 99. Confronto delle temperature operative nello stato di fatto e di progetto - Sala Riunioni



Figura 100. Confronto delle temperature operative nello stato di fatto e di progetto - Ufficio 10

Dai grafici sopra riportati, si nota che le temperature registrate all'interno dei locali nella configurazione post-intervento sono più elevate rispetto allo stato di fatto. Questo risultato, come è stato precedentemente descritto, è dovuto al fatto che l'edificio, dopo l'intervento di ristrutturazione, risulta essere meglio isolato e quindi in grado di trattenere i carichi endogeni dovuti all'occupazione, alle apparecchiature e all'illuminazione, che rivestono un'aliquota importante del carico. Anche in questo caso, così come nello stato di fatto, il locale più caldo risulta essere l'Ufficio 10 che raggiunge la temperatura operativa di circa 33 °C il 9 Agosto alle 11:00.

Si è infine passati all'analisi del giorno più caldo, andando a mettere in relazione la temperatura dell'aria dei quattro locali presi in esame rispettivamente per lo stato di fatto e per lo stato di progetto, come si vede in Figura 101 e Figura 102.

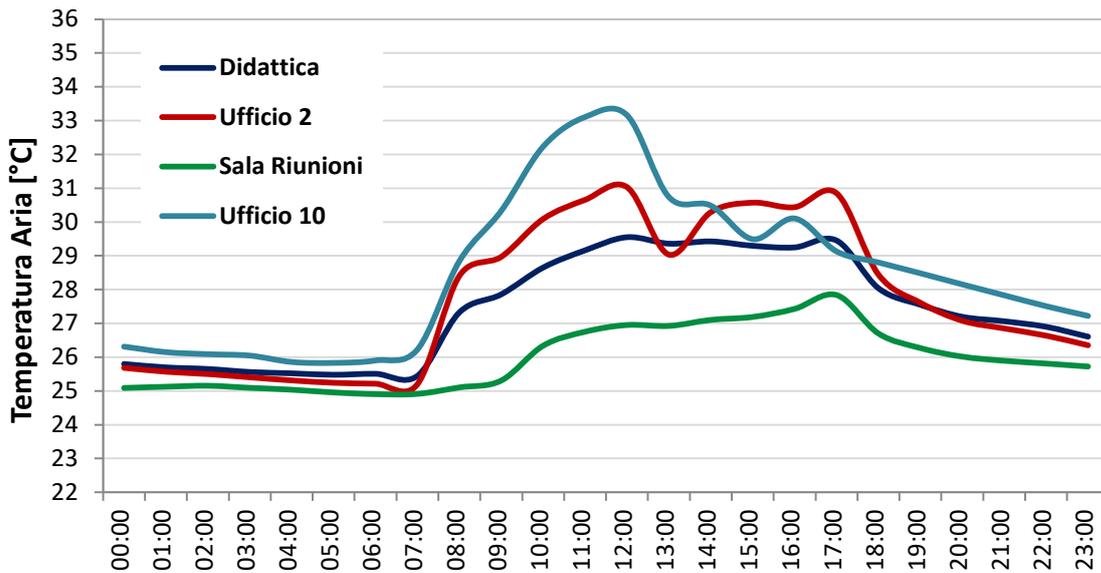


Figura 101. Temperatura dell'aria nei quattro locali analizzati per lo stato di fatto

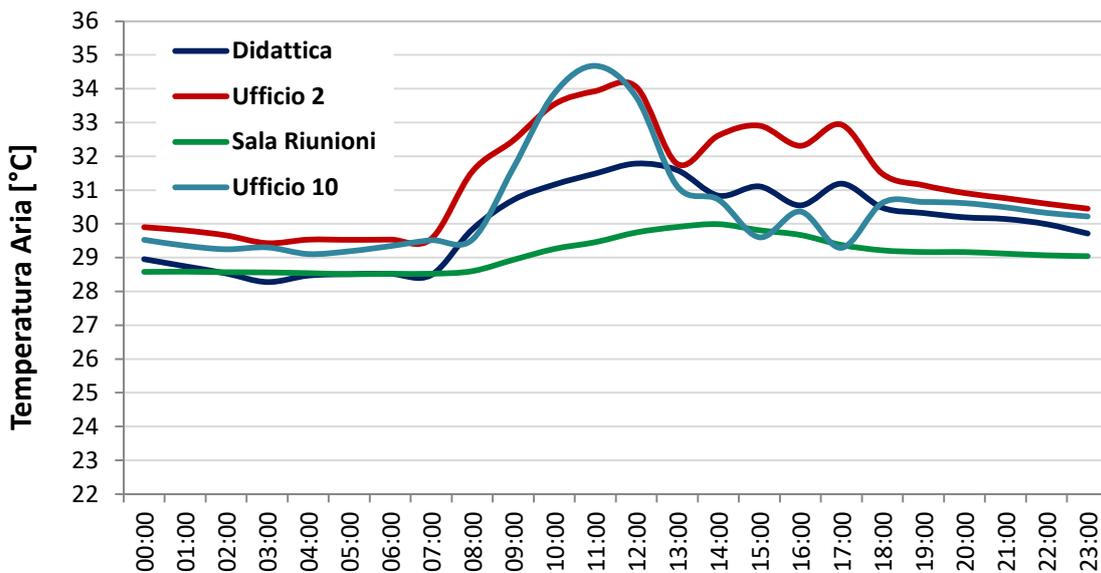


Figura 102. Temperatura dell'aria nei quattro locali analizzati per lo stato di progetto

Dal confronto, emerge che i profili di temperatura sono circa analoghi nei due casi, ma con un incremento di temperatura per il modello post-intervento che va da 2 a 5°C. Si noti come nell'Ufficio 10, con finestre esposte ad ovest, il picco di temperatura interna si raggiunga attorno alle ore 11:00; ciò dimostra che il comportamento termico del locale è determinato principalmente dai carichi endogeni, presenti nelle ore lavorative, e non dalle forzanti esterne, che raggiungerebbero il loro picco nel tardo pomeriggio.

Grazie alla simulazione dinamica per lo stato di progetto, è stato dunque possibile capire come, in regime estivo, gli interventi sull'involucro possano condurre all'innalzamento della temperatura interna e, quindi, ad una situazione peggiorativa rispetto allo stato di fatto. In presenza di un impianto di condizionamento, la principale conseguenza consiste nell'incremento dei fabbisogni energetici. E' quindi opportuno adottare strategie di raffrescamento passivo per facilitare lo smaltimento dei carichi endogeni: nel paragrafo successivo si valuterà, dunque, l'efficacia della ventilazione naturale notturna dei locali.

5.6.3 L'effetto della ventilazione

Come si evince dai risultati della simulazione dinamica, anche per lo stato di progetto all'interno dell'edificio si raggiungono temperature che non rispettano gli standard di comfort. Una soluzione a tale problema potrebbe essere, oltre all'installazione di un impianto di climatizzazione efficiente, quella di operare una opportuna strategia di ventilazione naturale notturna, al fine di smaltire il calore in eccesso. Nelle ore notturne, infatti, si registrano temperature più basse all'esterno e, dunque, ipotizzando di tenere le finestre aperte durante la notte, l'ingresso di aria esterna potrebbe costituire un mezzo efficace per raffrescare l'edificio.

Si è pensato, quindi, di effettuare una nuova simulazione dinamica relativa all'edificio ristrutturato, impostando un profilo di apertura degli infissi, in ciascun locale, per cui le finestre rimangano aperte durante la notte, ma solo per una percentuale del 10% della loro superficie. Nelle ore lavorative il profilo orario di apertura è rimasto invariato rispetto a quello impostato precedentemente e descritto nel paragrafo 4.2.5.

I risultati relativi a tale configurazione sono stati ricavati effettuando una nuova simulazione per i soli mesi estivi e, quindi, ancora una volta, considerando il periodo che va dal 1 Giugno al 30 Settembre. Per ogni locale preso in esame, si è messa in relazione la temperatura operativa registrata nel modello di edificio ristrutturato, con quella riscontrata nel modello in cui si opera la ventilazione naturale notturna, in relazione alla settimana più calda; i risultati sono riportati da Figura 103 a Figura 106.

Dai grafici si può notare come effettivamente il profilo della temperatura operativa, nel caso in cui si operi la ventilazione naturale notturna tramite apertura dei serramenti, presenti valori inferiori; lo scostamento, variabile nei diversi locali e nelle diverse ore del giorno, arriva anche a raggiungere i 4°C nell'Ufficio 10 nelle ore notturne, mentre nelle ore diurne – in cui gli uffici risultano occupati – la riduzione di temperatura è dell'ordine di 1°C.

Andando ad analizzare il profilo di temperatura in relazione all'intero periodo estivo, e non solo limitatamente alla settimana più calda, si nota come la maggiore variazione di temperatura, dal modello post-intervento normale a quello con ventilazione naturale notturna, si verifica nei mesi di Luglio e Agosto, dove il gradiente di temperatura tra interno ed esterno, nelle ore notturne, risulta maggiore; anche nei mesi di Giugno e Settembre, esiste una differenza di temperatura dovuta alla ventilazione, ma questa raggiunge valori al massimo di 2°C.

Infine, si è considerato un singolo giorno, quello più caldo che, come detto in precedenza, risulta essere il 9 Agosto; per questo giorno si è studiato il grafico del profilo della temperatura interna dell'aria, riportato in Figura 107, andando a vedere come incide la ventilazione naturale notturna rispetto al caso in cui essa non viene attuata, Figura 108. In Tabella 54 sono riportate, invece, le temperature registrate durante l'arco della giornata nell'Ufficio 10 e la differenza di temperatura tra i due modelli.

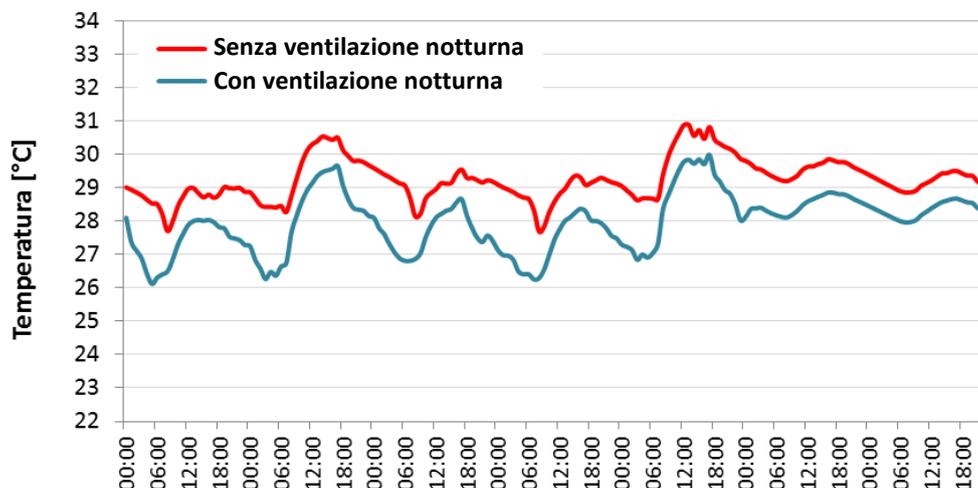


Figura 103. Aula Didattica: temperatura operativa con e senza ventilazione notturna

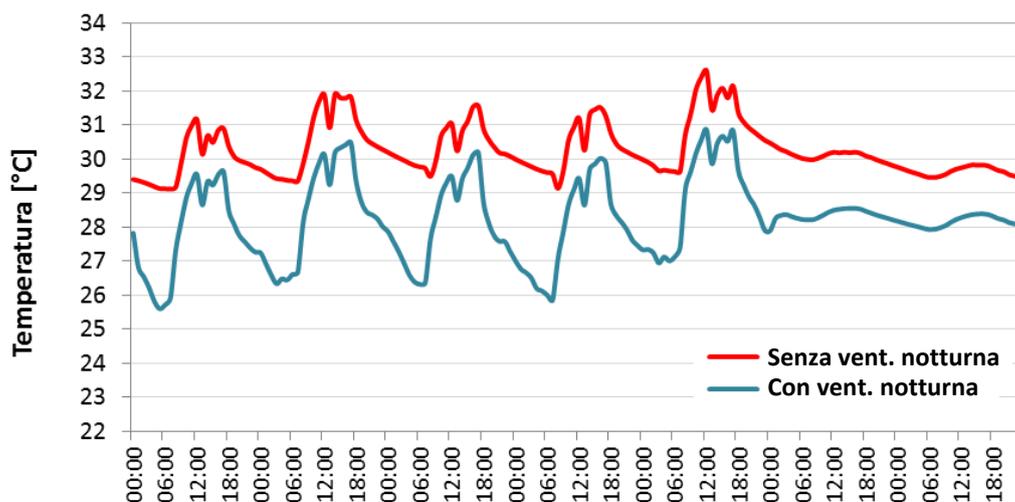


Figura 104. Ufficio 2: temperatura operativa con e senza ventilazione notturna

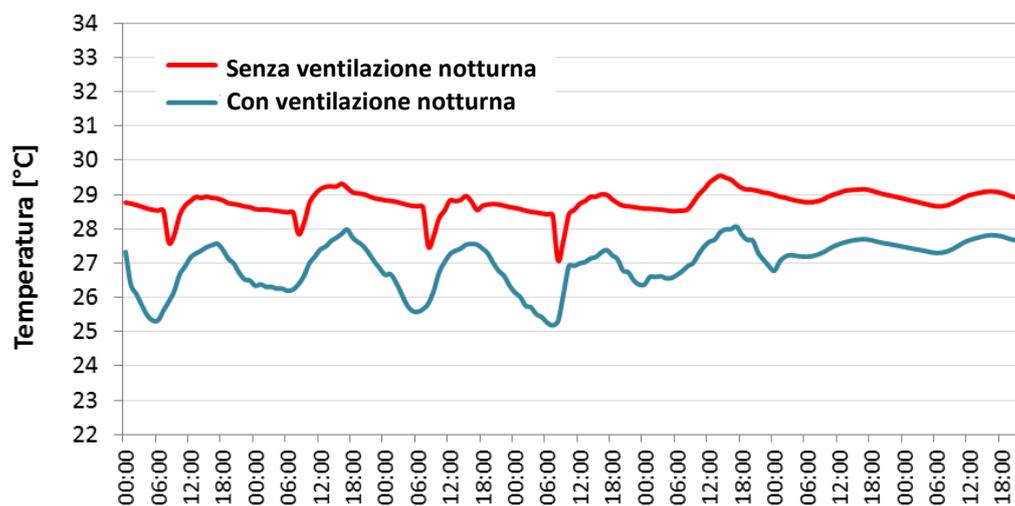


Figura 105. Sala Riunioni: temperatura operativa con e senza ventilazione notturna

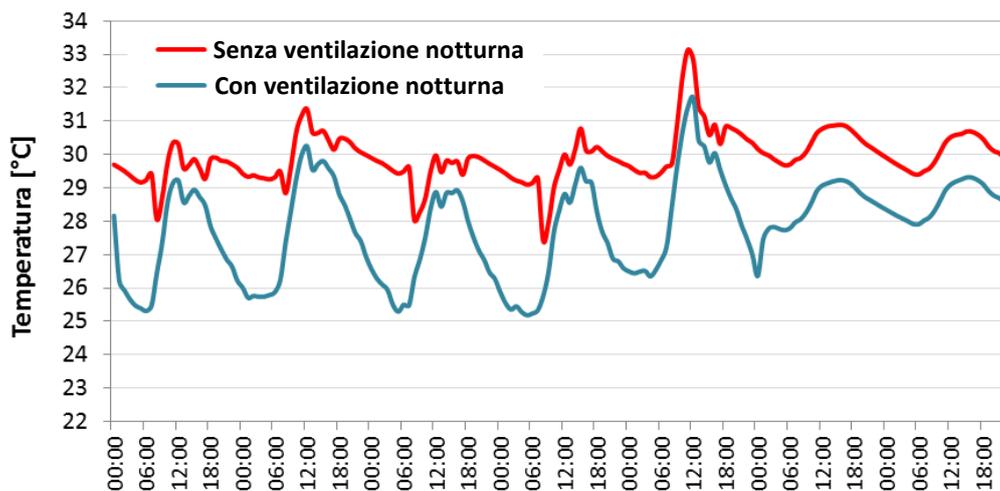


Figura 106. Ufficio 10: temperatura operativa con e senza ventilazione notturna

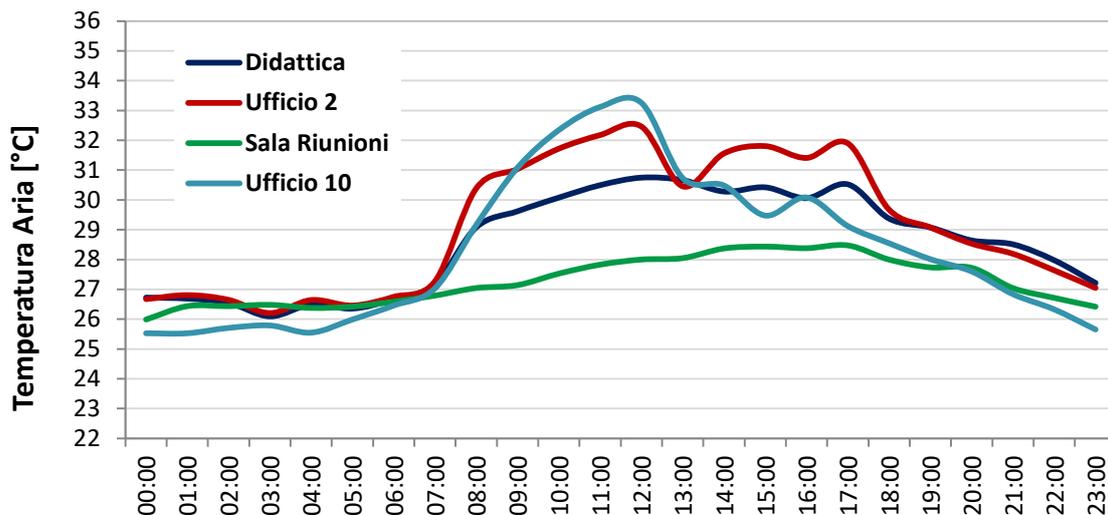


Figura 107. Temperatura dell'aria nei quattro locali analizzati per il modello con ventilazione naturale notturna

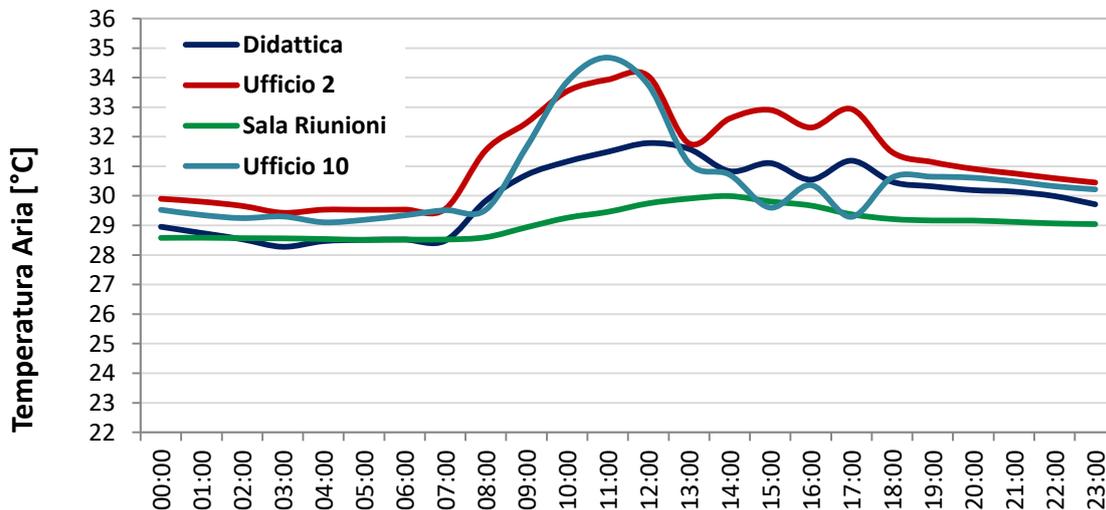


Figura 108. Temperatura dell'aria nei quattro locali analizzati per lo stato di progetto

Dalla Tabella 54 si evince come la maggiore differenza tra le temperature dell'aria, nei due modelli, si registri nelle ore notturne, quando il gradiente di temperatura tra interno ed esterno risulta essere maggiore. Questo sottolinea l'efficacia della ventilazione naturale notturna sul raffreddamento degli ambienti che potrebbe, dunque, essere un valido strumento per la mitigazione della temperatura interna.

Bisogna anche osservare che la diminuzione della temperatura interna dei locali si ripercuote, inevitabilmente, sul fabbisogno energetico estivo, favorendo la diminuzione dei carichi termici. Si è dunque effettuata una ulteriore simulazione con ventilazione naturale notturna anche per il caso in cui sia presente e attivo un impianto di condizionamento, al fine di analizzare come la ventilazione notturna possa incidere sul fabbisogno estivo. I risultati della simulazione suggeriscono un fabbisogno totale per il raffreddamento di **13000 kWh/anno** che, se paragonati ai 16095 kWh/anno ottenuti per l'edificio ristrutturato ma senza ventilazione notturna, risulta essere inferiore di circa il 20%. In Tabella 55 si riportano i valori del carico di raffreddamento, per il giorno più caldo, e si effettua il confronto con il caso senza ventilazione notturna, evidenziando riduzioni sui valori orari comprese tra il 10% e il 15%

Si ricordi che tali risultati sono stati ottenuti assumendo, per ipotesi, l'apertura notturna del 10% delle superficie finestrate, per esempio attraverso appositi sistemi a vasistas da prevedere all'atto della scelta dei nuovi serramenti. Nel caso in cui si possa garantire l'apertura di una superficie di serramento maggiore si otterrebbero risultati ancora più interessanti.

Giorno più caldo, 9 Agosto - Ufficio 10			
Data/ora	Temperatura Aria [°C]		Differenza [°C]
	Senza ventilazione notturna	Con ventilazione notturna	
09/08/2002	29.53	25.53	4.0
09/08/2002 01:00	29.35	25.53	3.8
09/08/2002 02:00	29.25	25.71	3.5
09/08/2002 03:00	29.30	25.79	3.5
09/08/2002 04:00	29.11	25.55	3.6
09/08/2002 05:00	29.19	25.99	3.2
09/08/2002 06:00	29.34	26.46	2.9
09/08/2002 07:00	29.51	27.03	2.5
09/08/2002 08:00	29.53	29.16	0.4
09/08/2002 09:00	31.65	31.08	0.6
09/08/2002 10:00	33.86	32.34	1.5
09/08/2002 11:00	34.68	33.12	1.6
09/08/2002 12:00	33.75	33.26	0.5
09/08/2002 13:00	31.10	30.73	0.4
09/08/2002 14:00	30.72	30.48	0.2
09/08/2002 15:00	29.60	29.47	0.1
09/08/2002 16:00	30.36	30.08	0.3
09/08/2002 17:00	29.29	29.12	0.2
09/08/2002 18:00	30.62	28.55	2.1
09/08/2002 19:00	30.65	28.01	2.6
09/08/2002 20:00	30.61	27.60	3.0
09/08/2002 21:00	30.49	26.84	3.7
09/08/2002 22:00	30.32	26.33	4.0
09/08/2002 23:00	30.22	25.65	4.6

Tabella 54. Temperature dell'aria interna registrate nell'Ufficio 10 nei due modelli

Ora	Con ventilazione notturna		Senza ventilazione notturna	
	Raffrescamento Sensibile [kW]	Raffrescamento Totale [kW]	Raffrescamento Sensibile [kW]	Raffrescamento Totale [kW]
06:00	0.00	0.00	0.00	0.00
07:00	0.00	0.00	0.00	0.00
08:00	-9.79	-12.39	-14.80	-15.78
09:00	-11.20	-14.32	-14.81	-17.17
10:00	-18.50	-24.15	-18.18	-22.04
11:00	-20.99	-28.44	-19.52	-24.39
12:00	-21.77	-31.51	-21.27	-27.64
13:00	-7.53	-12.00	-8.21	-11.50
14:00	-18.01	-30.02	-19.41	-26.89
15:00	-17.09	-27.51	-18.62	-25.61
16:00	-17.91	-28.50	-18.84	-25.51
17:00	-20.09	-31.96	-20.33	-27.62
18:00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 55. Valori del carico di raffrescamento per ogni ora del giorno più caldo

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 109 e Figura 110).

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 109. 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 110. Soggetti ammessi e durata dell’incentivo

	ii. Installazione di generatore di calore a condensazione con $P_{n, \text{int}} > 35 \text{ kWt}$	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
	i. 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 111. 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 111, ma può essere concesso solo in relazione ad un costo massimo unitario e ad un massimale di incentivo, secondo la relazione:

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

In cui:

- I_{tot} = incentivo totale cumulato per l'intera durata, che verrà ripartito e corrisposto in 5 rate annuali costanti (€);
- $\%_{\text{spesa}}$ = 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 $C_{\text{max}} = 500 \text{ €/m}^2$ per edifici in zona climatica B (Figura 111). Nel caso in cui $C > C_{\text{max}}$, il calcolo dell'incentivo totale (I_{tot}) viene effettuato assumendo $C = C_{\text{max}}$. Infine, l'incentivo totale non potrà superare la soglia massima di 1.500.000 € per edifici in zona climatica B (Figura 111).

L'intervento di ristrutturazione importante di I 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 I 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, edizione 2017. 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 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", mentre il Volume 1.2 a "Opere compiute – impianti elettrici e meccanici" (Figura 112). 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. Nei paragrafi successivi si riportano i prezzi unitari relativi alle lavorazioni individuate, comprensivi degli oneri per la sicurezza e degli utili di impresa.



Figura 112. 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 rivolti all'involucro edilizio, tra cui l'isolamento delle chiusure verticali e delle chiusure orizzontali, la sostituzione degli infissi, la rimozione e costruzione del lucernaio sovrastante la struttura. Inoltre, sono stati proposti degli interventi di riqualificazione impiantistica, tra cui la sostituzione degli attuali climatizzatori con un sistema centralizzato basato su pompe di calore aria-acqua ad alta efficienza, l'installazione di un impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria e l'installazione di un impianto fotovoltaico da 24 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.

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
SOLAIO DI BASE						
1	Demolizione di pavimenti interni fino alla sottostante soletta	m ²	1C.01.100.0010.a	891,5	10,40 €	9.271,60 €
2	Fornitura e posa in opera di manto impermeabile	m ²	1C.13.150.0010	891,5	8,97 €	7.996,76 €
3	Fornitura e posa di isolamento termico realizzato con lastre polyiso	m ²	1C.10.100.0060	891,5	11,68 €	11.937,19 €
4	Fornitura e posa in opera di massetto per pavimento	m ²	1C.08.050.0020	891,5	13,76 €	12.267,04 €
5	Fornitura e posa di pavimento in piastrelle di gres	m ²	1C.18.150.0030.a	891,5	36,17 €	32.245,56 €
6	Conferimento a discarica autorizzata per lo smaltimento dei rifiuti	t	1C.27.050.0100.a	18,18	11,76 €	213,81 €
TOTALE SOLAIO DI BASE						73.931,94 €

Tabella 56. Opere di ristrutturazione - chiusura orizzontale di base

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
CHIUSURA VERTICALE (incluso LUCERNAIO)						
1	Fornitura e posa di isolamento termico con sistema a cappotto realizzato in polistirene espanso sinterizzato spessore 8 cm	m ²	1C.10.300.0010.a	526,36	46,33 €	24.386,41 €
2	Fornitura e posa di intonaco civile per esterni su superfici verticali	m ²	1C.07.120.0040	526,36	23,34 €	12.285,32 €
3	Demolizione di muratura in blocchi di laterizi forati con relativi intonaci e rivestimenti	m ³	1C.01.030.0010	42,00	69,01 €	2.898,28 €
4	Muratura portante in blocchi di laterizio alveolato, termoacustica, con blocchi ad incastro 30 x 25 x 19 cm	m ²	1C.06.050.0300.d	45,84	57,00 €	2.612,88 €
5	Fornitura e posa di isolamento termico con sistema a cappotto realizzato in polistirene espanso sinterizzato spessore 4 cm	m ²	1C.10.300.0010.a	45,84	42,37 €	1.942,24 €
6	Fornitura e posa di intonaco civile per esterni su superfici verticali	m ²	1C.07.120.0040	45,84	23,34 €	1.069,91 €
7	Conferimento a discarica autorizzata per lo smaltimento dei rifiuti	t	1C.27.050.0100.a	64,24	11,76 €	755,49 €
NB: le voci da 3 a 7 si riferiscono alla demolizione e al rifacimento del lucernaio				TOTALE CHIUSURA VERTICALE		45.950,51 €

Tabella 57. Opere di ristrutturazione - chiusura verticale esterna

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
SOLAIO DI COPERTURA (incluso LUCERNAIO)						
1	Demolizione di pavimenti esterni con relativa malta di allettamento	m ²	1C.01.110.0030.a	894	6,77 €	6.052,38 €
2	Demolizione, parziale o totale, di solaio in laterizio e cemento armato	m ²	1C.01.050.0030.a	284	22,20 €	6.304,80 €
3	Conferimento a discarica autorizzata per lo smaltimento dei rifiuti	t	1C.27.050.0100.a	163,28	11,76 €	1.920,13 €
4	Fornitura e posa in opera di isolamento termico di coperture piane pedonabili, realizzato con lastre di polistirene estruso spessore 10 cm	m ²	1C.10.100.0030.a	1112	21,46 €	23.863,52 €
5	Fornitura e posa in opera di isolamento termico di coperture piane pedonabili, realizzato con lastre di polistirene estruso spessore 12 cm	m ²	1C.10.100.0030.a	216	25,04 €	5.408,64 €
6	Fornitura e posa in opera di manto impermeabile costituito da doppia membrana	m ²	1C.13.150.0010	1328	8,97 €	11.912,16 €
7	Fornitura e posa in opera di pavimento in piastrelle di cemento con strato di finitura	m ²	1C.16.200.0010.a	1000	28,91 €	28.910,00 €
NB: le voci 2 e 5 si riferiscono al rifacimento della copertura del lucernaio				TOTALE SOLAIO DI COPERTURA		84.371,63 €

Tabella 58. Opere di ristrutturazione - chiusura orizzontale di copertura

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
SERRAMENTI (incluso LUCERNAIO)						
1	Rimozione di serramenti interni ed esterni	m ²	1C.01.150.0010	480,33	13,62 €	6.542,20 €
2	Fornitura e posa in opera di cassonetto coprirullo di avvolgibile coibentato	m	1C.21.150.0030	73,60	76,97 €	5.664,99 €
3	Fornitura e posa in opera di avvolgibile in materia plastica	m ²	1C.21.150.0020	93,57	41,36 €	3.869,97 €
4	Fornitura e posa in opera di serramenti esterni realizzati in alluminio a taglio termico a due battenti con predisposizione per vetrocamera	m ²	1C.22.250.0010	437,41	183,15 €	80.112,32 €
5	Fornitura e posa in opera di vetro basso-emissivo	m ²	1C.23.150	437,41	36,73 €	16.066,21 €
NB: la voce 1 è comprensiva di conferimento in discarica				TOTALE SERRAMENTI		112.255,69 €

Tabella 59. Opere di ristrutturazione - infissi e vetri

	Importo
Totale solaio di base	73.931,94 €
Totale chiusura verticale	45.950,51 €
Totale solaio di copertura	84.371,63 €
Totale infissi e vetri	112.255,69 €
Totale INVOLUCRO EDILIZIO	316.509,77 €

Tabella 60. 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) e dello scaldabagno elettrico per la produzione di acqua calda sanitaria, nonché delle attuali lampade.

La riqualificazione comprende quindi l'inserimento di un nuovo sistema di climatizzazione con pompe di calore aria-acqua collegate ad un sistema di emissione costituito da ventilconvettori, l'inserimento di un impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria, l'inserimento di impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica, l'installazione di lampade LED e l'inserimento di un sensore di movimento nei locali di servizio.

Le tabelle seguenti riportano l'elenco delle opere da effettuare ed i relativi costi. Le voci di computo sono state qui abbreviate per ragioni di spazio: le voci complete possono essere consultate direttamente sul prezzario del Comune di Milano, utilizzando i relativi codici.

		U.M.	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
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 21 kWp fino a 50 kWp	kWp	1E.17.010.0010.c	24	2.271,52 €	54.516,48 €
2	Fornitura e posa in opera di cavi elettrici di collegamento per impianto fotovoltaico in rame, di varia sezione, comprese canaline	m	1E.02.040.0110.f	250	2,87 €	717,50 €
					TOTALE FOTOVOLTAICO	55.233,98 €

Tabella 61. Opere di ristrutturazione - impianto fotovoltaico

		U.M	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
SOLARE TERMICO						
1	Fornitura e posa in opera di collettore solare piano vetrato	m ²	1M.04.015.0010	4,2	1 034,6 €	4.345,45 €
2	Fornitura e posa in opera tubazioni in acciaio zincato DN20 x 2,3 mm	m	1M.14.020.0010.b	20	13,02 €	260,40 €
3	Fornitura e posa in opera di bollitore verticale in acciaio con scambiatore in rame – capacità 200 litri	cad	1M.03.070.0010.a	1	914,06 €	914,06 €
4	Fornitura e posa in opera di centralina di controllo per impianto solare a circolazione forzata	cad	-	1		500,00 €
TOTALE SOLARE TERMICO						6.019,91 €

Tabella 62. Opere di ristrutturazione - impianto solare termico

		U.M	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
ILLUMINAZIONE						
1	Fornitura e posa in opera di lampada lunghezza 1200 mm con flusso luminoso 1600 lm e potenza 16 W	cad	1E.06.060.0210.c	85	34,87 €	2.963,95 €
2	Fornitura e posa in opera di lampada lunghezza 1500 mm con flusso luminoso 2065 lm e potenza 24 W	cad	1E.06.060.0210.d	110	45,51 €	5.006,10 €
3	Fornitura e posa in opera di faretti per interni da 100 W	cad	-	16	12,68 €	202,88 €
4	Fornitura e posa in opera di sensore di presenza per il controllo dell'illuminazione nei servizi	cad	1E.08.030.0010.a	18	78,50 €	1.413,00 €
NB: le voci sono comprese di smaltimento delle vecchie lampade				TOTALE ILLUMINAZIONE		9.585,93 €

Tabella 63. Opere di ristrutturazione - impianto di illuminazione

		U.M	Cod.	Quantità	Prezzo unit.	Importo
CLIMATIZZAZIONE						
1	Smontaggio, rimozione e conferimento a discarica dell'esistente impianto di climatizzazione	corpo	-	1	1000,00 €	1000,00 €
2	Fornitura e posa in opera di ventilconvettori a parete - oltre 1400 W e fino a 2100 W	cad	1M.10.010.0010.b	8	478,65 €	3.829,20 €
3	Fornitura e posa in opera di ventilconvettori a parete - oltre 2100 W e fino a 2900 W	cad	1M.10.010.0010.c	12	507,24 €	6.086,88 €
4	Fornitura e posa in opera di pompe di circolazione per acqua calda e refrigerata Oltre 4 e fino a 8 m ³ /h - oltre 20 e fino a 40 kPa	cad	1M.04.030.0010.k	1	519,66 €	519,66 €
5	Fornitura e posa in opera di serbatoi inerziali verticali per acqua calda in acciaio nero con coibentazione in poliuretano espanso da 100 mm con guscio in PVC termoformato. Capacità 500 lt	cad	1M.04.040.0010.a	1	692,24 €	692,24 €
6	Fornitura e posa in opera di tubazioni preisolate DN 25, in acciaio nero a saldatura longitudinale con isolamento in schiuma poliuretanic, Diametro esterno dell'isolamento: 90 mm	m	1M.15.010.0010.c	120	20,20 €	2.424,00 €
7	Fornitura e posa in opera di pompa di calore aria- acqua ANK 085 HP Aermec, inclusi accessori	cad	-	2	5.360,00 €	10.720,00 €
TOTALE CLIMATIZZAZIONE						25.271,98 €

Tabella 64. Opere di ristrutturazione - impianto di climatizzazione

	Importo
Totale FOTOVOLTAICO	55.233,98 €
Totale SOLARE TERMICO	6.019,91 €
Totale ILLUMINAZIONE	9.585,93 €
Totale CLIMATIZZAZIONE	25.271,98 €
Totale IMPIANTI TECNICI	96.111,80 €

Tabella 65. 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 **412.621,57 €**.

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 66 si riportano i dettagli del calcolo: in conclusione, il totale del computo lavori ammonta dunque a **517.427,44 €**. La Tabella 67 propone un riepilogo conclusivo.

	U.M.	Quantità	Importo
		Importo lavori	412.621,57 €
Per Progettazione e direzione dei lavori	Corpo	8%	33.009,73 €
Per Responsabile Unico del Procedimento	Corpo	2%	8.252,43 €
Per Commissione di Appalto e di collaudo	Corpo	4%	16.504,86 €
		Totale parziale	470.388,58 €
Per IVA agevolata	Corpo	10%	47.038,86 €
		TOTALE COMPUTO	517.427,44 €

Tabella 66. Costi amministrativi, imprevisti ed IVA

Chiusura orizzontale di base	73.931,94 €
Chiusura verticale (incluso lucernaio)	45.950,51 €
Chiusura orizzontale di copertura (incluso lucernaio)	84.371,63 €
Infissi e vetri	112.255,69 €
Totale INVOLUCRO EDILIZIO	316.509,77 €
Impianto di climatizzazione	25.271,98 €
Impianto solare termico	6.019,91 €
Impianto fotovoltaico	55.233,98 €
Impianti di illuminazione	9.585,93 €
Totale IMPIANTI	96.111,80 €
COSTI AMMINISTRATIVI	57.767,02 €
IVA	47.038,86 €
TOTALE INTERVENTO	517.427,44 €

Tabella 67. 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 è $C = 580.40 \text{ €/m}^2$. Poiché $C > C_{max}$, gli incentivi potranno essere ottenuti solo in proporzione a $C = C_{max}$:

$$I_{tot} = \%_{spesa} \cdot (C \cdot S_{ed}) = 0.65 \cdot (500 \cdot 891.5) = 289.737,50 \text{ €}$$

Tale incentivo sarà corrisposto in cinque rate annue dell'ammontare di **57.947,50 €**.

6.3 Analisi costi-benefici

Una volta quantificati i costi totali iniziali da sostenere per l'intervento di ristrutturazione importante di I 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, in Tabella 68 si riportano i valori dei consumi elettrici prima e dopo l'intervento di ristrutturazione: i primi sono stati stimati a partire dalle bollette disponibili (paragrafo 2.5), i secondi sono stati invece valutati nel paragrafo 5.5. In particolare:

- consumi elettrici per ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE: sono stati stimati facendo affidamento alla procedura della UNI 15193:2008, sotto le stesse ipotesi dello stato di fatto ma variando la potenza dei corpi illuminanti (lampade LED) e considerando l'utilizzo di sensori di presenza nei locali di servizio (Tabella 42);
- consumi elettrici per ACQUA CALDA SANITARIA: stimati tramite il software Blumatica Energy (paragrafo 5.5.3);
- consumi elettrici per CLIMATIZZAZIONE: in questo caso, come già ampiamente discusso al paragrafo 3.2.6, i risultati di Blumatica Energy non sono affidabili in valore assoluto, in quanto il metodo di calcolo della UNI TS 11300-1 presuppone che gli impianti siano sempre accesi, e non considera il reale profilo di utilizzo da parte degli utenti. Ai fini dell'analisi economica, si è però deciso di considerare credibile il dato di variazione percentuale tra i fabbisogni complessivi di climatizzazione stimati dal software prima e dopo la ristrutturazione: tale variazione percentuale ammonta al 58.6%;
- consumi elettrici per APPARECCHIATURE D'UFFICIO: si ipotizza che rimangano invariati. Qualora tali consumi diminuiscano, grazie all'utilizzo di apparecchiature meno energivore o grazie ad un comportamento più virtuoso da parte degli utenti, ciò comunque non sarebbe oggetto del presente studio;
- consumi elettrici per STUFE e VENTILATORI: la ristrutturazione dell'involucro edilizio e l'installazione di impianti efficienti e opportunamente dimensionati non renderà necessario l'utilizzo di stufe elettriche e ventilatori da tavolo.

Servizio	Stato di fatto	Ristrutturazione	Risparmio	
	(kWh/anno)	(kWh/anno)	(kWh/anno)	%
ILLUMINAZIONE	19064.5	8835.5	10229.0	53.7 %
ACQUA CALDA SANITARIA	2558.4	142.0	2416.4	94.4 %
CLIMATIZZAZIONE	8693.1	3597.3	5095.9	58.6 %
APPARECCHIATURE	22370.4	22370.4	-	-
STUFE e VENTILATORI	1513.6	-	1513.6	100 %
TOTALE	54200.0	34945.2	19254.8	35.5%

Tabella 68. Stima dei risparmi sulla bolletta elettrica

I dati di Tabella 68 suggeriscono un risparmio potenziale di 19254.8 kWh/anno di energia elettrica. Secondo le bollette riportate al paragrafo 2.5, il costo medio del kWh elettrico sostenuto dagli uffici di via Frassati 2 ammonta, negli ultimi tre anni, a 0.23 €/kWh. Ciò prefigurerebbe un risparmio economico pari a 19254.8 kWh/anno · 0.23 €/kWh = **4428.60 €/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 50%, molto 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 113 si riporta il foglio di calcolo costruito ai fini dell'analisi costi-benefici, mentre il grafico di Figura 114 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) = 24 anni

VAN (30 anni) = 70 143,49 €

Indice di profitto (IP) = 0.136

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

Nonostante la presenza di forti incentivi, concessi dal Conto Termico, l'investimento viene infatti recuperato solo dopo 24 anni. L'indice di profitto è particolarmente basso (IP = 0.136): ciò significa che 1000 € di investimento genererebbero, dopo 30 anni, un profitto di soli 136 €.

Una delle ragioni principali di tale risultato risiede senza dubbio nell'elevato investimento iniziale richiesto: peraltro, il costo specifico sostenuto (580.40 € per unità di superficie utile calpestabile) supera di quasi il 20% il limite massimo incentivabile fissato dal Conto Termico (500 €/m²), a testimonianza del fatto che nel caso analizzato l'intervento risulta essere particolarmente caro.

Calcolo del VAN e del tempo di ritorno per l'investimento riguardante la trasformazione dell'edificio in NZEB											
CONSUMI ELETTRICI - post ristrutturazione						Risultati salienti					
Climatizzazione	3597.3	(kWh/anno)				VAN (30 anni) :		€ 70,143.49 (€)			
ACS	142.0	(kWh/anno)				Tempo ritorno attualizzato:		24 (anni)			
Illuminazione	8835.5	(kWh/anno)				Indice di profitto:		0.136 (-)			
Apparecchiature	22370.4	(kWh/anno)									
Totale	34945.2	(kWh/anno)									
Costo installazione climatizzazione : € 25,271.98						Energia prodotta dal fotovoltaico (iniziale): 36000 (kWh/anno)					
Costo intero intervento : € 517,427.44						Percentuale autoconsumo fotovoltaico: 50%					
Costo installazione moduli PV : € 55,233.98						Decremento annuo della producibilità: 0.5%					
Incentivo Conto Termico : € 289,737.50						Tariffa elettrica di base: 0.23 (€/kWh)					
Tasso di interesse nominale (i): 3.00%						Aumento annuo costo energia: 3%					
Tasso di inflazione (p): 1.00%						Prezzo medio di scambio sul posto: 0.14 (€/kWh)					
Tasso di interesse reale (r): 1.98%						Costo di manutenzione pannelli: 1%					
						Costo di manutenzione climatizzazione: 2%					
						Costo annuo ATTUALE della bolletta: € 12,466.00 (€/anno)					
$r = \frac{1+i}{1+p} - 1$											
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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-€ 517,427.44
1	34945.2	35820.0	17910.0	17035.2	17910.0	€ 2,454.91	€ 4,035.64	€ 57,947.50	€ 11,259.25	€ 1,068.36	-€ 450,612.12
2	34945.2	35640.0	17820.0	17125.2	17820.0	€ 2,453.11	€ 4,178.67	€ 57,947.50	€ 11,499.62	€ 1,079.04	-€ 384,873.33
3	34945.2	35460.0	17730.0	17215.2	17730.0	€ 2,451.31	€ 4,326.65	€ 57,947.50	€ 11,746.60	€ 1,089.83	-€ 320,188.33
4	34945.2	35280.0	17640.0	17305.2	17640.0	€ 2,449.51	€ 4,479.75	€ 57,947.50	€ 12,000.36	€ 1,100.73	-€ 256,534.81
5	34945.2	35100.0	17550.0	17395.2	17550.0	€ 2,447.71	€ 4,638.14	€ 57,947.50	€ 12,261.09	€ 1,111.74	-€ 193,890.88
6	34945.2	34920.0	17460.0	17485.2	17460.0	€ 2,444.40	€ 4,802.00	€ -	€ 12,527.46	€ 1,122.85	-€ 183,752.12
7	34945.2	34740.0	17370.0	17575.2	17370.0	€ 2,431.80	€ 4,971.51	€ -	€ 12,791.89	€ 1,134.08	-€ 173,589.49
8	34945.2	34560.0	17280.0	17665.2	17280.0	€ 2,419.20	€ 5,146.88	€ -	€ 13,063.87	€ 1,145.42	-€ 163,401.39
9	34945.2	34380.0	17190.0	17755.2	17190.0	€ 2,406.60	€ 5,328.30	€ -	€ 13,343.61	€ 1,156.88	-€ 153,186.25
10	34945.2	34200.0	17100.0	17845.2	17100.0	€ 2,394.00	€ 5,515.97	€ -	€ 13,631.30	€ 1,168.45	-€ 142,942.50
11	34945.2	34020.0	17010.0	17935.2	17010.0	€ 2,381.40	€ 5,710.10	€ -	€ 13,927.16	€ 1,180.13	-€ 132,668.62
12	34945.2	33840.0	16920.0	18025.2	16920.0	€ 2,368.80	€ 5,910.91	€ -	€ 14,231.42	€ 1,191.93	-€ 122,363.09
13	34945.2	33660.0	16830.0	18115.2	16830.0	€ 2,356.20	€ 6,118.64	€ -	€ 14,544.30	€ 1,203.85	-€ 112,024.42
14	34945.2	33480.0	16740.0	18205.2	16740.0	€ 2,343.60	€ 6,333.51	€ -	€ 14,866.03	€ 1,215.89	-€ 101,651.16
15	34945.2	33300.0	16650.0	18295.2	16650.0	€ 2,331.00	€ 6,555.76	€ -	€ 15,196.86	€ 1,228.05	-€ 91,241.86
16	34945.2	33120.0	16560.0	18385.2	16560.0	€ 2,318.40	€ 6,785.66	€ -	€ 15,537.02	€ 1,240.33	-€ 80,795.10
17	34945.2	32940.0	16470.0	18475.2	16470.0	€ 2,305.80	€ 7,023.44	€ -	€ 15,886.76	€ 1,252.73	-€ 70,309.47
18	34945.2	32760.0	16380.0	18565.2	16380.0	€ 2,293.20	€ 7,269.38	€ -	€ 16,246.35	€ 1,265.26	-€ 59,783.60
19	34945.2	32580.0	16290.0	18655.2	16290.0	€ 2,280.60	€ 7,523.76	€ -	€ 16,616.05	€ 1,277.91	-€ 49,216.12
20	34945.2	32400.0	16200.0	18745.2	16200.0	€ 2,268.00	€ 7,786.86	€ -	€ 16,996.12	€ 1,290.69	-€ 38,605.70
21	34945.2	32220.0	16110.0	18835.2	16110.0	€ 2,255.40	€ 8,058.97	€ -	€ 17,386.86	€ 1,303.60	-€ 27,951.00
22	34945.2	32040.0	16020.0	18925.2	16020.0	€ 2,242.80	€ 8,340.41	€ -	€ 17,788.54	€ 1,316.63	-€ 17,250.72
23	34945.2	31860.0	15930.0	19015.2	15930.0	€ 2,230.20	€ 8,631.47	€ -	€ 18,201.46	€ 1,329.80	-€ 6,503.57
24	34945.2	31680.0	15840.0	19105.2	15840.0	€ 2,217.60	€ 8,932.50	€ -	€ 18,625.92	€ 1,343.10	€ 4,291.71
25	34945.2	31500.0	15750.0	19195.2	15750.0	€ 2,205.00	€ 9,243.81	€ -	€ 19,062.22	€ 1,356.53	€ 15,136.39
26	34945.2	31320.0	15660.0	19285.2	15660.0	€ 2,192.40	€ 9,565.77	€ -	€ 19,510.70	€ 1,370.10	€ 26,031.70
27	34945.2	31140.0	15570.0	19375.2	15570.0	€ 2,179.80	€ 9,898.72	€ -	€ 19,971.67	€ 1,383.80	€ 36,978.86
28	34945.2	30960.0	15480.0	19465.2	15480.0	€ 2,167.20	€ 10,243.04	€ -	€ 20,445.46	€ 1,397.63	€ 47,979.09
29	34945.2	30780.0	15390.0	19555.2	15390.0	€ 2,154.60	€ 10,599.12	€ -	€ 20,932.43	€ 1,411.61	€ 59,033.57
30	34945.2	30600.0	15300.0	19645.2	15300.0	€ 2,142.00	€ 10,967.33	€ -	€ 21,432.92	€ 1,425.73	€ 70,143.49

NOTE sul calcolo delle singole colonne:

- (a) I consumi elettrici annuali si riferiscono all'edificio ristrutturato (Tabella 68).
- (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 50%.
- (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 la 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 0.23 €/kWh come da precedenti bollette. Per cui: (g) = 0.23 · (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 (12466 €/anno) 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.

Figura 113. Calcolo degli indicatori per l'analisi costi-benefici

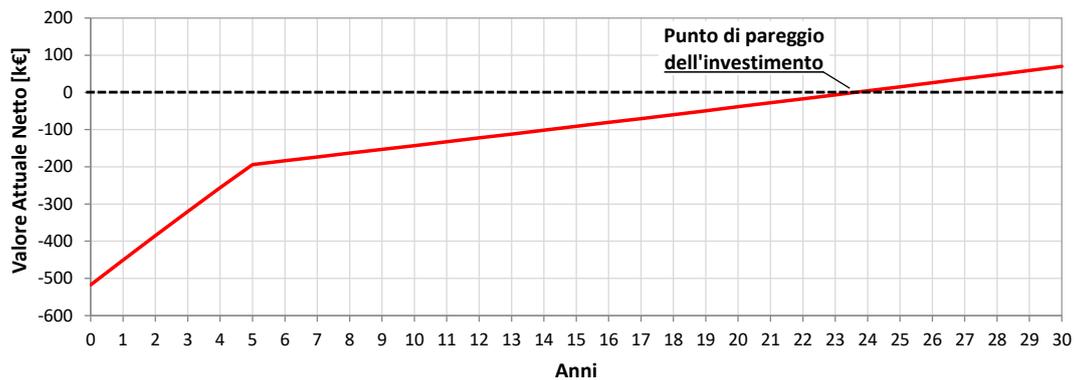


Figura 114. Flusso di cassa attualizzato per l'intervento di ristrutturazione

L'analisi costi-benefici è stata quindi effettuata, per avere un ulteriore riscontro, tramite la routine di calcolo "Analisi Economica" disponibile nel software SEAS 3.0, sviluppato da ENEA e DESTEC dell'Università di Pisa.

Bisogna sottolineare che la routine, la cui più recente versione è stata rilasciata nel 2014, si basa su algoritmi diversi rispetto a quanto precedentemente esposto. Essa infatti sembra non tener conto della riduzione progressiva della produzione fotovoltaica legata all'invecchiamento dei moduli: per questo motivo, alla voce "Energia elettrica da fotovoltaico prodotta post-intervento", si è pensato di inserire non il valore stimato ad inizio vita (36000 kWh/anno), bensì un valore medio valutato sull'intera vita utile dell'impianto (33000 kWh/anno).

Inoltre, la routine "Analisi Economica" contempla la possibilità di sfruttare il meccanismo di incentivazione noto come "Conto Energia", ormai non più in vigore, secondo cui poteva essere valorizzata l'intera produzione di energia elettrica da fotovoltaico, indipendentemente dall'utilizzo che di questa si faceva (autoconsumo o immissione in rete). Per poter rendere confrontabili i risultati di calcolo, si è allora stabilito di inserire, alla voce "Valore della tariffa incentivante", un valore fittizio tale da generare, al primo anno, lo stesso ricavo complessivo calcolato correttamente secondo i meccanismi attualmente in vigore.

Come rappresentato in Figura 113, il ricavo al primo anno (somma dei risparmi in bolletta e degli incentivi concessi dallo scambio sul posto) ammonta a circa 11300 €. Con riferimento ai dati da impostare su "Analisi Economica" si può allora impostare la seguente equazione, in cui l'incognita x rappresenta il valore da attribuire alla voce "Energia elettrica da fotovoltaico prodotta post-intervento":

$$\underbrace{(54200 - 34945)}_{\substack{\text{Riduzione della} \\ \text{bolletta elettrica}}} (\text{kWh}) \cdot 0.23 \text{ (€ / kWh)} + \underbrace{33000}_{\substack{\text{Produzione} \\ \text{fotovoltaica} \\ \text{media}}} (\text{kWh}) \cdot x = \underbrace{11300}_{\substack{\text{Ricavo} \\ \text{stimato} \\ \text{al 1° anno}}} \text{€}$$

L'equazione restituisce $x = 0.208 \text{ €/kWh}$, che sarà approssimato a 0.21 €/kWh . La schermata con le impostazioni della routine "Analisi Economica" è riportata in Figura 115. Si osservi che, per garantire maggiore uniformità di calcolo, si è stabilito di impostare alla voce "Tasso d'interesse" direttamente il valore del tasso di interesse reale determinato in Figura 113 ($r = 1.98\%$), impostando invece a zero il tasso di inflazione. La routine "Analisi Economica" restituisce quindi i seguenti risultati (Figura 116):

Tempo di Ritorno Attualizzato (TRA) = 26 anni

VAN (30 anni) = 69 797,00 €

Indice di profitto (IP) = 0.13

Tali risultati sono in accordo con quanto determinato tramite il foglio di calcolo di Figura 113, confermando la validità dell'approccio utilizzato.

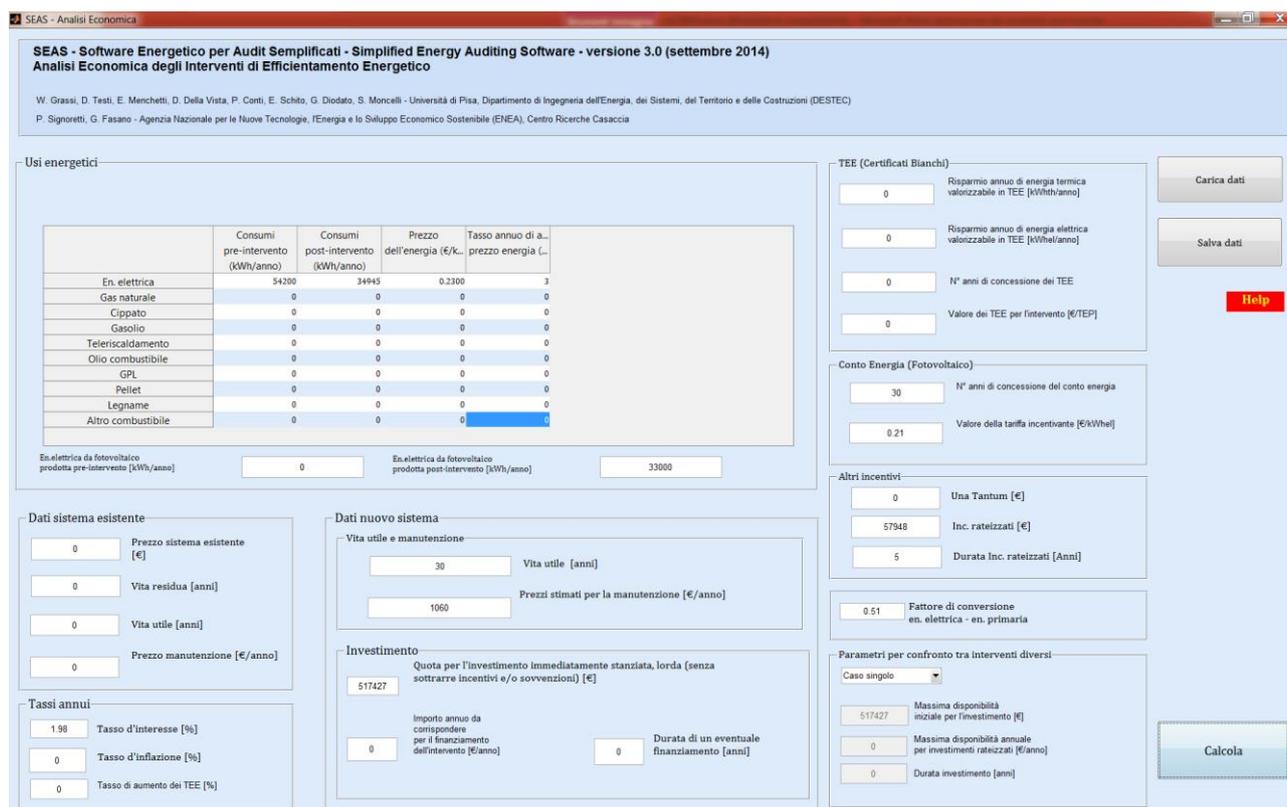


Figura 115. Impostazioni di calcolo nella routine "Analisi Economica" di SEAS 3.0

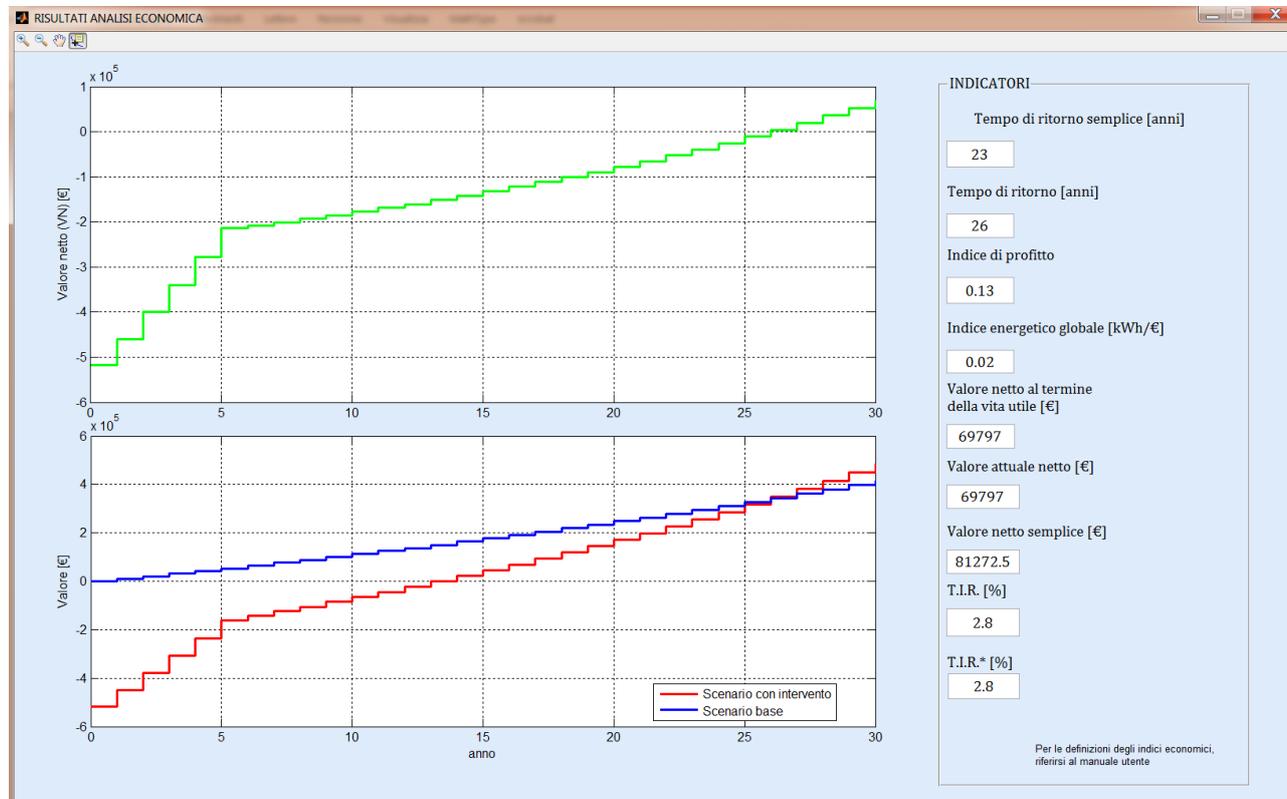


Figura 116. Schermata dei risultati della routine "Analisi Economica" di SEAS 3.0

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 opportune grandezze.

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 10% o del 20%) 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 50%, si propone di valutare gli effetti di un incremento al 60% o al 70%.

I risultati dell'analisi di sensitività sono compendati in Figura 117. Essi dimostrano come solo una riduzione del costo iniziale possa influenzare significativamente la redditività dell'investimento, portando il TRA a 19 anni o a 16 anni qualora si possano conseguire degli sconti del 10% o del 20%, rispettivamente. L'incremento della percentuale di autoconsumo fino al 70% potrebbe ridurre il TRA a 22 anni, ma per ottenere tale risultato sarebbe 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 invece assolutamente marginale, dato che il TRA si ridurrebbe al massimo a 23 anni.

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 117, la riduzione del tasso di interesse nominale al 2% porterebbe il TRA a 21 anni, ma tale ipotesi sembra francamente improbabile. Per ulteriore chiarezza, in Figura 118 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 $\text{TRA} = 30$, costituisce il cosiddetto tasso interno di redditività (TIR). Poiché risulta $\text{TIR} = 4.4\%$, ciò significa che un qualunque investimento finanziario che consenta di ottenere un tasso di interesse costante superiore al 4.4% risulterebbe più conveniente di quello analizzato in questo studio.

Al limite, qualora si applicassero tutte le ipotesi più favorevoli ($i = 2\%$, sconto del 20% sull'investimento iniziale, scambio sul posto a 0.18 €/kWh, 70% di autoconsumo), sarebbe possibile ottenere **TRA = 13 anni**, con **VAN (30 anni) = 263 895 €** ed **IP = 0.638**. Si riporta in Figura 119 l'andamento temporale del flusso di cassa attualizzato per questo scenario particolarmente favorevole.

	Caso base	Tasso di interesse		Riduzione costo iniziale	
		i = 2%	i = 4%	Sconto 10%	Sconto 20%
VAN (30 anni)	€ 70,143.49	€ 131,764.32	€ 18,990.19	€ 121,886.23	€ 154,127.40
Tempo ritorno attualizzato	24	21	28	19	16
Indice di profitto	0.136	0.255	0.037	0.262	0.372

	Caso base	Tariffa scambio sul posto		Percentuale di autoconsumo	
		0.16 €/kWh	0.18 €/kWh	60%	70%
VAN (30 anni)	€ 70,143.49	€ 77,611.46	€ 85,079.43	€ 86,346.59	€ 102,549.69
Tempo ritorno attualizzato	24	24	23	23	22
Indice di profitto	0.136	0.150	0.164	0.167	0.198

Figura 117. Sensività degli indicatori economici ad alcune variabili significative

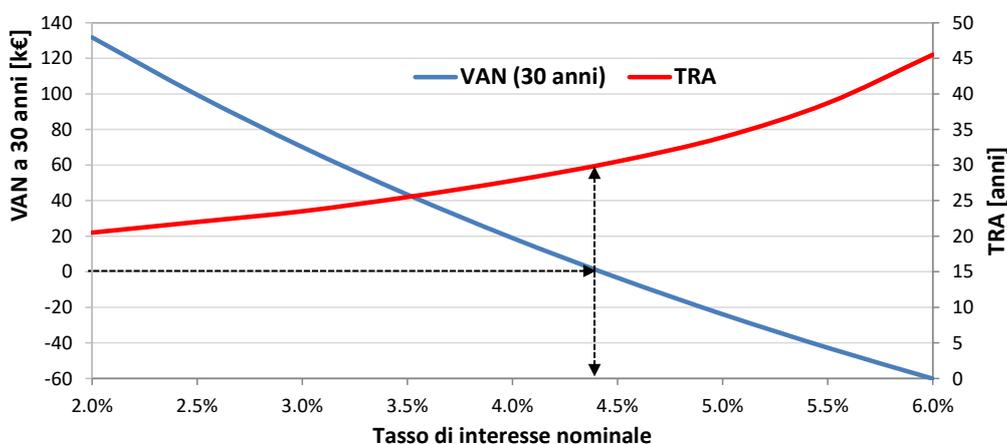


Figura 118. Dipendenza di VAN e TRA dal tasso di interesse nominale

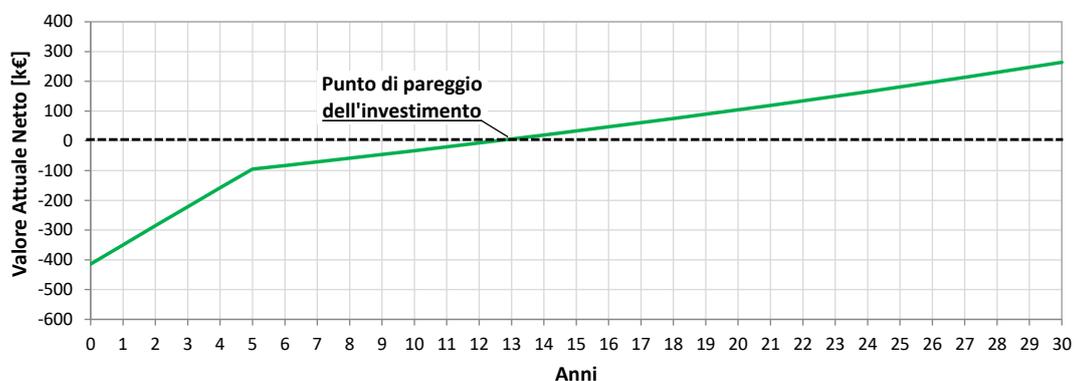


Figura 119. Flusso di cassa attualizzato per lo scenario favorevole

7 Conclusioni

Lo studio descritto nel presente documento, relativo ad una proposta di intervento di ristrutturazione importante di I livello per un edificio sede di uffici comunali 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. L'illuminazione artificiale prevede l'utilizzo di lampade fluorescenti; la produzione di acqua calda sanitaria è a carico di due scaldabagni elettrici.

L'analisi delle bollette elettriche nel triennio 2014-2016 evidenzia un consumo medio di circa 54000 kWh/anno, cioè di circa 60 kWh/anno per m² di superficie utile, di cui circa il 45% attribuibile all'utilizzo di computer e apparecchiature d'ufficio, il 35% all'illuminazione artificiale, il 5% alla produzione di acqua calda sanitaria ed il restante 15% alla climatizzazione, ivi compresi alcuni ventilatori da tavolo ed alcune stufette elettriche.

Le simulazioni energetiche in regime dinamico, svolte in relazione alla stagione estiva, hanno inoltre evidenziato un marcato problema di surriscaldamento estivo dei locali, legato principalmente alla presenza di carichi endogeni di elevata densità: in alcuni locali si raggiungono, nei giorni più caldi, temperature interne che sfiorano i 32-33°C.

Le soluzioni di intervento proposte sono le seguenti:

1. Isolamento delle chiusure verticali esterne tramite cappotto termico realizzato con lastre di EPS da 80 mm;
2. Isolamento delle chiusure orizzontali, quali solaio di base e di copertura, tramite lastre di EPS da 100 mm;
3. Sostituzione degli attuali serramenti con nuovi serramenti aventi telai in alluminio a taglio termico e vetrocamera con lastra interna basso-emissiva ($\epsilon \leq 0,05$);
4. Sostituzione dell'impianto di climatizzazione attuale con un impianto centralizzato ad alta efficienza energetica, consistente in due pompe di calore reversibili aria-acqua di ultima generazione e distribuzione idronica fino ai ventilconvettori;
5. Sostituzione delle lampade presenti con lampade a risparmio energetico basate sulla tecnologia LED, ed installazione di sensori di presenza nei locali di servizio;
6. Inserimento di impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria, con pannelli piani vetrati di alta efficienza di superficie complessiva pari a 4,2 m²;
7. Inserimento di impianto fotovoltaico con moduli in silicio monocristallino, per una potenza totale installata di 24 kW di picco, sufficiente a coprire i fabbisogni elettrici annuali dell'edificio nella sua configurazione successiva alla ristrutturazione.

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 6,39 kWh/m² per anno, con una percentuale di copertura dei fabbisogni energetici tramite fonti rinnovabili pari all'88,4%. In seguito agli interventi proposti, l'edificio risulterebbe in classe energetica A4. Il fabbisogno di energia elettrica dell'edificio si abbasserebbe a 34945 kWh/anno, cioè di circa 39 kWh/anno per m² di superficie utile. Infine, la quota di copertura dei fabbisogni energetici tramite fonti rinnovabili ammonterebbe all'88,4%,

Altre considerazioni, suggerite dai risultati di questa indagine e che merita richiamare in sede di conclusioni, hanno relazione con i requisiti di isolamento termico dell'involucro edilizio richiesti ai fini dell'accesso al Conto Termico. Dalle analisi eseguite emerge infatti che, per conseguire i richiesti standard di isolamento termico, la trasmittanza di pareti e infissi deve raggiungere livelli tali da determinare un

super-isolamento dell'involucro, se valutata in relazione al clima moderato della zona climatica B. La contropartita ha relazione con i carichi endogeni, che negli edifici del terziario - come in questo caso - è una quota determinante, se non dominante, del carico termico estivo.

Nello specifico accade che, nonostante la sostituzione dei corpi illuminanti con lampade a LED, il carico termico estivo dell'edificio ristrutturato risulta addirittura superiore a quello originario, e ciò per effetto del super-isolamento dell'involucro edilizio, che non permette la dissipazione del calore sviluppato da luci e apparecchiature, quand'anche la differenza di temperatura tra interno ed esterno sia favorevole.

Anche nel caso invernale si registrano avverse conseguenze, in quanto la modestia dei carichi termici induce a utilizzare le pompe di calore (dimensionate sul carico estivo, perché maggiore di quello invernale) con un alto grado di parzializzazione, e quindi con penalizzazioni sulla quota di rinnovabili conseguibile.

Anche sul fronte economico, l'edificio nella configurazione nZEB, non sembra particolarmente sostenibile. Il costo totale dell'intervento ammonta a circa 520 000 €, di cui il 77% dovuto agli interventi sull'involucro edilizio, il 13,5% alla realizzazione dell'impianto fotovoltaico, il 7% agli impianti di climatizzazione e al solare termico, ed il restante 2,5% agli interventi sull'impianto di illuminazione.

Nonostante la 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 24 anni. Una delle ragioni principali di tale risultato risiede senza dubbio nell'elevato investimento iniziale richiesto: peraltro, il costo specifico sostenuto (580.40 € per unità di superficie utile calpestabile) supera di quasi il 20% il limite massimo incentivabile fissato dal Conto Termico (500 €/m²).

L'analisi di sensitività ha dimostrato che la redditività dell'investimento potrebbe essere migliorata ottenendo una scontistica di almeno il 10% sui prezzi stimati; 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 70%.

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%). In tal senso, è interessante ricordare che il D.L. 91/2014 ha previsto l'istituzione di un Fondo rotativo per l'attuazione della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, siglata a Kyoto l'11 dicembre 1997. Per gli Enti Locali è prevista la possibilità di contrarre mutui a tasso agevolato pari allo 0,25%, per finanziare interventi per il miglioramento di almeno due classi di efficienza energetica negli edifici scolastici, in un arco temporale massimo di 3 anni dalla data di inizio lavori. L'utilizzo del fondo rotativo è compatibile con l'accesso al Conto Termico: gli incentivi di quest'ultimo, infatti, non sono cumulabili con altri incentivi statali, ma sono fatti salvi i fondi di rotazione, i fondi di garanzia e i contributi in conto interesse.

L'intervento di ristrutturazione esaminato non può avere ovviamente accesso a tale meccanismo, in quanto non è effettuato su un edificio scolastico; si vuole però sottolineare che la possibilità di usufruire di un tasso di interesse così basso ridurrebbe il TRA a circa 16-17 anni, testimoniando l'utilità di tali forme di incentivazione, che potrebbero essere estese anche ad edifici pubblici non di tipo scolastico.

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.

9 Abbreviazioni ed acronimi

A_{coll}	Area della superficie captante dei collettori solari termici, m^2
ACS	Acqua calda sanitaria
A_m	Area della superficie captante dei moduli fotovoltaici, m^2
$A_{sol,est}$	Area solare 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, $kWh/(m^2 \text{ anno})$
EP_C	Prestazione Energetica per il servizio di condizionamento/raffrescamento, $kWh/(m^2 \text{ anno})$
EP_W	Prestazione Energetica per il servizio di produzione di ACS, $kWh/(m^2 \text{ anno})$
EP_L	Prestazione Energetica per il servizio di illuminazione, $kWh/(m^2 \text{ anno})$
EP_V	Prestazione Energetica per il servizio di ventilazione, $kWh/(m^2 \text{ anno})$
EP_{gl}	Prestazione Energetica globale, $kWh/(m^2 \text{ anno})$
H_T'	Trasmittanza media globale, W/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, $W/(m K)$
η_H	Efficienza stagionale del sistema di riscaldamento
η_C	Efficienza stagionale del sistema di condizionamento/raffrescamento
η_W	Efficienza stagionale del sistema di produzione ACS
η_g	Efficienza globale
ρ	Densità, kg/m^3
ψ	Trasmittanza termica lineare, $W/(m K)$

10 Autori

PROF. ING. LUIGI MARLETTA

Laureato in Ingegneria Nucleare con lode, è 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

Laureato in Ingegneria Meccanica con lode, ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Fisica Tecnica Ambientale. Attualmente è 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).

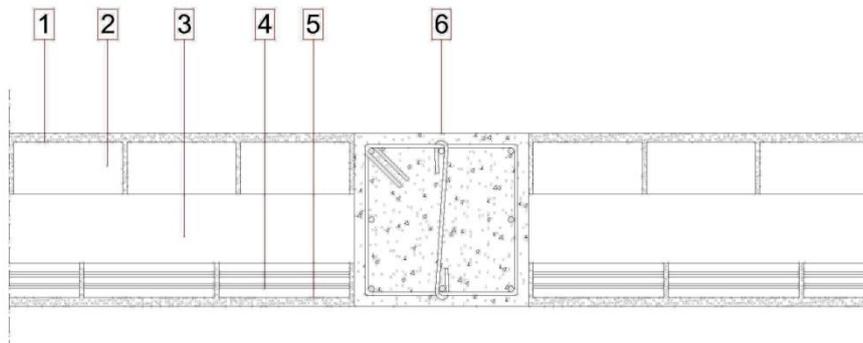
Ha svolto attività di ricerca, sia in Italia che presso istituti di ricerca esteri, su tematiche relative alle prestazioni energetiche dinamiche degli edifici e all'utilizzo delle energie rinnovabili in ambito residenziale. In particolare, si è occupato della modellazione dinamica di sistemi di climatizzazione 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

Pareti Perimetrali - STATO DI FATTO

Parete con pilastro centrale - Sezione orizzontale

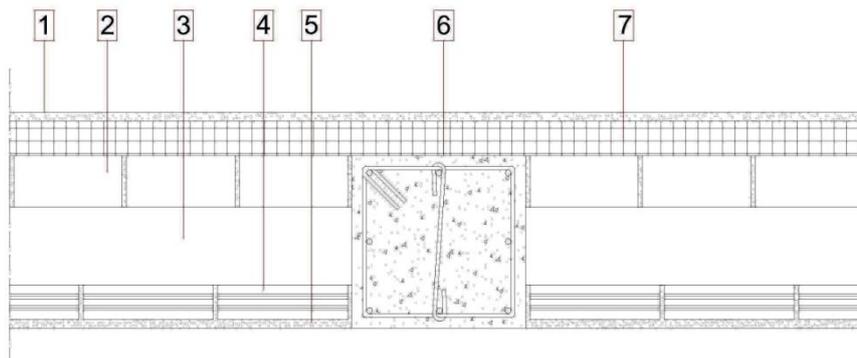


LEGENDA

1. Intonaco esterno di calce e cemento (2 cm)
2. Mattoni pieni (12 cm)
3. Intercapedine d'aria (16 cm)
4. Mattoni forati (8 cm)
5. Intonaco interno di calce e gesso (2 cm)
6. Pilastro in c.a. 40 x 40 cm

Pareti Perimetrali - STATO DI PROGETTO

Parete con pilastro centrale - Sezione orizzontale

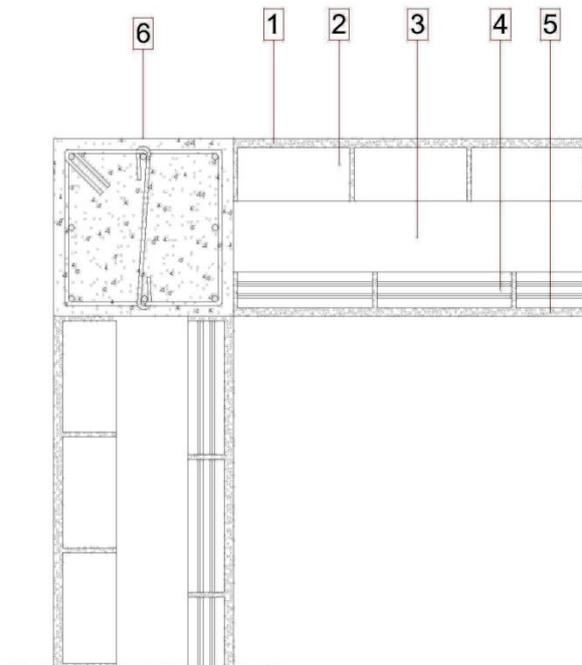


LEGENDA

1. Intonaco esterno di calce e cemento (2 cm)
2. Mattoni pieni (12 cm)
3. Intercapedine d'aria (16 cm)
4. Mattoni forati (8 cm)
5. Intonaco interno di calce e gesso (2 cm)
6. Pilastro in c.a. 40 x 40 cm
7. Lastre di polistirene espanso (8 cm)

Pareti Perimetrali - STATO DI FATTO

Parete con pilastro d'angolo - Sezione orizzontale

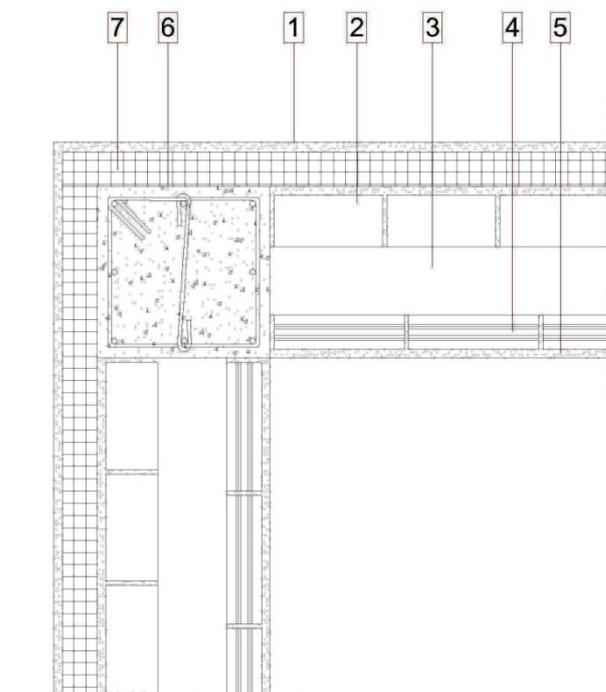


LEGENDA

1. Intonaco esterno di calce e cemento (2 cm)
2. Mattoni pieni (12 cm)
3. Intercapedine d'aria (16 cm)
4. Mattoni forati (8 cm)
5. Intonaco interno di calce e gesso (2 cm)
- 6 Pilastro in c.a. 40 x 40 cm

Pareti Perimetrali - STATO DI PROGETTO

Parete con pilastro d'angolo - Sezione orizzontale

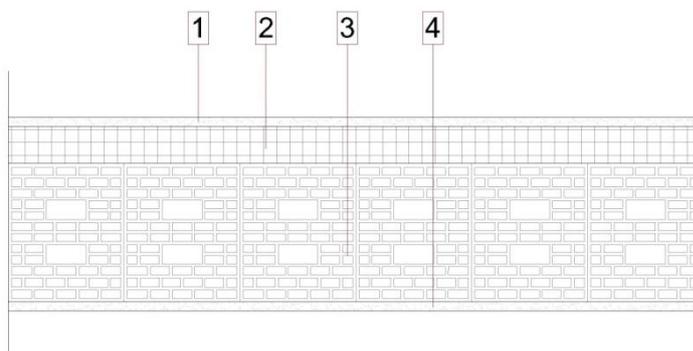


LEGENDA

1. Intonaco esterno di calce e cemento (2 cm)
2. Mattoni pieni (12 cm)
3. Intercapedine d'aria (16 cm)
4. Mattoni forati (8 cm)
5. Intonaco interno di calce e gesso (2 cm)
- 6 Pilastro in c.a. 40 x 40 cm
7. Lastre di polistirene espanso (8 cm)

Pareti Perimetrali - STATO DI PROGETTO

Parete perimetrale del nuovo lucernario - Sezione orizzontale

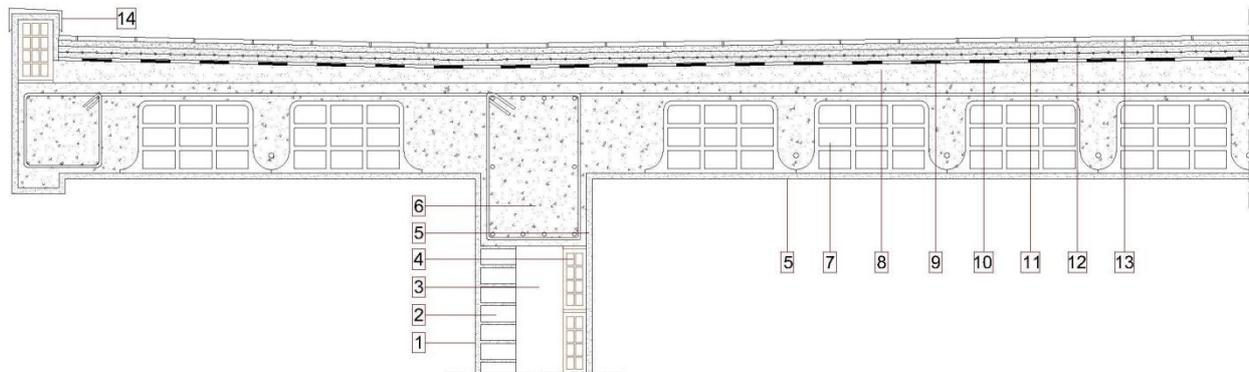


LEGENDA

1. Intonaco esterno di calce e cemento (2 cm)
2. Lastre di polistirene espanso (8 cm)
3. Blocco POROTON (30 cm)
4. Intonaco interno di calce e gesso (2 cm)

Chiusura orizzontale di copertura - STATO DI FATTO

Raccordo solaio di copertura con parete verticale - Sezione verticale

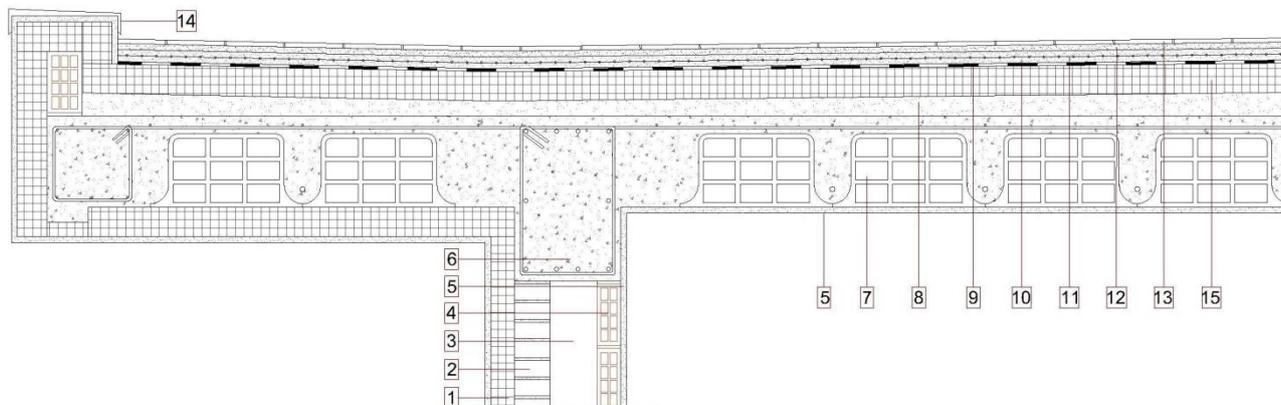


LEGENDA

1. Intonaco esterno di calce e cemento (2 cm)
2. Mattoni pieni (12 cm)
3. Intercapedine d'aria (16 cm)
4. Mattoni forati (8 cm)
5. Intonaco interno di calce e gesso (2 cm)
6. Trave in c.a. 36 x 54 cm
7. Solaio in latero-cemento, spessore 31 cm
(pignatte da 26 cm e soletta in c.a. da 5 cm)
8. Massetto delle pendenze (8 cm)
9. Guaina impermeabilizzante (4 mm)
10. Massetto di sottofondo (4 cm)
11. Strato di tessuto non tessuto (TNT)
12. Malta di allettamento (2 cm)
13. Mattonelle in cemento (1.5 cm)
14. Scossalina in alluminio

Chiusura orizzontale di copertura - STATO DI PROGETTO

Raccordo solaio di copertura con parete verticale - Sezione verticale

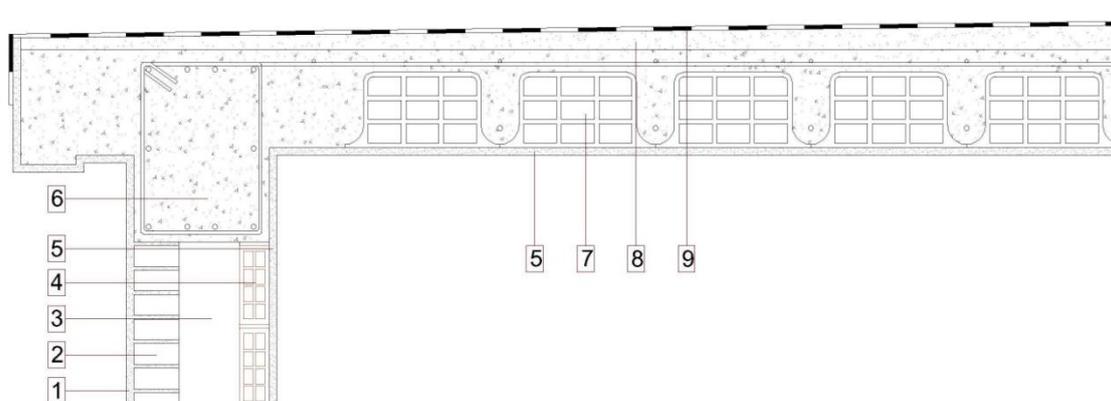


LEGENDA

1. Intonaco esterno di calce e cemento (2 cm)
2. Mattoni pieni (12 cm)
3. Intercapedine d'aria (16 cm)
4. Mattoni forati (8 cm)
5. Intonaco interno di calce e gesso (2 cm)
6. Trave in c.a. 36 x 54 cm
7. Solaio in latero-cemento, spessore 31 cm
(pignatte da 25 cm e soletta in c.a. da 6 cm)
8. Massetto delle pendenze (8 cm)
9. Guaina impermeabilizzante (4 mm)
10. Massetto di sottofondo (4 cm)
11. Strato di tessuto non tessuto (TNT)
12. Malta di allettamento (2 cm)
13. Mattonelle in cemento (1.5 cm)
14. Scossalina in alluminio
15. Lastre di polistirene espanso (10 cm)

Chiusura orizzontale di copertura del lucernario - STATO DI FATTO

Raccordo solaio di copertura con parete verticale - Sezione verticale

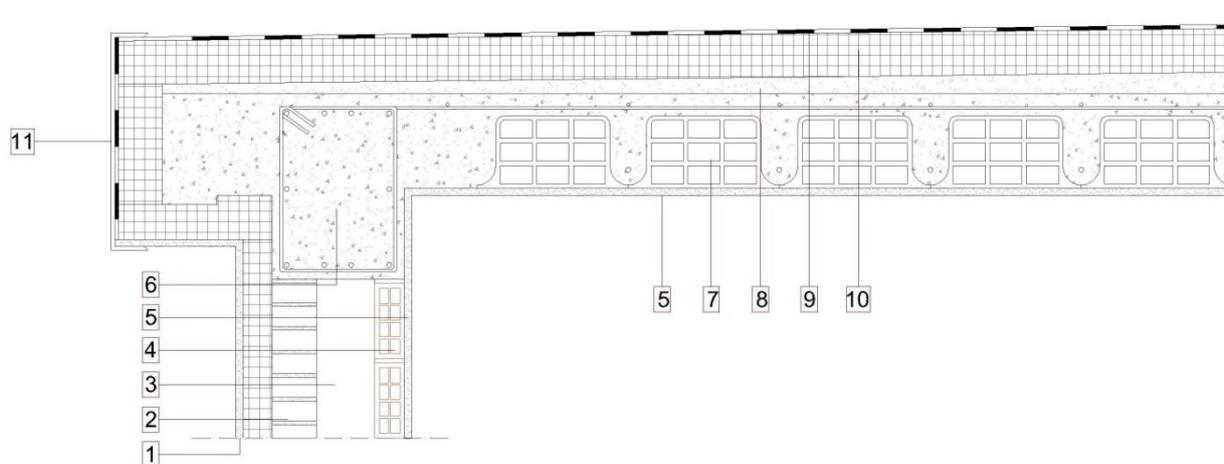


LEGENDA

1. Intonaco esterno di calce e cemento (2 cm)
2. Mattoni pieni (12 cm)
3. Intercapedine d'aria (16 cm)
4. Mattoni forati (8 cm)
5. Intonaco esterno di calce e gesso (2 cm)
6. Trave in c.a. 36 x 50 cm
7. Solaio in latero-cemento, spessore 26 cm
(pignatte da 20 cm e soletta in c.a. da 6 cm)
8. Massetto delle pendenze (6 cm)
9. Guaina impermeabilizzante (4 mm)

Chiusura orizzontale di copertura del lucernario - STATO DI PROGETTO

Raccordo solaio di copertura con parete verticale - Sezione verticale

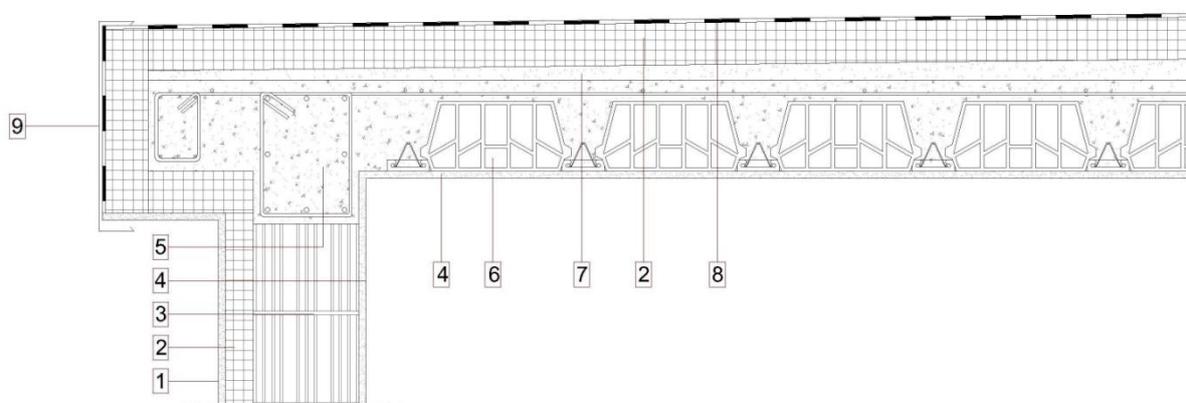


LEGENDA

1. Intonaco esterno di calce e cemento (2 cm)
2. Mattoni pieni (12 cm)
3. Intercapedine d'aria (16 cm)
4. Mattoni forati (8 cm)
5. Intonaco esterno di calce e gesso (2 cm)
6. Trave in c.a. 36 x 50 cm
7. Solaio in latero-cemento, spessore 26 cm
(pignatte da 20 cm e soletta in c.a. da 6 cm)
8. Massetto delle pendenze (6 cm)
9. Guaina impermeabilizzante (4 mm)
10. Isolante, polistirene espanso (12 cm)
11. Scossalina in alluminio

Chiusura orizzontale di copertura del nuovo lucernario - STATO DI PROGETTO

Raccordo solaio di copertura con parete verticale - Sezione verticale

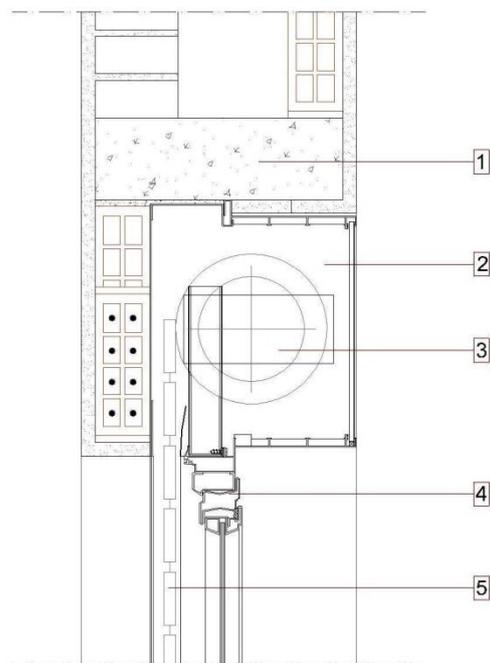
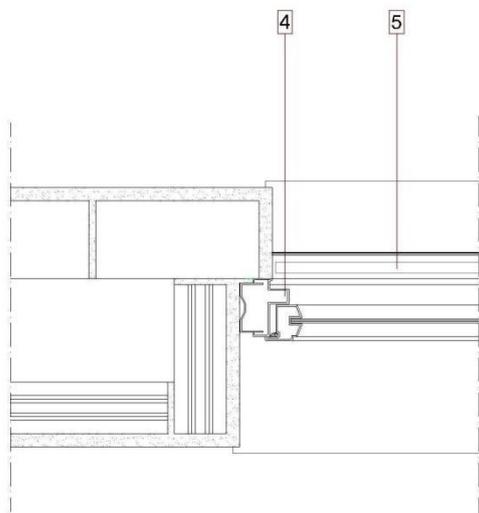


LEGENDA

1. Intonaco esterno di calce e cemento (2 cm)
2. Lastre di polistirene espanso (12 cm)
3. Blocco POROTON (30 cm)
4. Intonaco esterno di calce e gesso (2 cm)
5. Trave in c.a. 30 x 40 cm
6. Solaio in latero-cemento, spessore 26 cm
(pignatte da 20 cm e soletta in c.a. da 6 cm)
7. Massetto delle pendenze (6 cm)
8. Guaina impermeabilizzante (4 mm)
9. Scossalina in alluminio

Infissi - STATO DI FATTO

Nodi di attacco alla muratura - Sezione orizzontale e verticale



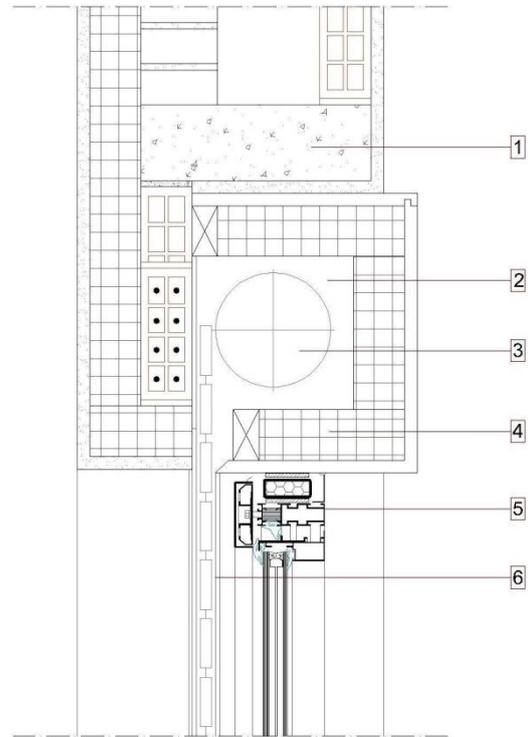
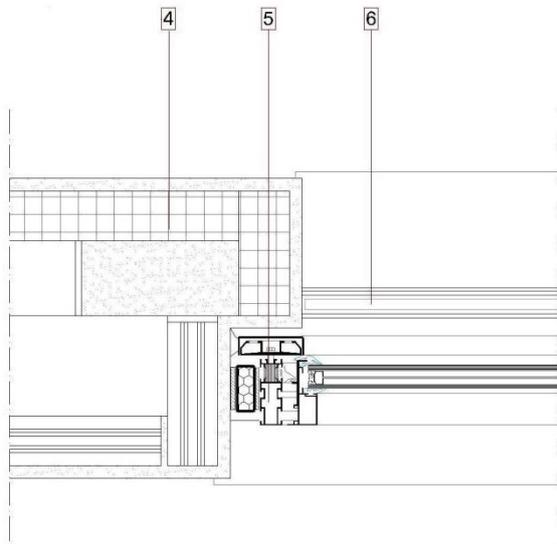
LEGENDA

1. Architrave prefabbricato in cls
2. Cassonetto
3. Rullo per avvolgibile
4. Infisso in alluminio senza taglio termico
5. Guida per avvolgibile



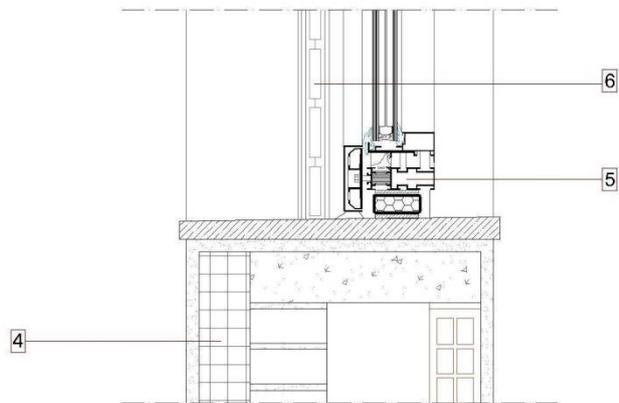
Infissi - STATO DI PROGETTO

Nodi di attacco alla muratura - Sezione orizzontale e verticale



LEGENDA

1. Architrave prefabbricato in cls
2. Cassonetto
3. Rullo per avvolgibile
4. Lastre di polistirene espanso (8cm)
5. Infisso in alluminio a taglio termico
6. Guida per avvolgibile



ALLEGATO II

Attestato di prestazione energetica (stato di fatto)



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Area geografica

Regione **Sicilia**
Provincia di **Catania**
Comune di **CATANIA**

Ubicazione intervento

Via Pier Giorgio Frassati, 2

Proprietà

Progettista

Costruttore

Tecnico

CODICE CERTIFICATO



Data elaborazione: 21/09/2017





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.2

Oggetto dell'attestato

Intero edificio

Unità immobiliare

Gruppo di unità immobiliari

numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: 1

Nuova costruzione

Passaggio di proprietà

Locazione

Ristrutturazione importante

Riqualificazione energetica

Altro:

Dati identificativi

Regione: Sicilia Zona climatica: B

Comune: CATANIA Anno di costruzione: _____

Indirizzo: Via Pier Giorgio Frassati, n. 2

Piano: _____

Interno: _____

Coordinate GIS: 37,538822 ; 15,079641

Superficie utile riscaldata (m²): 891,50

Superficie utile raffrescata (m²): 891,50

Volume lordo riscaldato (m³): 4473,92

Volume lordo raffrescato (m³): 4473,92

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

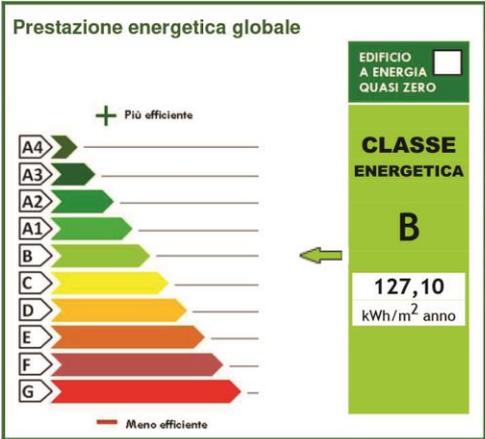
Servizi energetici presenti

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: **A1**

114,49
kWh/m² anno



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO:

VALIDO FINO AL:



PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI IMPIANTI E CONSUMI STIMATI

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica rinnovabile e non rinnovabile, nonché una stima dell'energia annua consumata annualmente dall'immobile secondo un uso standard.

Prestazioni energetiche degli impianti e stima dei consumi di energia			
	FONTI ENERGETICHE UTILIZZATE	Quantità annua consumata in uso standard	Indici di prestazione energetica globali ed emissioni
<input checked="" type="checkbox"/>	Energia elettrica da rete	58.105,25 kWh	Indice della prestazione energetica non rinnovabile EPgl,nren kWh/m ² anno 127,10
<input type="checkbox"/>	Gas naturale	-	
<input type="checkbox"/>	GPL	-	
<input type="checkbox"/>	Carbone	-	Indice della prestazione energetica rinnovabile EPgl,ren kWh/m ² anno 84,49
<input type="checkbox"/>	Gasolio	-	
<input type="checkbox"/>	Olio combustibile	-	
<input type="checkbox"/>	Propano	-	
<input type="checkbox"/>	Butano	-	
<input type="checkbox"/>	Kerosene	-	
<input type="checkbox"/>	Antracite	-	
<input type="checkbox"/>	Biomasse	-	Emissioni di CO ₂ kg/m ² anno 29,98
<input type="checkbox"/>	Solare fotovoltaico	-	
<input type="checkbox"/>	Solare termico	-	
<input type="checkbox"/>	Eolico	-	
<input type="checkbox"/>	Teleriscaldamento	-	
<input type="checkbox"/>	Teleraffrescamento	-	
<input type="checkbox"/>	Altro	-	

RACCOMANDAZIONI

La sezione riporta gli interventi raccomandati e la stima dei risultati conseguibili, con il singolo intervento o con la realizzazione dell'insieme di essi, esprimendo una valutazione di massima del potenziale di miglioramento dell'edificio o dell'immobile oggetto dell'attestato di prestazione energetica.

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE

INTERVENTI RACCOMANDATI E RISULTATI CONSEGUIBILI

Codice	TIPO DI INTERVENTO RACCOMANDATO	Comporta una ristrutturazione importante	Tempo di ritorno dell'investimento [anni]	Classe energetica raggiungibile con l'intervento [EPgl,nren - kWh/m ² anno]	CLASSE ENERGETICA raggiungibile se si realizzano tutti gli interventi raccomandati
REN1					
REN2					
REN3					
REN4					
REN5					
REN6					



**ATTESTATO DI PRESTAZIONE
ENERGETICA DEGLI EDIFICI**

CODICE CERTIFICATO: _____ VALIDO FINO AL: _____



ALTRI DATI ENERGETICI GENERALI

Energia esportata	0,00 kWh/anno	Vettore energetico: -
--------------------------	----------------------	------------------------------

ALTRI DATI DI DETTAGLIO DEL FABBRICATO

V - Volume riscaldato	4473,92	m³
S - Superficie disperdente	2433,05	m²
Rapporto S/V	0,54	
EPH,nd	75,6	kWh/m² anno
Asol,est/Asup,utile	0,05	-
YIE	0,32	W/m²K

DATI DI DETTAGLIO DEGLI IMPIANTI

Servizio energetico	Tipo di impianto	Anno di installazione	Codice catasto regionale impianti termici	Vettore energetico utilizzato	Potenza Nominale kw	Efficienza media stagionale	EPren kWh/m ² anno	EPnren kWh/m ² anno
Climatizzazione invernale	ON/OFF - Aermec WGH 120 E C INVERTER Aermec WGH 120 E C			Elettricità Elettricità	49,5 38,1	1,784 η_H	64,1	42,4
Climatizzazione estiva	ON/OFF - Aermec WGH 120 E C INVERTER - Aermec WGH 120 E C			Elettricità Elettricità	45,8 35,2	1,651 η_C	6,2	25,7
Prod. acqua calda sanitaria	Scaldacqua elettrico WC 1 Scaldacqua elettrico WC 2			Elettricità Elettricità	1,2 1,2	0,295 η_W	1,5	6,3
Impianti combinati								
Produzione da fonti rinnovabili								
Ventilazione meccanica								
Illuminazione	Impianto d'illuminazione	1000		Elettricità	13,3		12,7	52,8
Trasporto di persone o cose								



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO:

VALIDO FINO AL:



INFORMAZIONI SUL MIGLIORAMENTO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA

La sezione riporta informazioni sulle opportunità, anche in termini di strumenti di sostegno nazionali o locali, legate all'esecuzione di diagnosi energetiche e interventi di riqualificazione energetica, comprese le ristrutturazioni importanti.

--

SOGGETTO CERTIFICATORE

<input type="checkbox"/> Ente / Organismo pubblico	<input type="checkbox"/> Tecnico abilitato	<input type="checkbox"/> Organismo / Società
Nome e Cognome / Denominazione		
Indirizzo		
E-mail		
Telefono		
Titolo		
Ordine/Iscrizione		
Dichiarazione di indipendenza		<i>Consapevole delle responsabilità assunte in relazione ai contenuti del presente attestato di prestazione energetica, ai sensi degli artt. 359, 481 del Codice Penale, DICHIARO di poter svolgere con indipendenza ed imparzialità di giudizio, l'attività di soggetto certificatore per il sistema edificio/impianto di cui al punto 1 "informazioni generali" vista l'assenza di conflitti di interesse come esplicitati nel DPR n. 75 del 16 aprile 2013, articolo 3, comma 1, lettere a) e b).</i>
Informazioni aggiuntive		

SOPRALLUOGHI E DATI DI INGRESSO

E' stato eseguito almeno un sopralluogo/rilievo sull'edificio obbligatorio per la redazione del presente APE?	Sì
---	----

SOFTWARE UTILIZZATO

Il software utilizzato risponde ai requisiti di rispondenza e garanzia di scostamento massimo dei risultati conseguiti rispetto ai valori ottenuti per mezzo dello strumento di riferimento nazionale?	Sì
Ai fini della redazione del presente attestato è stato utilizzato un software che impieghi un metodo di calcolo semplificato?	No

Il presente attestato è reso, dal sottoscritto, in forma di dichiarazione sostitutiva di atto notorio ai sensi dell'articolo 47 del D.P.R. 445/2000 e dell'articolo 15, comma 1 del D.Lgs. 192/2005 così come modificato dall'articolo 12 del D.L. 63/2013

Data di emissione 21/09/2017 Firma e timbro del tecnico o firma digitale _____



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO: _____ VALIDO FINO AL: _____



Il presente documento attesta la **prestazione** e la **classe energetica** dell'edificio o dell'unità immobiliare, ovvero la quantità di energia necessaria ad assicurare il confort attraverso i diversi servizi erogati dai sistemi tecnici presenti, in condizioni convenzionali d'uso. Al fine di individuare le potenzialità di miglioramento della prestazione energetica, l'attestato riporta informazioni specifiche sulle prestazioni energetiche del fabbricato e degli impianti. Viene altresì indicata la classe energetica più elevata raggiungibile in caso di realizzazione delle misure migliorative consigliate, così come descritte nella sezione "raccomandazioni" (pag. 2).

PRIMA PAGINA

Informazioni generali: tra le informazioni generali è riportata la motivazione alla base della redazione dell'APE. Nell'ambito del periodo di validità, ciò non preclude l'uso dell'APE stesso per i fini di legge, anche se differenti da quelli ivi indicati.

Prestazione energetica globale (EPgl,nren): fabbisogno annuale di energia primaria non rinnovabile relativa a tutti i servizi erogati dai sistemi tecnici presenti, in base al quale è identificata la classe di prestazione dell'edificio in una scala da A4 (edificio più efficiente) a G (edificio meno efficiente).

Prestazione energetica del fabbricato: indice qualitativo del fabbisogno di energia necessario per il soddisfacimento del confort interno, indipendente dalla tipologia e dal rendimento degli impianti presenti. Tale indice da un'indicazione di come l'edificio, d'estate e d'inverno, isola termicamente gli ambienti interni rispetto all'ambiente esterno. La scala di valutazione qualitativa utilizzata osserva il seguente criterio:

 QUALITA' ALTA	 QUALITA' MEDIA	 QUALITA' BASSA
--	---	--

I valori di soglia per la definizione del livello di qualità, suddivisi per tipo di indicatore, sono riportati nelle Linee guida per l'attestazione energetica degli edifici di cui al decreto previsto dall'articolo 6, comma 12 del D.Lgs. 192/2005.

Edificio a energia quasi zero: edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e del decreto ministeriale sui requisiti minimi previsto dall'articolo 4, comma 1 del D.Lgs. 192/2005. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta all'interno del confine del sistema (in situ). Una spunta sull'apposito spazio adiacente alla scala di classificazione indica l'appartenenza dell'edificio oggetto dell'APE a questa categoria.

Riferimenti: raffronto con l'indice di prestazione globale non rinnovabile di un edificio simile ma dotato dei requisiti minimi degli edifici nuovi, nonché con la media degli indici di prestazione degli edifici esistenti simili, ovvero contraddistinti da stessa tipologia d'uso, tipologia costruttiva, zona climatica, dimensioni ed esposizione di quella oggetto dell'attestato.

SECONDA PAGINA

Prestazioni energetiche degli impianti e consumi stimati: la sezione riporta l'indice di prestazione energetica rinnovabile e non rinnovabile dell'immobile oggetto di attestazione. Tali indici informano sulla percentuale di energia rinnovabile utilizzata dall'immobile rispetto al totale. La sezione riporta infine una stima del quantitativo di energia consumata annualmente dall'immobile secondo un uso standard, suddivisi per tipologia di fonte energetica utilizzata.

Raccomandazioni: di seguito si riporta la tabella che classifica le tipologie di intervento raccomandate per la riqualificazione energetica e la ristrutturazione importante.

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE EDIFICIO/UNITA' IMMOBILIARE - Tabella dei Codici

Codice	TIPO DI INTERVENTO
REN1	FABBRICATO - INVOLUCRO OPACO
REN2	FABBRICATO - INVOLUCRO TRASPARENTE
REN3	IMPIANTO CLIMATIZZAZIONE - INVERNO
REN4	IMPIANTO CLIMATIZZAZIONE - ESTATE
REN5	ALTRI IMPIANTI
REN6	FONTI RINNOVABILI

TERZA PAGINA

La terza pagina riporta la quantità di energia prodotta in situ ed esportata annualmente, nonché la sua tipologia. Riporta infine, suddivise in due sezioni relative rispettivamente al fabbricato e agli impianti, i dati di maggior dettaglio alla base del calcolo.

ALLEGATO III

Attestato di prestazione energetica (edificio ristrutturato)



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Area geografica

Regione **Sicilia**
Provincia di **Catania**
Comune di **CATANIA**

Ubicazione intervento

Via Pier Giorgio Frassati, 2

Proprietà

Progettista

Costruttore

Tecnico

CODICE CERTIFICATO



Data elaborazione: 21/09/2017





ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO: _____ VALIDO FINO AL: _____



DATI GENERALI

<p>Destinazione d'uso</p> <p><input type="checkbox"/> Residenziale</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non residenziale</p> <p>Classificazione D.P.R. 412/93: <u>E.2</u></p>	<p>Oggetto dell'attestato</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Intero edificio</p> <p><input 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: <u>1</u></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																												
<p>Regione: Sicilia</p> <p>Comune: CATANIA</p> <p>Indirizzo: Via Pier Giorgio Frassati, n. 2</p> <p>Piano:</p> <p>Interno:</p> <p>Coordinate GIS: 37,538822 ; 15,079641</p>	<p>Zona climatica: B</p> <p>Anno di costruzione:</p> <p>Superficie utile riscaldata (m²): 891,50</p> <p>Superficie utile raffrescata (m²): 891,50</p> <p>Volume lordo riscaldato (m³): 4473,92</p> <p>Volume lordo raffrescato (m³): 4473,92</p>																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 10%;">Comune catastale</th> <th colspan="4">CATANIA</th> <th style="width: 10%;">Sezione</th> <th style="width: 10%;">Foglio</th> <th colspan="2">Particella</th> </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 checked="" 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="width: 50%; text-align: center;"> <p>INVERNO</p> </td> <td style="width: 50%; 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> <h1 style="text-align: center;">A2</h1> <p style="text-align: center;">57,98 kWh/m² anno</p>
<p>INVERNO</p>	<p>ESTATE</p>					



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO:

VALIDO FINO AL:



PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI IMPIANTI E CONSUMI STIMATI

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica rinnovabile e non rinnovabile, nonché una stima dell'energia annua consumata annualmente dall'immobile secondo un uso standard.

Prestazioni energetiche degli impianti e stima dei consumi di energia			
	FONTI ENERGETICHE UTILIZZATE	Quantità annua consumata in uso standard	Indici di prestazione energetica globali ed emissioni
<input checked="" type="checkbox"/>	Energia elettrica da rete	26.868,69 kWh	Indice della prestazione energetica non rinnovabile EPgl,nren kWh/m ² anno 6,39
<input checked="" type="checkbox"/>	Gas naturale	42,18 m ³	
<input type="checkbox"/>	GPL	-	
<input type="checkbox"/>	Carbone	-	Indice della prestazione energetica rinnovabile EPgl,ren kWh/m ² anno 43,59
<input type="checkbox"/>	Gasolio	-	
<input type="checkbox"/>	Olio combustibile	-	
<input type="checkbox"/>	Propano	-	
<input type="checkbox"/>	Butano	-	
<input type="checkbox"/>	Kerosene	-	
<input type="checkbox"/>	Antracite	-	Emissioni di CO ₂ kg/m ² anno 13,96
<input type="checkbox"/>	Biomasse	-	
<input checked="" type="checkbox"/>	Solare fotovoltaico	24.161,79 kWh	
<input checked="" type="checkbox"/>	Solare termico	1.679,03 kWh	
<input type="checkbox"/>	Eolico	-	
<input type="checkbox"/>	Teleriscaldamento	-	
<input type="checkbox"/>	Teleraffrescamento	-	
<input type="checkbox"/>	Altro	-	

RACCOMANDAZIONI

La sezione riporta gli interventi raccomandati e la stima dei risultati conseguibili, con il singolo intervento o con la realizzazione dell'insieme di essi, esprimendo una valutazione di massima del potenziale di miglioramento dell'edificio o dell'immobile oggetto dell'attestato di prestazione energetica.

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE

INTERVENTI RACCOMANDATI E RISULTATI CONSEGUIBILI

Codice	TIPO DI INTERVENTO RACCOMANDATO	Comporta una ristrutturazione importante	Tempo di ritorno dell'investimento [anni]	Classe energetica raggiungibile con l'intervento [EPgl,nren - kWh/m ² anno]	CLASSE ENERGETICA raggiungibile se si realizzano tutti gli interventi raccomandati
REN1					
REN2					
REN3					
REN4					
REN5					
REN6					



**ATTESTATO DI PRESTAZIONE
ENERGETICA DEGLI EDIFICI**

CODICE CERTIFICATO: _____ VALIDO FINO AL: _____



ALTRI DATI ENERGETICI GENERALI

Energia esportata	7816,11 kWh/anno	Vettore energetico: Elettricità
--------------------------	-------------------------	--

ALTRI DATI DI DETTAGLIO DEL FABBRICATO

V - Volume riscaldato	4473,92	m³
S - Superficie disperdente	2426,62	m²
Rapporto S/V	0,54	
EPH,nd	17,8	kWh/m² anno
Asol,est/Asup,utile	0,03	-
YIE	0,02	W/m²K

DATI DI DETTAGLIO DEGLI IMPIANTI

Servizio energetico	Tipo di impianto	Anno di installazione	Codice catasto regionale impianti termici	Vettore energetico utilizzato	Potenza Nominale kw	Efficienza media stagionale	EPren kWh/m ² anno	EPnren kWh/m ² anno
Climatizzazione invernale	ANK 085 HP			Elettricità	17,3	5,878 η_H	18,2	3,0
	ANK 085 HP			Elettricità	17,3			
Climatizzazione estiva	ANK 085 HP			Elettricità	15,7	174,230 η_C	8,6	0,2
	ANK 085 HP			Elettricità	15,7			
Prod. acqua calda sanitaria	SIMULATO IN QUANTO ASSENTE					3,864 η_W	2,0	0,5
Impianti combinati								
Produzione da fonti rinnovabili	Fotovoltaico (Silicio mono cristallino, mq. 118,0)			Energia solare	23,60			
	Solare termico (Collettori piani vetrati)			Energia solare	4,2			
Ventilazione meccanica								
Illuminazione	Impianto d'illuminazione	1000		Elettricità	6,5		14,8	2,7
Trasporto di persone o cose								



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO:

VALIDO FINO AL:



INFORMAZIONI SUL MIGLIORAMENTO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA

La sezione riporta informazioni sulle opportunità, anche in termini di strumenti di sostegno nazionali o locali, legate all'esecuzione di diagnosi energetiche e interventi di riqualificazione energetica, comprese le ristrutturazioni importanti.

--

SOGGETTO CERTIFICATORE

<input type="checkbox"/> Ente / Organismo pubblico	<input type="checkbox"/> Tecnico abilitato	<input type="checkbox"/> Organismo / Società
Nome e Cognome / Denominazione		
Indirizzo		
E-mail		
Telefono		
Titolo		
Ordine/Iscrizione		
Dichiarazione di indipendenza		<i>Consapevole delle responsabilità assunte in relazione ai contenuti del presente attestato di prestazione energetica, ai sensi degli artt. 359, 481 del Codice Penale, DICHIARO di poter svolgere con indipendenza ed imparzialità di giudizio, l'attività di soggetto certificatore per il sistema edificio/impianto di cui al punto 1 "informazioni generali" vista l'assenza di conflitti di interesse come esplicitati nel DPR n. 75 del 16 aprile 2013, articolo 3, comma 1, lettere a) e b).</i>
Informazioni aggiuntive		

SOPRALLUOGHI E DATI DI INGRESSO

E' stato eseguito almeno un sopralluogo/rilievo sull'edificio obbligatorio per la redazione del presente APE?	Sì
---	----

SOFTWARE UTILIZZATO

Il software utilizzato risponde ai requisiti di rispondenza e garanzia di scostamento massimo dei risultati conseguiti rispetto ai valori ottenuti per mezzo dello strumento di riferimento nazionale?	Sì
Ai fini della redazione del presente attestato è stato utilizzato un software che impieghi un metodo di calcolo semplificato?	No

Il presente attestato è reso, dal sottoscritto, in forma di dichiarazione sostitutiva di atto notorio ai sensi dell'articolo 47 del D.P.R. 445/2000 e dell'articolo 15, comma 1 del D.Lgs. 192/2005 così come modificato dall'articolo 12 del D.L. 63/2013

Data di emissione 21/09/2017 Firma e timbro del tecnico o firma digitale _____



ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE CERTIFICATO: _____ VALIDO FINO AL: _____



Il presente documento attesta la **prestazione** e la **classe energetica** dell'edificio o dell'unità immobiliare, ovvero la quantità di energia necessaria ad assicurare il confort attraverso i diversi servizi erogati dai sistemi tecnici presenti, in condizioni convenzionali d'uso. Al fine di individuare le potenzialità di miglioramento della prestazione energetica, l'attestato riporta informazioni specifiche sulle prestazioni energetiche del fabbricato e degli impianti. Viene altresì indicata la classe energetica più elevata raggiungibile in caso di realizzazione delle misure migliorative consigliate, così come descritte nella sezione "raccomandazioni" (pag. 2).

PRIMA PAGINA

Informazioni generali: tra le informazioni generali è riportata la motivazione alla base della redazione dell'APE. Nell'ambito del periodo di validità, ciò non preclude l'uso dell'APE stesso per i fini di legge, anche se differenti da quelli ivi indicati.

Prestazione energetica globale (EPgl,nren): fabbisogno annuale di energia primaria non rinnovabile relativa a tutti i servizi erogati dai sistemi tecnici presenti, in base al quale è identificata la classe di prestazione dell'edificio in una scala da A4 (edificio più efficiente) a G (edificio meno efficiente).

Prestazione energetica del fabbricato: indice qualitativo del fabbisogno di energia necessario per il soddisfacimento del confort interno, indipendente dalla tipologia e dal rendimento degli impianti presenti. Tale indice da un'indicazione di come l'edificio, d'estate e d'inverno, isola termicamente gli ambienti interni rispetto all'ambiente esterno. La scala di valutazione qualitativa utilizzata osserva il seguente criterio:

 QUALITA' ALTA	 QUALITA' MEDIA	 QUALITA' BASSA
--	---	--

I valori di soglia per la definizione del livello di qualità, suddivisi per tipo di indicatore, sono riportati nelle Linee guida per l'attestazione energetica degli edifici di cui al decreto previsto dall'articolo 6, comma 12 del D.Lgs. 192/2005.

Edificio a energia quasi zero: edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e del decreto ministeriale sui requisiti minimi previsto dall'articolo 4, comma 1 del D.Lgs. 192/2005. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta all'interno del confine del sistema (in situ). Una spunta sull'apposito spazio adiacente alla scala di classificazione indica l'appartenenza dell'edificio oggetto dell'APE a questa categoria.

Riferimenti: raffronto con l'indice di prestazione globale non rinnovabile di un edificio simile ma dotato dei requisiti minimi degli edifici nuovi, nonché con la media degli indici di prestazione degli edifici esistenti simili, ovvero contraddistinti da stessa tipologia d'uso, tipologia costruttiva, zona climatica, dimensioni ed esposizione di quella oggetto dell'attestato.

SECONDA PAGINA

Prestazioni energetiche degli impianti e consumi stimati: la sezione riporta l'indice di prestazione energetica rinnovabile e non rinnovabile dell'immobile oggetto di attestazione. Tali indici informano sulla percentuale di energia rinnovabile utilizzata dall'immobile rispetto al totale. La sezione riporta infine una stima del quantitativo di energia consumata annualmente dall'immobile secondo un uso standard, suddivisi per tipologia di fonte energetica utilizzata.

Raccomandazioni: di seguito si riporta la tabella che classifica le tipologie di intervento raccomandate per la riqualificazione energetica e la ristrutturazione importante.

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE EDIFICIO/UNITA' IMMOBILIARE - Tabella dei Codici

Codice	TIPO DI INTERVENTO
REN1	FABBRICATO - INVOLUCRO OPACO
REN2	FABBRICATO - INVOLUCRO TRASPARENTE
REN3	IMPIANTO CLIMATIZZAZIONE - INVERNO
REN4	IMPIANTO CLIMATIZZAZIONE - ESTATE
REN5	ALTRI IMPIANTI
REN6	FONTI RINNOVABILI

TERZA PAGINA

La terza pagina riporta la quantità di energia prodotta in situ ed esportata annualmente, nonché la sua tipologia. Riporta infine, suddivise in due sezioni relative rispettivamente al fabbricato e agli impianti, i dati di maggior dettaglio alla base del calcolo.

ALLEGATO IV

Computo metrico e analisi prezzi per l'intervento di ristrutturazione

CATEGORIA	DESCRIZIONE LAVORI	Quantita'	Prezzo Unit.	Importo	
INVOLUCRO EDILIZIO	SOLAIO DI BASE	COD_ 1C.01.100.0010.a			
		Demolizione di pavimenti interni, comprese le opere provvisoriale di protezione, la movimentazione con qualsiasi mezzo delle macerie nell'ambito del cantiere; 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			
		m ²	891,5	10,40 €	9.271,60 €
		COD_ 1C.13.150.0010			
		Fornitura e posa in opera di manto impermeabile costituito da doppia membrana applicata a fiamma su idoneo piano di posa orizzontale o inclinato, compresa imprimitura a base bituminosa del fondo, formazione di colli perimetrali di raccordo, sfridi, sormonti e assistenze murarie			
		m ²	891,5	8,97 €	7.996,76 €
		COD_ 1C.10.200.0110			
		Isolamento termico sotto pavimento di solai su porticati o su terra, realizzato con lastre di schiuma poliiso prodotte con gas senza CFC e HCFC, superfici rivestite con velo vetro saturato; conduttività termica W/mK 0,028, resistenza alla compressione kPa 150 per spessori fino a 30 mm, e kPa 170 per spessori da 40 mm e oltre; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13165, con marcatura CE. Compresi: tagli, adattamenti, fissaggi, sigillature dei tagli, raccordi, assistenza muraria. Negli spessori: 6 cm			
		m ²	891,5	13,39 €	11.937,19 €
		COD_ 1C.08.050.0020			
Massetto per pavimento in ceramica, gres, marmi sottili prefiniti e simili, posati con malta di allettamento, o cappa di protezione di manti, con impasto a 200 kg di cemento 32,5 R per m ³ di sabbia, costipato e livellato a frattazzo lungo, spessore cm 5					
m ²	891,5	13,76 €	12.267,04 €		
COD_ 1C.18.150.0030.a					
Pavimento in piastrelle di grès fine porcellanato a superficie smaltata, spessore 8 ÷ 10 mm, posato con boiaccia di puro cemento su letto di malta di legante idraulico, o incollato su idoneo sottofondo; comprese assistenze murarie, escluso il sottofondo, con piastrelle: 15 x 15 cm, colori chiari					
m ²	891,5	36,17 €	32.245,56 €		
COD_ 1C.27.050.0100.a					
Conferimento a discarica autorizzata per lo smaltimento dei seguenti rifiuti: macerie inerti provenienti da demolizioni, rimozioni, scavi					
t	18,181	11,76 €	213,81 €		
Totale solaio di base			73.931,94 €		

INVOLUCRO EDILIZIO	CHIUSURA VERTICALE	COD_ 1C.10.300.0010.a	Isolamento termico con sistema a cappotto realizzato con lastre in polistirene espanso sinterizzato, senza pelle. Comprese le lastre fissate con adesivo a base di cemento e dispersioni sintetiche privo di solventi; la rete di armatura in vetroresina assicurata alle lastre con rasatura a due mani di adesivo; la chiodatura con tasselli ad espansione. Esclusi: i ponteggi esterni, gli intonaci di finitura. Per spessore di isolante: 8 cm					
				m ²	526,36	46,33 €	24.386,41 €	
		COD_ 1C.07.120.0040	Intonaco civile per esterni su superfici orizzontali e verticali, costituito da rinzaffo idoneo ove opportuno, con rustico in malta bastarda o a base di leganti aerei o idraulici ed arricciatura in stabilitura di calce idrata o di cemento, esclusi i ponteggi esterni.					
			m ²	526,36	23,34 €	12.285,32 €		
	CHIUSURA VERTICALE (lucernaio)	COD_ 1C.01.030.0010	Demolizione di muratura in laterizi forati, totale o parziale, entro e fuori terra, a qualsiasi altezza, con relativi intonaci e rivestimenti, con l'impiego di attrezzature meccaniche adeguate alla dimensione della demolizione, compreso ogni intervento manuale, per tagli di murature, aperture vani porte e finestre, fori passanti, sottomurazioni e qualsiasi altro scopo. Compresa la movimentazione con qualsiasi mezzo manuale o meccanico nell'ambito del cantiere, il carico ed il trasporto					
				m ³	42,00	69,01 €	2.898,28 €	
		COD_ 1C.06.050.0300.d	Muratura portante in blocchi di laterizio alveolato, termoacustica, con malta cementizia o bastarda, compresi gli oneri per la formazione di spalle, voltini, lesene, spigoli, piani di lavoro interni; con: blocchi ad incastro 30 x 25 x 19 cm, spessore 30 cm					
				m ²	45,84	57,00 €	2.612,88 €	
		COD_ 1C.10.300.0010.a	Isolamento termico con sistema a cappotto realizzato con lastre in polistirene espanso sinterizzato, senza pelle. Comprese le lastre fissate con adesivo a base di cemento e dispersioni sintetiche privo di solventi; la rete di armatura in vetroresina assicurata alle lastre con rasatura a due mani di adesivo; la chiodatura con tasselli ad espansione. Esclusi: i ponteggi esterni, gli intonaci di finitura. Per spessore di isolante: 4 cm					
				m ²	45,84	42,37 €	1.942,24 €	
		COD_ 1C.07.120.0040	Intonaco civile per esterni su superfici verticali, costituito da rinzaffo idoneo ove opportuno, con rustico in malta bastarda o a base di leganti aerei o idraulici ed arricciatura in stabilitura di calce idrata o di cemento, esclusi i ponteggi esterni.					
				m ²	45,84	23,34 €	1.069,91 €	
		COD_ 1C.27.050.0100.a	Conferimento a discarica autorizzata per lo smaltimento dei seguenti rifiuti: macerie inerti provenienti da demolizioni, rimozioni, scavi					
			t	64,242	11,76 €	755,49 €		
Totale chiusura verticale						45.950,51 €		

INVOLUCRO EDILIZIO SOLAIO DI COPERTURA (incluso nuovo lucernaio)	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	894	6,77 €	6.052,38 €
	COD_ 1C.01.050.0030.a Demolizione, parziale o totale, di solaio in laterizio e cemento armato, sia piano che inclinato, costituito da travetti in laterizio, elementi forati in cotto, sovrastante caldaia in calcestruzzo. Compresa le opere provvisorie di sostegno e protezione; la movimentazione delle macerie nell'ambito del cantiere; il carico e trasporto agli impianti di stoccaggio, di recupero o a discarica. Esclusi gli oneri di smaltimento: fino allo spessore di cm 16, compresa la soletta collaborante	m ²	284	22,20 €	6.304,80 €
	COD_ 1C.27.050.0100.a Conferimento a discarica autorizzata per lo smaltimento dei seguenti rifiuti: macerie inerti provenienti da demolizioni, rimozioni, scavi	t	163,276	11,76 €	1.920,13 €
	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: 10cm	m ²	1112	21,46 €	23.863,52 €
	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: 12 cm	m ²	216	25,04 €	5.408,64 €
	COD_ 1C.13.150.0010 Manto impermeabile costituito da doppia membrana applicata a fiamma su idoneo piano di posa orizzontale o inclinato, compresa imprimitura a base bituminosa del fondo, formazione di colli perimetrali di raccordo, sfridi, sormonti e assistenze murarie	m ²	1328	8,97 €	11.912,16 €
	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 grigio	m ²	1000	28,91 €	28.910,00 €
	Totale solaio di copertura				84.371,63 €

INVOLUCRO EDILIZIO	INFISSI	COD_ 1C.01.150.0010				
		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 - 4,40 x 1,23	5,412			
		PF01 - 2,10 x 2,72 + 1,65 finestre laterali n° 2 1,13 x 4,36	19,0306			
		F02 - 3,93 x 1,23	4,8339			
		F03 - n° 2 1,67 x 0,77	257,18			
		F04 - n°26 1,33 x 1,90	65,702			
		F05 - 1,53 x 0,70	1,071			
		PF05 - 2,06 x 2,64 + 0,92 finestre laterali n° 2 1,23 x 3,56	16,0912			
		F06 - n° 2 1,33 x 1,35	3,591			
F07 - 3,78 x 0,41+0,93	5,0652					
F08 - n° 2 1,33 x 1,60	4,256					
F09 - 3,68 x 0,41+0,93	4,6632					
F10 - n° 2 1,33 x 1,76	6,18					
F11 - 3,78 x 0,93	3,5154					
F12 - 3,98 x 1,14	4,5372					
F13 - 4,25 x 1,14	4,845					
F14 - n° 2 3,85 x 0,80	6,16					
F15 - n° 4 4,38 x 2,45	42,924					
F16 - n° 8 3,95 x 0,80	25,28					
	m ²	480,3377	13,62 €	6.542,20 €		
		COD_ 1C.21.150.0030				
		Cassonetto coprirullo di avvolgibile coibentato con frontale mobile e sottocielo fisso a faccia liscia; tamburati, spessore 25 mm o in paniforte spessore 20 mm; misurazione: lunghezza del frontale. Compresa la posa in opera nonchè le prestazioni di assistenza muraria per movimentazioni, pulizia ed allontanamento dei materiali di risulta				
	m	73,6	76,97 €	5.664,99 €		
		COD_ 1C.21.150.0020				
		Posa in opera di avvolgibile in materia plastica				
	m ²	93,568	41,36 €	3.869,97 €		
		COD_ 1C.22.250.0010				
		Fornitura e posa in opera di serramenti esterni realizzati in alluminio a taglio termico a due battenti con predisposizione per vetrocamera				
	m ²	437,4137	183,15 €	80.112,32 €		
		COD_ 1C.23.150				
		Fornitura e posa di vetro basso emissivo di spessore normale 6 mm				
	m ²	437,4137	36,73 €	16.066,21 €		
		Totale Infissi		112.255,69 €		
		Totale INVOLUCRO EDILIZIO		316.509,77 €		

IMPIANTI	FOTOVOLTAICO	COD_ 1E.17.010.0010.c	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 21 Kw fino a 50 Kw			
			kWp	24	2.271,52 €	54.516,48 €
		COD_ 1E.02.040.0110.f	Fornitura e posa in opera di cavi elettrici di collegamento per impianto fotovoltaico in rame, di varia sezione, comprese canaline			
			m	250	2,87 €	717,50 €
		Totale fotovoltaico				55.233,98 €
	SOLARE TERMICO	COD_ 1M.04.015.0010	IMPIANTI SOLARI. Collettore solare piano certificato EN12975 di dimensioni esterne varie, colori standard scuro, superficie trattata superficialmente, piastra captante in rame e/o altre leghe similari, vetro solare temperato antiriflesso resistente alla grandine e agli agenti atmosferici, completo di telaio di contenimento e vasca di alloggiamento, dotato di attacchi e/o elementi fissanti, con possibilità di variazione inclinazione di posa. Compreso il trasporto e la fornitura al piano di lavoro, nonchè tutte le movimentazioni varie nell'ambito di cantiere. Completo di ogni elemento di fissaggio quali bulloni, viteria, staffe, tiranti, piccole opere di complemento. Compreso il trasporto in quota e l'assistenza muraria. Esclusa la realizzazione della rete distributiva, da computarsi a parte.			
			m ²	4,2	1.034,6 €	4.345,45 €
		COD_ 1M.14.020.0010.b	Tubazioni in acciaio zincato senza saldatura filettate UNI 10255 serie leggera, complete di raccorderia, pezzi speciali, giunzioni con raccordi filettati o con raccordi scanalati tipo VICTAULIC, guarnizioni e staffaggi. I prezzi unitari includono maggiorazione sia per completamenti sopra indicati sia per sfridi, e devono essere applicati alla lunghezza misurata sull'asse. Diametri (DN: diametro nominale - sp.: spessore in mm): DN20 x 2,3 mm			
		m	20	13,02 €	260,40 €	

IMPIANTI	SOLARE TERMICO	COD_ 1M.03.070.0010.a			
		BOLLITORI verticali in acciaio nero con smaltatura interna, pressione d'esercizio max 6 bar, temperatura d'esercizio max 60 °C, scambiatore con fascio tubiero estraibile per acqua calda, coibentazione sp. 50 mm in lana minerale o poliuretano o guaina flessibile con guscio in pvc, correati di protezione catodica.			
		Grandezze (l: capacità - l/h: produzione minima d'acqua calda sanitaria da 10 a 45 °C con acqua calda primaria da 80 a 70 °C): scambiatore in rame - 200 l - fino a 300 l/h			
		cad	1		914,06 €
	COD_ -				
	Fornitura centralina di controllo per impianto solare a collettori piani, compresi supporti				
	cad	1		500,00 €	
	Totale solare termico			6.019,91 €	
	ILLUMINAZIONE	COD_ 1E.06.060.0210.c			
		Lunghezza 1200 mm - flusso luminoso 1600 lm potenza 16 w			
		cad	85	34,87 €	2.963,95 €
		COD_ 1E.06.060.0210.d			
		Lunghezza 1500 mm - flusso luminoso 2065 lm potenza 24 w			
		cad	110	45,51 €	5.006,10 €
	Fornitura e collocazione di faretto interni (corridoio) da 100 W				
	cad	16	12,68 €	202,88 €	
	COD_ 1E.08.030.0010.a				
	Sensore di presenza per il controllo dell'illuminazione nei servizi				
	cad	18	78,50 €	1.413,00 €	
	Totale illuminazione			9.585,93 €	
	CLIMATIZZAZIONE	-			
Smontaggio, rimozione e conferimento a discarica autorizzata dell'esistente impianto di climatizzazione.					
corpo		1	1.000,00 €	1.000,00 €	
COD_ 1M.10.010.0010.b					
VENTILCONVETTORI a 1 batteria carenati verticali, composti da filtro rigenerabile, batteria in rame-alluminio, bacinella condensa, ventilatore centrifugo, comando a 3 velocità, mobile in lamiera verniciata, piedini e mensole. Grandezze (W: potenza di raffreddamento sensibile con aria °C 26 UR 50% e acqua °C da 7 a 12): oltre 1400 fino a 2100 W					
cad	8	478,65 €	3.829,20 €		
COD_ 1M.10.010.0010.c					
VENTILCONVETTORI a 1 batteria carenati verticali, composti da filtro rigenerabile, batteria in rame-alluminio, bacinella condensa, ventilatore centrifugo, comando a 3 velocità, mobile in lamiera verniciata, piedini e mensole. Grandezze (W: potenza di raffreddamento sensibile con aria °C 26 UR 50% e acqua °C da 7 a 12): oltre 2100 fino a 2900 W					
cad	12	507,24 €	6.086,88 €		

IMPIANTI	CLIMATIZZAZIONE	COD_ 1M.04.030.0010.k				
		POMPE DI CIRCOLAZIONE PER ACQUA CALDA E REFRIGERATA. Circolatori singoli PN6 con motore a 3 velocità, alimentazione elettrica a 220 V - 1f - 50 Hz - 2 poli. Grandezze (m³/h: portata - kPa: prevalenza / prestazioni a velocità massima): oltre 4 fino a 8 m³/h - oltre 20 fino a 40 kPa				
			cad	1	519,66 €	519,66 €
		COD_ 1M.04.040.0010.a				
		SERBATOI INERZIALI verticali per acqua calda, in acciaio nero con verniciatura esterna antiruggine, condizioni d'esercizio massime 6 bar e 99 °C, completi di coibentazione in poliuretano espanso da 100 mm con guscio in PVC termoformato. Grandezze (l: capacità): 500 lt				
			cad	1	692,24 €	692,24 €
		COD_ 1M.15.010.0010.c				
		TUBAZIONI PRE-ISOLATE IN ACCIAIO NERO pre-isolati in acciaio nero a saldatura longitudinale DIN 2458, isolamento secondo UNI EN 253 in schiuma di poliuretano con guaina in pead e cavo in rame per sistema d'allarme, completi di raccorderia (salvo quella in seguito indicata, da computare a parte), giunzioni, guarnizioni, staffaggi e accessori vari di montaggio (salvo kit ripristino, da computare a parte). I prezzi unitari includono maggiorazione sia per completamenti sopra indicati sia per sfridi, e devono essere applicati alla lunghezza (raccorderia esclusa) misurata sull'asse. Diametri (DN: diametro nominale del tubo - diametro esterno nominale dell'isolamento, in mm): DN 40 - 110 mm				
			m	120	20,20 €	2.424,00 €
		Fornitura e posa in opera di pompa di calore aria- acqua ANK 085 HP Aermec				
	cad	2	5.360,00 €	10.720,00 €		
Totale climatizzazione				25.271,98 €		
Totale impianti				96.111,80 €		
TOTALE				412.621,57 €		

COSTI AMMINISTRATIVI		
Per Progettazione e direzione dei lavori	8%	33.009,73 €
Per Responsabile Unico del Procedimento	2%	8.252,43 €
Per Commissione di Appalto e di collaudo	4%	16.504,86 €
Totale parziale		470.388,58 €
Per IVA agevolata	10%	47.038,86 €
TOTALE		517.427,44 €