



POLITECNICO
MILANO 1863

SCUOLA DI ARCHITETTURA URBANISTICA
E INGEGNERIA DELLE COSTRUZIONI

Diagnosi energetica di un edificio residenziale: Analisi costi e benefici di interventi migliorativi

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA DEI SISTEMI EDILIZI

Relatore: Prof. Rossano Scoccia

Autori: Marco Abbatino - 953426
Riccardo Broglia - 976689

Anno accademico
2021-2022

Abstract

Il metodo della diagnosi energetica è uno strumento di estrema importanza, specialmente sul territorio italiano, nel quale la maggior parte degli edifici risulta datato e inefficiente dal punto di vista energetico. Il seguente elaborato ha lo scopo di rendere evidente la necessità della diagnosi energetica, focalizzando lo studio su un edificio ad uso residenziale ed ipotizzando diversi scenari di intervento. Lo stato di fatto dell'edificio è stato ipotizzato in due diverse configurazioni di impianto di generazione per l'acqua calda sanitaria e il riscaldamento: il caso A0, in cui è presente un impianto di teleriscaldamento e il caso B0, nel quale l'energia termica è fornita da una caldaia a gas. Gli interventi di efficientamento energetico nel caso A0 riguardano l'isolamento termico dell'involucro dell'edificio e l'integrazione di fonti di energia rinnovabile per mezzo di un impianto solare termico. Ciò ha comportato il passaggio dalla classe energetica D a classi A3/A4, accompagnato da una riduzione del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile di un valore che va dal 66% al 76%. I benefici risultanti dall'analisi di tali scenari consistono, oltre al miglioramento del benessere termoigrometrico, nella riduzione fino all'84% dei costi in bolletta riferiti al consumo dell'energia termica. All'interno degli scenari migliorativi del caso B0 i benefici risultanti sono ancora più evidenti, grazie alla sostituzione della caldaia a gas, la quale presenta un'efficienza inferiore dell'impianto di teleriscaldamento, con sistemi ibridi o a pompa di calore integrati con impianto fotovoltaico. Infatti, viene mostrato che a seguito di tali interventi la classe energetica dell'edificio vedrà un passaggio da classe F a classi A3/A4, conseguendo una riduzione tra il 78% e l'86% del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile e un risparmio in bolletta fino all'88%. I risultati ottenuti mostrano l'efficacia dello strumento di diagnosi energetica, che permette di ottenere un miglioramento delle prestazioni dell'edificio e di ammortizzare i costi degli interventi, attraverso un sostanziale risparmio delle spese per gli approvvigionamenti di corrente elettrica e gas metano garantendo, inoltre, l'aumento del valore immobiliare della costruzione.

Indice

Abstract	i
Indice	ii
1. Introduzione	1
1.1. Importanza del retrofit	2
1.2. Obbiettivi della tesi	3
2 Metodologia e obiettivi	4
2.1. Diagnosi energetica.....	4
2.2. Differenza rispetto alla certificazione energetica	4
2.3. Calcolo dinamico orario	5
2.4. Inquadramento legislativo e normativo	7
2.5. Fasi del processo di diagnosi.....	10
2.6. Analisi dei dati e report.....	11
3 Caso studio	12
3.1. Rilievo e raccolta delle informazioni	12
3.2. Inquadramento	14
3.3. Dati climatici	15
3.4. Caratteristiche geometriche dell'edificio	15
3.5. Stratigrafie delle chiusure	17
3.6. Climatizzazione invernale e acqua calda sanitaria	22
3.7. Climatizzazione estiva.....	25
3.8. Criticità	25
3.9. Interventi proposti	26
4 Modellizzazione sistema edificio-impianto	28
4.1. Presentazione del software	28
4.2. Modellizzazione dell'involucro edilizio	28
4.3. Modellizzazione impianti	30
5 Risultato simulazione caso A0 (TR-non isolato)	33
5.1. Fabbisogni energetici	33
5.2. Dispersioni per scambio termico verso l'esterno.....	36
6 Risultati scenari di riqualificazione	39

6.1.	Proposta di intervento A1 (TR)	39
6.1.1.	Confronto con il caso A0 (TR non isolato)	46
6.1.2.	Dispersioni per scambio termico verso l'esterno	48
6.2.	Proposta di intervento A2 (TR-ST)	51
6.2.1.	Impianto solare termico	51
6.2.2.	Utilizzo dell'impianto solare termico: primo dimensionamento	53
6.2.3.	Utilizzo dell'impianto solare termico: secondo dimensionamento	54
6.2.4.	Confronto con il caso A0 (TR non isolato)	56
6.2.5.	Scenario alternativo impianto solare termico - A2.1	58
6.3.	Proposta di intervento B0 (CG non isolato)	59
6.3.1.	Caldaia a gas	60
6.3.2.	Utilizzo dell'impianto caldaia a gas	61
6.3.3.	Confronto con il caso A0 (TR non isolato)	61
6.4.	Proposta di intervento B1 (IBR-FV)	63
6.4.1.	Sistema ibrido	63
6.4.2.	Utilizzo degli impianti pompa di calore e caldaia a condensazione	64
6.4.3.	Impianto fotovoltaico	65
6.4.4.	Utilizzo dell'impianto fotovoltaico	66
6.4.5.	Comunità energetica	67
6.4.6.	Radiatori a bassa temperatura	68
6.4.7.	Confronto con il caso B0 (CG non isolato)	69
6.4.8.	Scenario alternativo sistema ibrido I – B1.1	70
6.4.9.	Scenario alternativo sistema ibrido II – B1.2	72
6.4.10.	Scenario alternativo sistema fotovoltaico I – B1.3	74
6.4.11.	Scenario alternativo sistema fotovoltaico II – B1.4	75
6.5.	Proposta di intervento B2 (PDC-FV)	77
6.5.1.	Pompa di calore	77
6.5.2.	Utilizzo dell'impianto pompa di calore	80
6.5.3.	Confronto con il caso B0 (CG non isolato)	81
7	Analisi costi - benefici	83
7.1.	Metodologia	83
7.2.	Analisi dei costi	83
7.3.	Analisi costi-benefici caso A	85
7.3.1.	Detrazione fiscale 50%	87
7.3.2.	Periodo di ammortamento senza detrazione fiscale	88
7.3.3.	Analisi costi-benefici scenario alternativo A2	88

7.4.	Analisi costi-benefici caso B.....	90
7.4.1.	Periodo di ammortamento senza detrazione fiscale	92
7.4.2.	Analisi costi-benefici scenari alternativi B1	93
7.5.	Riepilogo dei risultati ottenuti	95
8	Conclusioni	97
9	Bibliografia.....	100
	Allegato I - Pianta piano terra	102
	Allegato II - Pianta piano tipo.....	103
	Allegato III – Prospetti e planimetria	104
	Allegato IV – Pianta piano interrato	105
	Allegato V – Stratigrafie stato di fatto.....	106
	Allegato VI – Bollette stagione termica 2021/2022	107
	Allegato VII – Stratigrafie coibentate.....	108
	Allegato VIII – Scheda tecnica pannello solare termico	109
	Allegato IX – Pianta solare termico	110
	Allegato X – Scheda tecnica caldaia a gas	111
	Allegato XI – Scheda tecnica pompa di calore	112
	Allegato XII – Scheda tecnica caldaia a condensazione.....	113
	Allegato XIII – Pianta fotovoltaico.....	114
	Allegato XIV – Scheda tecnica pannello fotovoltaico	115
	Allegato XV – Pianta locale tecnico p.d.c.....	116
	Allegato XVI – Computo A1.....	117
	Allegato XVII – Computo A2	118
	Allegato XVIII – Computo B1	119
	Allegato XIX – Computo B2.....	120

1 Introduzione

I contenuti riportati all'interno della Direttiva del Parlamento Europeo del 19 maggio 2010 riguardante la prestazione energetica nell'edilizia, evidenziano quanto questo settore sia il maggior consumatore di energia nell'Unione Europea e uno dei principali responsabili delle emissioni di biossido di carbonio. Complessivamente, la costruzione, l'utilizzo, la ristrutturazione e la demolizione degli edifici dell'UE sono responsabili del 40% del consumo energetico e del 36% delle emissioni di gas a effetto serra [1]. La direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica sono state riviste nel 2018, nel quadro del pacchetto "Energia pulita per tutti gli europei", con l'intento di rispecchiare meglio l'obiettivo dell'UE di guidare la transizione verso l'energia pulita. L'obiettivo è quello di rendere l'Europa il primo continente neutrale dal punto di vista climatico, riducendo al minimo le emissioni di gas serra entro il 2050, così come definito nel Green Deal Europeo, rafforzando al contempo la competitività dell'industria europea e garantendo una giusta transizione per le regioni e i lavoratori interessati. L'UE si è impegnata ad agire per limitare il riscaldamento globale a ben meno di 2°C rispetto ai livelli preindustriali, in linea con l'Accordo di Parigi del 2015. La Commissione europea ha proposto di allineare le regole per il rendimento energetico degli edifici al Green Deal europeo con l'approvazione della direttiva EPBD "Energy Performance of Building Directive". L'obiettivo dichiarato è quello di facilitare la ristrutturazione di case, scuole, ospedali, uffici e altri edifici in tutta Europa per ridurre emissioni di gas serra e le bollette energetiche. Le progressive revisioni di tale direttiva hanno introdotto importanti novità, tra cui una riforma dell'APE (Attestato di Prestazione Energetica) per rendere più chiari gli attestati stessi e fare in modo che le informazioni contenute siano più analitiche. L'obbligo dell'attestato di certificazione energetica è esteso agli edifici oggetto di importanti ristrutturazioni, oggetto di rinnovo del contratto di locazione ed a tutti gli edifici pubblici. Le nuove disposizioni puntano entro il 2030 a edificare solo ZEB (Zero Emission Buildings). Invece, per gli edifici esistenti, si proroga il raggiungimento dell'obiettivo emissioni zero al 2050. Per gli edifici pubblici di nuova costruzione, si è fissato che dovranno essere ad emissioni nulle già a partire dal 2027. Per quanto riguarda gli interventi di ristrutturazione, si propongono nuove soglie di prestazione minima, in base alle quali si dovrà riqualificare il 15% del parco immobiliare meno efficiente di ciascuno Stato membro. In pratica, gli edifici con attestato di prestazione energetica di Classe G dovranno rientrare almeno nella classe E. Per gli edifici non residenziali e pubblici è previsto il raggiungimento della classe energetica:

- "E" entro il 2027

- “D” entro il 2030

Per gli edifici ad uso residenziale, invece, si pone l’obiettivo di:

- Raggiungere almeno la classe di prestazione energetica E entro il 2030;
- Raggiungere la classe D entro il 2033;
- Nella classe G dovrebbe rientrare massimo il 15% degli immobili con la peggiore efficienza energetica.

In più, tutti i nuovi edifici per cui sarà tecnicamente ed economicamente possibile, dovranno dotarsi di tecnologie solari entro il 2028, mentre per gli edifici residenziali sottoposti a ristrutturazioni importanti la data limite è il 2032. Questa strategia industriale permetterà di rendere l'UE leader mondiale nell'economia circolare, nelle tecnologie pulite e per decarbonizzare le industrie ad alta intensità energetica. [2]

1.1. Importanza del retrofit

I dati storici italiani forniti dall’ISTAT [3] e riportati in Tabella 1, mostrano che circa il 61% degli edifici è stato realizzato prima del 1971, ovvero prima degli anni in cui in Italia furono emesse le prime disposizioni in materia di risparmio energetico con la Legge 373/76 del 1976. Inoltre, più del 90% delle abitazioni sono state costruite prima del 1991, anno di entrata in vigore della “Legge 10”, norma organica italiana in materia di consumi energetici degli edifici.

Epoca di costruzione (Censimento 2001)	Abitazioni in edifici ad uso abitativo
Prima del 1919	3'893'567
Dal 1919 al 1945	2'704'969
Dal 1945 al 1961	4'333'882
Dal 1962 al 1971	5'707'383
Dal 1972 al 1981	5'142'940
Dal 1982 al 1991	3'324'794
Dopo il 1991	2'161'345
Totale	27'268'880

Tabella 1 – Patrimonio edilizio italiano

Stimando che mediamente sono stati costruiti altri 5 milioni di edifici dal 1991 ad oggi, esistono quindi oltre 19 milioni di edifici per i quali sono necessari interventi di riqualificazione energetica, con cui arrivare ad un risparmio energetico di quasi 50%

con una coibentazione minimale di pareti e tetto. Il settore edile rappresenta oltre il 40% del fabbisogno energetico nazionale, di questa parte, ben il 70% rappresenta i consumi degli edifici residenziali [4]. Questa energia viene utilizzata per (Figura 1):

- 10,6% illuminazione
- 16,9% apparecchi elettrici
- Dal 70% al 75% climatizzazione dell'abitazione, riscaldamento e raffrescamento

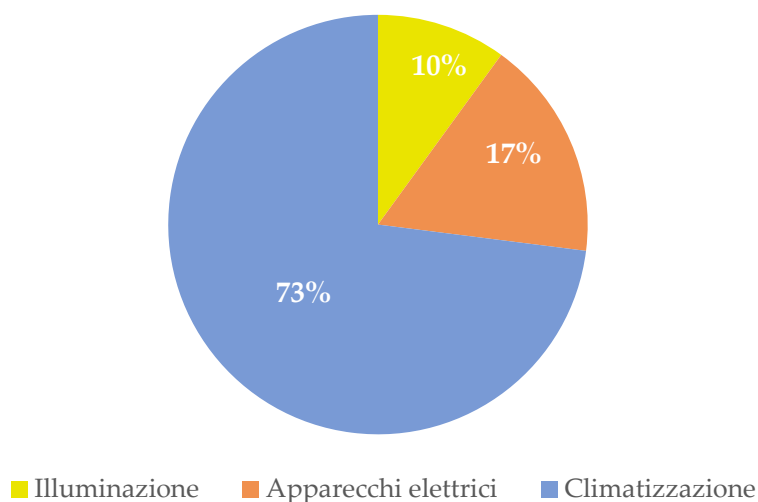


Figura 1 – Consumi degli edifici residenziali

La prestazione energetica molto bassa registra dei consumi annui che variano da 160 kWh/m² anno a oltre 230 kWh/m² anno, che confrontato con l'UE sono superiori tra il 30% e il 60% [5]. Questa alta percentuale è determinata dal grado di dispersione termica dell'involucro degli edifici e dalla bassa efficienza degli impianti. Ecco quindi, che per ridurre i consumi energetici occorre focalizzarsi sull'efficientamento energetico del patrimonio esistente, intervenendo in particolare sull'involucro edilizio applicando un sistema di retrofit energetico.

1.2. Obiettivi della tesi

L'obiettivo di questo elaborato è quello di dimostrare l'efficacia, in termini di riduzione dei consumi energetici, di una serie di interventi di riqualificazione del sistema edificio-impianto ad uso residenziale. Successivamente saranno valutati e messi a sistema gli aspetti economici di realizzazione degli interventi e le opportunità di risparmio energetico. Il tutto con l'utilizzo dello strumento di diagnosi energetica, effettuata attraverso l'ausilio di un software di simulazione dinamica del sistema.

2 Metodologia e obiettivi

All'interno di questo capitolo vengono descritte le metodologie e gli obiettivi della diagnosi energetica, definendo in cosa essa consiste, specificando quali sono i dati utili a condurre l'analisi e i risultati ottenibili. È importante sottolineare la differenza che intercorre tra diagnosi energetica e certificazione energetica, poiché la prima consiste anche nell'individuare appropriate soluzioni che conducano al risparmio energetico, compiendo uno studio approfondito sulle modalità di utilizzo dell'energia. Verrà in seguito illustrato il quadro normativo di riferimento su cui si basa la diagnosi energetica dell'edificio, specificando dettagliatamente le fasi del processo di diagnosi e l'analisi dei dati ottenibili.

2.1. Diagnosi energetica

Per diagnosi energetica si intende una procedura sistematica che si propone di definire il bilancio energetico del sistema edificio-impianto e individuare i possibili risparmi e/o recuperi delle energie disperse; valutare le condizioni di benessere termigrometrico necessarie ad individuare appropriate soluzioni di risparmio energetico; valutarne le opportunità dal punto di vista tecnico-economico ed ottimizzare le modalità di gestione del sistema edificio-impianto (contratti di fornitura di energia, modalità di conduzione, ecc.) ai fini di ridurre i costi. [6]

2.2. Differenza rispetto alla certificazione energetica

Diagnosi e certificazione energetica offrono entrambe una caratterizzazione energetica di un sistema edificio/impianto, ma hanno obiettivi, condizioni al contorno e competenze richieste differenti. La certificazione energetica ha come obiettivo principale quello di rappresentare in forma più semplice possibile una qualità energetica di un sistema edificio/impianto riferita a condizioni standard normalizzate. La finalità ultima è quella della confrontabilità, ovvero della definizione di una prestazione energetica rispetto ad una metodologia standardizzata e dell'inserimento di questa in una scala di classificazione, in modo da comprendere se la prestazione energetica dell'edificio è elevata e quindi rappresentante un valore aggiunto per l'immobile. L'obiettivo quindi in questo caso non è definire tecnicamente un intervento di miglioramento, quanto descrivere genericamente una soluzione di risparmio energetico.

La diagnosi energetica si pone l'obiettivo di effettuare un'analisi approfondita e sistematica sulla quantificazione e le modalità di utilizzo dell'energia al fine di valutare le potenziali soluzioni di risparmio energetico secondo una logica di miglior rapporto

costi-benefici. Si tratta, quindi, di esaminare il comportamento “reale” del sistema edificio-impianto, analizzando i dati storici di consumo, i profili di utilizzo specifici, le condizioni climatiche, le tipologie impiantistiche presenti in modo da costruire un modello energetico dell’edificio che rispecchi l’effettivo utilizzo dell’energia. La metodologia di calcolo non può più quindi essere standardizzata, ma deve adattarsi alle diverse condizioni al contorno di ciascun edificio ed al grado di approfondimento che si vuole ottenere. La finalità ultima di una diagnosi energetica è la valutazione delle possibili Opportunità di Risparmio Energetico (ORE), secondo un’analisi non incentrata soltanto sul risparmio puramente energetico, ma su un insieme di criteri (economici, energetici, ambientali, di immagine) a cui viene dato un peso diverso in relazione alle esigenze della committenza.

2.3. Calcolo dinamico orario

Per l’edificio oggetto di studio la diagnosi energetica è stata effettuata utilizzando il motore di simulazione dinamica del software TermoLog. Il calcolo dinamico orario consente infatti, rispetto al calcolo in regime stazionario e/o semi-stazionario, di valutare con più precisione il fabbisogno dell’edificio, permettendo di tener conto del reale profilo di utilizzo di quest’ultimo così come dell’effettiva incidenza degli apporti.

Il calcolo in regime stazionario è applicabile a qualsiasi periodo, ma non tenendo conto dell’inerzia del sistema risulta meno accurato, esso è quindi riferito all’intervallo temporale di simulazione della stagione di riscaldamento o di raffrescamento. Nel caso di simulazione energetica semi-stazionaria, il metodo è definito dalla normativa UNI/TS 11300 la cui applicazione è obbligatoria in Italia per la verifica dei requisiti legislativi. L’intervallo temporale in questo caso coincide con un singolo mese, tenendo conto degli effetti capacitivi dell’involucro per mezzo di coefficienti di utilizzazione. La differenza di queste due tipologie rispetto al calcolo dinamico orario consiste nell’adottare un modello numerico semplificato, all’interno del quale si prevede un trasferimento di energia tra edificio e ambiente esterno in condizioni fisse, sono quindi mantenute costanti sia le modalità di utilizzo dell’edificio come occupazione e apporti interni, sia le condizioni climatiche. Si prevede quindi l’utilizzo di condizioni al contorno interne ed esterne semplici, basate su parametri standard. La semplificazione riguarda sia il clima esterno, dove si usano condizioni climatiche medie stagionali o mensili per le temperature e per le irradiazioni solari, sia per le condizioni di utilizzo interne che sono anch’esse medie stagionali o mensili e standardizzano i valori in funzione della destinazione d’uso. Questo tipo di modello può comportare un grado, più o meno elevato, di incertezza ma prevede una simulazione semplice, che restituisce valori standardizzati.

Con il metodo del calcolo dinamico orario la simulazione viene effettuata sulla base di intervalli temporali più brevi rispetto ai metodi appena descritti. La procedura di calcolo del metodo dinamico orario per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici è definita dalla norma UNI EN ISO 52016, pubblicata in Italia il 1° marzo 2018. Nel mese di gennaio 2019 la Commissione Tecnica 202 del Comitato Termotecnico Italiano ha approvato l'Appendice nazionale italiana che modifica in modo importante il modello di calcolo delle strutture utilizzato dalla norma europea, proponendo una soluzione ancora più dettagliata. Il metodo di calcolo dinamico della norma europea EN ISO 52016 è basato su un modello a parametri concentrati RC (resistenza capacità) dove ogni elemento disperdente viene rappresentato tramite un circuito equivalente RC a parametri concentrati costituito da un numero fisso di nodi, resistenze e condensatori, pertanto, non rappresenta il numero di strati reali della struttura. Questo vuole dire che qualsiasi tipo di stratigrafia con qualsiasi numero di strati e tipologia di materiale deve essere ricondotto ad una tipologia standard, in funzione della distribuzione della massa. La versione italiana, sulla quale si è basata la modellizzazione dei casi trattati con l'utilizzo del software TermoLog, sviluppata dalla commissione tecnica UNI/CTI 202, si distingue per il miglioramento del modello RC delle strutture opache implementato nella norma EN ISO 52016, al fine di poter meglio rappresentare le stratigrafie delle pareti. Questo ha portato allo sviluppo di un modello molto più elaborato dove il numero di nodi è variabile ed è legato alla reale composizione e sequenza di materiali della parete. Per determinare il modello italiano rappresentativo della struttura opaca si seguono questi quattro passaggi:

- Si determina il numero di Fourier per ciascuno strato di materiale, in funzione delle caratteristiche termiche dello strato;
- Si calcola il numero di nodi di capacità di ciascuno strato: questo numero è al minimo pari ad 1 e rappresenta il numero di nodi di calcolo in cui verrà suddiviso un singolo strato nell'analisi dinamica con l'appendice italiana. Questo significa che al minimo il modello RC italiano ha un numero di nodi pari al numero di strati che compongono l'elemento opaco;
- Si aggiungono due nodi: il nodo interno e il nodo esterno. Ciò vuol dire che i nodi totali di una struttura saranno pari al numero totale di nodi di capacità più 2;
- Si determinano le capacità ai nodi e le resistenze intermedie.

Il modello italiano in tal modo è in grado di superare i problemi legati alla semplificazione del modello europeo EN ISO 52016 che non è in grado di distinguere tra una parete con un cappotto ad alta inerzia termica ed una con un cappotto a bassa inerzia termica [7]. Con il metodo del calcolo dinamico orario vengono quindi tenute in considerazione le caratteristiche capacitive dell'involucro edilizio, come ad esempio l'inerzia termica delle chiusure opache. I modelli di calcolo dinamico richiedono però

molti più dati, non solo riguardo le caratteristiche geometriche e termofisiche dell'edificio o delle prestazioni dell'impianto, ma anche riguardo i dati climatici del luogo. È possibile monitorare l'andamento della temperatura interna dell'aria nell'intero arco della giornata per evitare che gli apporti solari assieme agli apporti dovuti alle attività umane nei periodi di occupazione dei locali provochino fenomeni di surriscaldamento indesiderato. I tempi necessari per l'elaborazione, inoltre, si allungano notevolmente perché non solo vengono gestiti molti più dati ma vengono calcolate tutte le interazioni tra l'ambiente interno e quello esterno e tra tutti gli ambienti con diversi profili di utilizzo e con diversi modelli di gestione impiantistica. Con un modello di simulazione dinamica si possono ottenere quindi diversi vantaggi, tra i quali:

- Un bilancio energetico estivo ed invernale più realistico;
- Una valutazione previsionale dei consumi di energia primaria;
- Una valutazione dei parametri ambientali (temperatura, umidità relativa, velocità dell'aria);
- Una più corretta valutazione delle potenze termiche dei componenti sia in inverno che in estate;
- Una valutazione più corretta degli effetti della radiazione solare, in quanto viene simulato il percorso solare ora per ora;
- Una valutazione più corretta degli effetti dei sistemi di ombreggiamento o degli effetti delle ombre portate dagli altri edifici;
- Una valutazione corretta degli apporti energetici dovuti ai componenti bioclimatici come serre o sistemi a guadagno diretto;
- Una valutazione delle prestazioni energetiche di involucri particolari come facciate a doppia pelle o pareti ventilate.

2.4. Inquadramento legislativo e normativo

Ogni singolo stato membro ha recepito autonomamente a livello nazionale, con lo scopo di conseguire gli obiettivi di efficienza energetica imposti a livello europeo, le direttive europee, come ad esempio:

- Direttiva 2002/91/CE riguardante l'efficienza energetica nell'edilizia, recepita il 19 agosto 2005 dal Decreto Legislativo 192 e successive modificazioni;
- Direttiva 2006/32/CE, concernente l'efficienza energetica negli usi finali e i servizi energetici, che si inserisce nel quadro delle azioni necessarie per adempiere agli obiettivi del Protocollo di Kyoto; recepita a livello italiano col Decreto Legislativo 30 maggio 2008 n. 115.

La direttiva 2002/91/CE è stata abrogata, il 1° febbraio 2012 dalla direttiva 2010/31/CE, che apporta rispetto alla legislazione precedente importanti novità:

- Promuovere il miglioramento della prestazione energetica degli edifici all'interno dell'Unione europea, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi;
- Introdurre l'edificio di riferimento ai fini del calcolo dei requisiti minimi di prestazione energetica che ogni singolo edificio deve conseguire;
- Prevedere che gli Stati membri promuovano sistemi di misurazione e di controllo intelligenti e automatizzati;
- Prevedere che, entro il 31 dicembre 2020, tutti gli edifici di nuova costruzione fossero "edifici a energia quasi zero".

Per quanto concerne la diagnosi energetica, a livello europeo la Direttiva 2012/27/UE enuncia che gli Stati membri devono promuovere la disponibilità, per tutti i clienti finali, di diagnosi energetiche di elevata qualità, efficaci in rapporto ai costi.

Nel D.Lgs. 115/08 "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE" vengono toccati vari aspetti concernenti la diagnosi energetica.

All'articolo 13 viene previsto l'obbligo di diagnosi energetiche degli edifici pubblici o ad uso pubblico, in caso di interventi di ristrutturazione degli impianti termici o di ristrutturazioni edilizie che riguardino almeno il 15% della superficie esterna dell'involucro edilizio che racchiude il volume lordo riscaldato.

All'articolo 16 è prevista l'approvazione con uno o più decreti del Ministro dello sviluppo economico, a seguito dell'adozione di apposita norma tecnica da parte dell'UNI-CEI, di una procedura (di certificazione) per le diagnosi energetiche.

All'articolo 18 vengono previste una serie di misure che riguardano:

- La definizione da parte dell'Agenzia nazionale per l'efficienza energetica (funzione svolta dall'ENEA) delle modalità con cui assicurare la disponibilità di sistemi di diagnosi energetica efficaci e di alta qualità destinati a individuare eventuali misure di miglioramento dell'efficienza energetica applicate in modo indipendente a tutti i consumatori finali, prevedendo accordi volontari con associazioni di soggetti interessati (comma 1);
- La predisposizione, da parte dell'Agenzia, di altre misure – quali i questionari e programmi informatici disponibili su internet o inviati per posta – per i segmenti del mercato aventi costi di transazione più elevati e per strutture non complesse, garantendo comunque la disponibilità delle diagnosi energetiche per i segmenti di mercato in cui esse non sono commercializzate (comma 2).

Nell'Allegato 3 vengono indicate le specifiche tecniche da adottare per le metodologie di calcolo per l'esecuzione delle diagnosi energetiche degli edifici ("Metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici e degli impianti"):

- UNI/TS 11300 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- UNI/TS 11300 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2-1: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria nel caso di utilizzo dei combustibili fossili;
- UNI/TS 11300 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2-2: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria nel caso di utilizzo di energie rinnovabili (solare termico, solare fotovoltaico, bio-masse); utilizzo di altri sistemi di generazione (cogenerazione, teleriscaldamento, pompe di calore elettriche e a gas).

Nel DPR 59/09, "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia", viene confermato, per potenze nominali al focolare ≥ 100 kW e in caso di:

- Nuova installazione di impianti termici;
- Ristrutturazione integrale di impianti termici;
- Sostituzioni di generatori di calore.

l'obbligo di allegare alla relazione tecnica una diagnosi energetica dell'edificio e dell'impianto. In tale diagnosi vanno individuati gli interventi di riduzione della spesa energetica con i relativi tempi di ritorno degli investimenti, e i possibili miglioramenti di classe dell'edificio.

Nel D.M. 26 giugno 2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici", all'articolo 8 dell'Allegato A viene riportata la procedura di certificazione energetica degli edifici che comprende il complesso di operazioni svolte dai Soggetti certificatori quali:

- L'esecuzione di una diagnosi, o di una verifica di progetto;
- La classificazione dell'edificio in funzione degli indici di prestazione energetica;
- Il rilascio dell'attestato di certificazione energetica.

Tra i diversi riferimenti legislativi e normativi utilizzati per lo svolgimento della diagnosi energetica sono presenti anche:

- D.Lgs 192/2005 (Ex Legge 10/91): Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia;

- UNI EN ISO 13791:2005: Prestazione termica degli edifici - Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione - Criteri generali e procedure di validazione;
- UNI EN ISO 15927-4:2005: Prestazione termo-igrometrica degli edifici - Calcolo e presentazione dei dati climatici - Parte 4: Dati orari per la valutazione del fabbisogno annuale di energia per il riscaldamento e il raffrescamento;
- UNI EN 15265:2008: Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti mediante metodi dinamici - Criteri generali e procedimenti di validazione.
- UNI EN ISO 52016: Il calcolo dinamico orario

2.5. Fasi del processo di diagnosi

È necessario raccogliere le informazioni al fine di acquisire i dati necessari per una comprensione preliminare del sistema edificio-impianto. Si richiedono, quindi, i dati storici relativi ai consumi energetici, i documenti di progetto, di funzionamento e di mantenimento; i contratti di fornitura energia ed i relativi costi correnti. Il secondo scopo di questa fase è l'esecuzione di revisione dei dati ed un'analisi preliminare dell'edificio per stabilire le principali modalità operative. Tra i dati storici sui consumi energetici saranno presenti:

- L'energia da fatturazione richiesta, prodotta e/o esportata;
- Il consumo energetico da letture e/o contatori;

Tra i fattori correttivi troviamo:

- I gradi giorno del periodo di riscaldamento/raffrescamento;
- La destinazione d'uso;
- Il numero di persone occupanti l'edificio;
- La superficie lorda e netta, volume lordo, volume riscaldato, ecc;
- I profili di funzionamento dei sistemi/sottosistemi impiantistici.

Tra i documenti di progetto, di funzionamento e di manutenzione sono considerati:

- La planimetria architettonica dell'edificio, prospetti, sezioni, dettagli esecutivi di involucro;
- Gli as-built impiantistici, relazione ex articolo 28 della Legge 10, schemi funzionali impianti meccanici ed elettrici, Attestato di Certificazione Energetica;
- I dati e schede tecniche dei sistemi e/o sottosistemi impiantistici.

Inoltre, si raccolgono i documenti e le informazioni delle ristrutturazioni, cambiamenti o riqualificazioni significative avvenute negli ultimi anni:

- Riqualificazione dell'involucro edilizio;
- Riqualificazione dei sistemi impiantistici;

- Installazione di sistemi per la produzione da Fonti Energetiche Rinnovabili (FER).

2.6. Analisi dei dati e report

Una volta effettuata la raccolta dei dati e delle informazioni, sarà necessario esaminarne in dettaglio l'insieme, al fine di individuare le ORE (Opportunità di Risparmio Energetico) ed i relativi scenari di intervento per il miglioramento dell'efficienza energetica dell'edificio in funzione dell'ambito di intervento e degli obiettivi dell'edificio. L'analisi consiste nel ricavare i seguenti principali elementi:

- Un bilancio ed un diagramma dei flussi energetici suddivisi per servizio e per modalità di approvvigionamento, diagramma temporale della domanda di energia;
- Relazioni fra i consumi ed i fattori che ne influenzano le variazioni;
- Indicatori di prestazione energetica da fatturazione, da modello e di benchmark e confronto tra essi;
- Evidenza di qualsiasi cambiamento delle prestazioni occorso nel tempo;
- Individuazione delle ORE e degli scenari di intervento, confronto multicriterio dei potenziali risparmi in termini di consumi energetici e costi, compatibili con gli obiettivi e la tipologia di diagnosi;
- Possibili interazioni fra azioni multiple di Opportunità di Risparmio Energetico.

Al termine della diagnosi, sarà necessaria la redazione di un report, il quale avrà la finalità di spiegare tecnicamente al committente le condizioni energetiche esistenti del sistema edificio-impianto (involucro, impianti termici, illuminazione) e i possibili interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche (ORE e scenari di intervento) in funzione degli obiettivi di diagnosi. Il report andrà compilato tenendo in considerazione che:

- Il rapporto di diagnosi abbia, oltre ad un'estesa parte tecnica, una parte informativa di facile interpretazione da parte della committenza;
- Siano riportati i riassunti dei rilievi eseguiti durante lo svolgimento della diagnosi, commentando la qualità e coerenza dei dati, la ratio delle misure eseguite e come contribuiscano all'analisi;
- Siano indicati se i risultati sono basati su calcoli, simulazioni o stime;
- Sia riassunto il procedimento di analisi, specificando ogni ipotesi;
- Siano indicati i limiti di accuratezza della stima dei risparmi e dei costi di realizzazione degli interventi.

3 Caso studio

Nel seguente capitolo vengono riportate le caratteristiche geometriche e impiantistiche dell'edificio oggetto di studio necessari allo sviluppo della diagnosi energetica.

3.1. Rilievo e raccolta delle informazioni

Per poter disporre di tutti i dati necessari a compiere la diagnosi energetica dell'edificio sono stati effettuati dei rilievi geometrici e fotografici in sito (Figure 2-3-4-5). Tramite l'utilizzo di misuratori laser sono state ottenute le caratteristiche geometriche dell'edificio, sia delle superfici delle singole unità immobiliari che delle superfici esterne, rappresentandole graficamente sottoforma di elaborati digitali (Allegati I-II-III-IV Piante e Prospetti). È stata richiesta all'amministrazione dell'edificio la documentazione riguardante la composizione delle stratigrafie delle chiusure e delle partizioni orizzontali e verticali, nonché la tipologia dei serramenti presenti (Allegato V Stratigrafie stato di fatto).



Figura 2 – Prospetto Nord



Figura 3 – Prospetto Sud



Figura 4 – Prospetto Ovest



Figura 5 – Prospetto Est

La raccolta delle informazioni è proseguita nella definizione della tipologia e il funzionamento degli impianti della quale è dotata l'edificio. Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento, l'oggetto di studio è caratterizzato da un sistema di teleriscaldamento, i quali dati di impianto sono stati reperiti tramite richiesta diretta all'ente gestore "A2A S.p.A." e riportati nel paragrafo 3.6. La climatizzazione estiva è assolta da impianti autonomi per ogni unità immobiliare, pertanto, durante la modellizzazione è stata ipotizzata una tipologia uniforme di impianti autonomi costituiti da pompe di calore aria-aria di tipo split. Ai fini di una corretta definizione dello stato di fatto dell'edificio sono state raccolte le informazioni inerenti alle bollette dei consumi energetici annuali. È stato possibile reperire i dati riferiti alla stagione termica che va dal giorno 01/05/2021 al giorno 30/04/2022 (Allegato VI Bolletta stagione termica 2021/2022), si riporta di seguito in Tabella 2 il riepilogo dei consumi totali dell'anno di riferimento.

Bolletta stagione termica 2021/2022		
Consumo riscaldamento + acs	452'586	kWht
Totale costo riscaldamento + acs	71'052	euro
Consumo energia elettrica	18'378	kWhe
Totale costo energia elettrica	4'192	euro

Tabella 2 – Riepilogo dei consumi totali dell'edificio

3.2. Inquadramento

L'edificio oggetto di studio è un condominio ad uso residenziale, situato nella città di Lodi, in Via Cristoforo Colombo n°5, in un quartiere residenziale periferico. Il fabbricato è stato realizzato nell'anno 1983 e si sviluppa per otto piani fuori terra e un piano interrato fuori sagoma, destinato ad autorimessa. (Allegati I-II-III-IV Piante e Prospetti).

Il lotto oggetto di studio si trova in una realtà di espansione edilizia e di conseguenza, in un contesto di future nuove costruzioni e ristrutturazioni, di seguito sono riportate le immagini di inquadramento dell'edificio oggetto di studio (Figure 6-7-8-9). [8]

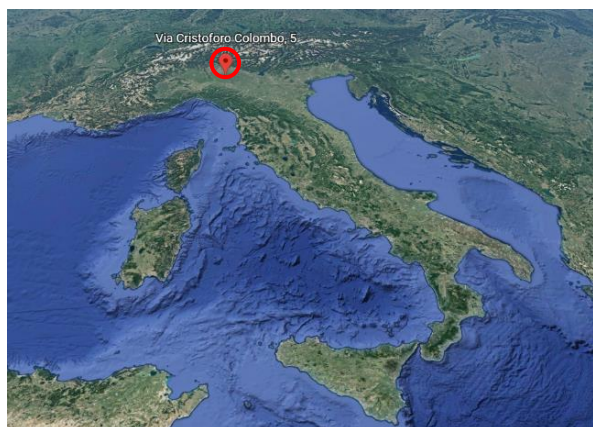


Figura 6 – Inquadramento scala nazionale



Figura 7 – Inquadramento scala urbana

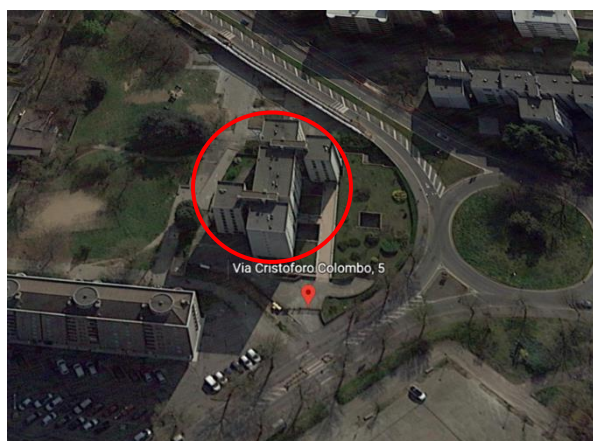


Figura 9 – Lotto oggetto di studio

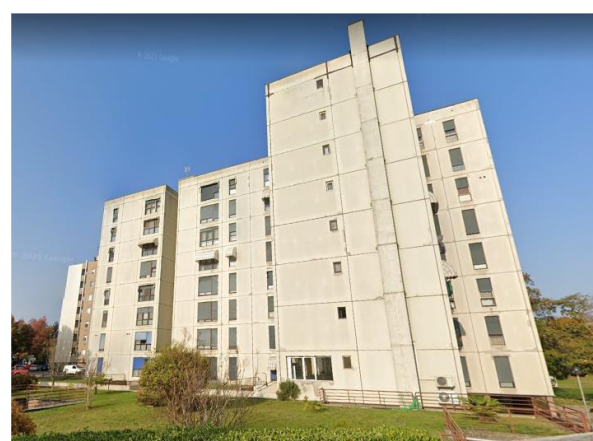


Figura 8 – Edificio oggetto di studio

3.3. Dati climatici

I dati climatici dei capoluoghi di provincia italiani sono contenuti all'interno della norma UNI 10349 [9] . Si riportano i dati della provincia della città di Lodi:

Zona climatica	E
Gradi-Giorno	2'592
Temperatura invernale esterna di progetto	-5 °C
Temperatura invernale interna di progetto	20 °C
Temperatura estiva esterna di progetto	34 °C
Temperatura invernale interna di progetto	26 °C

3.4. Caratteristiche geometriche dell'edificio

Dati geometrici:

- Superficie riscaldata/raffrescata 4'062 m²
- Volume riscaldato/raffrescato 14'364 m³
- Superfici disperdenti 6'405 m²
- Superficie copertura 656 m²

Ognuno degli otto piani fuori terra è composto da 6 appartamenti. In Figura 10 viene mostrata la rappresentazione di un piano tipo, seguita dalla Tabella 3 riportante i dati geometrici delle corrispondenti unità immobiliari:

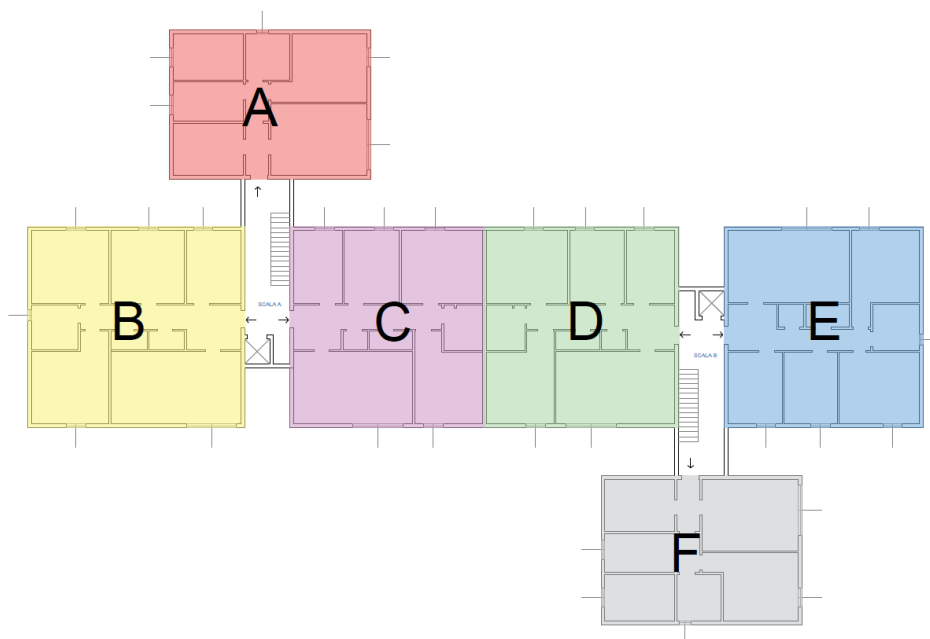


Figura 10 – Rappresentazione pianta piano tipo

APPARTAMENTO A	
Locale	Sup. [m ²]
Ingresso	3,2
Soggiorno	18,1
Disimpegno	2,4
Cucina	9,9
Bagno	7,5
Camera 1	14,5
Camera 2	14,5
Tot.	70,1

APPARTAMENTO B	
Locale	Sup. [m ²]
Ingresso	9,3
Soggiorno	24,8
Bagno 1	4,4
Cucina	10,5
Bagno2	5,5
Camera 1	14,1
Camera 2	14,7
Camera 3	16,3
Ripostiglio	2,5
Tot.	102,1

APPARTAMENTO C	
Locale	Sup. [m ²]
Ingresso	9,3
Soggiorno	22,7
Bagno 1	4,4
Cucina	9,3
Bagno2	5,5
Camera 1	10,5
Camera 2	15,6
Camera 3	14,3
Ripostiglio	2,5
Tot.	94,1

APPARTAMENTO D	
Locale	Sup. [m ²]
Ingresso	9,3
Soggiorno	22,7
Bagno 1	4,4
Cucina	9,3
Bagno2	5,5
Camera 1	10,5
Camera 2	15,6
Camera 3	14,3
Ripostiglio	2,5
Tot.	94,1

APPARTAMENTO E	
Locale	Sup. [m ²]
Ingresso	9,3
Soggiorno	24,8
Bagno 1	4,4
Cucina	10,5
Bagno2	5,5
Camera 1	14,1
Camera 2	14,7
Camera 3	16,3
Ripostiglio	2,5
Tot.	102,1

APPARTAMENTO F	
Locale	Sup. [m ²]
Ingresso	3,2
Soggiorno	18,1
Disimpegno	2,4
Cucina	9,9
Bagno	7,5
Camera 1	14,5
Camera 2	14,5
Tot.	70,1

Tabella 3 – Riepilogo superfici unità immobiliari piano tipo

3.5. Stratigrafie delle chiusure

Si riportano le stratigrafie verso esterno e zone non riscaldate (Allegato V Stratigrafie stato di fatto):

- Chiusura verticale esterna ($U= 1,40 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

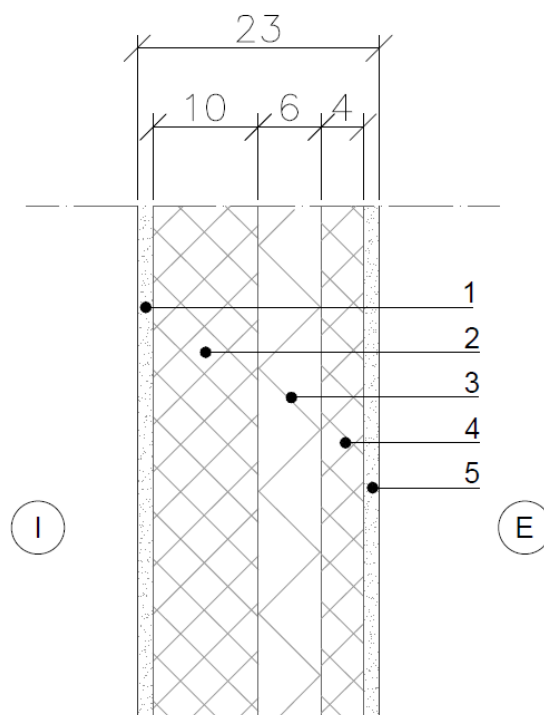


Figura 11 – Chiusura verticale esterna

N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m ² K/W]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
1	Intonaco	15,00	0,700	0,014
2	Pannello C.I.s. Prefabbricato	100,00	5,900	0,017
3	Isolante Polistirene	60,00	0,115	0,522
4	Pannello C.I.s. Prefabbricato	40,00	5,900	0,007
5	Intonaco	15,00	0,700	0,014
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040

Tabella 4 – Dati tecnici chiusura verticale esterna

- Chiusura verticale verso Corpo scale ($U= 2,73 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

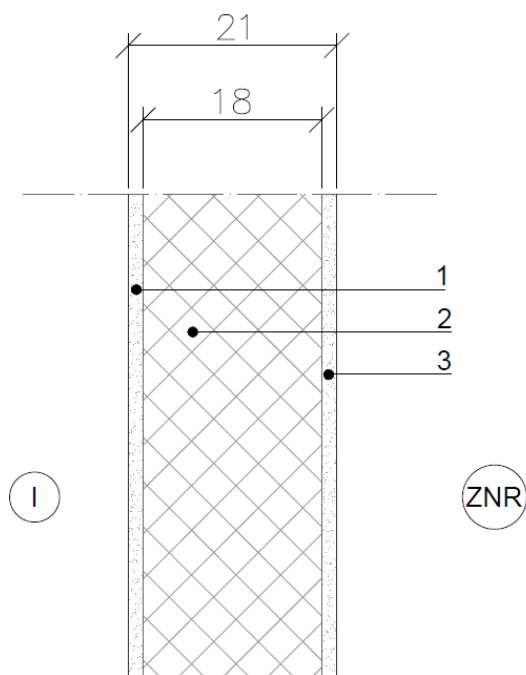


Figura 12 – Chiusura verticale verso zona non riscaldata

N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m ² K/W]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
1	Intonaco	15,00	0,700	0,014
2	C.l.s. armato	180,00	2,300	0,078
3	Intonaco	15,00	0,700	0,014
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130

Tabella 5 – Dati tecnici chiusura verticale vs zona non riscaldata

- Copertura piana ($U= 2,01 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

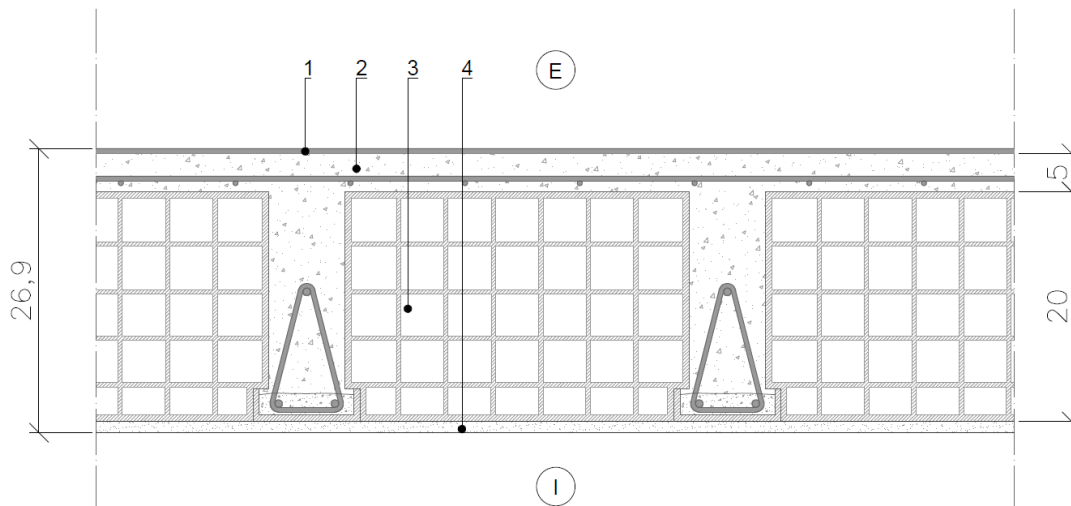


Figura 13 – Solaio di copertura piana

N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m ² K/W]
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040
1	Membrana bituminosa	4,00	0,170	0,024
2	Caldana	50,00	1,200	0,042
3	Soletta in latero-cemento	200,00	0,660	0,303
4	Intonaco	15,00	0,700	0,021
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,110

Tabella 6 – Dati tecnici solaio di copertura piana

- Solaio verso Piano box ($U=1,20 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

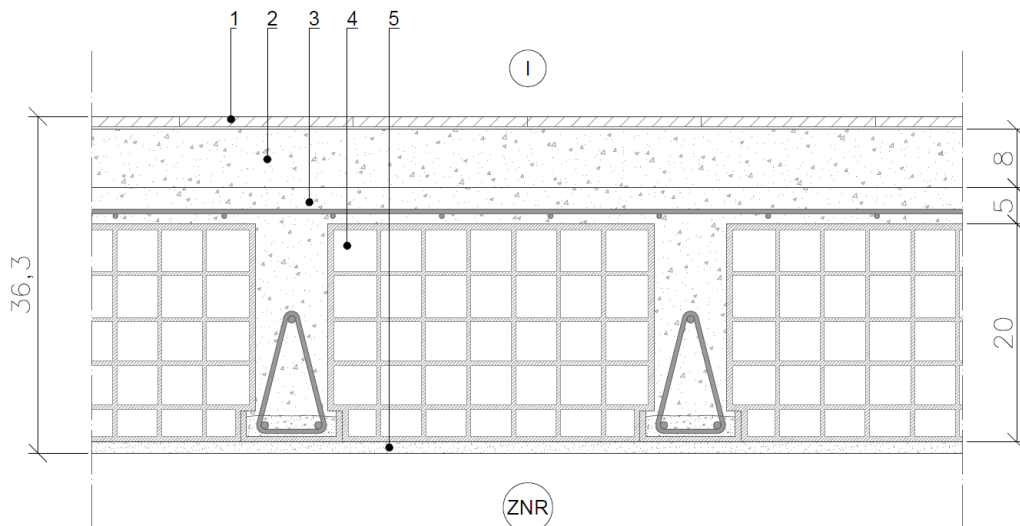


Figura 14 – Solaio verso zona non riscaldata

N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m ² K/W]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170
1	Pavimento in gress	15,00	1,300	0,012
2	Sottofondo di cemento magro	80,00	0,700	0,114
3	Caldana	50,00	1,200	0,042
4	Soletta in latero-cemento	200,00	0,660	0,303
5	Intonaco	15,00	0,700	0,021
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170

Tabella 7 – Dati tecnici solaio verso zona non riscaldata

- Serramento 260x220 mm ($U_w = 4,97 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

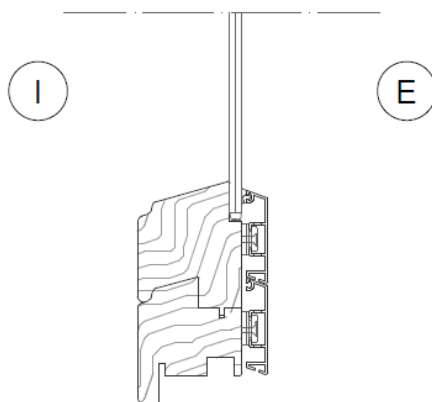


Figura 15 – Serramento in legno

N.	Descrizione strato	Area [m ²]	Trasm. [W/m ² /K]
1	Singolo vetro	4,64	5,746
2	Telaio in legno	1,08	1,900

Tabella 8 – Dati tecnici serramento in legno

- Serramento 90x220 mm ($U_w = 4,80 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

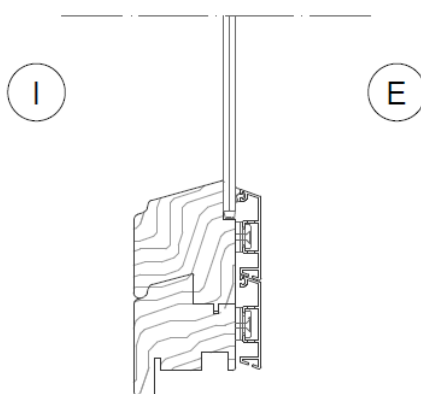


Figura 16 – Serramento in legno

N.	Descrizione strato	Area [m ²]	Trasm. [W/m ² /K]
1	Singolo vetro	1,56	5,746
2	Telaio in legno	0,42	1,900

Tabella 9 – Dati tecnici serramento il legno

3.6. Climatizzazione invernale e acqua calda sanitaria

La produzione di acqua calda per la climatizzazione invernale e per l'acqua calda sanitaria avviene tramite teleriscaldamento. Il teleriscaldamento consiste nella distribuzione di acqua calda attraverso una rete che parte dalla centrale di produzione, per svilupparsi nel territorio dove viene impiegata per il riscaldamento delle abitazioni. La rete è costituita da una doppia tubazione: una per la distribuzione del calore alle famiglie, l'altra per il ritorno dell'acqua raffreddata alla centrale (Figura 17). [10]

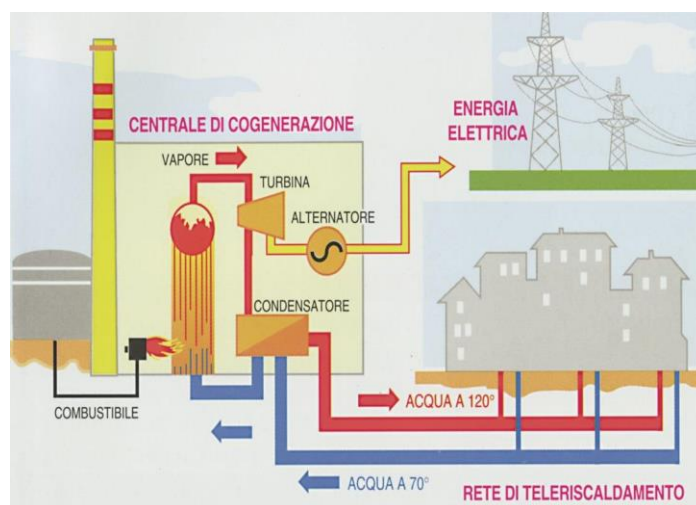


Figura 17 – Schema di funzionamento centrale di teleriscaldamento

Nel sistema di teleriscaldamento, la tradizionale caldaia non è più necessaria e viene sostituita da un semplice scambiatore termico, che preleva il calore dalla rete di teleriscaldamento per produrre acqua calda sanitaria e acqua calda per la climatizzazione invernale (Figura 18). [11]

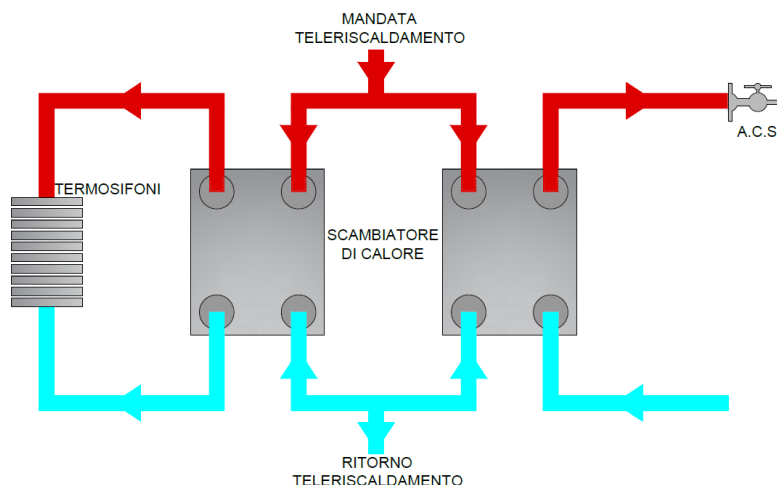


Figura 18 – Schema di funzionamento dello scambiatore di calore

Il sistema di teleriscaldamento a cui è collegato l'edificio in esame è gestito dalla società A2A S.p.A., si riporta la documentazione dell'impianto (Tabella 10-11):

Dati impianto	
Localizzazione	Lodi - Polo Universitario
Combustibile usato	Gas Metano
Dati impianto	Potenza elettrica installata: 4,2 MWe
	Potenza termica totale motori: 4,6 MWt
	Rendimento elettrico motori 41%
	Pompa di calore geotermica: 1,97 MWt - in fase di installazione
	Potenzialità massima totale caldaie: 29 MWt - a seguito del completamento dei lavori presso la centrale del tribunale sarà ridotta a 11 MWt
	Volume accumuli termici: n°2 serbatoi di accumulo termico da 150 m ² ciascuno
Unità di produzione	La centrale di cogenerazione è situata nei pressi del Polo Universitario di Medicina Veterinaria e Scienze della Produzione Animale localizzato vicino alla Tangenziale Sud. La centrale è dotata di due cogeneratori (che producono energia elettrica e calore), tre caldaie di integrazione e riserva ed un sistema di accumulo termico inerziale. Attualmente sono in corso due importanti interventi presso la centrale: il primo riguarda la posa di una pompa di calore geotermica in grado di fornire 1,97 MWt alla rete di teleriscaldamento cittadino; il secondo riguarda la dismissione di due delle tre caldaie attualmente sull'impianto, l'operazione inizierà una volta ultimati i lavori presso la centrale del Tribunale.

Tabella 10 – Scheda tecnica impianto di teleriscaldamento

Temperature di mandata e ritorno dell'acqua TR	Temperature di esercizio
Rete di Lodi	110-60°C

Tabella 11 – Temperature teleriscaldamento

Il gestore, inoltre, fornisce i fattori di conversione in energia primaria rinnovabile e non rinnovabile necessari per la certificazione energetica:

- $f_{P,nren}$ (fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile) = 0.66
- $f_{P,ren}$ (fattore di conversione in energia primaria rinnovabile) = 0.17
- Fattore di risparmio di emissioni di CO₂: -45 g CO₂/kWh

Lo scambiatore di calore per la produzione di acqua calda dell'edificio oggetto di studio possiede una potenza pari a 400 kW; è in grado di produrre acqua calda per il sistema di riscaldamento a 80° C che alimenta i radiatori ad alta temperatura.

Il teleriscaldamento presenta notevoli vantaggi dal punto di vista ambientale: favorisce un uso razionale delle risorse energetiche, si riducono i consumi di combustibili fossili e le risorse vengono sfruttate al meglio, un solo grande impianto sostituisce un gran numero di caldaie, meno efficienti economicamente e ad alto impatto ambientale. Inoltre, l'allaccio a teleriscaldamento, comporta l'assolvimento degli obblighi di utilizzo di fonti di energia rinnovabile stabiliti dal Decreto regionale della Lombardia 30/7/2015 [12] e dal Decreto Legislativo n.199 dell'8 novembre 2021 [13]. I due decreti stabiliscono che tutti gli edifici nuovi o sottoposti a ristrutturazioni importanti di primo livello devono essere ad energia quasi zero. Fra i requisiti è compreso l'obbligo di utilizzo di fonti di energia rinnovabile per:

- Il 60% del fabbisogno per acqua calda sanitaria;
- Il 60% della somma dei fabbisogni per acqua calda sanitaria e climatizzazione invernale ed estiva.

3.7. Climatizzazione estiva

L'edificio non presenta un impianto di climatizzazione estiva centralizzato. Ogni appartamento è dotato di un impianto di climatizzazione autonomo costituito da pompa di calore aria-aria di tipo split (Figura 19). [14]

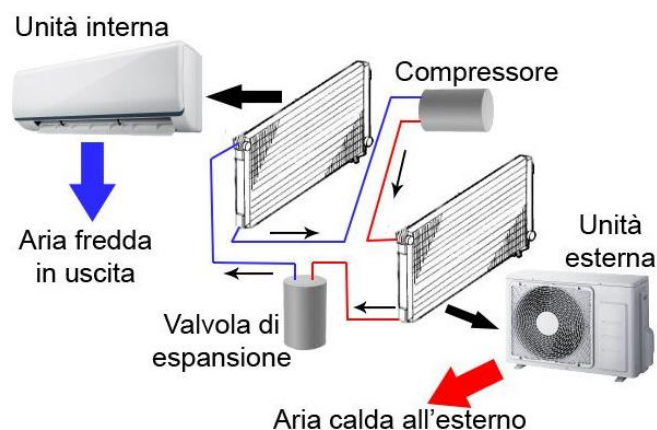


Figura 19 – Schema di funzionamento impianto di climatizzazione estiva

3.8. Criticità

L'edificio oggetto di intervento ad oggi non è caratterizzato da una buona resistenza termica, ciò comporta elevati consumi energetici e uno scarso benessere termoigrometrico. I sistemi impiantistici presenti non riescono pertanto a compensare le scarse prestazioni dell'involucro, generando aree di dis-comfort all'interno delle unità abitative e facendo registrare consumi molto elevati. Sarà quindi necessario studiare degli scenari in cui verrà ipotizzato un efficientamento energetico dell'involucro edilizio, intervenendo principalmente su chiusure verticali esterne (trasmittanza termica $U= 1,40$ [$W/m^2/K$]), su chiusure orizzontali esterne (trasmittanza termica $U= 2,01$ [$W/m^2/K$]) e sui serramenti (trasmittanza termica $U_w= 4,97$ [$W/m^2/K$]). Si studierà, inoltre, un efficientamento impiantistico, ipotizzando diverse tipologie di impianti, tra cui sistemi ibridi caldaia – pompa di calore e impianto solare termico e fotovoltaico, al fine di migliorare i fabbisogni di energia rinnovabile.

3.9. Interventi proposti

Gli interventi analizzati sono i seguenti:

Involucro:

- Realizzazione del cappotto termico esterno;
- Sostituzione dei serramenti.

Impianto:

- Installazione di un impianto solare termico;
- Installazione di un impianto fotovoltaico;
- Per generalizzare il caso studio si ipotizza come sistema di generazione per l'acqua calda, in sostituzione del teleriscaldamento, una caldaia tradizionale per poi valutare i benefici che si hanno con l'installazione di un sistema ibrido caldaia – pompa di calore o solamente con una pompa di calore.

I casi di studio si possono così schematizzare in Tabella 12:

Scenari di intervento	A0	A1	A2	B0	B1	B2
Edificio non isolato	•			•		
Edificio isolato		•	•		•	•
Teleriscaldamento (TR)	•	•	•			
Impianto fotovoltaico (FV)					•	•
Impianto solare termico (ST)			•			
Caldaia tradizionale (CG)				•		
Sistema ibrido (IBR)					•	
Pompa di calore (PDC)						•
Radiatori ad alta temperatura	•	•	•	•		
Radiatori a bassa temperatura					•	•

Tabella 12 – Riepilogo scenari di intervento

Nei successivi capitoli i diversi casi studio saranno accompagnati da una sigla, al fine di rendere più immediato il riconoscimento degli interventi che li caratterizzano:

- A0 = TR non isolato
- A1 = TR
- A2 = TR-ST
- B0 = CG non isolato
- B1 = IBR-FV
- B2 = PDC-FV

4 Modellizzazione sistema edificio-impianto

Nel seguente capitolo viene illustrata la procedura di modellizzazione dell'involucro edilizio e dei sistemi impiantistici eseguita tramite il software TermoLog.

4.1. Presentazione del software

Per eseguire la diagnosi energetica dell'edificio è stato utilizzato il software TermoLog, il programma BIM per la certificazione, il progetto, la contabilizzazione e la diagnosi degli edifici dotato di motore di simulazione dinamica per la valutazione delle prestazioni energetiche. La procedura di modellazione si suddivide in una prima parte di modellazione dell'involucro edilizio e in una seconda parte di modellazione degli impianti.

4.2. Modellizzazione dell'involucro edilizio

Come primo passo è necessario impostare i parametri dell'edificio: indirizzo, tipologia di intervento e tipologie di impianti presenti. Successivamente si procede alla definizione delle stratigrafie che caratterizzano l'intero edificio (Figura 20).

Struttura	Codice	Tipo	Verso	S	A	U/ψ	C	Uso
▾ Pareti								
▸ Chiusura verticale esterna	PAR001	≡ Parete	Esterno	24,0	-	1,016	66,574	3.687,66
▸ Chiusura verticale interna vs scale	PAR002	≡ Parete	ZNR	20,0	-	2,819	82,919	821,48
▸ Partizione verticale interna	PAR003	≡ Parete	Interno	10,0	-	2,046	59,453	4.618,73
▸ Partizione verticale interna 2	PAR004	≡ Parete	Interno	20,0	-	1,354	61,736	245,26
▾ Porte								
▸ Porta ingresso appartamento vs v...	PORO...	≡ Porta	ZNR	5,3	-	1,174	7,905	100,80
▸ Porta interna 80x210	PORO...	≡ Porta	Interno	1,4	-	2,654	4,342	574,56
▾ Cassonetti								
▾ Pavimenti								
▸ Partizione orizzontale	PAV006	≡ Pavimento	Interno	36,0	-	1,260	55,738	3.701,07
▸ Partizione orizzontale vs box	PAV005	≡ Pavimento	ZNR	33,5	-	1,351	56,352	436,31
▸ Partizione orizzontale vs scale	PAV008	≡ Pavimento	ZNR	36,0	-	1,260	55,738	107,80
▾ Soffitti								
▸ Soffitto copertura	PAV009	≡ Soffitto Orizzontale	Esterno	26,9	-	2,011	80,662	544,28
▸ Soffitto interpiano	PAV007	≡ Soffitto Orizzontale	Interno	36,0	-	1,530	76,174	3.702,05
▾ Vetri								
▸ vetro singolo		≡ Vetro	Esterno	0,4	-	5,746	0,000	-
▾ Serramenti								
▸ Finestra 260x220	SER003	≡ Vetro singolo	Esterno	-	5,72	4,971		274,56
▸ Finestra 90x220	SER001	≡ Vetro singolo	Esterno	-	1,98	4,801		427,68

Figura 20 – Definizione delle stratigrafie all'interno del software

Una volta impostate le stratigrafie, vengono modellate le zone riscaldate dell'edificio, delimitando ogni singolo ambiente, chiusura e partizione (Figura 21); per poi suddividere l'edificio in unità immobiliari, specificando se esse confinano con un ambiente riscaldato, una zona non riscaldata o con l'esterno (Figura 22).

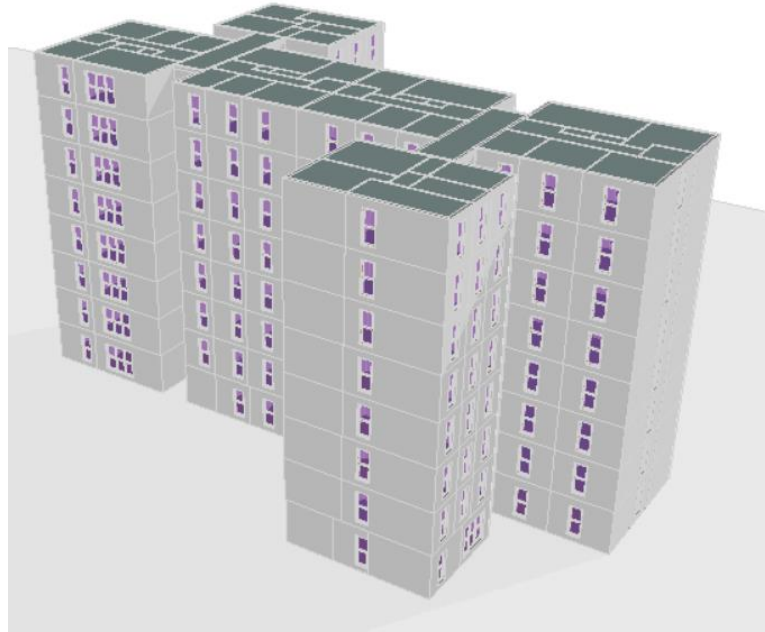


Figura 21 – Rappresentazione grafica dell'edificio da modello TermoLog



Figura 22 – Unità immobiliari pianta piano tipo

4.3. Modellizzazione impianti

In questa fase vengono definiti gli impianti con i relativi sistemi di generazione. Come descritto nel capitolo precedente, i terminali per la climatizzazione invernale sono radiatori ad alta temperatura. In base alla temperatura di mandata, alla superficie da riscaldare e all'isolamento delle chiusure, tramite il software, si ricava il la potenza termica che devono emettere gli elementi riscaldanti per mantenere la temperatura di comfort all'interno dell'ambiente. Nel caso studio dello stato di fatto bisogna quindi verificare che i radiatori esistenti siano in grado di generare la potenza termica richiesta che per un appartamento tipo vale 6.914 W (Figura 23). Essendo note le dimensioni ed il numero degli elementi dei radiatori pari a 73, così come la temperatura di mandata a 80°C e la temperatura di ritorno a 65°C, è stato possibile determinare la potenza termica di ogni elemento scaldante corrispondente ad un valore di 95 W. Il prodotto tra la potenza termica del singolo elemento scaldante e il numero complessivo degli elementi presenti in un appartamento tipo restituisce un valore di 6.935 W, pertanto, avendo ottenuto un valore maggiore della potenza termica richiesta di 6.914 W la verifica risulta soddisfatta.

Terminali di emissione			
Temperatura di mandata al terminale	$\theta_{f,des}$	80,0	°C
Temperatura di ritorno dal terminale	$\theta_{r,des}$	65,0	°C
Salto termico T	$\Delta\theta_{des}$	52,5	°C <small>Salto termico tra T media del fluido e la T ambiente</small>
Potenza termica di progetto emessa	$\phi_{e,des}$	6914,1	W <input type="checkbox"/> Calcola <input type="checkbox"/> Ricava i dati dai parametri dei terminali di emissione

Figura 23 – Prescrizioni terminali di emissione

Per la generazione dell'acqua calda sanitaria e dell'acqua calda per la climatizzazione invernale, bisogna impostare il generatore utilizzando i dati dell'impianto di teleriscaldamento presenti all'interno della scheda tecnica dell'ente gestore (Figura 24).

Nome	Teleriscaldamento_1	Anno costruzione	0
Combustibile	Combustibile per Teleriscaldamento		
Φ_{ss}	400,00 kW	<i>Potenza nominale della sottostazione</i>	
T media della sottostazione	Valore utente		
$\theta_{ss,w,avg}$	70,0 °C	<i>T media fluido nella sottostazione</i>	
T di installazione	Sottostazione in centrale termica		
$\theta_{a,ss}$	15,0 °C	<i>T ambiente di installazione della sottostazione</i>	
$k_{ss,env}$	0,300	<i>Fattore di recupero delle perdite</i>	
k_{ss}	30,000 W/K	<i>Fattore di perdita della sottostazione</i>	
$P_{Lss,env}$	0,640 %	<i>Fattore di perdita percentuale</i>	
Fattori di conversione in energia primaria dichiarati dall'ente gestore del teleriscaldamento			
fp,ren rinnovabile	0,17		
$fp,nren$ non rinnovabile	0,66		

Figura 24 – Impostazione generatore teleriscaldamento

Per quanto concerne la climatizzazione estiva, si procede inserendo all'interno del software i terminali seguiti dai sistemi di generazione. Nel caso studio ogni unità immobiliare possiede un impianto di raffrescamento autonomo, quindi, per ogni unità sono stati impostati i terminali con le relative potenze termiche (Figura 25) a cui sono stati associati i sistemi di generazione con le specifiche tecniche (Figura 26). A modellazione ultimata è possibile eseguire il calcolo di diagnosi attraverso il software, il quale restituisce come output i parametri prestazionali dell'edificio.

▷ Sistema di emissione - Raffrescamento

Terminale di erogazione

Rendimento emissione η_e Applica questi dati a tutte le altre zone?

✓ Copia

▷ Ausiliari elettrici

Categorie di terminali

Portata d'aria

Potenza elettrica W

Funzionamento ventilatore

✓ Copia

▷ Terminali di emissione

Potenza termica di progetto emessa $\phi_{e,des}$ W

Figura 25 – Terminali con relative potenze termiche

▷ Temperature di progetto

Clicca per importare un generatore dall'archivio

Temperatura b.u. dell'aria nell'ambiente interno °C

Temperatura bulbo secco dell'aria esterna °C Temperatura fissa ?

▷ Funzionamento

Fluido termovettore ?

Sorgente esterna ?

▷ RAFFRESCAMENTO: indici di prestazione e coefficienti di correzione

Potenza nominale kW Funzionamento ?

Figura 26 – Specifiche tecniche dei sistemi di generazione

5 Risultato simulazione caso A0 (TR-non isolato)

A modellazione compiuta si è proseguito con il calcolo di diagnosi, tramite il quale è stato possibile conoscere gli indicatori principali che influiscono sulle prestazioni energetiche. Nei paragrafi che seguono vengono riportati e commentati i risultati ottenuti dalla diagnosi energetica del caso studio.

5.1. Fabbisogni energetici

Come mostrato in Figura 27 è stata ottenuta una classe energetica D, con un valore corrispondente di fabbisogno globale $EP_{gl,nren} = 135,21 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$.

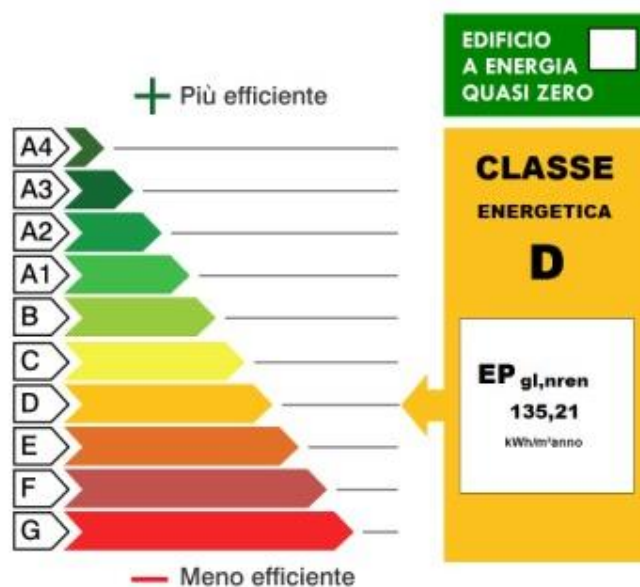


Figura 27 – Classe energetica dell'edificio

La maggior parte del fabbisogno energetico deriva dal riscaldamento dell'edificio (Tabella 13), infatti, è stato ottenuto un valore di fabbisogno di energia termica utile erogato dal sistema di emissione per il riscaldamento e acqua calda sanitaria pari a 151 kWh/m^2 .

Fabbisogni di energia termica utile [kWh/m²]	
EPH,nd	151,06
EPC,nd	11,66
Fabbisogni di energia primaria [kWh/m²]	
EPH,tot	144,85
EPC,tot	8,69
EPgl,tot	169,92

Tabella 13 – Fabbisogni di energia termica utile e primaria

Legenda	
EPH,nd	Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento [kWh/m ²]
EPC,nd	Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento [kWh/m ²]
EPH,tot	Fabbisogno totale di energia primaria per il riscaldamento [kWh/m ²]
EPC,tot	Fabbisogno totale di energia primaria per il raffrescamento [kWh/m ²]
EPgl,tot	Fabbisogno globale di energia primaria totale [kWh/m ²]

Da questa considerazione se ne può dedurre che l'edificio è principalmente inefficiente dal punto di vista dell'isolamento termico dell'involucro, coerentemente con la tipologia di stratigrafie e serramenti, i quali allo stato attuale si presentano poco efficienti e provviste di uno scarso isolamento termico. Questa deduzione è confermata dal fatto che l'impianto di teleriscaldamento, del quale è dotato l'edificio, è una soluzione impiantistica efficiente, pertanto, non contribuisce all'innalzamento dei valori di fabbisogno di energia termica utile.

Per quanto concerne i fabbisogni termici e primari, dal grafico in Figura 28 è possibile osservare che la quota parte di fabbisogno di energia rinnovabile è molto inferiore rispetto a quella non rinnovabile. Sarà quindi necessario adottare delle soluzioni che permettano di aumentare l'incidenza dei fabbisogni di energia primaria rinnovabile sul totale, migliorando le prestazioni dell'intero sistema.

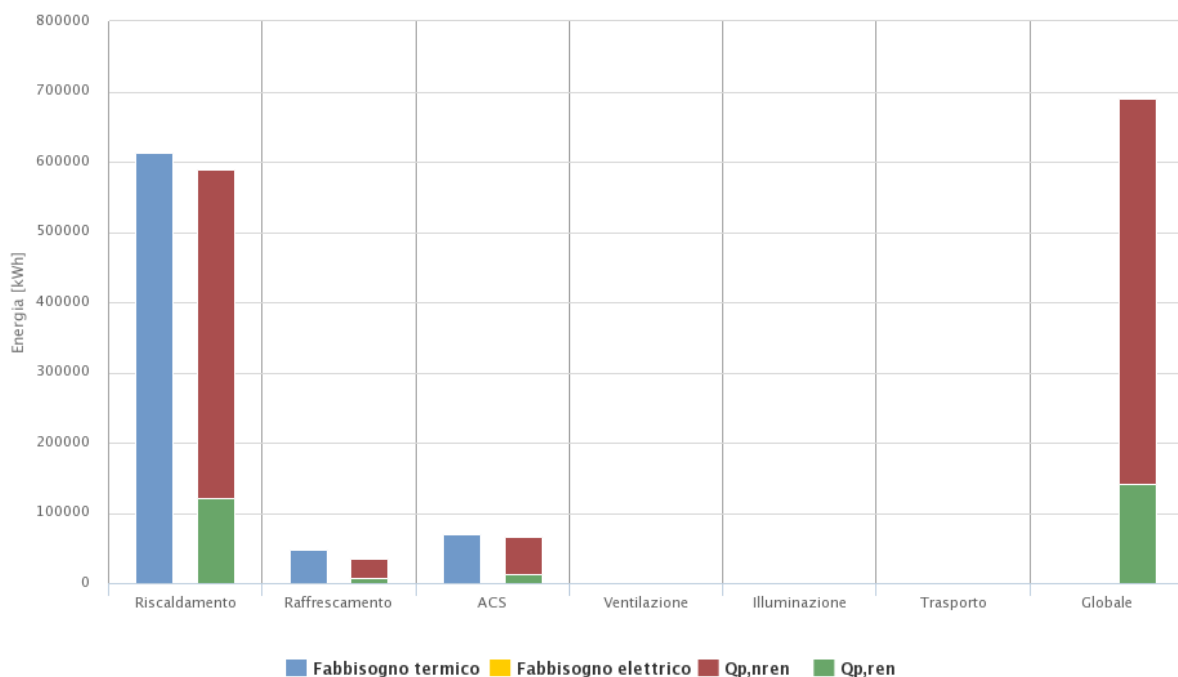


Figura 28 – Fabbisogni termici e fabbisogni energia primaria rinnovabile e non rinnovabile [kWh]

5.2. Dispersioni per scambio termico verso l'esterno

Analizzando i risultati ottenuti dal modello si può notare che il rapporto apporti-dispersioni è basso nel periodo invernale (Figura 29), dell'ordine di circa 0,4. Mentre il rapporto dispersioni-apporti è alto durante la stagione estiva, con un picco di circa 2,2; ciò porta a concludere che le dispersioni totali dell'edificio sono molto maggiori rispetto agli apporti, dovute per la maggior parte alle perdite per trasmissione verso l'esterno. Nelle simulazioni successive, l'obiettivo sarà quello di ottenere un valore dei rapporti fra dispersioni e apporti il più possibile prossimo all'unità, per mezzo dell'efficientamento delle stratigrafie e dei serramenti dell'involucro.

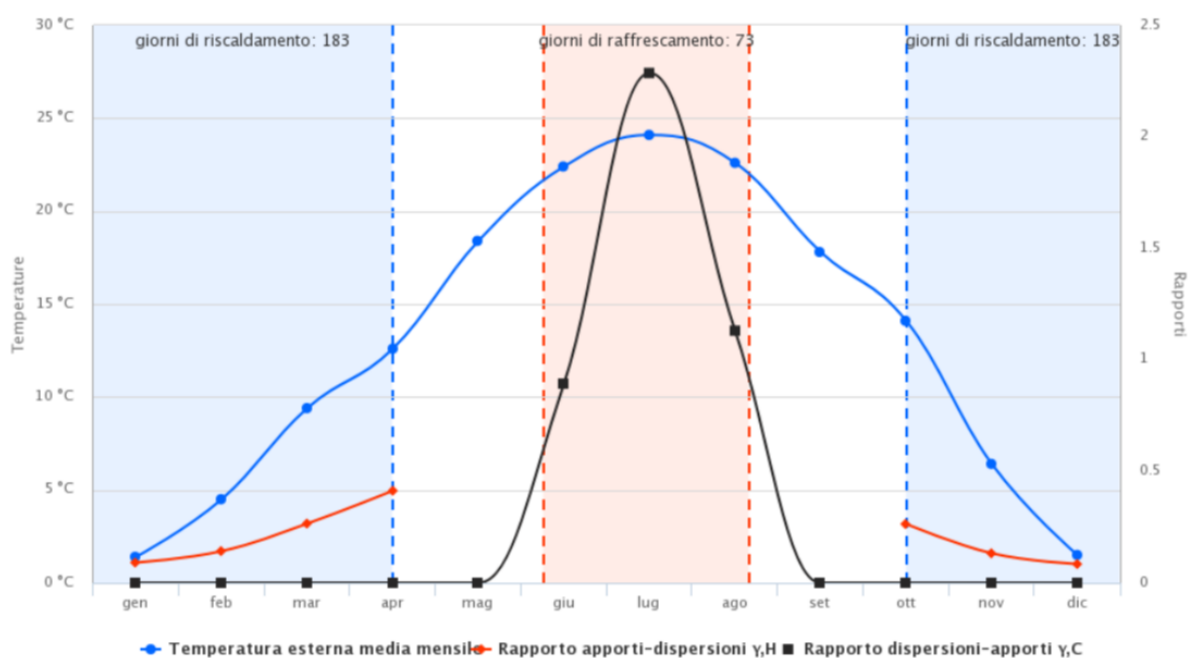


Figura 29 – Stagioni di riscaldamento e raffrescamento

Tali considerazioni sono in linea su quanto ci si aspettava dalla simulazione dell'edificio nella situazione esistente, tenendo conto degli alti valori di trasmittanza termica delle chiusure verticali esterne e dei serramenti (Figura 30). Il valore del coefficiente di scambio termico risulta di $H= 4'576,9 \text{ W/K}$ per le chiusure esterne verticali e $H= 3'417,8 \text{ W/K}$ per i serramenti. Allo stato attuale gli elementi tecnici dell'involucro non sono in grado di assolvere i limiti imposti dalla Normativa Nazionale "Legge 90". In Tabella 14 viene riportato il riepilogo delle tipologie di dispersioni più rilevanti a cui è soggetto l'edificio, le quali, come volevasi dimostrare, sono principalmente dovute alle dispersioni per trasmissione.

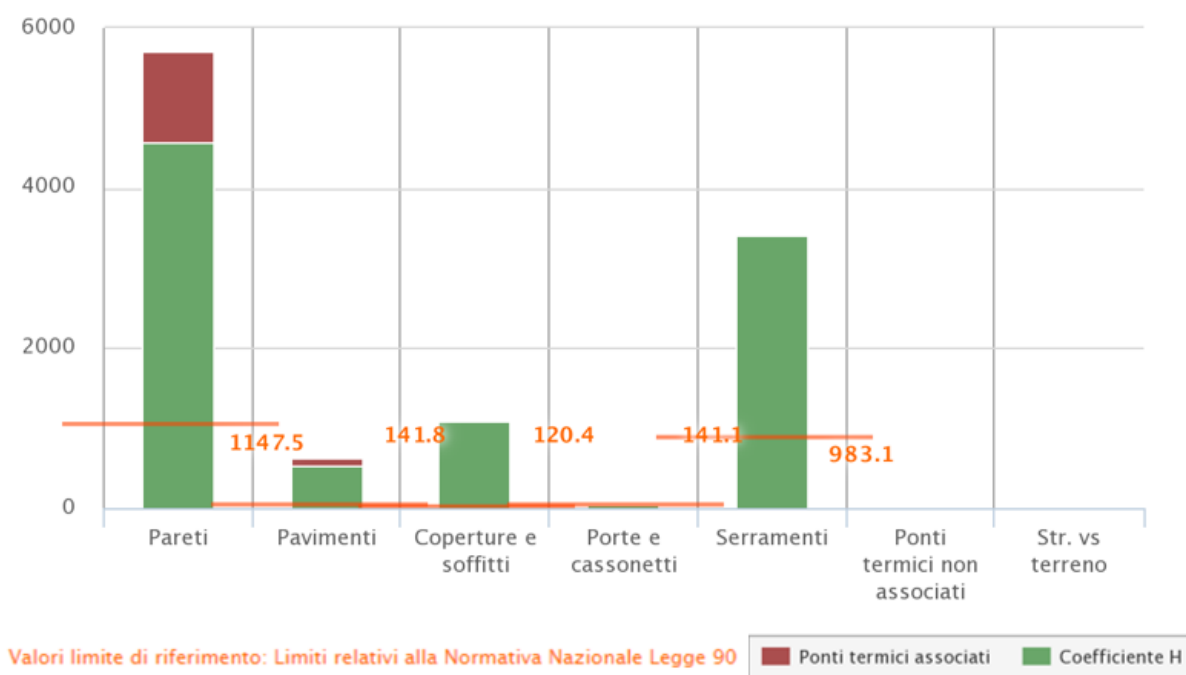


Figura 30 – Coefficiente di scambio termico per tipo di struttura [W/K]

Riepilogo dispersioni per ventilazione e trasmissione [W/K]			
Zona riscaldata	Hv	Hd	Htr
Totale	1'119	9'988	11'490

Tabella 14 – Riepilogo dispersioni per ventilazione e trasmissione

Legenda	
Hv	Coefficiente di scambio termico per ventilazione [W/K]
Htr	Coefficiente di scambio termico per trasmissione [W/K]
Hd	Coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno [W/K]

La Figura 31 mostra l'andamento del fabbisogno mensile in uscita dallo scambiatore di calore del teleriscaldamento, logicamente gli alti valori di fabbisogno interessano il periodo invernale, in linea con le considerazioni effettuate in precedenza. Per assolvere alla copertura dei fabbisogni di energia termica utile per il raffrescamento, sono presenti degli impianti di climatizzazione estiva autonomi per ogni unità immobiliare, in Figura 32 viene riportato l'andamento mensile del fabbisogno in uscita dal generatore di un appartamento tipo. Nelle successive simulazioni saranno resi evidenti i miglioramenti dal punto di vista dell'efficienza energetica dell'edificio, confrontando anche i grafici correnti con quelli delle nuove soluzioni impiantistiche.

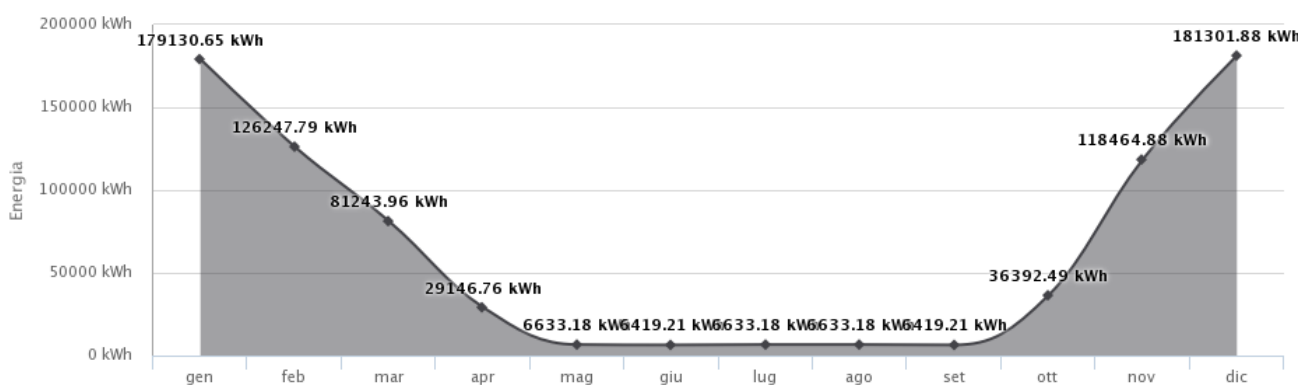


Figura 31 - Fabbisogno in uscita dallo scambiatore di calore

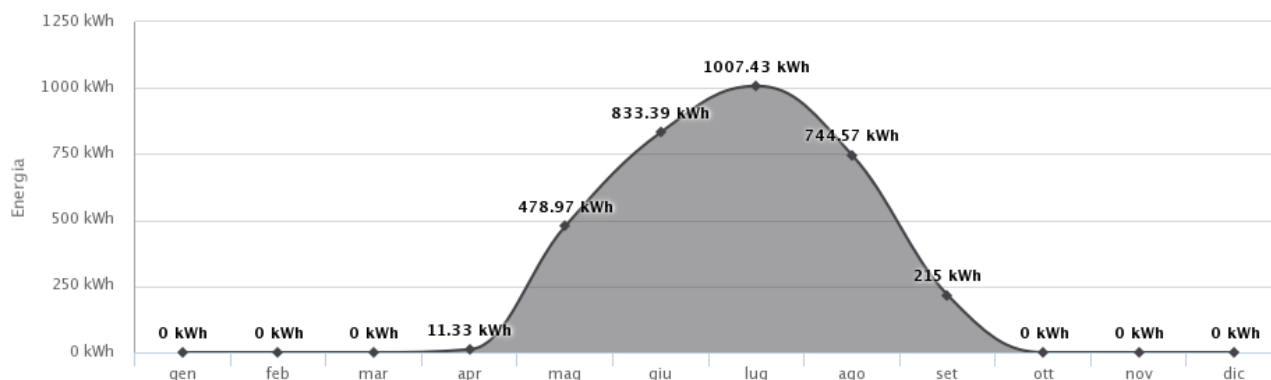


Figura 32 - Fabbisogno in uscita dal generatore per la climatizzazione estiva

6 Risultati scenari di riqualificazione

Saranno valutate diverse strategie di intervento, ipotizzando degli scenari di efficientamento energetico che riguarderanno sia la parte di involucro che quella impiantistica. Facendo riferimento alla Tabella 12 del paragrafo 3.9, si esamineranno i diversi casi studio ipotizzati, comparandoli rispetto al caso A0.

Scenari di intervento	A0	A1	A2	B0	B1	B2
Edificio non isolato	•			•		
Edificio isolato		•	•		•	•
Teleriscaldamento (TR)	•	•	•			
Impianto fotovoltaico (FV)					•	•
Impianto solare termico (ST)			•			
Caldaia tradizionale (CG)				•		
Sistema ibrido (IBR)					•	
Pompa di calore (PDC)						•
Radiatori ad alta temperatura	•	•	•	•		
Radiatori a bassa temperatura					•	•

Tabella 12 – Riepilogo scenari di intervento

6.1. Proposta di intervento A1 (TR)

L'efficientamento dell'involucro consisterà nella posa in opera di un cappotto termico per le pareti perimetrali, l'isolamento della copertura, l'isolamento dell'intradosso del solaio di chiusura verso il piano garage e delle pareti di chiusura verso il vano scale, nonché la sostituzione dei serramenti. Di seguito sono riportate le stratigrafie più significative con l'aggiunta dei materiali isolanti e la tipologia di serramento (Allegato VII Stratigrafie coibentate).

- Chiusura verticale esterna ($U= 0,20 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

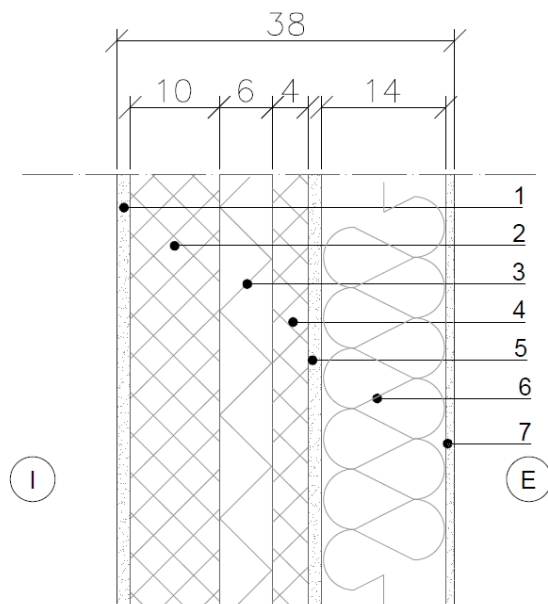


Figura 33 – Chiusura verticale esterna

N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m ² K/W]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
1	Intonaco	15,00	0,700	0,014
2	Pannello C.l.s. Prefabbricato	100,00	5,900	0,017
3	Isolante Polistirene	60,00	0,115	0,522
4	Pannello C.l.s. Prefabbricato	40,00	5,900	0,007
5	Intonaco	15,00	0,700	0,014
6	Lana di roccia	140,00	0,033	4,242
7	Rasatura con rete rinforzante	6,00	0,800	0,009
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040

Tabella 15 – Dati tecnici chiusura verticale esterna

- Chiusura verticale verso Corpo scale ($U = 0,51 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

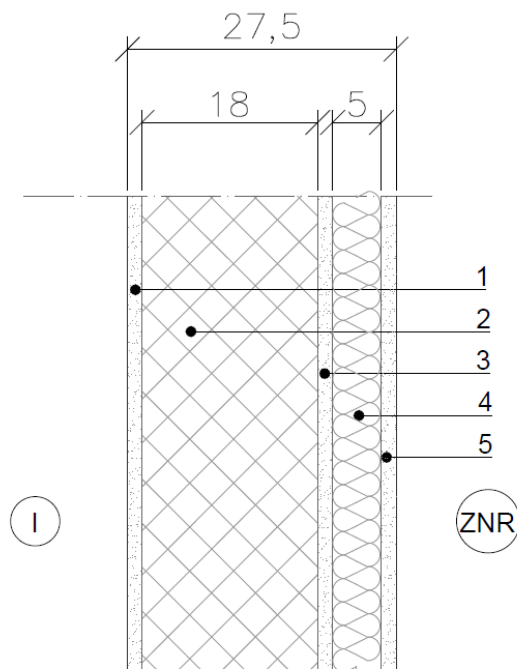


Figura 34 – Chiusura verticale verso zona non riscaldata

N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m ² K/W]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
1	Intonaco	15,00	0,700	0,014
2	C.l.s. armato	180,00	2,300	0,078
3	Intonaco	15,00	0,700	0,014
4	Lana di roccia	50,00	0,033	1,429
5	Rasatura con rete rinforzante	6,00	0,800	0,009
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130

Tabella 16 – Dati tecnici chiusura verticale verso zona non riscaldata

- Copertura piana ($U= 0,19 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

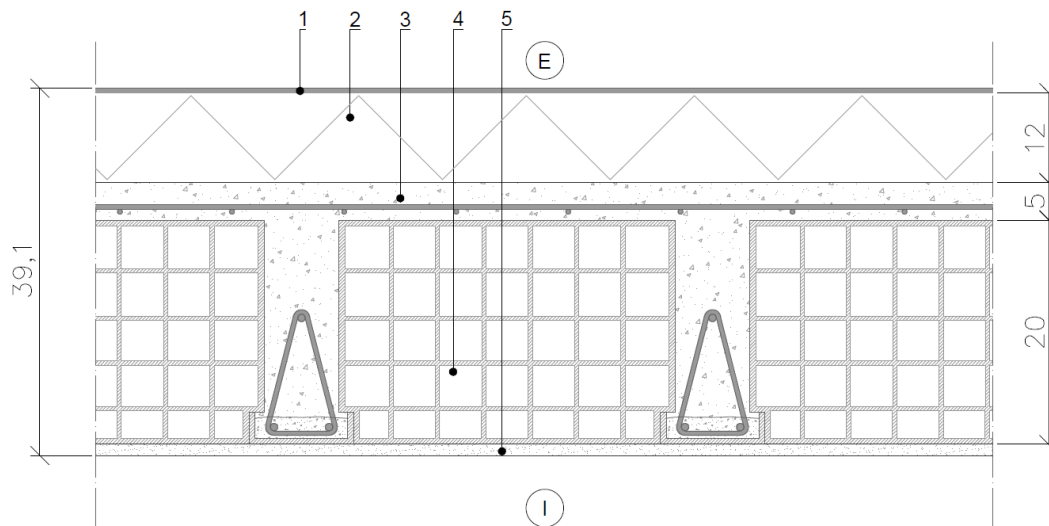


Figura 35 – Solaio di copertura piana

N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m ² K/W]
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040
1	Doppia membrana bituminosa	8,00	0,170	0,048
2	Pannello in stiferite	120,00	0,025	4,800
3	Caldana	50,00	1,200	0,042
4	Soletta in latero-cemento	200,00	0,660	0,303
5	Intonaco	15,00	0,700	0,021
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,110

Tabella 17 – Dati tecnici solaio di copertura piana

- Solaio verso Piano box ($U=0,33 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

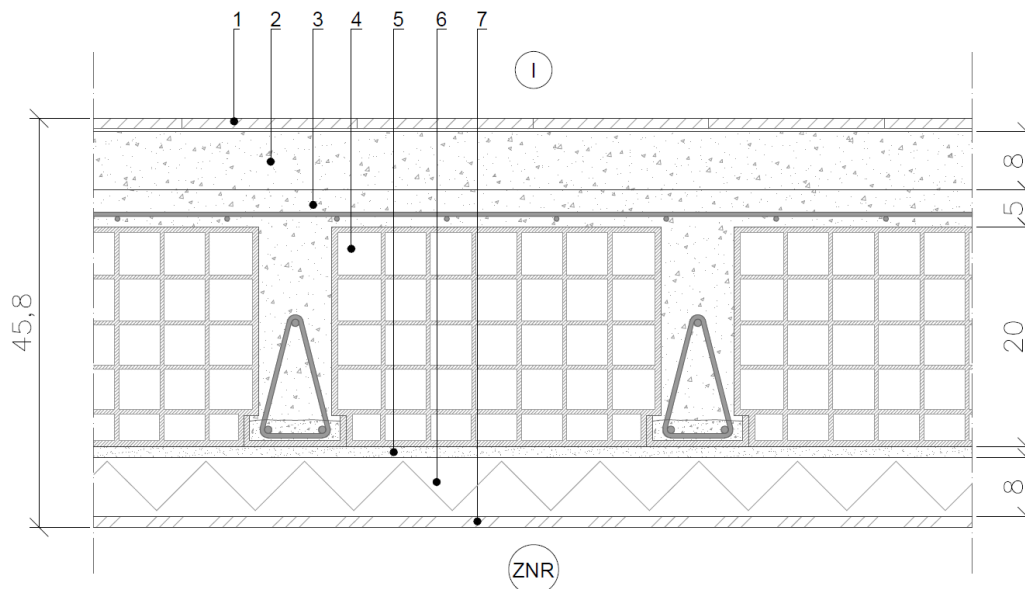


Figura 36 – Solaio verso zona non riscaldata

N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m ² K/W]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170
1	Pavimento in gress	15,00	1,300	0,012
2	Sottofondo di cemento magro	80,00	0,700	0,114
3	Caldana	50,00	1,200	0,042
4	Soletta in latero-cemento	200,00	0,660	0,303
5	Intonaco	15,00	0,700	0,021
6	Poliuretano Espanso	80,00	0,035	2,286
7	Rivestimento metal-siliconico	15,00	1,000	0,019
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170

Tabella 18 – Dati tecnici solaio verso zona non riscaldata

- Serramento 260x220 mm ($U_w = 1,30 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

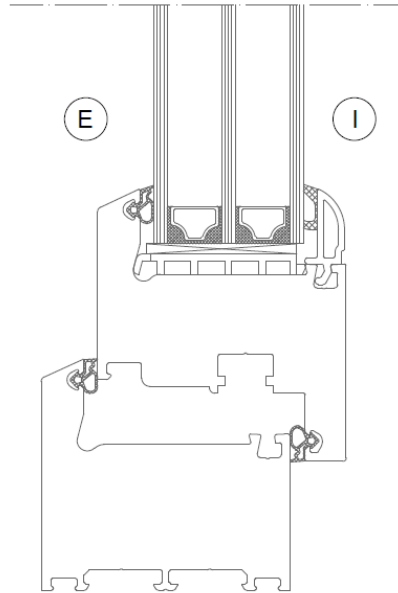


Figura 37 – Serramento PVC triplo vetro

N.	Descrizione strato	Area [m ²]	Trasm. [W/m ² /K]
1	Triplo vetro	4,64	0,925
2	Telaio in PVC	1,08	1,000

Tabella 19 – Dati tecnici serramento in PVC triplo vetro

- Serramento 90x220 mm ($U_w = 1,30 \text{ W/m}^2/\text{K}$):

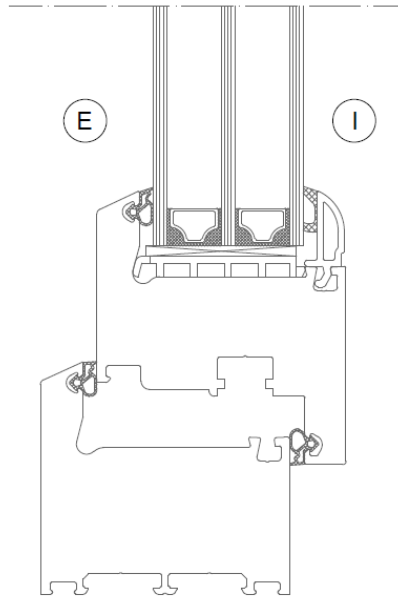


Figura 38 – Serramento PVC triplo vetro

N.	Descrizione strato	Area [m ²]	Trasm. [W/m ² /K]
1	Triplo vetro	1,56	0,925
2	Telaio in PVC	0,42	1,000

Tabella 20 – Dati tecnici serramento in PVC triplo vetro

A diagnosi completata è stato ottenuto un consistente miglioramento della prestazione energetica dell'involucro, come mostrato in Figura 39, passando da una classe energetica D alla classe energetica A3; con un valore di fabbisogno globale $EP_{gl,nren} = 45,51 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$.

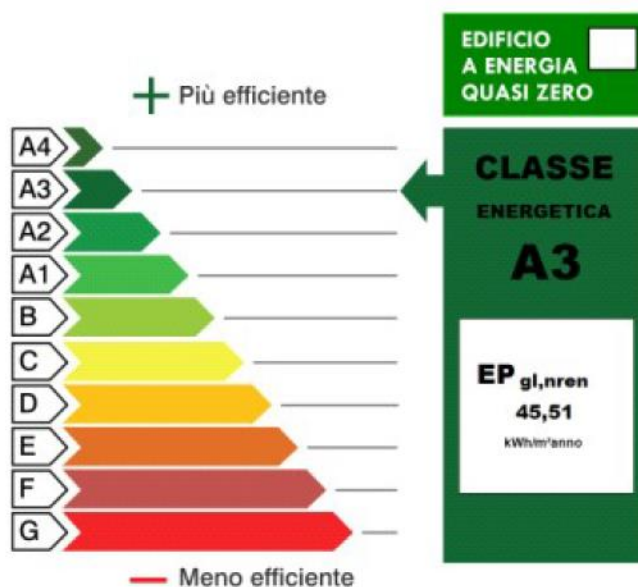


Figura 39 – Classe energetica dell'edificio

6.1.1. Confronto con il caso A0 (TR non isolato)

Come anticipato in precedenza, il fabbisogno di energia primaria ha subito un'alta diminuzione. Il fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento è stato fortemente ridotto nell'attuale scenario di intervento, comportando però aumenti di fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento EPC_{tot} (da $8,69 \text{ kWh/m}^2$ a $16,95 \text{ kWh/m}^2$); quest'ultimo aumento è dovuto al fatto che la procedura di calcolo usata, restituisce un valore discutibile per il raffrescamento. Infatti, il metodo di calcolo utilizzato dal software non è così accurato per il caso estivo, dato che non contempla il fenomeno della radiazione solare incidente sulla parte esterna dell'edificio, pertanto, non viene interpretato come un dato che influisce negativamente sul bilancio energetico finale dell'edificio. Di seguito in Tabella 21 si riporta il riepilogo delle variazioni rispetto al caso A0, è evidente che l'ottenimento di una variazione dell'84% del fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento, rispetto allo stato iniziale, è motivato dal fatto che l'edificio allo stato di fatto presentava un'estrema carenza dal punto di vista del termo-isolamento dell'involucro. Complessivamente quindi, il fabbisogno di energia primaria totale è stato ridotto del 66%, ciò rimarca l'efficacia degli interventi migliorativi adottati per lo scenario corrente.

Fabbisogni di energia termica [kWh/m ²]			
	A0	A1	Var. %
EPH,nd	151,06	24,80	84
EPgl,tot	169,92	57,00	66

Tabella 21 – Confronto caso A1 con A0

Legenda	
EPH,nd	Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento
EPgl,tot	Fabbisogno di energia primaria totale

Confrontando i fabbisogni termici e primari rispetto allo stato di fatto, è possibile verificare nel grafico in Figura 40 quanto la componente di energia termica non rinnovabile sia stata significativamente ridotta. Pur rimanendo invariata la percentuale di fonte di energia rinnovabile, poiché non è stato modificato nessun tipo di impianto, si sono ottenuti quindi dei miglioramenti prestazionali evidenti nella categoria del riscaldamento, passando dal valore di fabbisogno di energia primaria globale di 690'177 kWh al valore di 231'538 kWh.

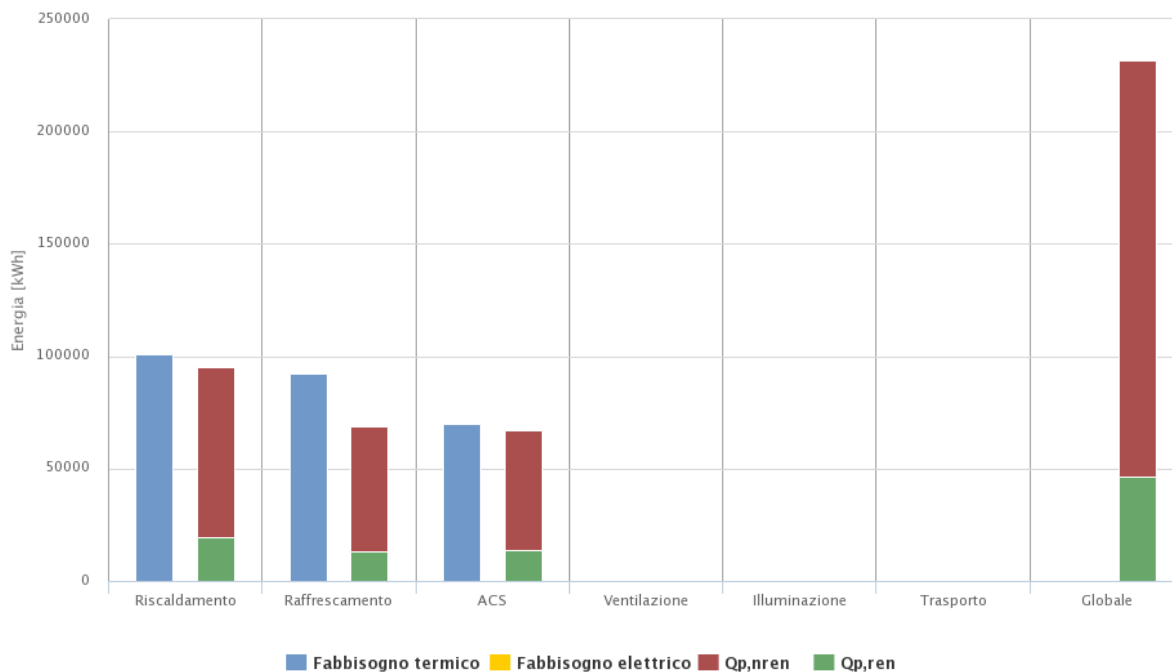


Figura 40 – Fabbisogni termici e fabbisogni energia primaria rinnovabile e non rinnovabile [kWh]

La Figura 41 mostra l'andamento del fabbisogno di energia termica mensile in uscita dallo scambiatore di calore dell'impianto di teleriscaldamento dell'edificio. Rispetto al caso originale A0 i valori di fabbisogno in uscita dal generatore, riferiti ai mesi invernali, hanno subito una diminuzione di oltre il 75%. Ciò è conseguenza dell'attuazione degli interventi di efficientamento energetico dell'involucro, a seguito dei quali è stato possibile ridurre il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento, senza intervenire ulteriormente sulle soluzioni impiantistiche.

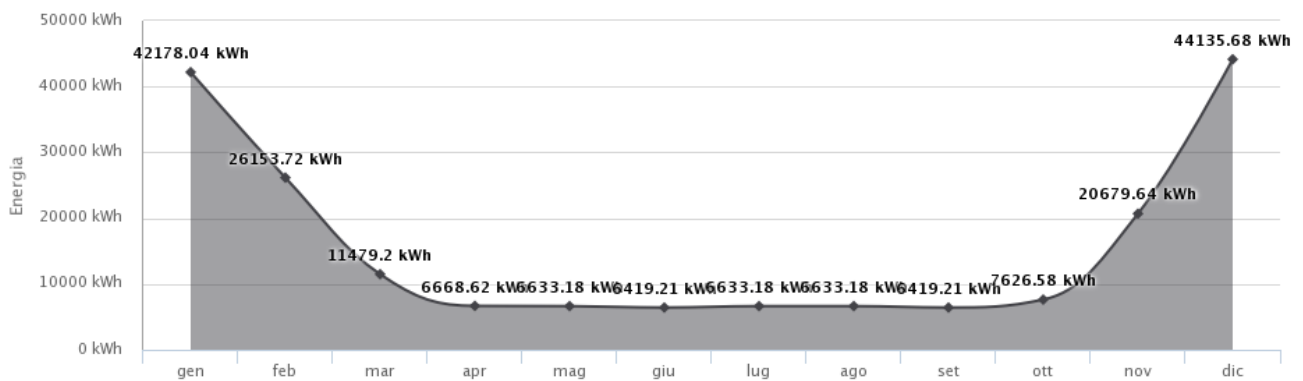


Figura 41 - Fabbisogno di energia termica in uscita dallo scambiatore di calore

6.1.2. Dispersioni per scambio termico verso l'esterno

Anche nell'ambito delle dispersioni, di conseguenza, sono stati ottenuti dei miglioramenti, aumentando il rapporto apporti-dispersioni (che nel caso A0 aveva un valore di picco di 0,4) ad un valore prossimo all'unità (Figura 42). Rispetto al caso iniziale quindi, l'obiettivo di ridurre il rapporto apporti-dispersioni è stato conseguito, permettendo anche una diminuzione del numero di giorni di funzionamento degli impianti di riscaldamento da 183 giorni a 167. Per quanto riguarda il raffrescamento valgono le ipotesi effettuate nel paragrafo precedente, ovvero di non interpretare l'aumento del fabbisogno di raffrescamento come dato negativo, ma semplicemente come una incapacità del modello di tenere conto del fenomeno della radiazione solare incidente sulla parte esterna dell'involucro. Questi miglioramenti sono rassicuranti dal punto di vista prestazionale dell'involucro, perché evidenziano che le ipotesi migliorative effettuate sortiscono un effetto non trascurabile a livello di isolamento termico.

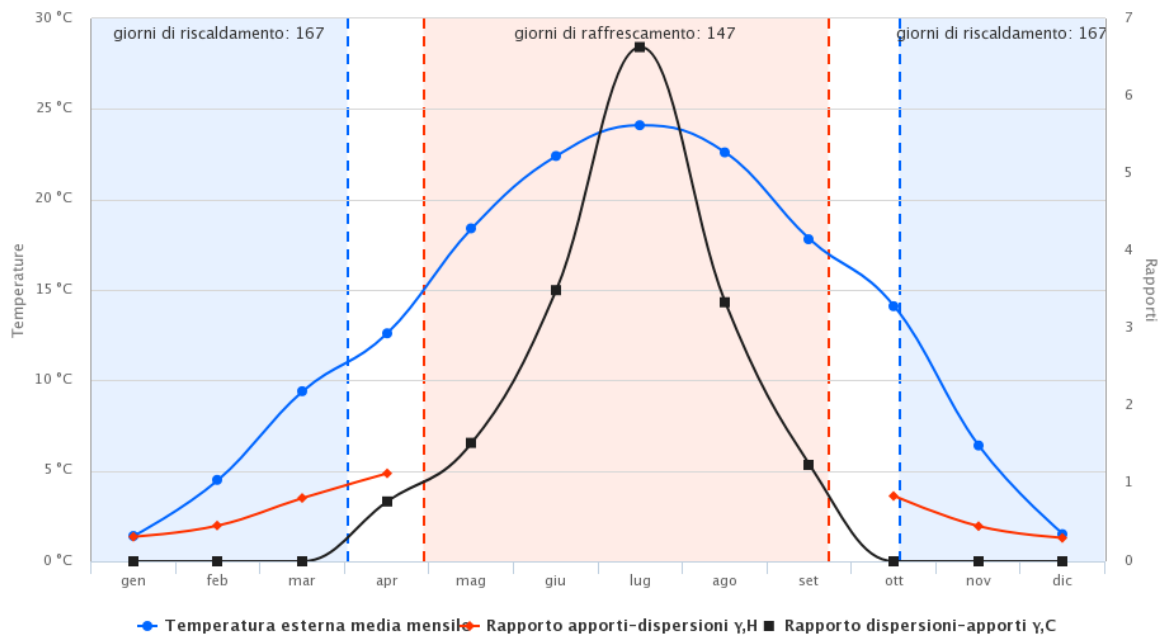


Figura 42 – Stagioni di riscaldamento e raffreddamento

Le considerazioni appena effettuate sono verificabili nel dettaglio in Figura 43, nella quale è riportato il grafico dei diversi coefficienti di scambio termico per tipo di struttura. È evidente, infatti, che è stata ottenuta una significativa diminuzione dei valori in W/K, scendendo al di sotto dei limiti imposti dalla normativa in tutti i tipi di elemento tecnico.

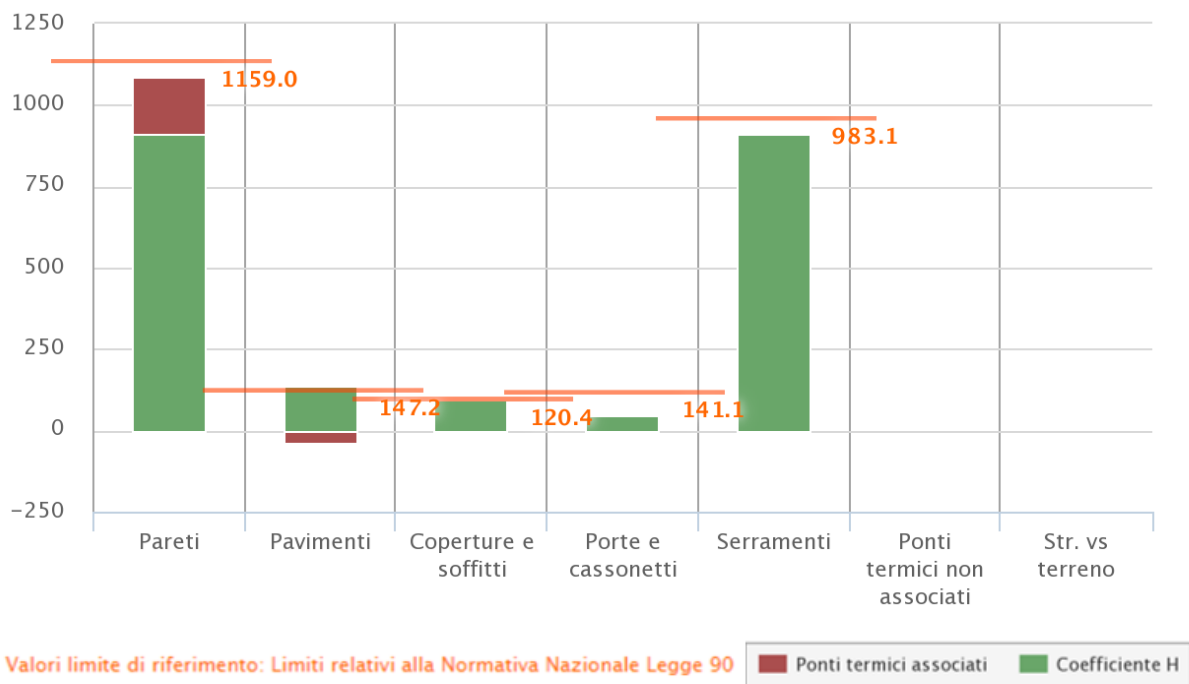


Figura 43 – Coefficiente di scambio termico per tipo di struttura [W/K]

In Tabella 22 sono riportati i valori totali dei coefficienti di scambio termico, confrontati con i valori del caso A0 iniziale; grazie alle opere di isolamento termico dell'involucro le dispersioni dell'edificio possono essere ridotte del 76%. Ciò garantisce un notevole aumento del livello di comfort all'interno delle unità abitative, oltre alla conseguenza di un minor fabbisogno termico erogato dai sistemi di emissione.

Riepilogo dispersioni per ventilazione e trasmissione [W/K]			
	A0	A1	Var. %
Hd	9'988	2'441	76
Htr	11'490	2'810	76

Tabella 22 – Confronto caso A1 con A0

Legenda	
Hd	Coefficiente di scambio termico per ventilazione [W/K]
Htr	Coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno [W/K]

6.2. Proposta di intervento A2 (TR-ST)

In questo caso si introduce un impianto solare termico che agisca a sostegno del sistema di teleriscaldamento, per la produzione di acqua calda sanitaria e di acqua calda per il riscaldamento, in modo da aumentare la quota parte di energia prodotta tramite fonti di energia rinnovabili. In questo caso di studio si mantengono come terminali d'impianto i radiatori, operanti ad alta temperatura e favoriti da un ottimo grado di isolamento termico delle chiusure verticali esterne. Calcolando i risultati della simulazione del nuovo scenario, si denota un ulteriore miglioramento per quanto concerne la classe energetica, infatti, l'edificio si trova in classe A4, superiore di una categoria rispetto al caso precedente (Figura 44), con un valore di fabbisogno globale $EP_{gl,nren} = 31,99 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$.



Figura 44 – Classe energetica dell'edificio

6.2.1. Impianto solare termico

È importante definire in quale modo l'impianto solare termico assolve le proprie funzioni. Tale impianto utilizza l'energia solare come fonte energetica rendendola disponibile sotto forma di energia termica. Esso può adempiere a due diverse funzioni:

- Integrare produzione acqua calda sanitaria
- Integrare impianto di riscaldamento edificio

L'impianto solare termico è composto dai seguenti componenti:

- Collettori solari:
 - a) Piani: vi è un assorbitore metallico con tubi contenenti un fluido vettore, una lastra in vetro o plastica, un pannello isolante al di sotto dell'assorbitore ed un involucro;
 - b) Sottovuoto: una serie di tubi in vetro sottovuoto, all'interno si trovano gli assorbitori a strisce, vengono limitate le dispersioni termiche consentendo rendimenti più elevati.
- Dispositivo di accumulo acqua calda riscaldata dai collettori solari;
- Pompe di circolazione e circuito di distribuzione alle utenze di acqua calda;
- Sistema di regolazione e controllo.

Fra i sistemi di circolazione si possono distinguere due tipologie differenti:

- Naturale, dove il fluido termovettore circola verso l'accumulo in seguito ai moti convettivi;
- Forzata, quando la circolazione del fluido termovettore è mantenuta da una pompa controllata da una centralina elettronica. La pompa viene attivata dalla centralina se la temperatura dell'acqua all'interno del serbatoio è inferiore a quella del fluido nei pannelli. Se l'apporto è insufficiente, la centralina comanda l'inserimento di un sistema ausiliario.

6.2.2. Utilizzo dell'impianto solare termico: primo dimensionamento

Nel caso in esame si è inizialmente ipotizzato di sfruttare a pieno la copertura, andando ad installare 200 pannelli solari. Sono stati scelti i "collettori piani FSK 2.0" prodotti dalla "Kloben Industries" (Allegato VIII Scheda tecnica pannello solare termico), che svolgeranno una funzione di supporto al teleriscaldamento per la produzione di acqua calda sanitaria.

Integrando l'impianto di teleriscaldamento presente nell'edificio oggetto di studio con un impianto solare termico, è possibile ridurre a zero il fabbisogno di energia termica in uscita dallo scambiatore di calore del teleriscaldamento nei mesi che vanno da marzo a settembre (Figura 45). Questo è possibile perché l'impianto solare termico è in grado di coprire il fabbisogno di energia termica per l'acqua calda sanitaria durante la stagione primaverile ed estiva (Figura 46).

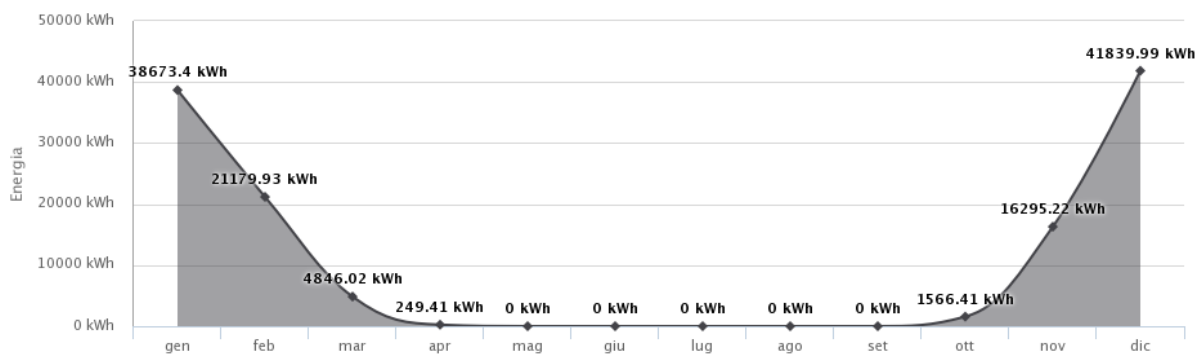


Figura 45 – Fabbisogno di energia termica in uscita dallo Scambiatore di Calore

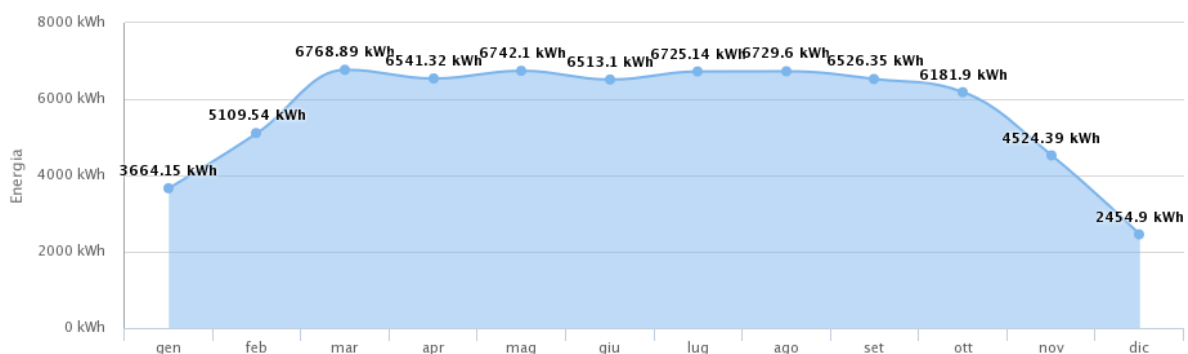


Figura 46 – Fabbisogno di energia termica in uscita dall'impianto Solare Termico

L'utilizzo dell'impianto di teleriscaldamento, quindi, è richiesto solamente nel corso dei mesi invernali per la produzione di acqua calda per il riscaldamento e come supporto all'impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria. La totale copertura del fabbisogno di energia termica per l'acqua calda sanitaria fin dal

Il mese di marzo porta a dedurre che l'impianto solare termico sia soggetto ad un sovradimensionamento. Infatti, dal grafico in Figura 47 che mostra l'andamento della produzione di acqua calda sanitaria dell'impianto solare termico, è possibile notare che l'energia termica prodotta è massima già durante i mesi primaverili, nei quali la radiazione solare non è ancora massima. Pertanto, nel corso dei mesi estivi in cui la radiazione solare raggiunge i valori massimi, l'acqua calda prodotta dal solare termico non verrebbe utilizzata, quindi, si verificherebbe la stagnazione del fluido termovettore all'interno dei collettori solari, il quale raggiungendo la temperatura di ebollizione porterebbe alla rottura degli stessi. In conseguenza alle considerazioni effettuate è necessario provvedere ad una revisione del dimensionamento dell'impianto solare termico.

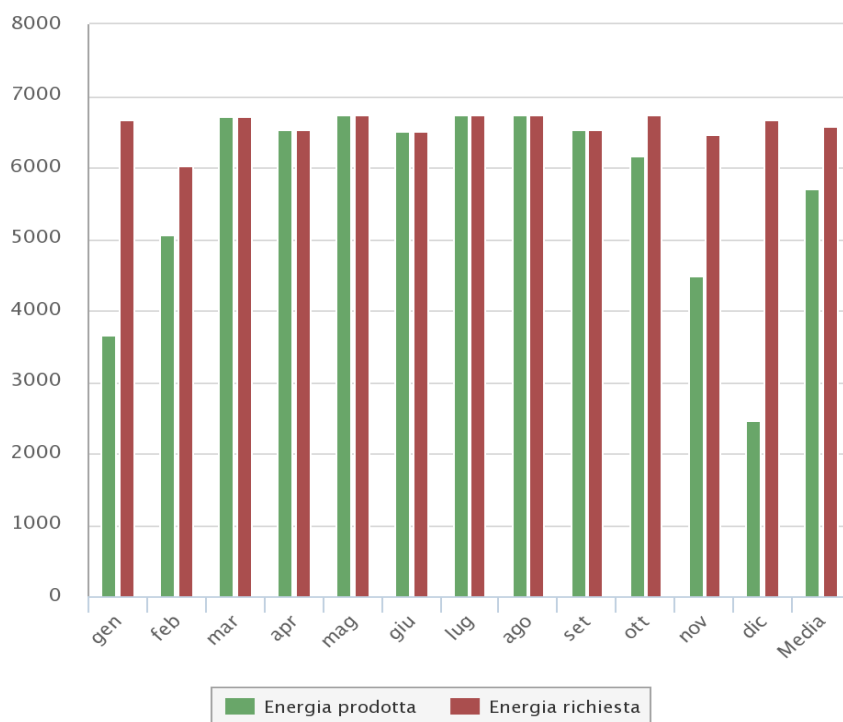


Figura 47 – Producibilità per ACS impianto Solare Termico

6.2.3. Utilizzo dell'impianto solare termico: secondo dimensionamento

A seguito dell'analisi svolta nel paragrafo precedente, è emersa la necessità di correggere il dimensionamento dell'impianto solare termico, il numero di pannelli solari, quindi, è stato ridotto del 63% da 200 a 75 pannelli (Allegato IX Pianta solare termico). Il dimensionamento del numero di pannelli è stato eseguito in modo tale da

raggiungere la copertura totale del fabbisogno di energia termica per l'acqua calda sanitaria solo nei mesi estivi, ovvero quelli in cui è presente la massima radiazione solare. Ciò viene confermato dal grafico in Figura 48, nel quale è riportato l'andamento del fabbisogno di energia termica in uscita dallo scambiatore di calore del teleriscaldamento, i valori sono nulli solamente nei mesi di giugno e luglio; poiché solo in questi mesi il fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria è coperto totalmente dall'impianto solare termico (Figura 49).

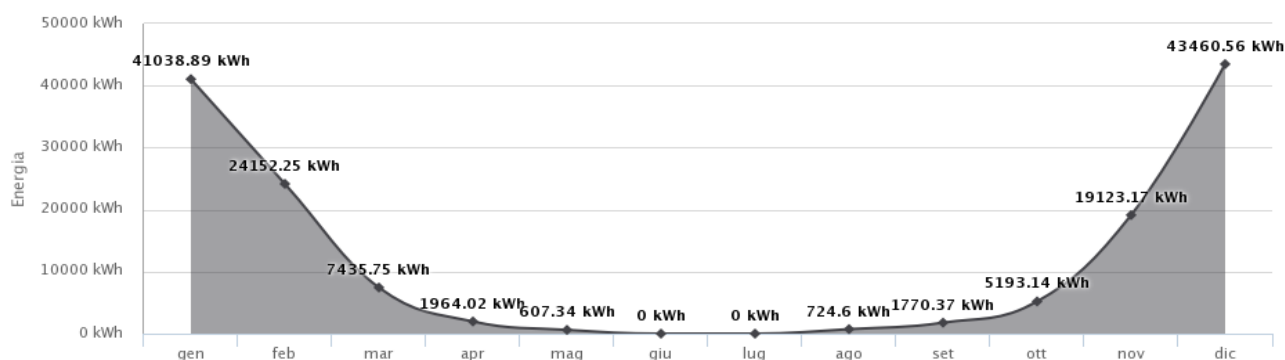


Figura 48 – Fabbisogno di energia termica in uscita dallo Scambiatore di Calore

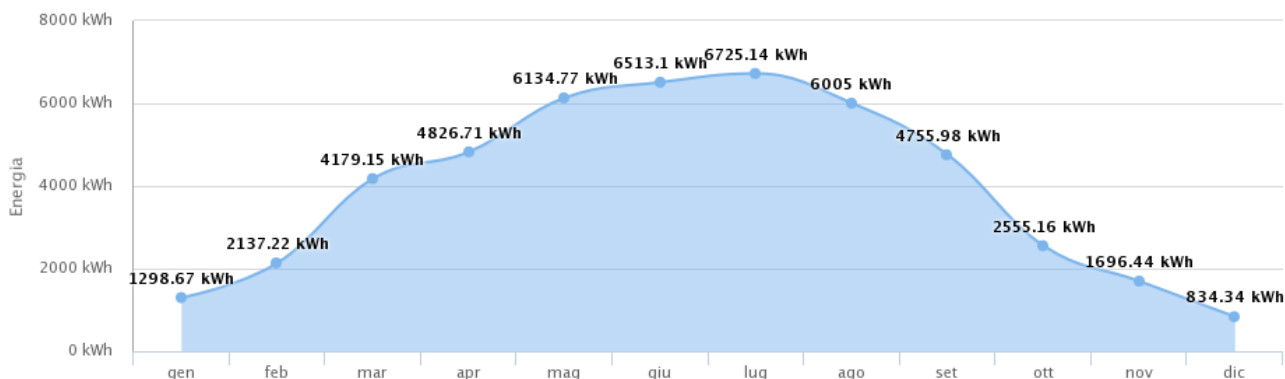


Figura 49 – Fabbisogno di energia termica in uscita dall'impianto Solare Termico

Rispetto al grafico della producibilità per l'acqua calda sanitaria dell'impianto solare termico del paragrafo 6.2.2 (Figura 47), il grafico in Figura 50 mostra come la riduzione del numero di pannelli porti ad una producibilità di energia termica ridotta e più ottimizzata, raggiungendo la completa copertura di fabbisogno energetico solamente nei mesi di giugno e luglio in cui si verifica la massima radiazione solare ed evitando una sovrapproduzione di acqua calda che ristagnerebbe all'interno dei collettori solari.

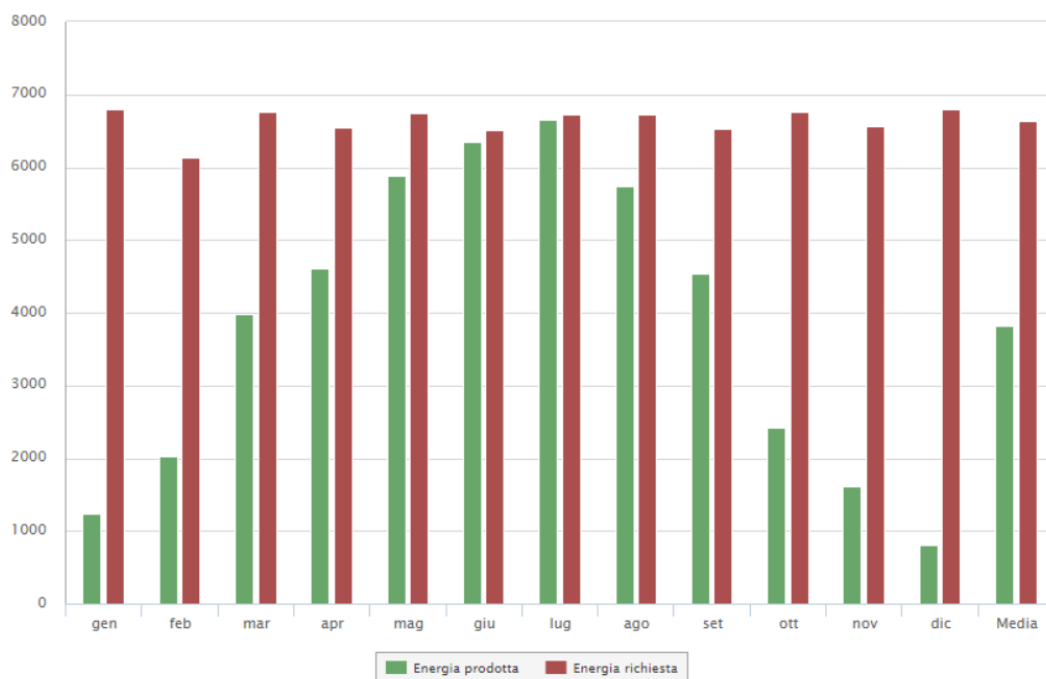


Figura 50 - Producibilità per ACS impianto Solare Termico

6.2.4. Confronto con il caso A0 (TR non isolato)

L’inserimento all’interno del modello di un impianto solare termico manifesta la propria utilità nell’ambito delle fonti di energia rinnovabile. Infatti, a parità di isolamento termico rispetto allo scenario migliorativo A1 (TR), come riassunto in Tabella 23, la variazione dei fabbisogni di energia termica utile è la stessa (84%). Confrontando il caso A2 (PDC-FV) con A0, i fabbisogni di energia primaria globale e per il riscaldamento subiscono una variazione consistente, rispettivamente dell’83% e del 64%.

Fabbisogni di energia termica utile [kWh/m ²]			
	A0	A2	Var. %
EPH,nd	151,06	24,80	84
Fabbisogni di energia primaria [kWh/m ²]			
	A0	A2	Var. %
EPH,tot	144,85	24,61	83
EPgl,tot	169,92	60,58	64

Tabella 23 – Confronto caso A2 con A0

Legenda	
EPH,nd	Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento [kWh/m ²]
EPH,tot	Fabbisogno totale di energia primaria per il riscaldamento [kWh/m ²]
EPgl,tot	Fabbisogno globale di energia primaria totale [kWh/m ²]

Rispetto al caso precedente (A1), i valori delle differenti tipologie di dispersione attraverso l'involucro rimangono le medesime. Ciò che traduce invece l'aumento di prestazioni dell'edificio, a seguito dell'inserimento di un impianto solare termico, è l'analisi dei fabbisogni termici e primari, infatti, come mostrato in Figura 51, è stato ottenuto un significativo aumento della quota parte di fonte di energia rinnovabile. Era già possibile dedurre che a seguito dell'inserimento dell'impianto solare termico, si sarebbe ottenuto un aumento di energia rinnovabile riguardante i consumi di acqua calda sanitaria (ACS) e per il riscaldamento, così come a livello di fabbisogno globale.

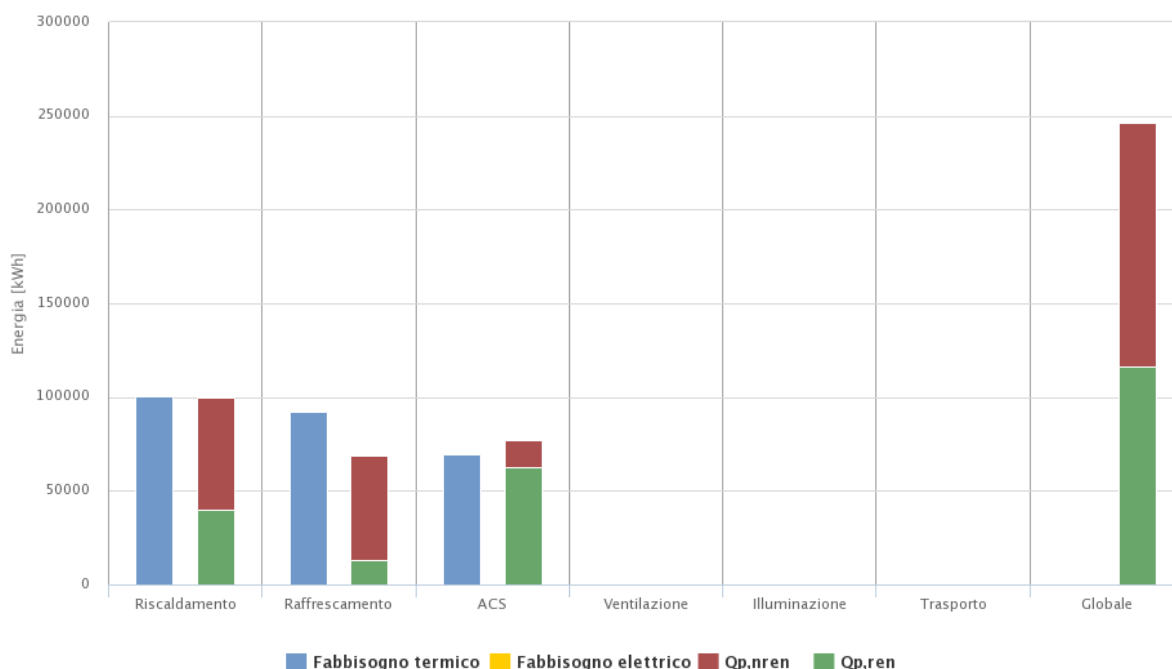


Figura 51 – Fabbisogni termici e fabbisogni energia primaria rinnovabile e non rinnovabile [kWh]

6.2.5. Scenario alternativo impianto solare termico - A2.1

In questo scenario è stata ipotizzata una riduzione della superficie dei pannelli solari del 47%, passando da 75 a 40 pannelli. Ciò comporta un aumento di fabbisogno di energia primaria non rinnovabile EP_{gl,nren} da un valore di 31,99 kWh/m²/anno ad un valore di 39,94 kWh/m²/anno, con un conseguente passaggio di classe energetica da A4 ad A3. All'interno dei grafici delle Figure 52-53, sono riportati gli andamenti dei fabbisogni mensili di energia termica in uscita dai generatori. Si può notare come, rispetto al caso di partenza A2 l'impianto di teleriscaldamento è attivo anche durante i mesi di giugno e luglio, a causa di una minore produzione di acqua calda sanitaria da parte dell'impianto solare termico che è stato ridotto.

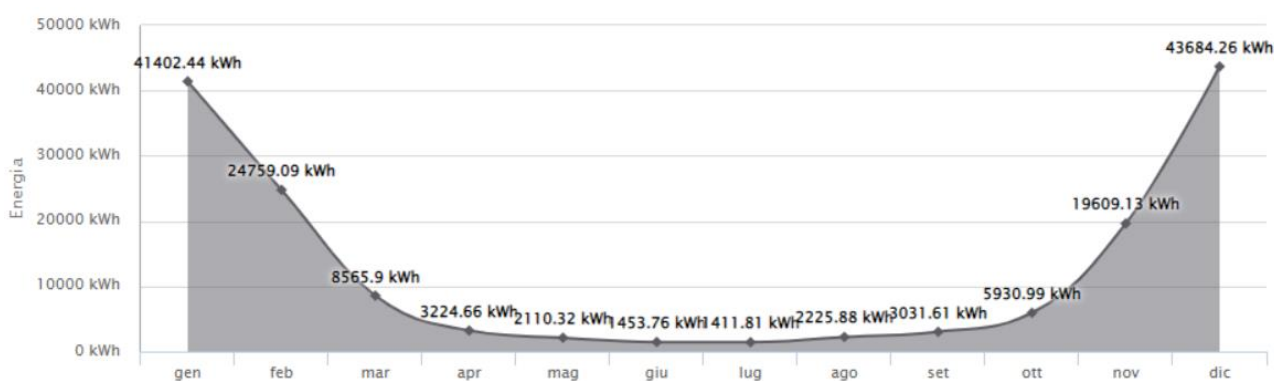


Figura 52 – Fabbisogno di energia termica in uscita dallo Scambiatore di Calore

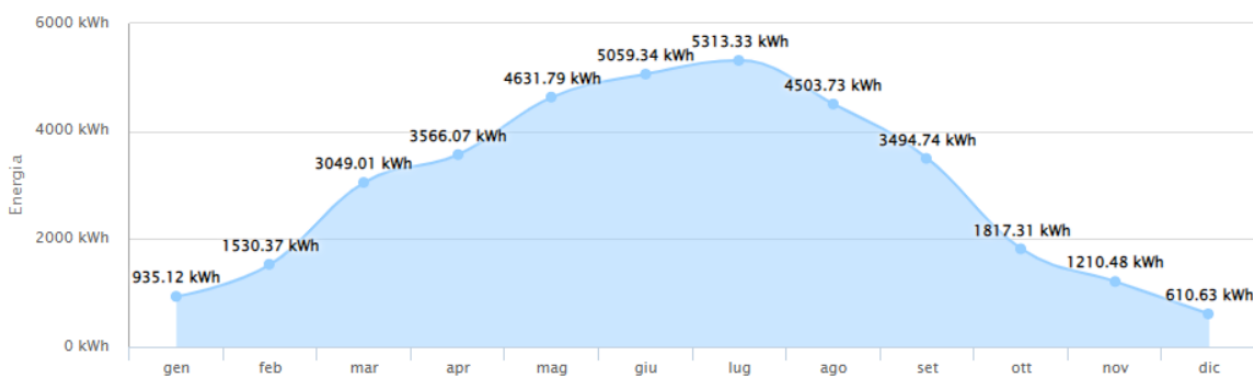


Figura 53 – Fabbisogno di energia termica in uscita dall'impianto Solare Termico

In questo caso quindi, rispetto al grafico della producibilità per l'acqua calda sanitaria dell'impianto solare termico del paragrafo 6.2.3, il grafico in Figura 54 mostra come la riduzione del numero di pannelli comporti una producibilità di energia termica ridotta, non provvedendo totalmente in nessun mese dell'anno alla copertura del fabbisogno energetico per l'acqua calda sanitaria. Lo studio dello scenario corrente

presenta una configurazione alternativa per l'analisi del rapporto costi-benefici, poiché la riduzione della superficie del solare termico comporta un aumento dei costi in bolletta per la fornitura dell'acqua calda sanitaria rispetto allo scenario di partenza, ma permette di conseguire un risparmio riguardante l'acquisto di una minor superficie di pannelli che viene analizzato nel paragrafo 7.3.3.

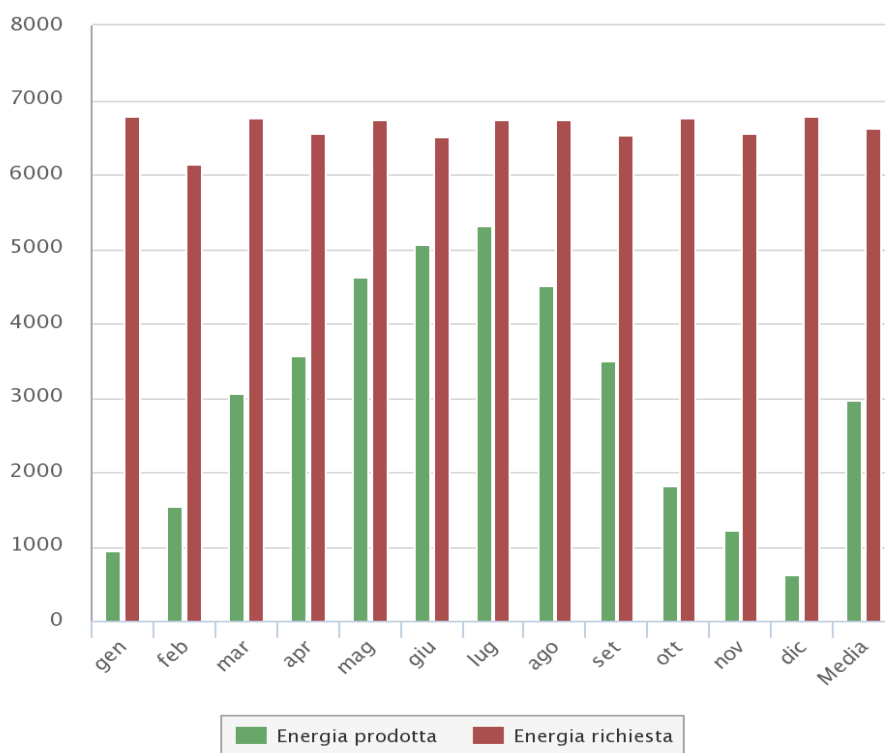


Figura 54 - Producibilità per ACS impianto Solare Termico

6.3. Proposta di intervento B0 (CG non isolato)

In questo scenario, per generalizzare il caso studio rispetto ad un contesto più comune della maggior parte degli edifici, viene ipotizzata una situazione nella quale il sistema di generazione per l'acqua calda non è più il teleriscaldamento; bensì una caldaia tradizionale a gas metano. È immediato notare che il punto di partenza sarà da una classe energetica minore, in questo caso F (Figura 55), con un valore di fabbisogno globale $EP_{gl,nren} = 227,48 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$, inferiore rispetto al caso iniziale A0; ciò è dovuto dal fatto che non vi è più quella quota parte di fonte di energia rinnovabile che forniva in precedenza il teleriscaldamento. Tale simulazione ha lo scopo di valutarne i successivi miglioramenti a seguito di un'implementazione dei componenti impiantistici, congiuntamente ad un efficientamento dell'involucro edilizio.

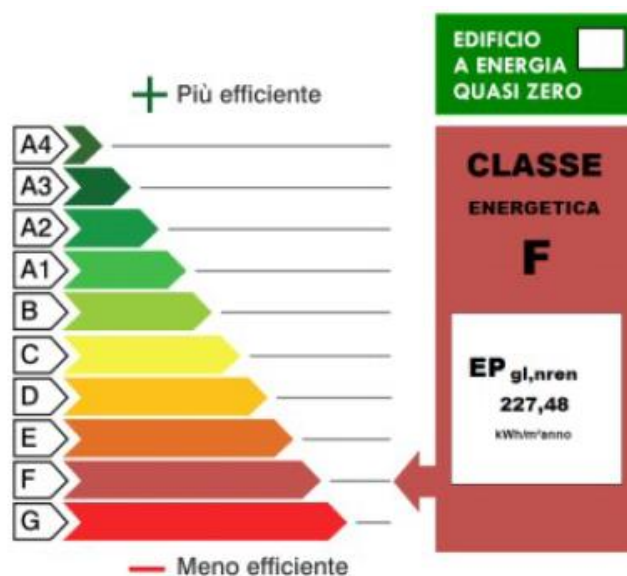


Figura 55 – Classe energetica dell'edificio

6.3.1. Caldaia a gas

La caldaia a gas prevede un meccanismo che attinge al gas proveniente dalla rete di distribuzione, utilizzandolo come combustibile: questa combustione permette il riscaldamento dell'acqua che transita in due circuiti, uno idraulico e uno per il riscaldamento. L'acqua riscaldata viene immessa nelle tubazioni domestiche, mentre il gas bruciato libera i suoi fumi di scarico attraverso una canna fumaria. La combustione avviene in un'apposita camera in cui viene convogliato il gas proveniente dalla rete e che viene bruciato tramite scintilla proveniente dalla candela di accensione. Il calore prodotto viene convogliato dallo scambiatore, il quale divide il calore nei due circuiti, destinati al riscaldamento e all'acqua sanitaria. È presente uno scambiatore primario che contiene acqua da riscaldare per immetterla in circuito ed uno scambiatore secondario, che gestisce l'acqua in flusso permettendone il riscaldamento prima che venga convogliata verso le utenze. La circolazione dell'acqua calda è generata dal circolatore. Questo spinge l'acqua dallo scambiatore ai radiatori, interrompendo la circolazione quando l'acqua è fredda. Il passaggio del gas metano in direzione della caldaia viene garantito da un'apposita valvola che è collocata fra il contatore e la caldaia e che serve per regolare la potenza massima e minima. [15]

6.3.2. Utilizzo dell'impianto caldaia a gas

Nel caso in esame si è ipotizzato di installare una caldaia a gas metano, "Arca MK 230" (Allegato X Scheda tecnica caldaia Arca MK 230), con potenza utile nominale di 233 kW in grado di servire l'impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria. In Figura 56 viene riportato l'andamento mensile del fabbisogno di energia termica in uscita dal generatore, all'interno del quale sono presenti gli stessi valori del caso A0, essendo invariate la geometria e le stratigrafie delle chiusure dell'edificio.

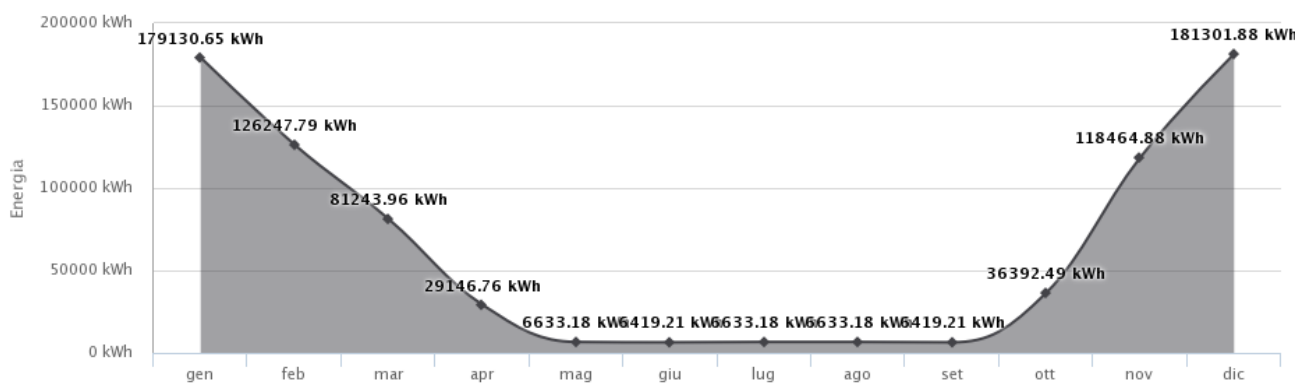


Figura 56 - Fabbisogno di energia termica in uscita dalla Caldaia

6.3.3. Confronto con il caso A0 (TR non isolato)

I fabbisogni di energia termica utile, pur essendo l'edificio in una classe energetica inferiore, rimangono invariati; ciò per via del fatto che a seguito delle modifiche della tipologia di impianto, la variazione in termini di fabbisogni riguarderà solamente la componente di energia non rinnovabile (Tabella 24). Di conseguenza, le differenze in termini di valori numerici saranno riscontrabili nei fabbisogni di energia primaria per il riscaldamento e quindi, nel fabbisogno totale di energia primaria; evidenziando in questo caso, un aumento di circa 60 kWh/m² (27%); si tratta di un valore attendibile, dato che in questo scenario ci si pone in una situazione nella quale la tipologia di impianto è meno efficiente.

Fabbisogni di energia termica utile [kWh/m ²]			
EPH,nd	151,06	<i>Valori caso A0 invariati rispetto al caso B0</i>	
EPC,nd	11,66		
Fabbisogni di energia primaria [kWh/m ²]			
	A0	B0	Var. %
EPH,tot	144,85	198,53	27
EPgl,tot	169,92	229,17	26

Tabella 24 – Confronto caso B0 con A0

Legenda	
EPH,nd	Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento [kWh/m ²]
EPC,nd	Fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento [kWh/m ²]
EPH,tot	Fabbisogno totale di energia primaria per il riscaldamento [kWh/m ²]
EPgl,tot	Fabbisogno globale di energia primaria totale [kWh/m ²]

Si sottolinea che, nel grafico in Figura 57, a conferma delle ipotesi effettuate, la quota parte di energia rinnovabile nella colonna del fabbisogno termico globale è pressoché irrisoria rispetto agli alti valori di energia termica non rinnovabile.

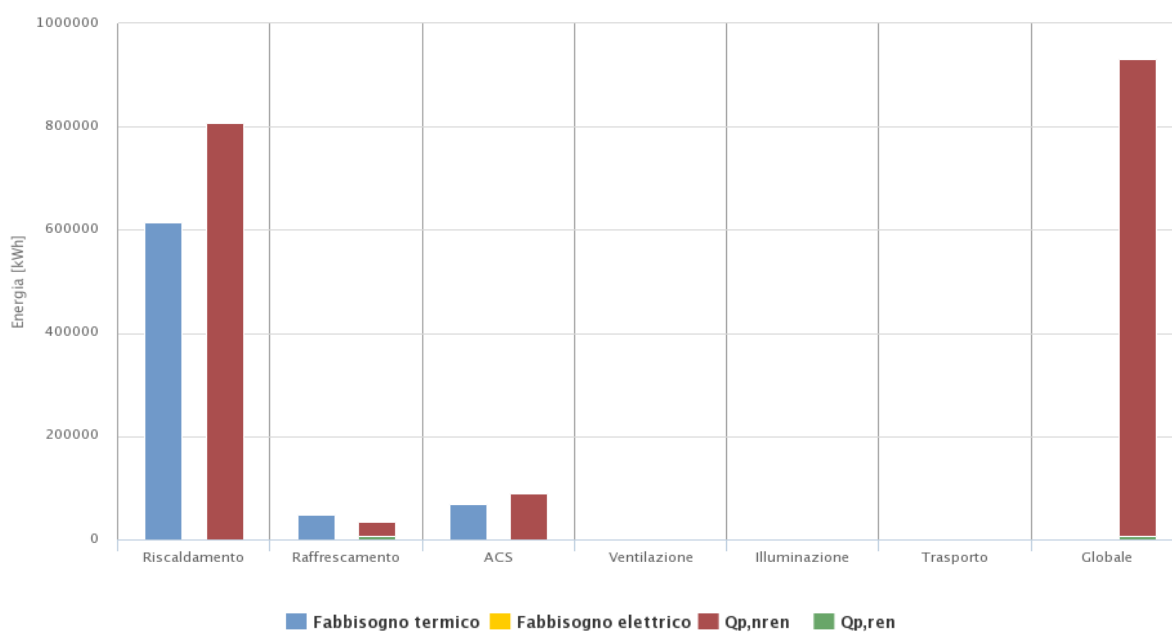


Figura 57 – Fabbisogni termici e fabbisogni energia primaria rinnovabile e non rinnovabile [kWh]

6.4. Proposta di intervento B1 (IBR-FV)

Avendo ipotizzato di utilizzare un sistema ibrido caldaia a condensazione-pompa di calore ed un impianto fotovoltaico, è opportuno verificare in quale misura è possibile conseguire un risparmio energetico. In questo scenario si ipotizza l'operatività dei terminali di impianto presenti (radiatori) a temperatura inferiore (temperatura di mandata a 50°C) e con funzionamento più continuativo, in modo da smorzare i picchi di riscaldamento pur garantendo l'energia richiesta e per sfruttare al meglio il funzionamento dell'impianto pompa di calore. A seguito della simulazione svolta è stata ottenuta una classe energetica A3, con un valore di fabbisogno globale di energia non rinnovabile $EP_{gl,nren} = 34,98 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$ (Figura 58).

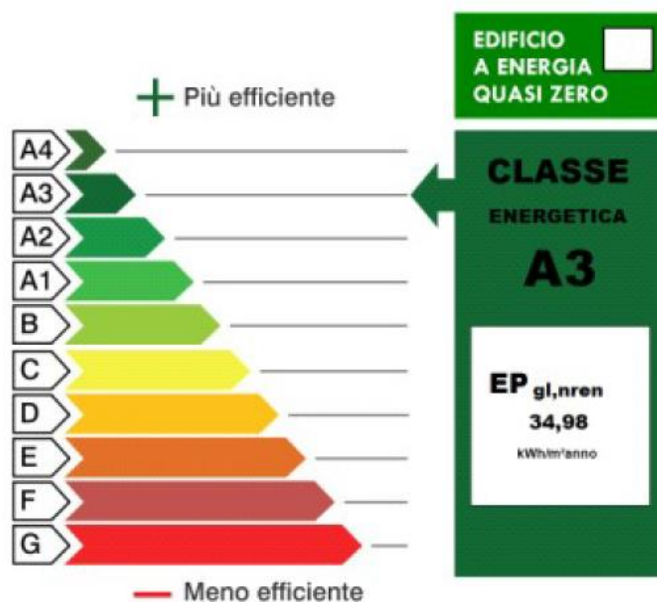


Figura 58 – Classe energetica dell'edificio

6.4.1. Sistema ibrido

Un sistema ibrido congiunge una caldaia a condensazione e una pompa di calore, in modo tale da consentire il riscaldamento dell'acqua per la climatizzazione invernale e per uso sanitari. I due generatori sono alimentati da fonti energetiche diverse e di volta in volta sarà attivato quello più efficiente, ovvero quello più idoneo in quel momento. Per esempio, se la richiesta termica è molto elevata, allora sarà la caldaia a condensazione ad erogare il 100% del calore richiesto. Se la temperatura esterna si aggira tra i -4°C e i 7°C, si attiveranno entrambi i generatori. Se, invece, la temperatura supera i 7°C, sarà la pompa a gestire completamente in autonomia la temperatura.

I vantaggi di una caldaia ibrida sono sia di natura economica che di comfort e di impatto ambientale. In base al combustibile utilizzato, il risparmio dei consumi va dal

30% al 50%, riducendo generalmente il ricorso a fonti fossili (come il consumo gas) allo stretto necessario e limitando in tal modo le emissioni di CO₂.

Da un lato si otterrà, quindi, un'alta efficienza energetica della pompa di calore, dall'altro diminuiranno i consumi che a loro volta abatteranno i costi di gestione dell'intero impianto. Inoltre, essendo l'impianto collegato ad un impianto fotovoltaico, buona parte dell'energia elettrica richiesta dalla pompa di calore sarà fornita dai pannelli fotovoltaici, aumentando quindi il risparmio in bolletta e l'utilizzo di fonti rinnovabili. Per sfruttare a pieno il potenziale di un sistema ibrido, in particolare quando è in funzione la pompa di calore, è necessario che i termosifoni contengano un'acqua di mandata a temperature più basse. Nel paragrafo 6.4.6 si andrà a verificare se il numero degli elementi risulta sufficiente, oppure, se si renderà necessario aumentarne il numero, dato che la temperatura di mandata dell'acqua sarà ridotta.

6.4.2. Utilizzo degli impianti pompa di calore e caldaia a condensazione

Come generatori si è ipotizzato di installare una pompa di calore "BAXI - BHP2-i 2017" (Allegato XI Scheda tecnica pompa di calore Baxi) con potenza nominale di 45 kW e una caldaia a condensazione "BERETTA POWER PLUS 100 M" (Allegato XII Scheda tecnica caldaia a condensazione Beretta) con potenza utile nominale pari a 68 kW.

In tale scenario è stata ipotizzata una situazione intermedia, nella quale la caldaia a condensazione copre il 43% dei fabbisogni di energia termica, mentre la pompa di calore assolve il restante 57%. Di seguito viene mostrato il profilo di funzionamento mensile dei generatori pompa di calore e caldaia, in Figura 59 è possibile notare che la pompa di calore è in grado di soddisfare la totalità dei fabbisogni di energia termica per acqua calda sanitaria durante il periodo estivo. Per quanto riguarda i mesi invernali, essendo presente un fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, la pompa di calore agisce contemporaneamente alla caldaia a condensazione, raggiungendo i picchi massimi di fabbisogno di energia termica in uscita, (Figura 60) per fornire l'energia richiesta.

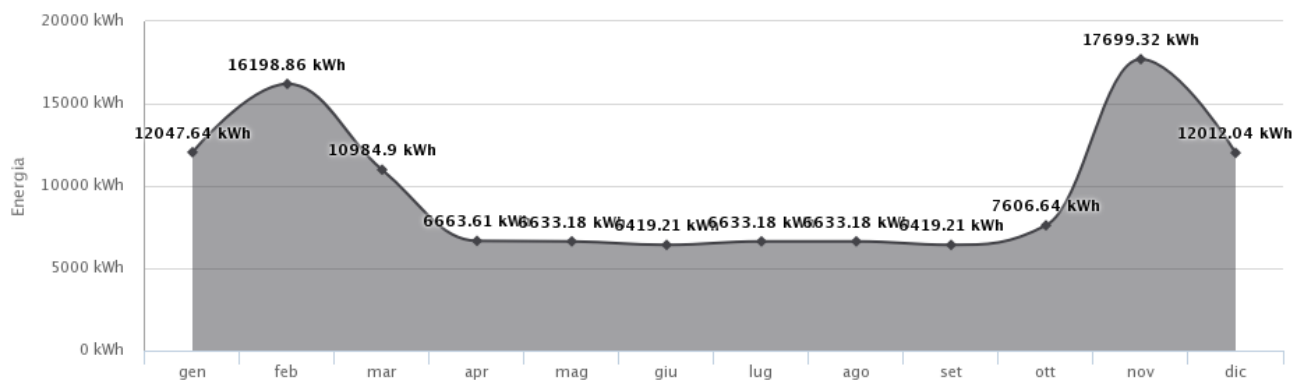


Figura 59 - Fabbisogno di energia termica in uscita PDC

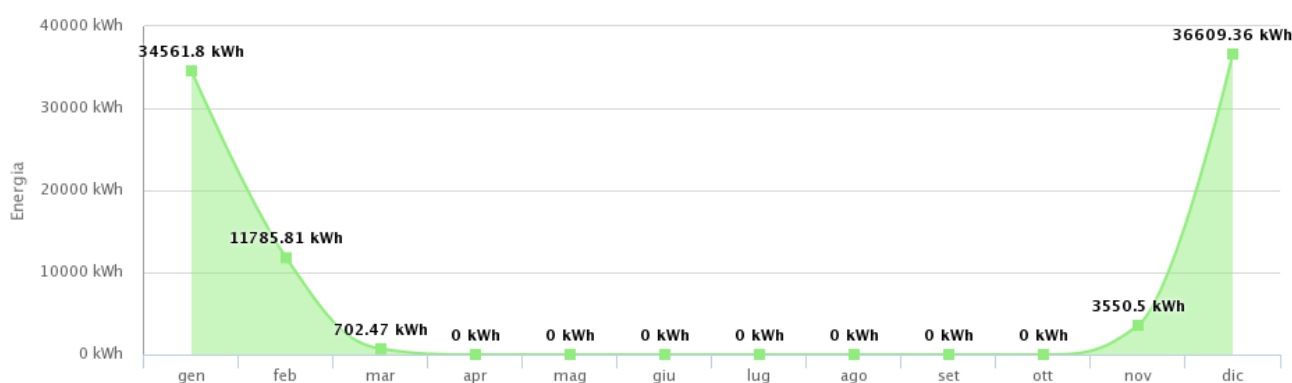


Figura 60 - Fabbisogno di energia termica in uscita Caldaia

6.4.3. Impianto fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico ad energia solare prevede l'utilizzo di pannelli che montano più celle fotovoltaiche: ognuna di esse provvede a convertire l'energia trasportata dai fotoni in elettricità. Il funzionamento base di un pannello fotovoltaico prevede i seguenti passaggi:

- Esposizione dei pannelli alla luce solare, dove i fotoni colpiscono la superficie della cella fotovoltaica;
- L'energia trasportata dal fotone viene trasferita agli elettroni presenti sulla cella di silicio;
- Tale energia trasferita agli elettroni provoca la loro agitazione, che comporta la formazione di corrente nel circuito.

Viene prodotta energia elettrica in corrente continua, la quale, attraverso un inverter (strumento connesso alla cella fotovoltaica, che permette la conversione da corrente continua ad alternata), viene immessa sui cavi di collegamento e sulla rete di distribuzione.

6.4.4. Utilizzo dell'impianto fotovoltaico

Nel caso in esame si è ipotizzato di sfruttare a pieno la copertura, andando ad installare 214 pannelli fotovoltaici (Allegato XIII Pianta fotovoltaico). È stato scelto il "Modulo Fotovoltaico E.ON AuraRM330S" (Allegato XIV Scheda tecnica pannello fotovoltaico) in silicio monocristallino, con una potenza di picco di 330 W per ogni pannello.

Il grafico in Figura 61 riporta l'andamento della producibilità elettrica dell'impianto fotovoltaico, nello scenario corrente i sistemi di generazione che utilizzano energia elettrica (pompa di calore per il riscaldamento e condizionatori per il raffrescamento) generano un'energia complessiva di 68'322 kWh nel corso di un anno. L'impianto fotovoltaico è in grado di produrre complessivamente 49'772 kWh annui di energia, coprendo circa il 73% del fabbisogno di energia elettrica. Mensilmente, l'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico viene completamente utilizzata per assolvere a gran parte della richiesta di energia elettrica dell'edificio.

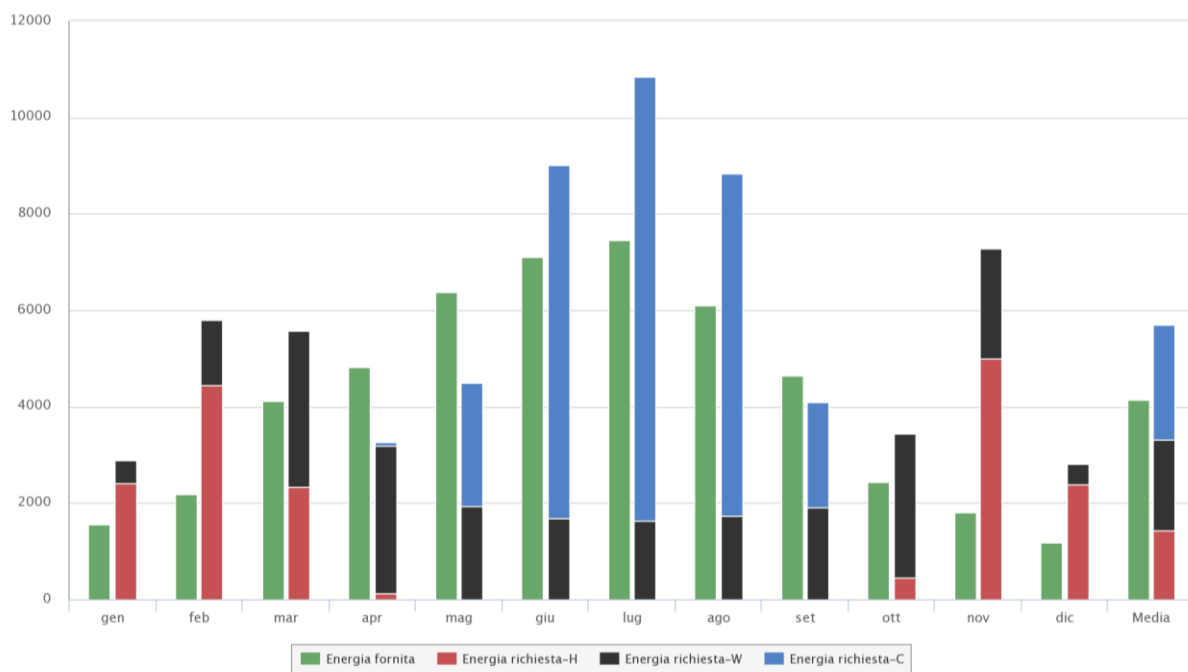


Figura 61 - Producibilità di energia elettrica impianto Fotovoltaico

A meno che il condominio non faccia parte di una comunità energetica, non è possibile utilizzare l'energia prodotta dal fotovoltaico per usi privati dei singoli utenti; non sarebbe quindi possibile utilizzare l'energia elettrica prodotta per gli impianti di climatizzazione estiva, non essendo impianti ad uso condominiale. Considerando gli alti consumi elettrici degli impianti per il condizionamento estivo si è scelto di ipotizzare che il condominio entri a far parte della comunità energetica dell'area di appartenenza del comune di Lodi (la quale definizione viene illustrata nel paragrafo

successivo 6.4.5), (fonte Sorgenia [16]). In tal modo è possibile sfruttare a pieno la produzione di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico.

Nei mesi di aprile e maggio la producibilità è più alta del fabbisogno di energia elettrica dei generatori, con eccedenze rispettivamente di 984 kWh e di 1'347 kWh, ma può essere usata per altri usi del condominio quali ascensore e illuminazione. Facendo riferimento alla bolletta energetica in allegato (Allegato VI Bollette stagione termica 2021/2022) si nota come, per usi condominiali, si ha un fabbisogno medio mensile di 1'530 kWh, quindi, le eccedenze vengono sfruttate a pieno dall'edificio. A seguito delle considerazioni effettuate è possibile dedurre che lo scenario corrente rappresenta una possibile corretta configurazione di impianto ibrido e di dimensionamento dell'impianto fotovoltaico.

6.4.5. Comunità energetica

Una comunità energetica è un'associazione formata da enti pubblici locali, aziende, o cittadini privati, i quali si attivano per dotarsi di sistemi per la produzione di energia da fonti rinnovabili e l'autoconsumo, come gli impianti fotovoltaici. Ciò consiste in una forma energetica collaborativa basata sulla condivisione, andando oltre la soddisfazione del fabbisogno energetico e incentivando nuovi modelli socioeconomici caratterizzati dalla circolarità. Questo approccio è mirato allo sviluppo sostenibile e alla riduzione della dipendenza energetica dal sistema elettrico nazionale. In tal modo i consumatori passivi (consumer) si trasformano in consumatori attivi (prosumer), poiché sono dotati di un proprio impianto di generazione dell'energia elettrica per l'autoconsumo, cedendo una parte dell'energia in eccesso agli altri soggetti che fanno parte della rete di condivisione. Il termine prosumer è utilizzato per riferirsi all'utente che non si limita al ruolo passivo di consumatore (consumer), ma partecipa attivamente alle diverse fasi del processo produttivo (producer), ovvero è colui che possiede un proprio impianto di produzione di energia, della quale ne consuma una parte. Oltre alla possibilità di immissione in rete della rimanente quota parte di energia, essa può essere scambiata con i consumatori fisicamente prossimi al prosumer o anche accumulata in un apposito sistema di accumulo e restituita alle unità di consumo nel momento più opportuno. In tal modo il prosumer si rende protagonista attivo nella gestione dei flussi energetici e può godere non solo di una relativa autonomia, ma anche di benefici economici. Questo sistema innovativo può essere attuato attraverso le comunità energetiche (CE), ossia una coalizione di utenti che tramite la volontaria adesione ad un contratto, collaborano con l'obiettivo di produrre, consumare e gestire l'energia attraverso uno o più impianti energetici locali. L'obiettivo è quindi quella di produrre, consumare e scambiare energia in un'ottica di autoconsumo e collaborazione. Il concetto di autoconsumo si riferisce alla possibilità di consumare in loco l'energia elettrica prodotta da un impianto di generazione locale, per far fronte ai propri fabbisogni energetici. La comunità energetica rinnovabile deve

essere formata dai consumatori ubicati nella rete elettrica di bassa tensione, sotto la medesima cabina di trasformazione di media/bassa tensione. La disposizione relativa alle comunità energetiche prevede che i soggetti che partecipano debbano produrre energia destinata al proprio consumo con impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza complessiva non superiore a 200 kW.

La legge sulle comunità energetiche in Italia è stata promossa con il Decreto Milleproroghe 162/2019, poi convertito in Legge n. 8/2020, attraverso il quale sono state riconosciute le comunità energetiche rinnovabili (REC – Renewable Energy Community).

Con il decreto sulle comunità energetiche l'Italia ha recepito la Direttiva europea RED II 2001/2018, con la quale l'Unione Europea riconosce valenza giuridica alle associazioni e introduce la figura del produttore/consumatore di energia.

L'articolo 21 della Direttiva sulle energie rinnovabili (2001/2018) definisce l'autoconsumo collettivo realizzato all'interno di un edificio, grazie ad un sistema che fornisce elettricità a più di un consumatore. Un esempio è quello di un edificio multi-unità con un sistema nell'area comune, in grado di soddisfare il fabbisogno di energia sia per le utenze condominiali che per quelle delle unità autonome.

Il D.Lgs. 199/2021 ha attuato la Direttiva Europea RED II, direttiva UE 2001/2018, sull'uso dell'energia da fonti rinnovabili.

Con la delibera 727/2022/R/eel del 27 dicembre 2022, l'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) ha approvato il Testo Integrato Autoconsumo Diffuso (TIAD) che disciplina le modalità per la valorizzazione dell'autoconsumo diffuso per le configurazioni previste dai decreti legislativi 199/2021 e 210/2021, tra cui le Comunità Energetiche.

Secondo le disposizioni regolatorie e legislative richiamate, per accedere al servizio di autoconsumo diffuso, i punti di connessione facenti parte della configurazione devono essere ubicati nella porzione della rete di distribuzione sottesa alla stessa cabina primaria individuata secondo quanto previsto dall'articolo 10 del TIAD. Le Direttive, quindi, definiscono la comunità energetica come un soggetto giuridico, fondato sulla partecipazione aperta e volontaria, il cui scopo prioritario non è la generazione di profitti finanziari, ma il raggiungimento di benefici ambientali, economici e sociali per i suoi membri o soci o al territorio in cui opera. [17]

6.4.6. Radiatori a bassa temperatura

Nel caso B0 è stata presa in analisi un'unità immobiliare tipo, al fine di ricavarne il valore di potenza termica necessaria per riscaldare l'ambiente, e quindi, il valore di potenza termica fornita dai radiatori. Si è ottenuto un valore di potenza di 6914 W, con i radiatori contenenti acqua di mandata ad 80°C (alta temperatura) e acqua di ritorno a 65°C; risultano quindi necessari 73 elementi scaldanti dei radiatori (95 W per elemento). Come anticipato in precedenza, nel caso B1 si è ipotizzato di mantenere una

temperatura di mandata inferiore, pari a 50°C e di ritorno pari a 40°C; dato che le dispersioni saranno molto inferiori rispetto al caso B0, la potenza termica richiesta sarà di 3124 W, ovvero il 66% inferiore rispetto al caso precedente, quindi, sono sufficienti 63 elementi dei radiatori, di potenza 49 W ciascuno (10 elementi in meno rispetto a B0). È stato quindi evidenziato uno dei diversi benefici che si ottengono dall'efficientamento dell'involucro, il quale si ripercuote sulle soluzioni impiantistiche.

6.4.7. Confronto con il caso B0 (CG non isolato)

A seguito del calcolo riferito allo scenario corrente (B1), è stata ottenuta una variazione dell'82% in termini di fabbisogni di energia primaria per il riscaldamento e del 70% per i fabbisogni globali di energia primaria totale (Tabella 25). Questi miglioramenti derivano certamente dall'adozione di un sistema ibrido, che si presta ad un rendimento migliore rispetto ad una caldaia tradizionale, e di un impianto fotovoltaico che copre una buona parte del fabbisogno di energia elettrica della pompa di calore del sistema ibrido. All'interno del grafico riportato in Figura 62, è evidente l'aumento del valore riferito alla fonte di energia rinnovabile in termini di fabbisogni termici e primari, che rispetto al caso B0, il quale era sprovvisto di una fonte di energia rinnovabile, rende questo scenario una soluzione efficace per ottenere l'efficientamento energetico dell'edificio.

Fabbisogni di energia primaria [kWh/m²]			
	B0	B1	Var. %
EPH,tot	198,53	35,79	82
EPgl,tot	229,17	67,61	70

Tabella 25 – Confronto caso B1 con B0

Legenda	
EPH,tot	Fabbisogno totale di energia primaria per il riscaldamento [kWh/m ²]
EPgl,tot	Fabbisogno globale di energia primaria totale [kWh/m ²]

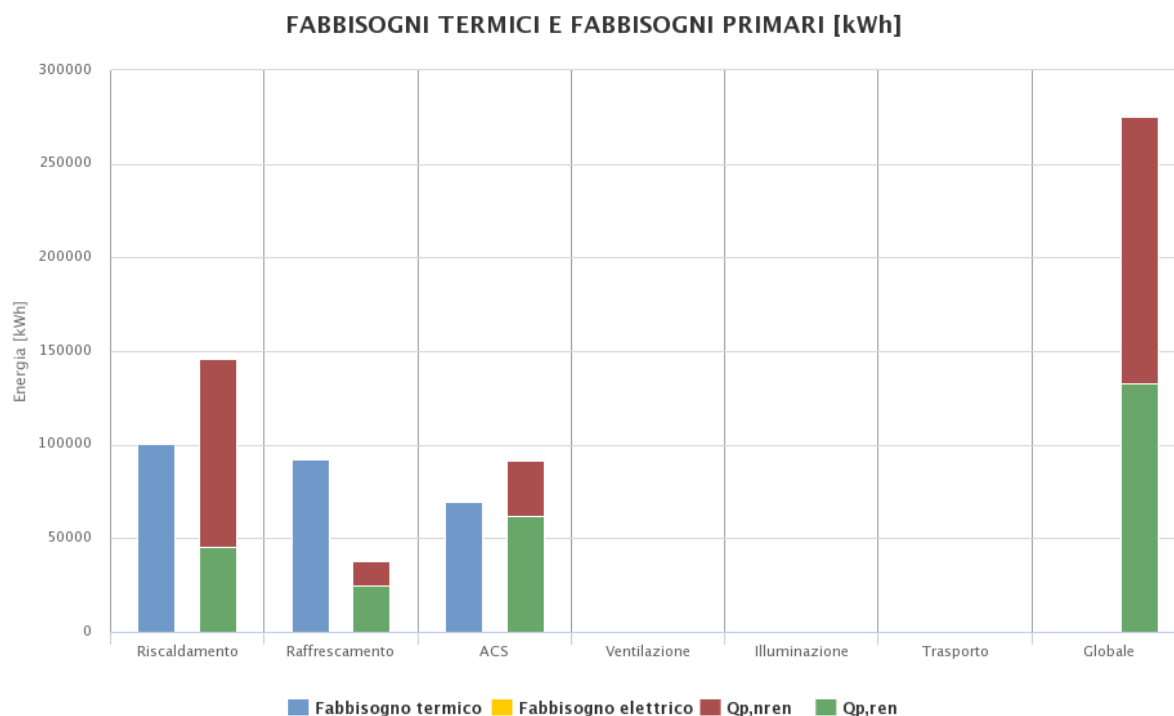


Figura 62 - Fabbisogni termici e fabbisogni energia primaria rinnovabile e non rinnovabile [kWh]

All'interno del caso studio corrente, ovvero il caso B1 in cui è presente un sistema ibrido caldaia a condensazione – pompa di calore, sono stati ipotizzati due ulteriori scenari nei quali vengono variate le percentuali di copertura di fabbisogno di energia termica utile dei due generatori con funzione contemporanea. Per quanto riguarda lo scenario appena analizzato, la percentuale di copertura dei fabbisogni è stata assegnata per il 57% alla pompa di calore con una potenza utile nominale di 45kW e per il 43% alla caldaia a condensazione, con una potenza utile nominale di 68kW. Lo scopo degli scenari che seguono è quello di valutare delle variazioni rispetto alla situazione intermedia, al fine di individuare la situazione più adatta per quanto riguarda l'edificio oggetto di studio.

6.4.8. Scenario alternativo sistema ibrido I – B1.1

In questo scenario è stato configurato il sistema ibrido affidando la percentuale maggiore di copertura di fabbisogno di energia termica utile alla caldaia a condensazione. Riducendo la potenza utile nominale della pompa di calore da 45 kW a 15 kW, infatti, è possibile affidarne il 35% di copertura di fabbisogno di energia termica utile, permettendo alla caldaia da 68 kW di colmarne il 65% restante. L'ipotesi di questo scenario comporta un aumento di fabbisogno di energia primaria non rinnovabile $EP_{gl,nren}$ da un valore di 34,98 kWh/m²/anno ad uno di 43,38 kWh/m²/anno, dovuto al fatto che si sta assegnando maggiore copertura da parte della caldaia. All'interno dei grafici in Figura 63-64, sono riportati gli andamenti dei fabbisogni

mensili di energia termica in uscita dai generatori. Si può notare come, rispetto al caso di partenza B1, l'andamento dei fabbisogni riferito alla pompa di calore abbia subito un ribasso riferito al periodo dei mesi invernali. Infatti, i valori di fabbisogno hanno assunto un andamento pressappoco costante, a differenza del grafico riferito alla curva dei fabbisogni mensili della caldaia a condensazione, il quale vede un aumento dei fabbisogni di energia termica in uscita dal generatore soprattutto nei mesi invernali. Grazie a questa modalità di funzionamento è possibile limitare il funzionamento del sistema di generazione pompa di calore durante il periodo invernale, nel quale a causa delle basse temperature risulta meno efficiente.

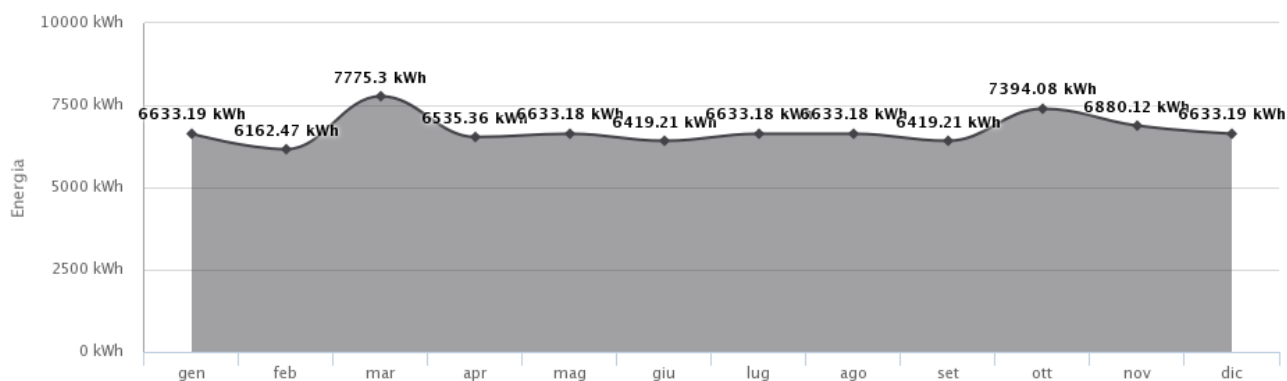


Figura 63 - Fabbisogno di energia termica in uscita PDC

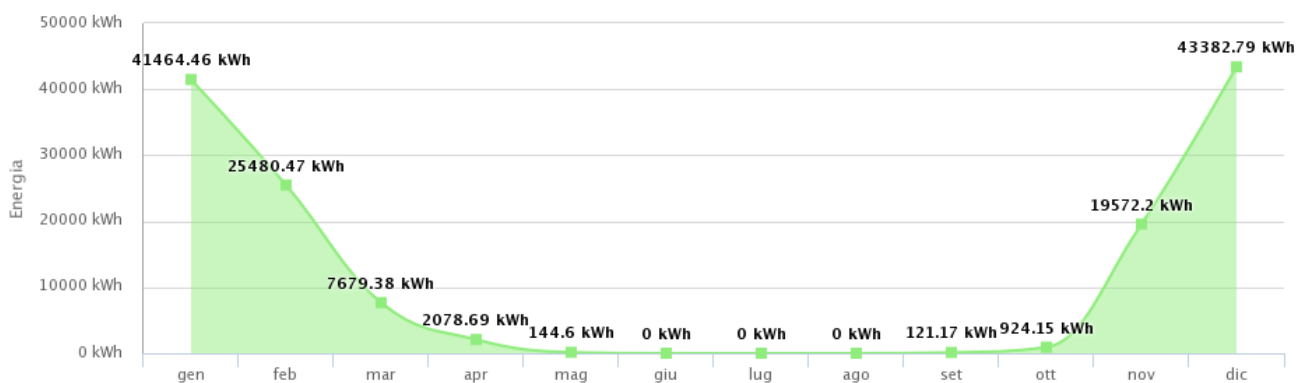


Figura 64 - Fabbisogno di energia termica in uscita Caldaia

L'ipotesi appena analizzata comporta quindi dei consumi di gas metano più elevati, a fronte di consumi elettrici minori riferiti al periodo invernale. La situazione sarà però bilanciata da una spesa iniziale minore rispetto al caso originale, riferita all'acquisto di una pompa di calore con potenza inferiore. È necessario tenere in considerazione l'impatto che può avere la modifica delle percentuali di copertura di fabbisogno dei sistemi di generazione sull'utilizzo dell'energia elettrica prodotta dall'impianto

fotovoltaico. All'interno della Figura 65 è riportato l'andamento della producibilità di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico, si nota come a causa di un minore utilizzo della pompa di calore durante la stagione invernale, gran parte dell'energia elettrica prodotta non viene utilizzata dall'edificio e quindi viene ceduta alla rete pubblica. Complessivamente, a fronte di un consumo di energia elettrica pari a 45'074 kWh, l'impianto fotovoltaico è in grado di produrre 49'772 kWh coprendo totalmente il fabbisogno di energia elettrica dei generatori. I risultati dello scenario corrente offrono quindi uno spunto interessante al fine di studiare un'ulteriore ipotesi, nella quale potrebbe venire ridotta la percentuale di copertura dei pannelli fotovoltaici, con l'obiettivo di ridurre le eccedenze di energia elettrica prodotta durante i mesi invernali.

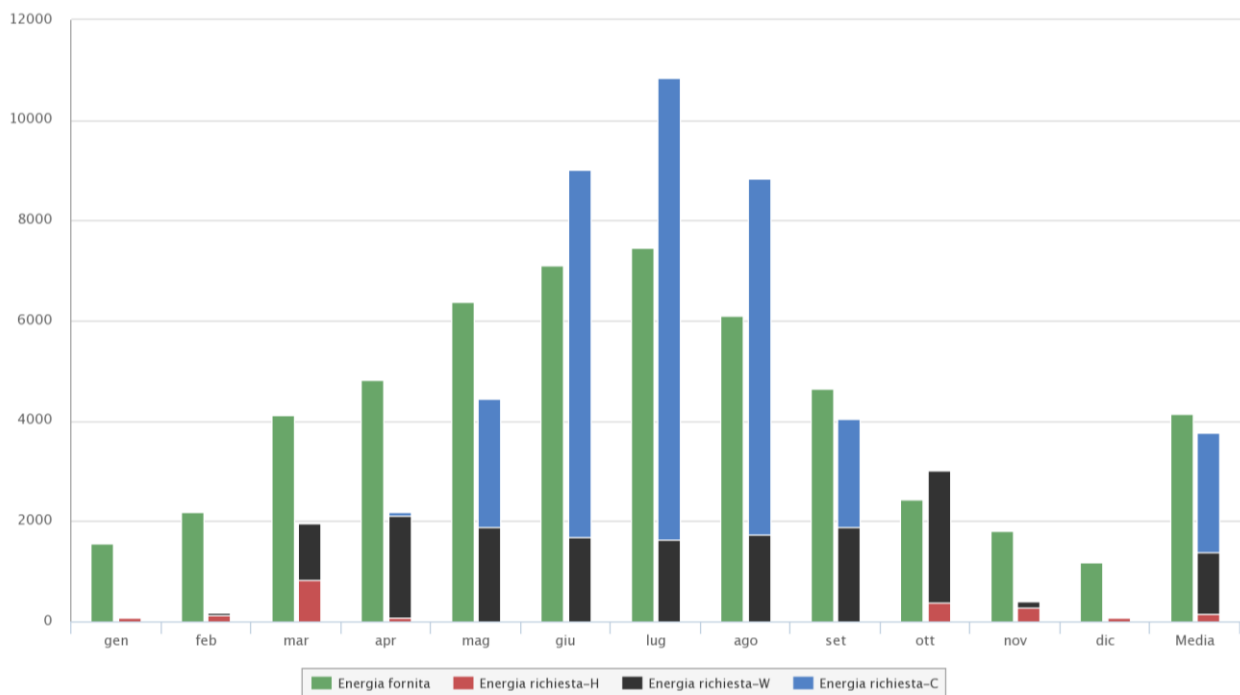


Figura 65 – Producibilità di energia elettrica impianto Fotovoltaico

6.4.9. Scenario alternativo sistema ibrido II – B1.2

Come terzo scenario è stato configurato il sistema ibrido spostando la percentuale maggiore di copertura di fabbisogno di energia termica in uscita dai generatori sulla pompa di calore. Riducendo la potenza utile nominale della caldaia a condensazione da 68 kW a 40 kW è possibile affidarne il 26% di copertura di fabbisogno di energia termica in uscita dal generatore e affidare il restante 74% alla pompa di calore. La variazione del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile in questo caso è lieve,

passando da un valore di EP_{gl,nren} pari a 34,98 kWh/m²/anno ad uno di 31,29 kWh/m²/anno, motivata dal fatto che si è intervenuti diminuendo l'utilizzo della caldaia, la quale fa affidamento ad una fonte di energia non rinnovabile. All'interno dei grafici in Figura 66-67, sono riportati gli andamenti dei fabbisogni mensili di energia termica in uscita dai generatori. È evidente che nello scenario corrente l'andamento dei fabbisogni riferito alla pompa di calore interessa un aumento durante la stagione invernale, in particolare, nei mesi di gennaio e dicembre tale variazione è all'incirca del doppio, con un aumento dei valori di fabbisogno di energia termica in uscita dal generatore di circa 10'000 kWh. Di conseguenza, facendo riferimento al grafico della curva dei fabbisogni mensili della caldaia a condensazione, vi è una diminuzione dei valori di fabbisogno di energia termica in uscita dal generatore dello stesso ordine di grandezza.

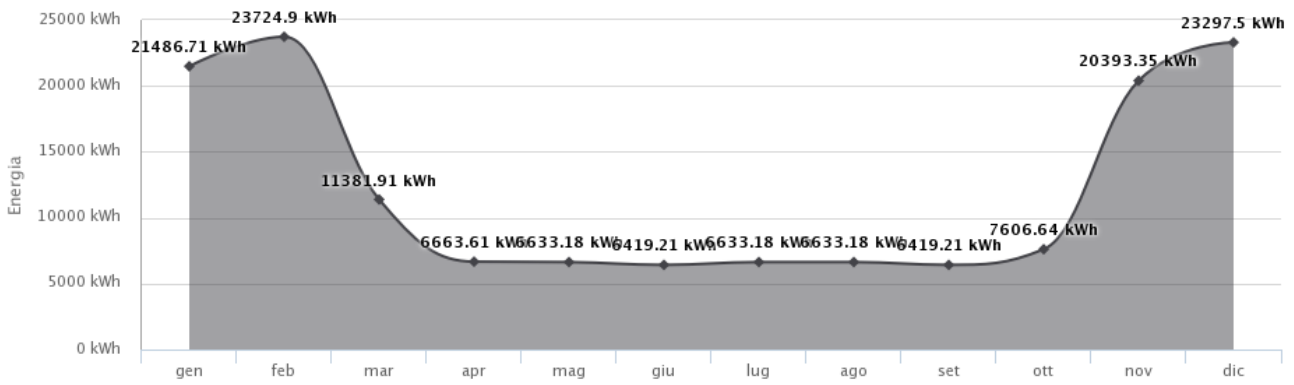


Figura 66 - Fabbisogno di energia termica in uscita PDC

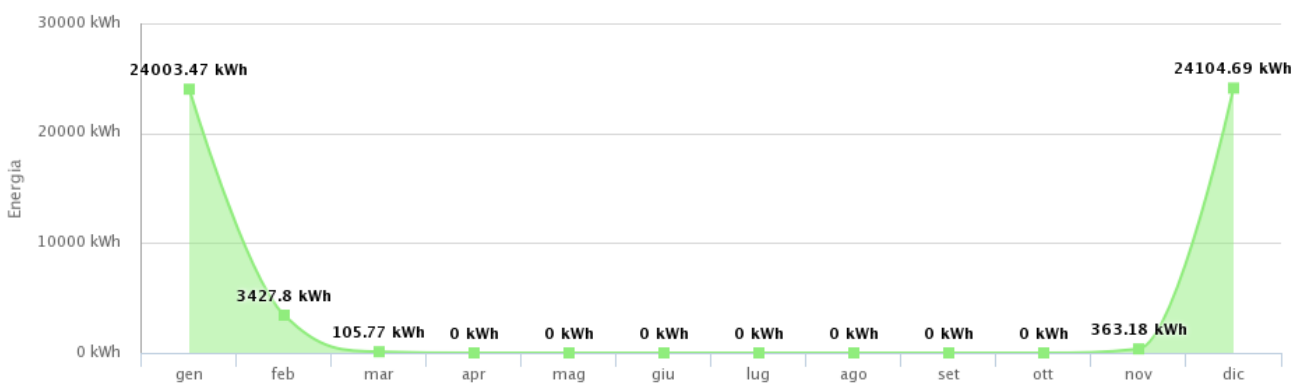


Figura 67 - Fabbisogno di energia termica in uscita Caldaia

A seguito della configurazione analizzata vi sarà una riduzione dei consumi di gas metano, con un conseguente aumento dei consumi elettrici riferiti al periodo invernale. Si evidenzia che al contempo le spese iniziali di acquisto di una caldaia a condensazione, dotata di minore potenza utile nominale, saranno minori rispetto al

caso di origine. Lo scenario corrente presenterebbe dei grandi vantaggi in termini economici se il fabbisogno di energia termica in uscita dalla pompa di calore fosse coperto dall'impianto fotovoltaico. Osservando l'andamento della producibilità di energia elettrica del fotovoltaico riportato in Figura 68, si evince che, dato il consistente aumento dei fabbisogni di energia termica in uscita dalla pompa di calore, l'energia elettrica prodotta dalla fonte rinnovabile non è sufficiente a far fronte alla richiesta proveniente dal sistema di generazione. Infatti, il sistema fotovoltaico è in grado di produrre 49'772 kWh di energia elettrica all'anno, ovvero è in grado di coprire solo il 61% del fabbisogno totale di energia elettrica pari a 80'341 kWh. A seguito di queste considerazioni, viene dedotto che lo scenario corrente non rappresenta la soluzione più ottimale che potrebbe caratterizzare l'edificio oggetto di studio.

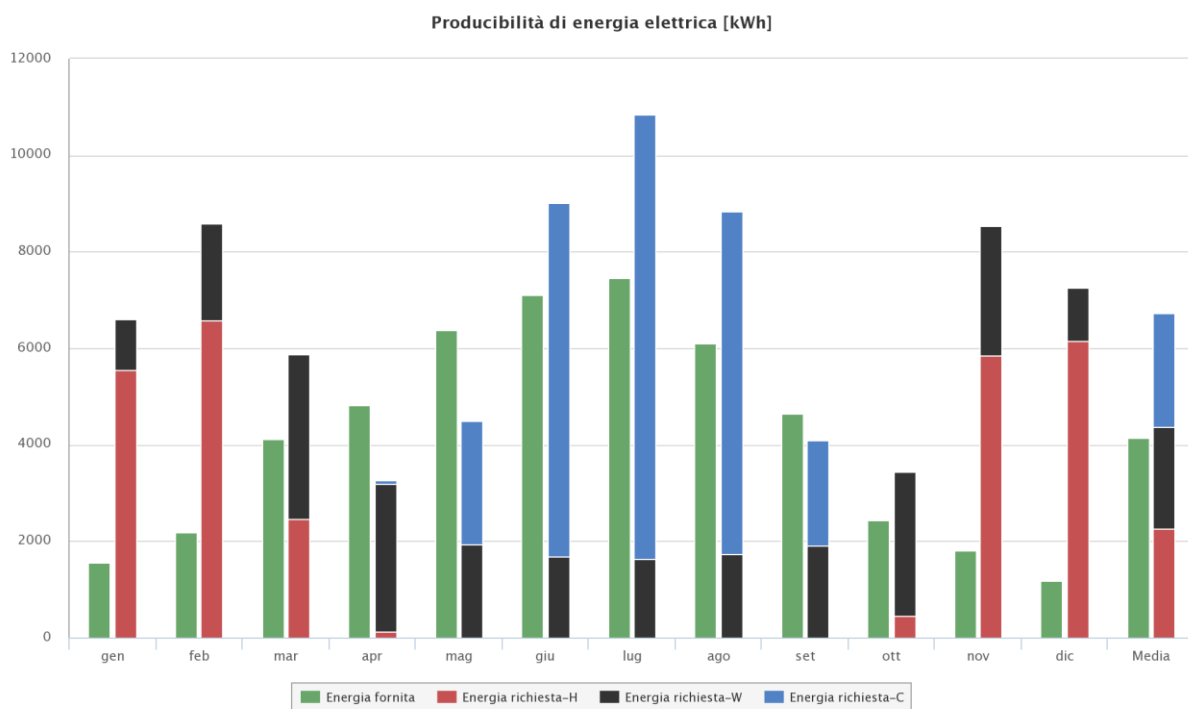


Figura 68 – Producibilità di energia elettrica impianto Fotovoltaico

6.4.10. Scenario alternativo sistema fotovoltaico I – B1.3

L'analisi dei risultati ottenuti dallo studio dello scenario al paragrafo 6.4.8, ha costituito la necessità di effettuare un'ulteriore ipotesi con l'obiettivo di ridurre le eccedenze di energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico durante i mesi invernali. A seguito di tali considerazioni si è ipotizzato di ridurre la superficie dei pannelli fotovoltaici del 20%, pertanto l'andamento mensile della producibilità di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico è stato ridotto della medesima quantità (Figura 69). La variazione del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile in questo

caso è minima, passando da un valore di $EP_{gl,nren}$ pari a $43,28 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$ ad uno di $45,66 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$. Nel dettaglio, pur riducendo la superficie dei pannelli fotovoltaici del 20% il sistema è in grado di produrre $39'771 \text{ kWh}$ di energia elettrica all'anno, coprendo circa l'88% del fabbisogno annuale di energia elettrica pari a 45.074 kWh . Ciò comporterà un aumento dei costi di fornitura dell'energia elettrica rispetto allo scenario di partenza, ma al contempo vi sarà un risparmio riguardante l'acquisto di una minor superficie di pannelli fotovoltaici. Per quanto riguarda le eccedenze di energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico, all'interno dello scenario corrente è stato possibile ridurre il loro valore del 20%, trovando un giusto connubio tra i mesi in cui la richiesta di energia elettrica è elevata (stagione estiva) e quelli in cui si verificano le eccedenze (stagione invernale).

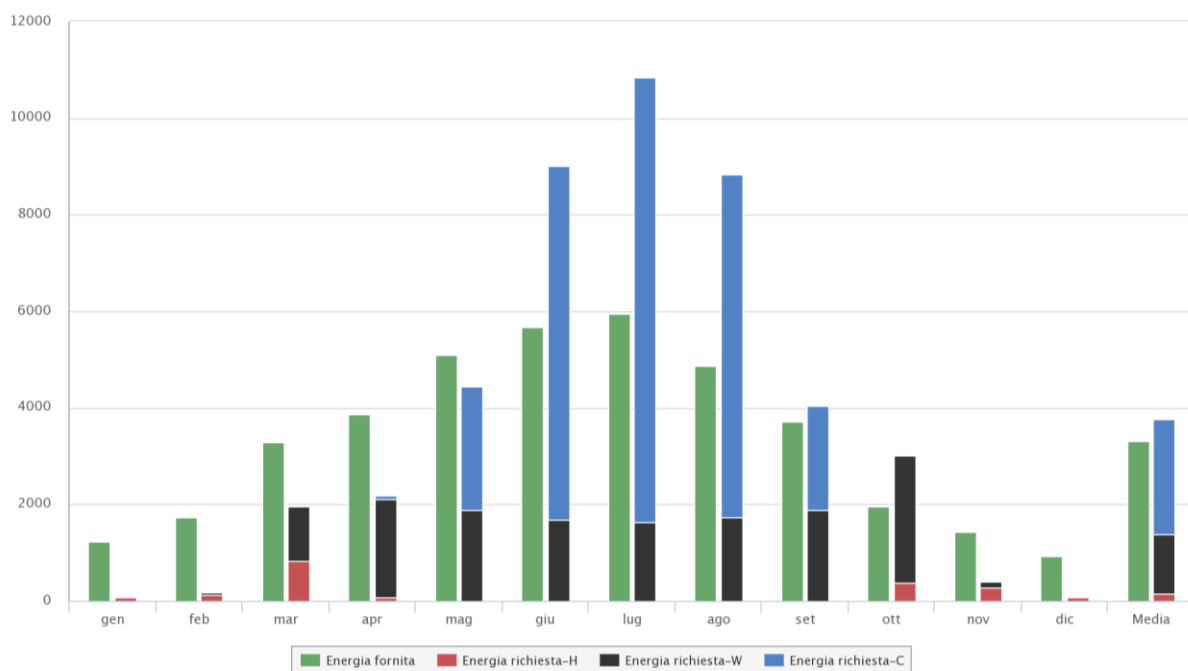


Figura 69 - Producibilità di energia elettrica Fotovoltaico [kWh]

6.4.11. Scenario alternativo sistema fotovoltaico II – B1.4

In questo caso è stata avanzata un'ulteriore ipotesi inerente allo stesso caso di partenza, ovvero quella di ridurre ulteriormente la superficie dei pannelli fotovoltaici fino al 50%, in modo da potere successivamente valutarne il rapporto tra l'acquisto di un numero inferiore di pannelli e l'aumento delle spese dovute alla fornitura di energia elettrica per l'edificio. In questo caso il valore di fabbisogno di energia primaria non rinnovabile passa da $EP_{gl,nren}$ pari a $43,28 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$ a $50,25 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$. Il grafico dell'andamento mensile della producibilità elettrica del sistema fotovoltaico è quindi ridotto del 50% rispetto allo scenario di partenza (Figura 70), riducendo di grand lunga le eccedenze che si verificavano durante la stagione invernale, a discapito

di una copertura molto inferiore del fabbisogno di energia elettrica durante il periodo estivo. Nell'arco di un anno, a fronte di un consumo di energia elettrica pari a 45'074 kWh l'impianto fotovoltaico è in grado di coprire circa il 55% di tale fabbisogno, producendo 24'866 kWh di energia elettrica. Nei capitoli successivi sarà valutato quantitativamente il rapporto tra i costi di realizzazione del sistema fotovoltaico con superficie progressivamente ridotta e le conseguenti variazioni di consumo di energia elettrica in bolletta.

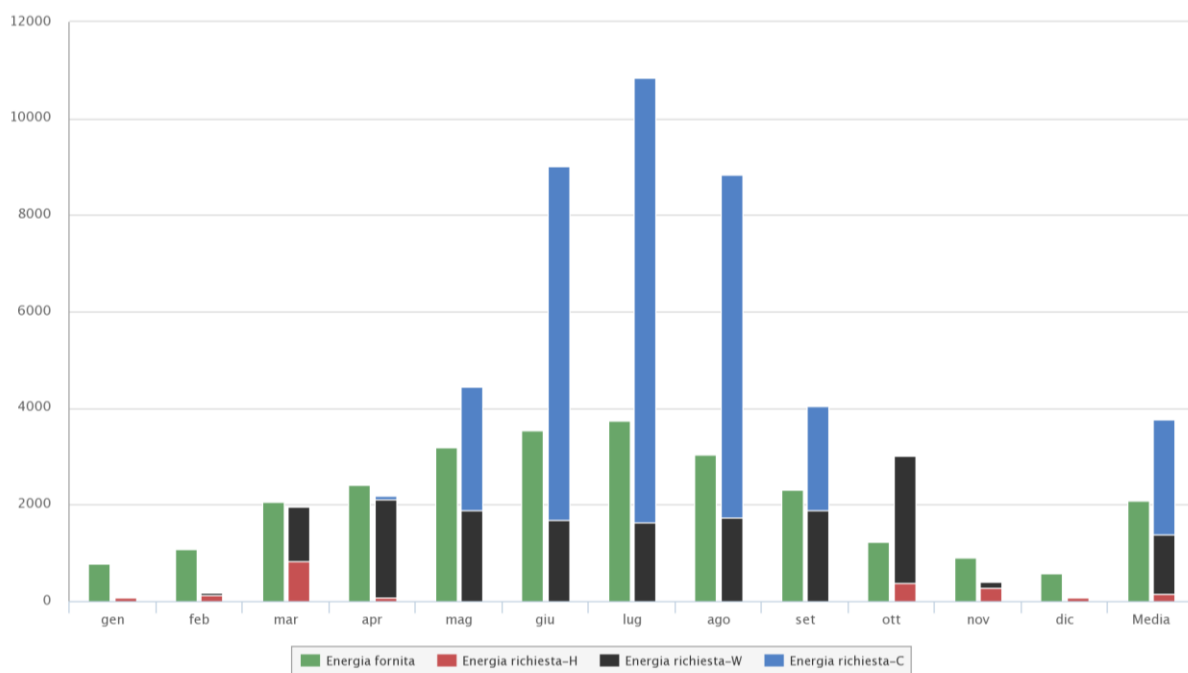


Figura 70 - Producibilità di energia elettrica Fotovoltaico

6.5. Proposta di intervento B2 (PDC-FV)

In questo scenario viene ipotizzato l'utilizzo di una pompa di calore ed un impianto fotovoltaico, mantenendo i radiatori a bassa temperatura. L'obiettivo è quello di valutare le differenze in termini migliorativi rispetto al caso precedente B1, all'interno del quale era stato considerato l'utilizzo di un sistema ibrido, congiuntamente all'utilizzo di un impianto fotovoltaico. I risultati della simulazione restituiscono una categorizzazione in classe energetica A3, con un valore di fabbisogno globale di energia non rinnovabile $EP_{gl,nren} = 32,27 \text{ kWh/m}^2/\text{anno}$ (Figura 71), lievemente minore del caso precedente B1.

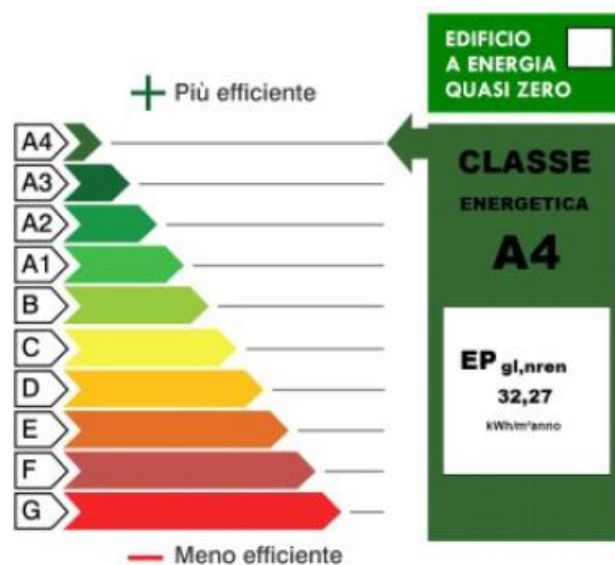


Figura 71 – Classe energetica dell'edificio

6.5.1. Pompa di calore

La pompa di calore è un apparecchio che usa il motore elettrico di un compressore per trasferire calore in modo molto efficiente da un ambiente più freddo a uno più caldo. Il ciclo avviene senza bruciare combustibili fossili come il gas metano, viene invece utilizzata l'energia elettrica, prodotta per esempio, da pannelli fotovoltaici posti sul tetto dell'edificio, evitando quindi emissioni di gas-serra [18]. In Figura 72 viene illustrato lo schema di funzionamento della pompa di calore:

- L'ambiente esterno e l'interno dell'abitazione sono due sorgenti di calore;
- Nel periodo invernale l'aria esterna è un serbatoio freddo alla temperatura T_f , mentre l'aria interna è un serbatoio caldo alla temperatura $T_c > T_f$;
- Il motore della pompa di calore, compiendo un lavoro W , estrae la quantità di calore Q_f dal serbatoio freddo e trasferisce nel serbatoio caldo una quantità di calore maggiore, pari a $Q_c = Q_f + W$.

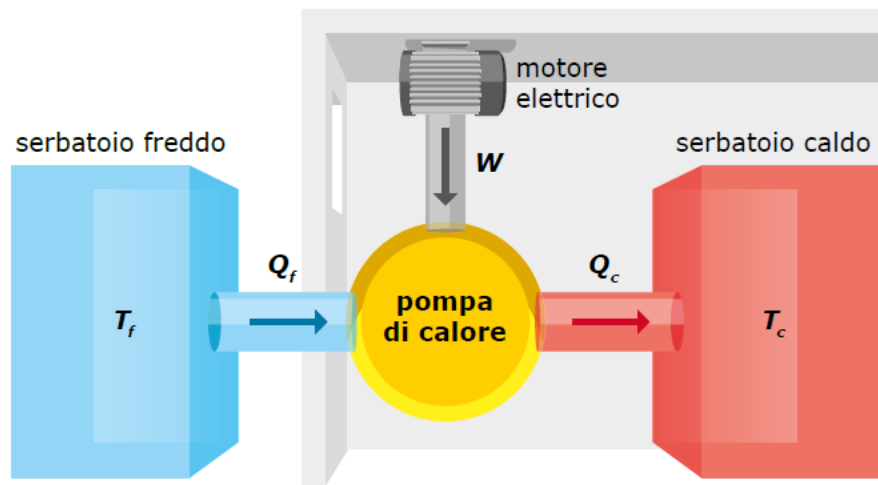


Figura 72 – Schema di funzionamento PDC

L'efficienza delle pompe di calore si misura con il parametro chiamato COP (coefficient of performance), dato come il rapporto tra il calore trasferito e il lavoro speso per trasferire il calore:

$$COP = \frac{Q_c}{W} = 1 + \frac{Q_f}{W}$$

Le pompe di calore in commercio sono generalmente caratterizzate da un valore del COP vicino a 3, ovvero che, per ogni joule di energia elettrica consumato per far funzionare la pompa, l'ambiente interno viene riscaldato con 3 Joule di calore.

La pompa di calore permette la circolazione del fluido in un circuito dotato di due scambiatori di calore, sfruttando il calore latente associato ai cambiamenti di stato del fluido. In Figura 73 si illustra il funzionamento dei componenti della pompa di calore:

- All'interno dell'evaporatore il fluido è allo stato liquido, a temperatura minore di T_f ; l'ambiente esterno (serbatoio freddo) quindi, cede il calore Q_f , che fa evaporare il liquido;
- Il vapore passa attraverso un compressore, che compiendo il lavoro W comprime il vapore, riscaldandolo a temperatura maggiore di T_c ;
- Nel condensatore il vapore cede all'ambiente interno (serbatoio caldo) il calore Q_c ; in questo modo il vapore viene raffreddato e torna allo stato liquido;
- Il liquido, attraversando una valvola di laminazione che ne permette l'espansione, viene raffreddato ulteriormente e torna a temperatura minore di T_f , il ciclo da questo punto si ripete.

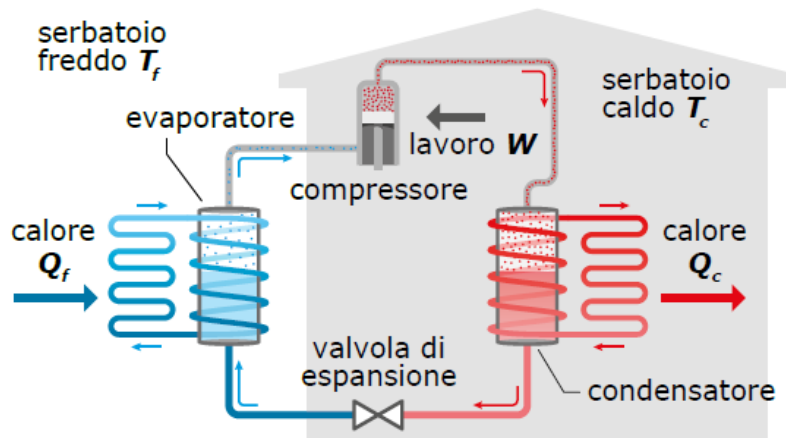


Figura 73 – Funzionamento dei componenti PDC

Il ciclo termodinamico del riscaldamento avviene secondo il diagramma di Andrews riportato in Figura 74, che descrive la relazione tra pressione e volume per un gas reale:

- Sono presenti le curve isoterme relative al serbatoio freddo (blu) e a quello caldo (rossa);
- Il calore Q_f è assorbito durante l'evaporazione, mentre Q_c è ceduto durante la condensazione;
- La fase di espansione è adiabatica, quindi non comporta scambi di calore;
- Il ciclo è percorso in senso antiorario, quindi il fluido compie un lavoro negativo che è pari al lavoro W fatto dalla pompa, con segno opposto, durante la fase di compressione adiabatica.

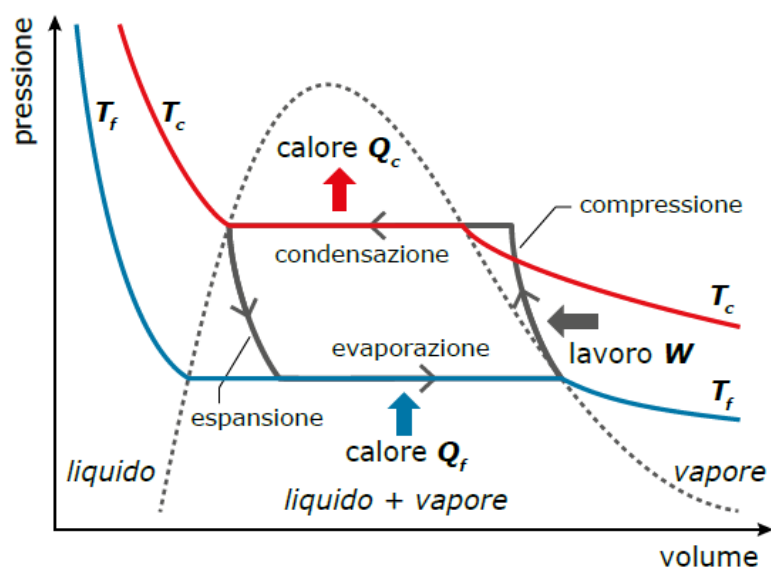


Figura 74 – Diagramma di Andrews, ciclo termodinamico PDC

6.5.2. Utilizzo dell'impianto pompa di calore

Come generatore, per soddisfare la richiesta di potenza nominale, è stato ipotizzato di installare due pompe di calore "BAXI - BHP2-i 2017" (Allegato XI Scheda tecnica pompa di calore Baxi) con potenza nominale di 45 kW ciascuna. L'utilizzo di due pompe di calore che lavorano in contemporanea, impedisce il sovraccarico di una delle due nei periodi di massimo fabbisogno di energia termica ed inoltre, nel caso di manutenzione o guasto di una delle due pompe, è sempre garantita una minima fornitura di acqua calda sanitaria e riscaldamento. Come indicato dal produttore le pompe di calore sono posizionate all'esterno, al di fuori della centrale termica, dentro la quale sono installati il puffer per il riscaldamento, il boiler per l'acqua calda sanitaria e il gruppo di circolazione (Allegato XV Pianta centrale termica p.d.c.). Come indicato nella scheda tecnica, la temperatura di 50° C richiesta dall'impianto di riscaldamento è garantita con temperatura esterna superiore a -5° C. Al di sotto di tale temperatura la pompa di calore non riesce a garantire una temperatura di mandata sufficiente, entra quindi in funzionamento una resistenza elettrica presente all'interno della pompa di calore stessa in grado di riscaldare l'acqua alla temperatura richiesta.

In Figura 75 è riportato l'andamento mensile del fabbisogno di energia termica utile in uscita dalle pompe di calore, le quali sono utilizzate per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento durante la stagione invernale. Grazie all'installazione di un impianto fotovoltaico in copertura, è possibile compensare il consumo di energia elettrica derivato dalla climatizzazione estiva, invernale e dalla produzione di acqua calda sanitaria. Ciò viene reso evidente dal grafico in Figura 76, all'interno del quale è riportato l'andamento della producibilità elettrica dell'impianto fotovoltaico, è possibile infatti osservare che durante la stagione estiva vi è la copertura di buona parte del fabbisogno di energia elettrica.

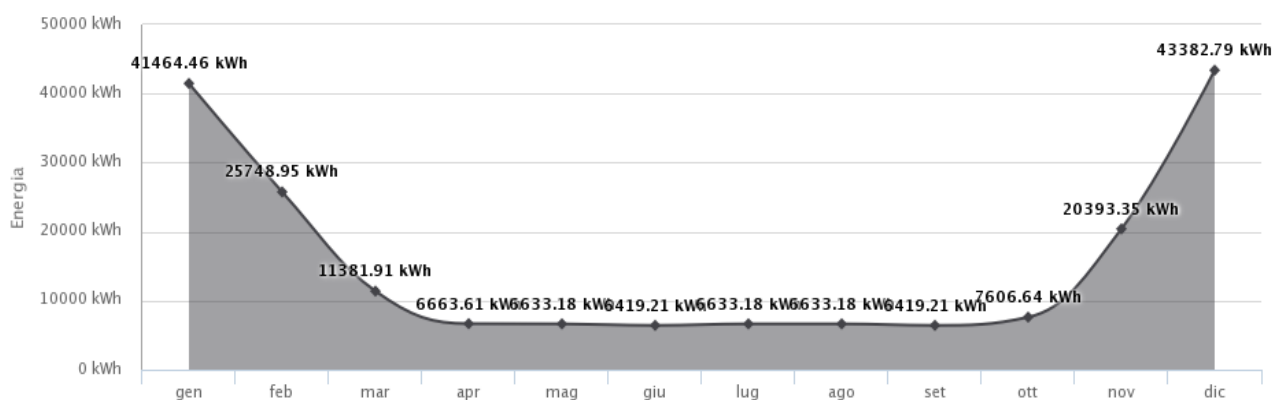


Figura 75 – Fabbisogno di energia termica in uscita dalle Pompe di Calore

Durante la stagione invernale, invece, i fabbisogni di energia elettrica necessari al sistema pompa di calore per la produzione di acqua calda per il riscaldamento sono molto più elevati rispetto ai fabbisogni di energia elettrica per la climatizzazione estiva

e al contempo l'impianto fotovoltaico non è in grado di produrre la stessa quantità di energia elettrica rispetto alla stagione estiva. Complessivamente, quindi, il carico annuale di energia elettrica pari a 113'743 kWh viene coperto per il 44% circa dall'impianto fotovoltaico, il quale è in grado di produrre 49'772 kWh di energia elettrica.

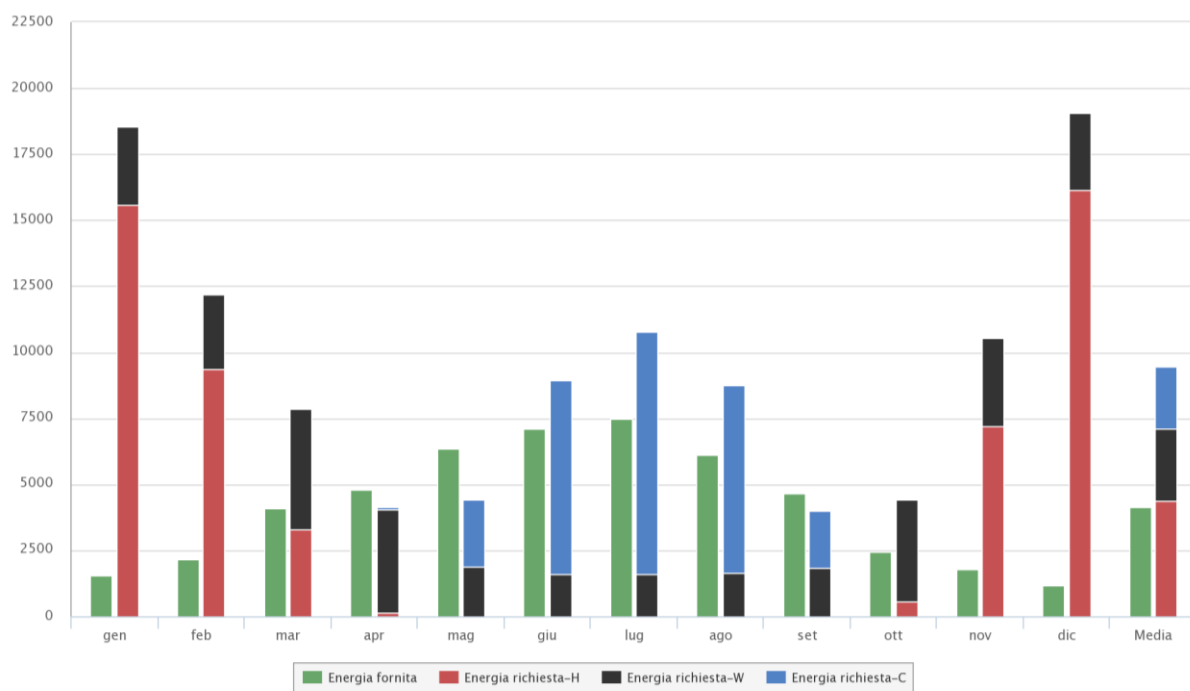


Figura 76 – Producibilità di energia elettrica dell'impianto Fotovoltaico

6.5.3. Confronto con il caso B0 (CG non isolato)

A seguito del miglioramento dell'aspetto impiantistico, i fabbisogni di energia primaria globale e per il riscaldamento hanno subito la variazione rispettivamente del 78% e dell'87% (Tabella 26). Nel corso dei diversi scenari analizzati, le variazioni in merito alla diminuzione dei fabbisogni sono pressappoco tutte degli stessi ordini di grandezza, a parità di dispersioni attraverso l'involucro. La differenza più sostanziale risiede nell'analisi dei dati ottenuti in merito alle due componenti di energia rinnovabile e non rinnovabile.

Fabbisogni di energia primaria [kWh/m ²]			
	B0	B2	Var. %
EPH,tot	198,53	25,58	87
EPgl,tot	229,17	51,50	78

Tabella 26 – Confronto caso B2 con B1

Legenda	
EPH,tot	Fabbisogno totale di energia primaria per il riscaldamento [kWh/m ²]
EPgl,tot	Fabbisogno globale di energia primaria totale [kWh/m ²]

A differenza del caso trattato precedentemente B1 (IBR-FV), nel quale veniva utilizzato un sistema ibrido congiuntamente ad un impianto fotovoltaico, in questa simulazione il solo utilizzo del sistema pompa di calore – impianto fotovoltaico impatta sui risultati finali. Infatti, come si evince dal grafico di Figura 77, il fabbisogno termico di energia non rinnovabile vede una diminuzione dell'ordine di circa 10'000 kWh dovuto alla migliore prestazione del sistema in pompa di calore, in grado di utilizzare una maggior quantità di energia non rinnovabile. Per contro, la componente di fonte di energia rinnovabile è anch'essa in calo, poiché l'impianto fotovoltaico non è in grado di coprire completamente il fabbisogno elettrico delle pompe di calore.

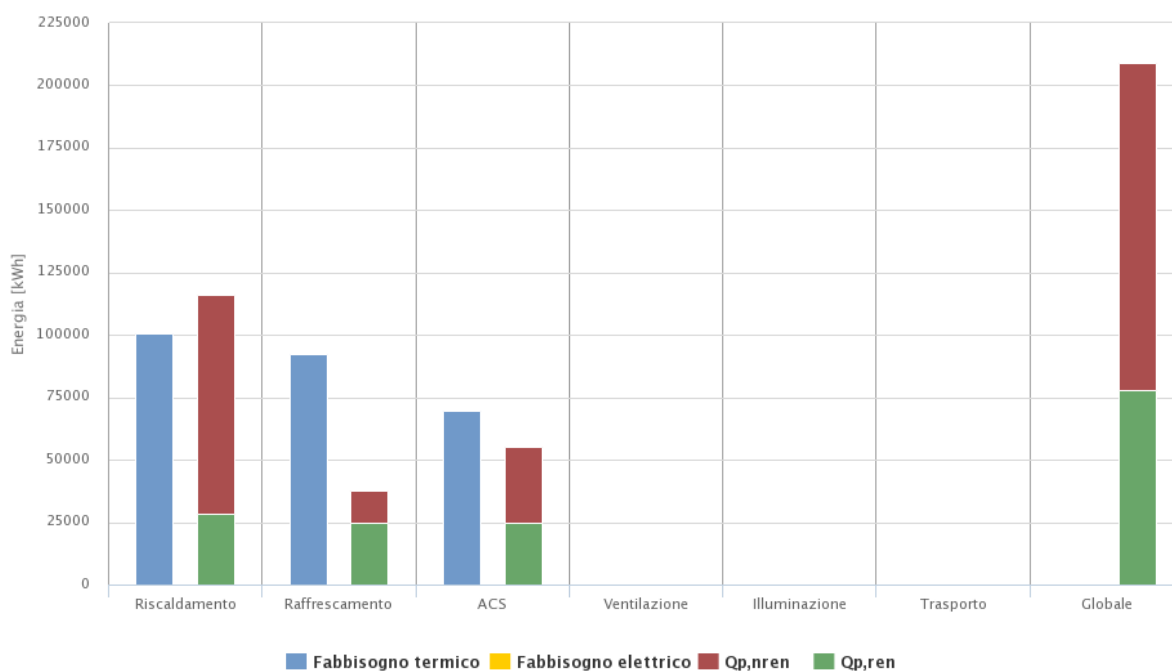


Figura 77 – Fabbisogni termici e fabbisogni energia primaria rinnovabile e non rinnovabile [kWh]

7 Analisi costi - benefici

Una volta definiti e analizzati i risultati dei singoli casi studio, si procede alla determinazione dei costi di realizzazione degli interventi migliorativi, con l'obiettivo di fornire un criterio quantitativo di valutazione del rapporto fra costi e benefici di ogni scenario ipotizzato.

7.1. Metodologia

L'analisi dei benefici costituisce una componente essenziale nel processo di diagnosi energetica, poiché grazie ad essa è possibile definire le opportunità di risparmio energetico e quindi valutarne i benefici economici che ne conseguono. È stata eseguita una doppia valutazione: nel primo caso si è preso come riferimento il costo unitario (euro/kWh) precedente alla crisi energetica (scenario costi 2020), nella seconda valutazione, invece, si è tenuto conto dei rincari dovuti alla crisi (scenario costi 2022). Si evidenzierà come, a causa dei recenti aumenti, sia molto conveniente dal punto di vista economico effettuare un efficientamento energetico dell'edificio, ottenendo tempi di ritorno dell'investimento dimezzati rispetto allo scenario pre-crisi energetica.

7.2. Analisi dei costi

I costi relativi alla realizzazione degli interventi sono stati stimati con l'ausilio del prezzario "DEI recupero e ristrutturazione 2022" il quale fornisce le voci di costo con la relativa descrizione dettagliata per ogni tipologia di intervento. Associando quindi le specifiche quantità al costo unitario è stato possibile ottenere un valore totale corrispondente al costo di realizzazione di ciascuno scenario. Nelle Tabelle 27-28 sono stati riportati i costi di intervento per i differenti casi studio.

	A1	A2
	TR	TR-ST
Efficientamento Involucro	€ 1'811'492	€ 1'811'492
Efficientamento Impianti	-	€ 182'316
Totale	€ 1'811'492	€ 1'993'808

Tabella 27 – Costi di realizzazione interventi A

	B1	B2
	IBR-FV	PDC-FV
Efficientamento Involucro	€ 1'811'492	€ 1'811'492
Efficientamento Impianti	€ 333'678	€ 368.678
Totale	€ 2'145'170	€ 2'180'170

Tabella 28 – Costi di realizzazione interventi B

All'interno dei grafici di Figura 78-79-80-81 sono rappresentate le incidenze dei costi di realizzazione degli interventi per ogni scenario di intervento, dove quella maggiore è associata alla posa in opera del cappotto termico e alla sostituzione dei serramenti, il motivo, oltre all'elevato costo che hanno raggiunto i materiali negli ultimi anni e al costo dei ponteggi, è dovuto dal fatto che le superfici dell'edificio sulle quali intervenire sono molto vaste, così come i serramenti da sostituire sono una quantità considerevole. (Allegati XVI-XVII-XVIII-XIV Computi).

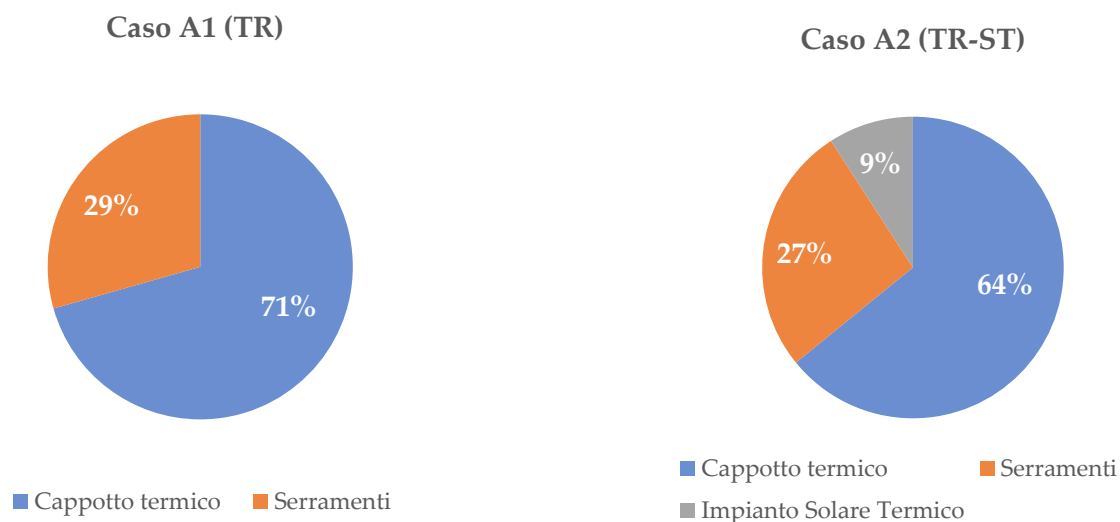


Figura 78 – Incidenze costi di realizzazione caso A1

Figura 79 – Incidenze costi di realizzazione caso A2

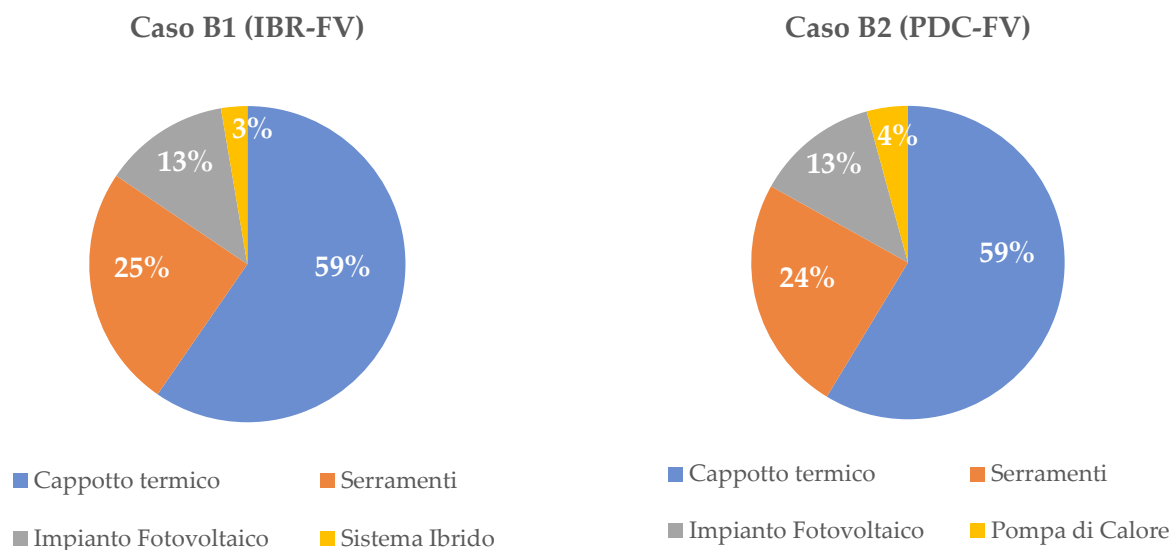


Figura 80 – Incidenze costi di realizzazione caso B1 Figura 81 – Incidenze costi di realizzazione caso B2

7.3. Analisi costi-benefici caso A

I costi unitari con i relativi consumi reali sono stati ricavati dalla bolletta riferita all'anno 2021/2022, fornita dall'amministratore dell'edificio (Tabella 29). Tramite le banche dati ISTAT è stato analizzato l'andamento della temperatura media invernale degli ultimi dieci anni, si registra, per l'anno di riferimento della bolletta disponibile, una temperatura media di 4,4°C. Tale valore è al di sotto della media decennale di 5°C, con valori di minimo pari a 4°C e di massimo pari a 6°C; da ciò si può dedurre che l'analisi è stata effettuata con un margine di sicurezza, sopravvalutando i consumi riferiti agli anni successivi.

Costo Energia A0 – TR non isolato		
Consumo riscaldamento+acs	452'586	kWht
Costo unitario scenario costi 2020	0,086	euro/kWht
Costo unitario scenario costi 2022	0,210	euro/kWht
Costo totale scenario costi 2020	38'923	euro/kWht
Costo totale scenario costi 2022	95'043	euro/kWht

Tabella 29 – Costi fornitura di energia caso A0

Per fornire un'analisi più realistica sono stati utilizzati i reali valori di consumo e di costo per riscaldamento e acqua calda sanitaria presenti all'interno delle bollette dell'edificio, a cui sono state applicate le variazioni calcolate sui risultati dei modelli di TermoLog. L'ipotesi di applicare ai valori dei consumi reali in bolletta un fattore di correzione in valore percentuale riferito al modello, permette di ottenere una buona approssimazione del risparmio ottenibile dalla realizzazione degli scenari migliorativi, tenendo conto delle dinamiche di consumo reali. Nel caso in esame, per la valutazione costi-benefici, non viene considerato il consumo di energia elettrica dato dal sistema di distribuzione dell'acqua calda e dai condizionatori a pompa di calore per la climatizzazione estiva, poiché, ai fini conservativi, si considera costante in tutte e tre i casi sebbene, grazie al maggior isolamento termico, i consumi elettrici avranno un leggero calo.

Si riportano in tabella i consumi ottenuti dalla modellazione con TermoLog nel caso di partenza A0 e nei due scenari di intervento, da questi si è ricavata la variazione dei consumi e quindi i risparmi in bolletta (Tabella 30).

		A0	A1	A2
		TR no isol.	TR	TR-ST
Consumi	Riscaldamento [kWht]	708'847	195'058	195'058
	ACS [kWht]	80'156	80'156	80'156
	Energia fornita dal solare termico [kWht]	0	0	145'470
	Totale [kWht]	789'003	275'213	129'743
Costi bollette	Variazione con caso A0 [%]	-	65%	84%
	Risparmio in bolletta annuo scenario costi 2020	-	€ 25'345	€ 32'522
	Risparmio in bolletta annuo scenario costi 2022	-	€ 61'890	€ 79'414

Tabella 30 – Consumi energetici annuali e costi bollette

È possibile usufruire di un bonus di detrazione fiscale del 50% per interventi di ristrutturazione edilizia, quindi, ai fini del calcolo del tempo di ritorno dell'investimento è stata considerata una detrazione Irpef, ripartita in 10 quote annuali, del 50% sulle spese sostenute. All'interno della Tabella 31 viene mostrato in quanti anni è possibile ammortizzare le spese di intervento, tenendo conto dei risparmi annui in bolletta e delle detrazioni fiscali attuabili.

Scenari di intervento	A0	A1	A2
Costi di realizzazione	-	€ 1'811'492	€ 1'993'808
Detrazione annua (50% dell'intervento dilazionata in 10 anni)	-	€ 90'574	€ 99'690
Periodo di ammortamento scenario costi 2020 (anni)	-	36	31
Periodo di ammortamento scenario costi 2022 (anni)	-	15	13

Tabella 31 – Detrazioni annue e periodi di ammortamento

Un'importante componente non trascurabile in tale analisi è proprio il costo dell'energia, infatti, la crisi energetica del 2022 ha comportato un considerevole aumento delle spese riferite ai consumi energetici. Analizzando questa variazione rispetto al periodo antecedente agli aumenti dei costi, è possibile evidenziare proprio l'efficacia del processo di diagnosi energetica, poiché, come riportato nella Tabella 31, a seguito degli interventi migliorativi proposti si consegue un beneficio che è molto più considerevole nei risultati riferiti al periodo 2022. Ciò deriva dal fatto che a seguito dell'aumento dei costi per le forniture dell'energia, ne conseguirebbero maggiori spese annuali, pertanto, riducendo i consumi energetici, si ottiene un risparmio notevole, ben maggiore rispetto al periodo antecedente la crisi energetica. Quindi pur aumentando i costi dell'energia, i costi degli interventi di efficientamento energetico possono essere ammortizzati in un periodo di anni inferiore rispetto allo scenario dei costi riferiti al 2020.

7.3.1. Detrazione fiscale 50%

Per stimare nel modo più veritiero il periodo di ammortamento è stata considerata una detrazione fiscale del 50% in base al bonus ristrutturazione edilizia, disciplinato dall'art. 16-bis del Dpr 917/86 [19]. In base a tale decreto e ai successivi aggiornamenti, per le spese sostenute fino al 31 dicembre 2024 è prevista una detrazione IRPEF (imposta sul reddito delle persone fisiche), ripartita in 10 quote con cadenza annuale del 50% delle spese sostenute con un limite massimo di spesa di 96.000 euro per ogni unità immobiliare. L'art. 16 bis del Dpr 917/86, al comma 1) prevede la detrazione fiscale, per le spese sostenute per gli interventi di recupero del patrimonio edilizio esistente che riguardano gli interventi di cui alle lett. a), b), c) e d) dell'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001 n. 380: "a) interventi di manutenzione ordinaria [...]; b) interventi di manutenzione straordinaria [...]; c) interventi di restauro e di risanamento conservativo [...]; d) interventi di ristrutturazione edilizia" [20]; e

gli interventi relativi alla realizzazione di opere finalizzate al conseguimento di risparmi energetici, con particolare riguardo all'installazione di impianti basati sull'impiego delle fonti rinnovabili di energia. Per motivi conservativi non sono stati presi in considerazione bonus maggiori, come ad esempio l'Ecobonus 110 %.

7.3.2. Periodo di ammortamento senza detrazione fiscale

Al fine di evidenziare l'importanza di una detrazione fiscale applicabile ai costi di realizzazione, è stato calcolato il periodo di ammortamento senza tener conto del bonus ristrutturazione edilizia del 50%. Dalla Tabella 32 si può notare come, non applicando una detrazione fiscale, il periodo di ammortamento raddoppia. La possibilità di poter usufruire di una consistente detrazione fiscale associata ad interventi di efficientamento energetico è quindi un elemento fondamentale che incentiva la committenza ad effettuare i diversi interventi migliorativi. In assenza di tali detrazioni si renderebbe necessaria un'ampia riduzione delle scale di intervento, poco sostenibili dal punto di vista economico, prevedendo quindi soluzioni migliorative di minore entità.

Scenari di intervento	A0	A1	A2
Costi di realizzazione	-	€ 1'811'492	€ 1'993'808
Periodo di ammortamento scenario costi 2020 (anni)	-	72	62
Periodo di ammortamento scenario costi 2022 (anni)	-	30	26

Tabella 32 – Periodo di ammortamento

7.3.3. Analisi costi-benefici scenario alternativo A2

Il caso A2 (teleriscaldamento-solare termico) è stato approfondito ulteriormente all'interno del paragrafo 6.2.5, ipotizzando lo scenario A2.1, all'interno del quale la superficie dei pannelli solari è stata ridotta da 75 a 40 unità. Sono stati quindi riportati in Tabella 33 i costi di realizzazione dell'intervento e confrontati con quelli dello scenario originalmente analizzato (A2, 75 pannelli); è possibile quindi conseguire un risparmio del 46% dovuto alla riduzione del numero di pannelli dell'impianto solare termico. Tali dati sono utili non solo per avere un quadro completo della stima dei costi della nuova configurazione, ma anche per poterne valutare il rapporto con i benefici ottenuti dal risparmio energetico, il quale è direttamente correlato alle spese per la fornitura dell'energia.

	Involucro	Impianto Solare termico	Totale
A2	€ 1'811'492	€ 182'316	€ 1'993'808
A2.1	€ 1'811'492	€ 98'142	€ 1'909'634

Tabella 33 - Riepilogo costi di realizzazione scenari alternativi

All'interno della Tabella 34 sono riportati i consumi energetici annuali degli scenari appena discussi con i relativi costi delle bollette riferiti al periodo 2020 e 2022, differenti per via del rincaro sui costi dell'energia. È possibile osservare delle variazioni minori dei consumi energetici del caso A2.1 rispetto al caso A2, conseguenza delle ipotesi di riduzione della superficie dell'impianto solare termico. Tali aumenti vengono in parte bilanciati da un minor costo di realizzazione iniziale, dovuto alla riduzione della superficie dei pannelli.

	A2	A2.1
Variazione consumi rispetto A0	84%	72%
Risparmio in bolletta annuo senario costi 2020	€ 32'522	€ 27'364
Risparmio in bolletta annuo senario costi 2022	€ 79'414	€ 67'480

Tabella 34 - Consumi energetici annuali e costi bollette

Per poter valutare l'effetto conseguente alla modifica dell'intervento di efficientamento del caso A2 (riduzione del numero di pannelli solari termici), in Tabella 35 è stata riportata la variazione dei costi di realizzazione e dei costi annui in bolletta. Lo scenario proposto prevede quindi un risparmio del 46% dei costi di realizzazione dell'impianto solare termico rispetto al caso A2, d'altro canto ne consegue un modesto aumento dei costi annuali in bolletta (da ripartire in 48 unità immobiliari). Ciò porta a concludere che lo scenario A2.1 può rappresentare una soluzione alternativa utile al caso A2, nel quale la superficie del solare termico era stata massimizzata per ottenere un'elevata copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria.

Scenari di intervento	A2.1
Variazione costi di realizzazione	€ - 84'174
Variazione costo bolletta annuo scenario 2020	€ + 5'158
Variazione costo bolletta annuo scenario 2022	€ + 11'934

Tabella 35 - Variazioni costi di realizzazione e fornitura di energia rispetto al caso A2

7.4. Analisi costi-benefici caso B

Per quanto riguarda il caso B0, essendo un caso fittizio, per i consumi si fa riferimento a quelli ottenuti tramite la modellazione con TermoLog. Avendo in questo caso una caldaia a gas e nei due casi di intervento delle pompe di calore, i costi unitari a cui si farà riferimento saranno quelli del gas metano e quelli dell'energia elettrica. Come nell'analisi dei casi "A" si fa riferimento ad uno scenario costi 2020 pre-crisi energetica e uno scenario costi 2022 post-crisi energetica. Per la determinazione del costo del gas si sono utilizzati gli indici PSV (media mensile dei prezzi di scambio all'ingrosso del gas sul Punto di Scambio Virtuale italiano), mentre per l'energia elettrica si sono utilizzati gli indici PUN (Prezzo Unico Nazionale dell'Energia Elettrica che viene scambiata fra produttori e fornitori sul mercato), in entrambi i casi sono poi stati aggiunti i costi di gestione, trasporto e tasse (Tabella 36).

Costo Energia B0 – CG non isolato		
Costo unitario gas scenario costi 2020	0,05	euro/kWht
Costo unitario gas scenario costi 2022	0,11	euro/kWht
Costo unitario energia elettrica scenario costi 2020	0,15	euro/kWhe
Costo unitario energia elettrica scenario costi 2022	0,30	euro/kWhe

Tabella 36 - Costi fornitura di energia caso B0

Si riportano in tabella i consumi ottenuti dalla modellazione in TermoLog nel caso di partenza B0 e nei due scenari di intervento. Essi sono suddivisi nel caso in cui derivano da gas metano (kWht) o da energia elettrica (kWhe). Da questi si è ricavato il costo delle bollette e quindi il risparmio rispetto allo scenario di partenza (Tabella 37).

		B0	B1	B2
		CG no isol.	IBR-FV	PDC-FV
Consumi	Riscaldamento [kWht]	768'007	77'219	0
	ACS [kWht]	84'892	16'554	0
	Riscaldamento [kWhe]	0	16'963	52'293
	ACS [kWhe]	0	22'709	32'994
	Raffrescamento [kWhe]	28'455	28'455	28'455
	Energia fornita dal fotovoltaico [kWhe]	0	49'772	49'772
	Totale [kWht]	852'899	93'773	0
	Totale [kWhe]	28'455	18'355	63'971
Costi bollette scenario 2020	Costo gas metano scenario costi 2020	€ 42'644	€ 4'688	-
	Costo energia elettrica scenario costi 2020	€ 4'268	€ 2'753	€ 9'595
	Totale bolletta scenario costi 2020	€ 46'913	€ 7'441	€ 9'595
	Risparmio in bolletta annuo scenario costi 2020	-	€ 39'471	€ 37'317
Costi bollette scenario 2022	Costo gas metano scenario costi 2022	€ 93'818	€ 10'315	-
	Costo energia elettrica scenario costi 2022	€ 8'536	€ 5'506	€ 19'191
	Totale bolletta scenario costi 2022	€ 102'355	€ 15'821	€ 19'191
	Risparmio in bolletta annuo scenario costi 2022	-	€ 86'533	€ 83'163

Tabella 37 - Consumi energetici annuali e costi bollette

Tenendo presente che, come nel caso A, è possibile usufruire del bonus del 50% per interventi di ristrutturazione edilizia e tenendo conto dei risparmi conseguibili in bolletta; all'interno della Tabella 38 viene mostrato in quanti anni è possibile ammortizzare le spese di intervento.

Scenari di intervento	B0	B1	B2
Costi di realizzazione	-	€ 2.145.170	€ 2.180.170
Detrazione annua (50% dell'intervento dilazionata in 10 anni)	-	€ 107.258	€ 109.008
Periodo di ammortamento scenario costi 2020 (anni)	-	27	29
Periodo di ammortamento scenario costi 2022 (anni)	-	12	13

Tabella 38 - Detrazioni annue e periodi di ammortamento

7.4.1. Periodo di ammortamento senza detrazione fiscale

Come illustrato nel paragrafo 7.3.2 inerente al caso A, la possibilità di usufruire di una detrazione fiscale (nei casi trattati del 50%) si rivela di fondamentale importanza, poiché in mancanza di essa i tempi di ammortamento risulterebbero raddoppiati (Tabella 39). Ciò renderebbe gli interventi proposti molto più onerosi dal punto di vista economico, pertanto difficilmente realizzabili in tal misura, portando alla necessità di eliminare o ridurre gli interventi di efficientamento energetico analizzati.

Scenari di intervento	B0	B1	B2
Costi di realizzazione	-	€ 2.145.170	€ 2.180.170
Periodo di ammortamento scenario costi 2020 (anni)	-	54	58
Periodo di ammortamento scenario costi 2022 (anni)	-	24	26

Tabella 39 - Periodi di ammortamento

7.4.2. Analisi costi-benefici scenari alternativi B1

Il caso B1 è stato approfondito ulteriormente (dal paragrafo 6.4.8 al 6.4.11) poiché presentava diverse opportunità di variazione delle caratteristiche degli impianti, le quali hanno restituito risultati differenti in base alle configurazioni ipotizzate. Per facilitare il riconoscimento degli scenari studiati, sono state richiamate le principali modifiche apportate di caso in caso.

- B1 = Ibrido (Caldaia 43% - PDC 57%) - Fotovoltaico;
- B1.1 = Ibrido (Caldaia 65% - PDC 35%) - Fotovoltaico;
- B1.2 = Ibrido (Caldaia 26% - PDC 74%) - Fotovoltaico;
- B1.3 = Ibrido (Caldaia 65% - PDC 35%) - Fotovoltaico ridotto del 20%;
- B1.4 = Ibrido (Caldaia 65% - PDC 35%) - Fotovoltaico ridotto del 50%.

A seguito delle variazioni effettuate al caso studio B1, sono stati calcolati i costi di realizzazione dei diversi scenari (Tabella 40). Tali dati sono utili non solo per avere un quadro completo della stima dei costi delle nuove configurazioni, ma anche per poterne valutare il rapporto con i benefici ottenuti dal risparmio energetico, il quale è direttamente collegato alle spese per la fornitura dell'energia.

	Involucro	Impianto Fotovoltaico	Sistema Ibrido	Totale
B1	€ 1'811'492	€ 276'178	€ 57'500	€ 2'145'170
B1.1	€ 1'811'492	€ 276'178	€ 37'449	€ 2'125'120
B1.2	€ 1'811'492	€ 276'178	€ 47'327	€ 2'135'000
B1.3	€ 1'811'492	€ 220'942	€ 37'449	€ 2'069'935
B1.4	€ 1'811'492	€ 138'089	€ 37'449	€ 1'987'081

Tabella 40 - Riepilogo costi di realizzazione scenari alternativi

All'interno della Tabella 41 sono riportati i consumi energetici annuali di ogni scenario ipotizzato con i relativi costi delle bollette riferiti al periodo 2020 e 2022, differenti per via del rincaro sui costi dell'energia avvenuto recentemente. È possibile osservare diverse variazioni dei consumi energetici, conseguenza delle ipotesi di più configurazioni di copertura e dimensione delle soluzioni impiantistiche. Infatti, variando i contributi della caldaia a condensazione e della pompa di calore, i consumi di gas metano e di energia elettrica sono interessati da riduzioni o aumenti. In particolare, all'interno dei casi B1.3 e B1.4 pur mantenendo la stessa configurazione di sistema ibrido del caso B1.1 (quindi a parità di consumi di gas metano) vedono un aumento dei consumi di energia elettrica rispetto al caso B1.1, tali aumenti saranno però bilanciati da un minor costo di realizzazione iniziale, dovuto alla riduzione della superficie dei pannelli fotovoltaici.

		B1	B1.1	B1.2	B1.3	B1.4
Consumi	Totale [kWh _t]	93'773	102'681	42'624	102'681	102'681
	Totale [kWh _e]	18'355	2'542	69'450	7'865	21'384
Costi bollette 2020	Costo gas metano scenario costi 2020	€ 4'688	€ 5'134	€ 2'131	€ 5'134	€ 5'134
	Costo energia elettrica scenario costi 2020	€ 2'753	€ 381	€ 10'417	€ 1'179	€ 3'207
	Totale bolletta scenario 2020	€ 7'441	€ 5'515	€ 12'548	€ 6'313	€ 8'341
Costi bollette 2022	Costo gas metano scenario costi 2022	€ 10'315	€ 11'294	€ 4'688	€ 11'294	€ 11'294
	Costo energia elettrica scenario costi 2022	€ 5'506	€ 762	€ 20'835	€ 2'359	€ 6'415
	Totale bolletta scenario 2022	€ 15'821	€ 12'057	€ 25'523	€ 13'654	€ 17'710

Tabella 41 - Consumi energetici annuali e costi bollette

Per avere una panoramica dell'efficacia associata alle nuove modifiche degli interventi di efficientamento del caso B1, in Tabella 42 è stato riportato il riepilogo delle variazioni dei costi di realizzazione e dei costi annui in bolletta. Si può notare che fra gli scenari proposti, all'interno dei casi B1.1 e B1.3 vi è una riduzione sia dei costi di realizzazione che dei costi in bolletta, quindi, dal punto di vista economico rappresentano due casi più convenienti rispetto al caso B1, inficiando però sull'indice di prestazione di energia non rinnovabile. D'altro canto, il caso B1.4 mostra una possibile soluzione di intervento più economica, in quanto, riducendo del 50% la superficie dei pannelli fotovoltaici rispetto al caso B1, vi è una considerevole diminuzione dei costi di realizzazione dell'intervento; la quale è accompagnata da un modesto aumento dei costi annuali in bolletta (da ripartire in 48 unità immobiliari). Gli scenari analizzati possono quindi essere interpretati come delle valide soluzioni alternative al caso B1 da poter sottoporre alla committenza, selezionabili in base alle esigenze dell'utenza.

Scenari di intervento	B1.1	B1.2	B1.3	B1.4
Variazione costi di realizzazione	€ - 20'050	€ - 10'172	€ - 75'286	€ - 158'139
Variazione costo bolletta annuo scenario 2020	€ - 1'926	€ + 5'106	€ - 1'128	€ + 899
Variazione costo bolletta annuo scenario 2022	€ - 3'763	€ + 9'702	€ - 2'167	€ + 1'888

Tabella 42 - Variazioni costi di realizzazione e fornitura di energia rispetto al caso B1

7.5. Riepilogo dei risultati ottenuti

Al fine di fornire una visione globale dei risultati ottenuti dall'analisi dei diversi scenari di intervento, vengono riportate di seguito le tabelle riassuntive di ogni caso trattato. All'interno delle Tabelle 43-44 sono stati inseriti i principali indicatori di prestazione energetica ed economici, confrontati rispettivamente con i casi di partenza A0 e B0. Sono stati attribuiti dei valori numerici da 1 a 10 per ogni indicatore presente in tabella, le valutazioni sono così determinate:

- Classe energetica:
 1. Classe G = 1 punto;
 2. Classe A4 = 10 punti.
- Riduzione fabbisogno globale di energia primaria non rinnovabile:
 1. Valore più alto = 10 punti;
 2. Ogni 10% di diminuzione rispetto al valore più alto = -1 punto.
- Costi di realizzazione:
 1. Valore più basso = 10 punti;
 2. Ogni 10% di aumento rispetto al valore più basso = -1 punto.
- Risparmio in bolletta annuo:
 1. Valore più alto = 10 punti;
 2. Ogni 10% di aumento rispetto al valore più alto = -1 punto.

Ad ogni indicatore è stato inoltre assegnato un differente peso in base alla rilevanza del dato:

- Classe energetica: peso 1;
- Riduzione del fabbisogno: peso 2;
- Costi di realizzazione: peso 1;
- Risparmio in bolletta: peso 2.

Calcolando la media pesata per ogni scenario di intervento è stato ottenuto un punteggio che esprime il grado di rapporto costi-benefici, tramite questi valori è stato

possibile definire una graduatoria tra tutti i casi, che permette di fornire un primo confronto dei vantaggi ottenibili dai diversi interventi.

Scenari di intervento	Classe Energetica	Riduzione fabbisogno globale di energia primaria non rinnovabile [%]	Costi di realizzazione [€]	Risparmio in bolletta annuo [€ %]	Punteggio	Grado di miglioramento
A1	A3	66%	€ 1'811'492	65%	8,64	3°
A2	A4	76%	€ 1'993'808	84%	9,85	1°
A2.1	A3	72 %	€ 1'909'634	71%	9,05	2°

Tabella 43 – Risultati comparati con il caso A0

Scenari di intervento	Classe Energetica	Riduzione fabbisogno globale di energia primaria non rinnovabile [%]	Costi di realizzazione [€]	Risparmio in bolletta annuo [€ %]	Punteggio	Grado di miglioramento
B1	A3	85%	€ 2'145'170	84%	9,52	3°
B1.1	A3	81%	€ 2'125'120	88%	9,53	2°
B1.2	A4	86%	€ 2'134'997	73%	9,30	5°
B1.3	A3	80%	€ 2'069'884	87%	9,50	4°
B1.4	A3	78%	€ 1'987'030	82%	9,30	5°
B2	A4	86%	€ 2'180'170	80%	9,55	1°

Tabella 44 – Risultati comparati con il caso B0

8 Conclusioni

I rilievi effettuati in sito delle caratteristiche geometriche dell'edificio, la raccolta dei dati relativi alle componenti impiantistiche, alle stratigrafie dell'involucro e ai consumi energetici storici hanno permesso di svolgere una diagnosi energetica dello stato di fatto dell'edificio, valutando quantitativamente le prestazioni energetiche iniziali. Da questa analisi è risultato che l'oggetto di studio non è dotato di fonti di energia rinnovabile e non è caratterizzato da una buona resistenza termica, dovuta allo scarso isolamento dell'involucro e alle scarse prestazioni della tipologia dei serramenti. Per questi motivi è emersa la necessità di ipotizzare degli scenari di intervento che prevedano l'efficientamento dell'involucro edilizio e l'inserimento di fonti di energia rinnovabile. Dato che il caso iniziale presenta un impianto di teleriscaldamento (caso A0), il quale risulta di una maggiore efficienza rispetto ai sistemi impiantistici dei quali sono comunemente dotati la maggior parte degli edifici, è stato previsto un caso studio di partenza secondario (caso B0); nel quale il sistema di generazione per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria è costituito da una caldaia a gas metano. Negli scenari di intervento previsti all'interno del caso studio B0, quindi, oltre all'efficientamento dell'involucro edilizio e all'inserimento di fonti di energia rinnovabile, sono state ipotizzate delle sostituzioni dei sistemi di generazione con soluzioni più efficienti quali pompa di calore e sistema ibrido. Il caso A0 (teleriscaldamento), quindi, parte da una situazione più favorita rispetto al caso B0 (caldaia a gas) in termini di prestazioni energetiche. Le tabelle riassuntive all'interno del capitolo 7 mettono in evidenza quanto era già stato ipotizzato nelle considerazioni intermedie, riguardanti il confronto dei diversi scenari di intervento. L'ottenimento di classi energetiche superiori, a seguito degli interventi di efficientamento energetico, si traduce in un'opportunità di risparmio energetico e quindi economico. Gli interventi di isolamento termico dell'involucro e di sostituzione dei serramenti risultano essenziali e molto efficaci, in quanto si riduce in modo considerevole il fabbisogno di energia utile dell'edificio.

In particolare, nello scenario A1 (TR), nel quale è previsto un intervento di efficientamento dell'involucro edilizio è possibile ridurre il fabbisogno globale di energia primaria non rinnovabile del 66% rispetto al caso di partenza A0, con un conseguente risparmio in bolletta del 65%. Ciò ha consentito di stimare un periodo di ammortamento dell'investimento iniziale in una durata di 32 anni nel caso in cui si considerano i costi di fornitura dell'energia termica del 2020 e di 15 anni nel caso in cui si considerano i costi del 2022. L'installazione di un impianto solare termico nel caso A2 (TR-ST) permette di soddisfare il 60% del fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria, e in quanto fonte di energia rinnovabile

costituisce una componente di necessaria ipotesi durante un intervento di efficientamento energetico. In questo caso, l'intervento migliorativo permette di ridurre il fabbisogno globale di energia primaria non rinnovabile del 76% rispetto al caso iniziale A0, consentendo di risparmiare l'84% delle spese in bolletta per la fornitura di energia. Il periodo di ammortamento ammonta ad una durata di 31 anni con riferimento ai costi di fornitura dell'energia termica del 2020 e di 13 anni con riferimento ai costi del 2022. La seconda variazione di questo caso che è stata denominata A2.1 prevede la riduzione della superficie dei pannelli dell'impianto solare termico del 47%; ciò comporta una diminuzione di € 84'174 del costo di realizzazione dell'intervento, a fronte però di un aumento dei costi in bolletta di € 5'158 in riferimento ai costi dell'energia del 2020 e di € 11'934 riferiti ai costi dell'energia del 2022. Tra gli scenari di intervento A, la combinazione di efficientamento energetico dell'involucro e l'installazione di un impianto solare termico prevista nel caso A2 risulta essere la soluzione migliore in termini di rapporto fra costi e benefici.

Analizzando i risultati ottenuti dagli scenari di intervento B, nei quali oltre all'efficientamento dell'involucro è stata prevista la sostituzione dei generatori per la produzione dell'acqua calda sanitaria e il riscaldamento, si evince che la realizzazione di un impianto fotovoltaico, il quale, se abbinato al corretto sistema impiantistico, permette nel caso trattato di soddisfare il 44% del fabbisogno di energia elettrica per la climatizzazione e l'acqua calda sanitaria nel caso della pompa di calore (B2), e il 73% nel caso del sistema ibrido (B1), d'altro canto in questo caso rimane il consumo di gas metano da parte della caldaia a condensazione. La sostituzione del generatore caldaia a gas con un impianto ibrido, nel caso B1 (CG-FV) permette di evitare che nessuno dei generatori possa funzionare in condizioni di ridotto rendimento, selezionando il sistema che permette la massima efficienza in funzione della temperatura esterna. In particolare, all'interno del caso B1 (IBR-FV), sono state studiate diverse configurazioni di percentuale di copertura dei fabbisogni di energia termica da parte dei generatori e diverse estensioni di superficie dei pannelli fotovoltaici, evidenziando la possibilità di ipotizzare molteplici soluzioni, adattabili anche in base alle esigenze dell'utenza, al budget disponibile e agli obiettivi energetici da conseguire. Complessivamente, le diverse configurazioni di intervento del caso B1, permettono una riduzione del fabbisogno globale di energia primaria non rinnovabile tra il 78% e l'86% e una riduzione dei costi in bolletta tra il 73% e l'88%, con un periodo di ammortamento stimato di 27 anni con riferimento ai costi di fornitura dell'energia elettrica e di gas metano del 2020 e di 12 anni con riferimento ai costi del 2022. L'ultimo scenario trattato (B2) prevede come impianto di generazione un sistema full pompa di calore, il quale permette di azzerare i consumi di gas metano utilizzando l'energia elettrica come unica fonte. Tale intervento permette di ridurre il fabbisogno globale di energia primaria non rinnovabile dell'86% rispetto al caso iniziale B0, consentendo di risparmiare l'80% delle spese in bolletta per la fornitura di energia, con un conseguente

periodo di ammortamento di 29 anni con riferimento ai costi di fornitura dell'energia elettrica e di gas metano del 2020 e di 13 anni con riferimento ai costi del 2022. Il caso B2 risulta essere il più il più conveniente tra i diversi scenari di intervento B in termini di rapporti tra costi e benefici.

Nel complesso delle simulazioni, si è dimostrata l'efficacia della diagnosi energetica, che ha permesso di analizzare gli interventi di efficientamento energetico ipotizzati inizialmente. Oltre al miglioramento delle condizioni di benessere termoigrometrico, la realizzazione degli scenari studiati permette di constatare un'importante riduzione dei consumi associati al sistema edificio impianto e di valutarne il rapporto fra i costi degli interventi ed i benefici ottenibili dal risparmio energetico annuale.

9 Bibliografia

- [1] P. Europeo, «Direttiva 19-maggio-2010».
- [2] [Online]. Available: <https://www.logical.it/blog/efficienza-energetica-edifici/la-nuova-direttiva-epbd>.
- [3] ISTAT, «<https://www.istat.it>,» [Online].
- [4] ENEA, «<https://www.enea.it>,» [Online].
- [5] [Online]. Available: https://www.commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_it.
- [6] I. L. A. P. Prof. Ing. Livio Mazzarella, «Efficienza Energetica».
- [7] «Logical,» [Online]. Available: <https://www.logical.it/blog/efficienza-energetica-edifici/in-arrivo-il-nuovo-calcolo-dinamico-italiano>.
- [8] Google, «<https://google.com/earth/index.html>,» [Online].
- [9] U. 10349, «Riscaldamento e raffrescamento degli edifici, Dati climatici».
- [10] [Online]. Available: www.ilteleriscaldamento.eu.
- [11] [Online]. Available: www.agorascienza.it.
- [12] D. n. 6. d. 30/7/2015, «Testo Unico per l'efficienza energetica degli edifici».
- [13] D. L. 199/2021, «Fonti rinnovabili e costruzioni nuove o soggette a ristrutturazioni rilevanti».
- [14] [Online]. Available: www.tce-srl.it.
- [15] P. E. S. Mazzucchelli, «Dispense del corso di Progetto di Integrazione Impiantistica».
- [16] [Online]. Available: <https://www.sorgenia.it/guida-energia/comunita-energetiche>.

[17] ENEA, «Le comunità energetiche in Italia».


[18] P. A. Angelotti, «Dispense del corso di Fisica dell'edificio».

[19] «917/86, art. 16-bis del Dpr, agevolazione fiscale sugli interventi di ristrutturazione edilizia».

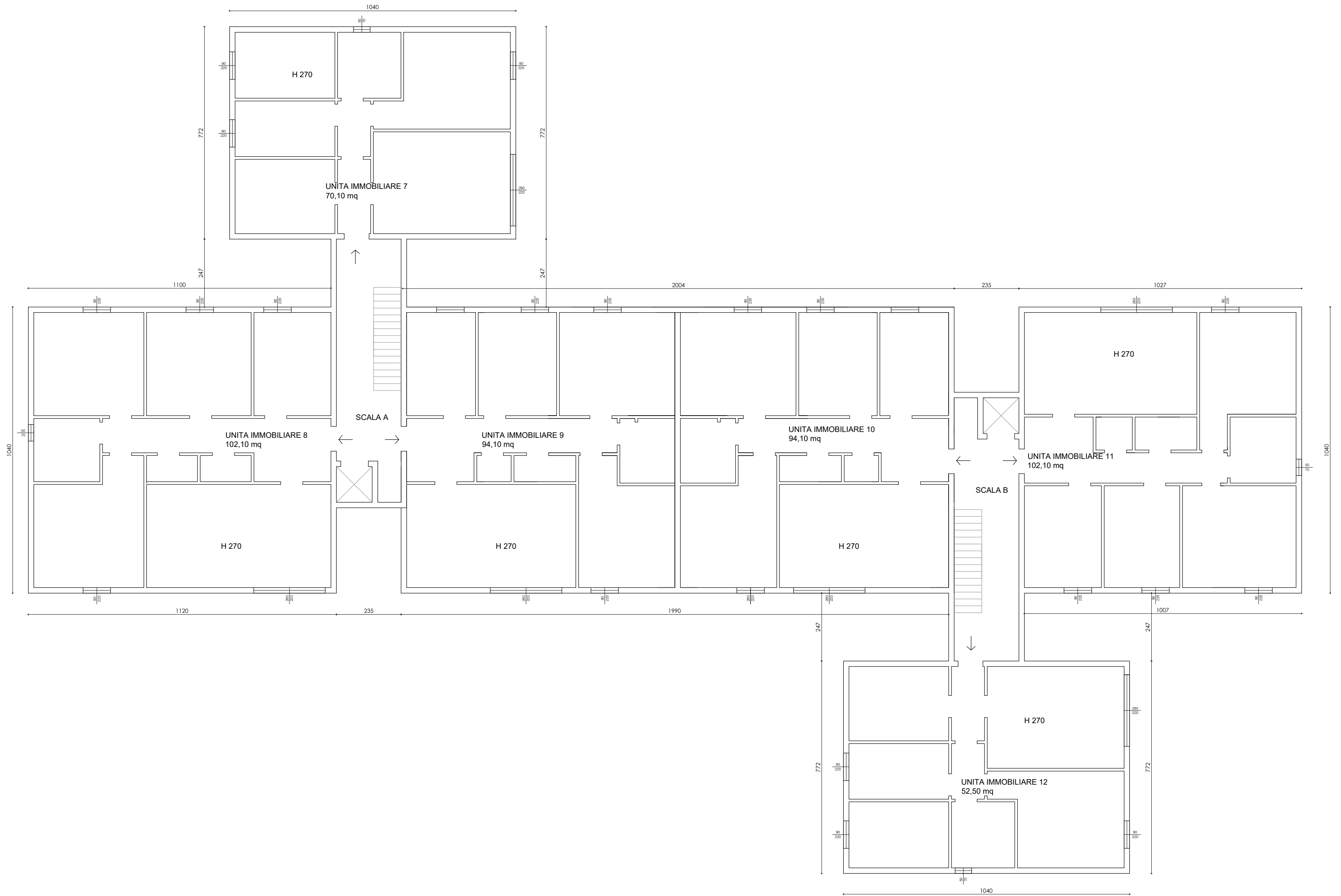
[20] «D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia».


Allegato I - Pianta piano terra



POLITECNICO DI MILANO 1863	A.A. 22/23	SCUOLA AUIC
Abbatino Marco Brogli Riccardo		PLANIMETRIA PIANO TERRA scala_ 1:100
Condominio Via Cristoforo Colombo, 5 26900 Lodi		TAV. 1

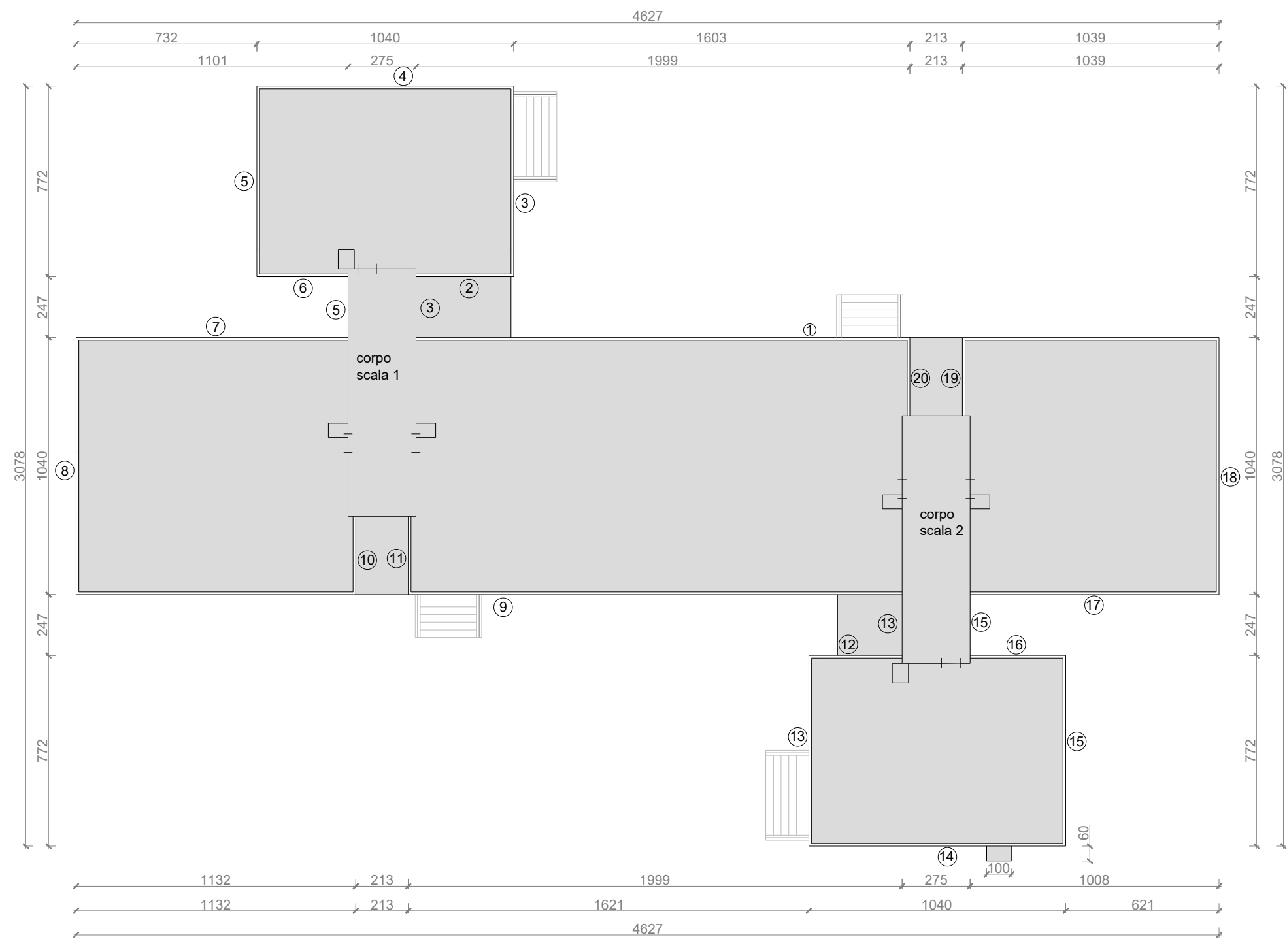
Allegato II - Pianta piano tipo



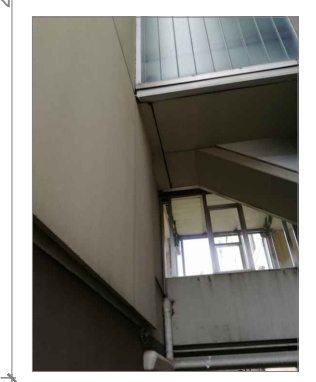
POLITECNICO DI MILANO 1863	A.A. 22/23	SCUOLA AUIC
Abbatino Marco Brogli Riccardo		PLANIMETRIA PIANO TIPO scala _ 1:100
Condominio Via Cristoforo Colombo, 5 26900 Lodi		TAV. 2

Allegato III – Prospetti e planimetria

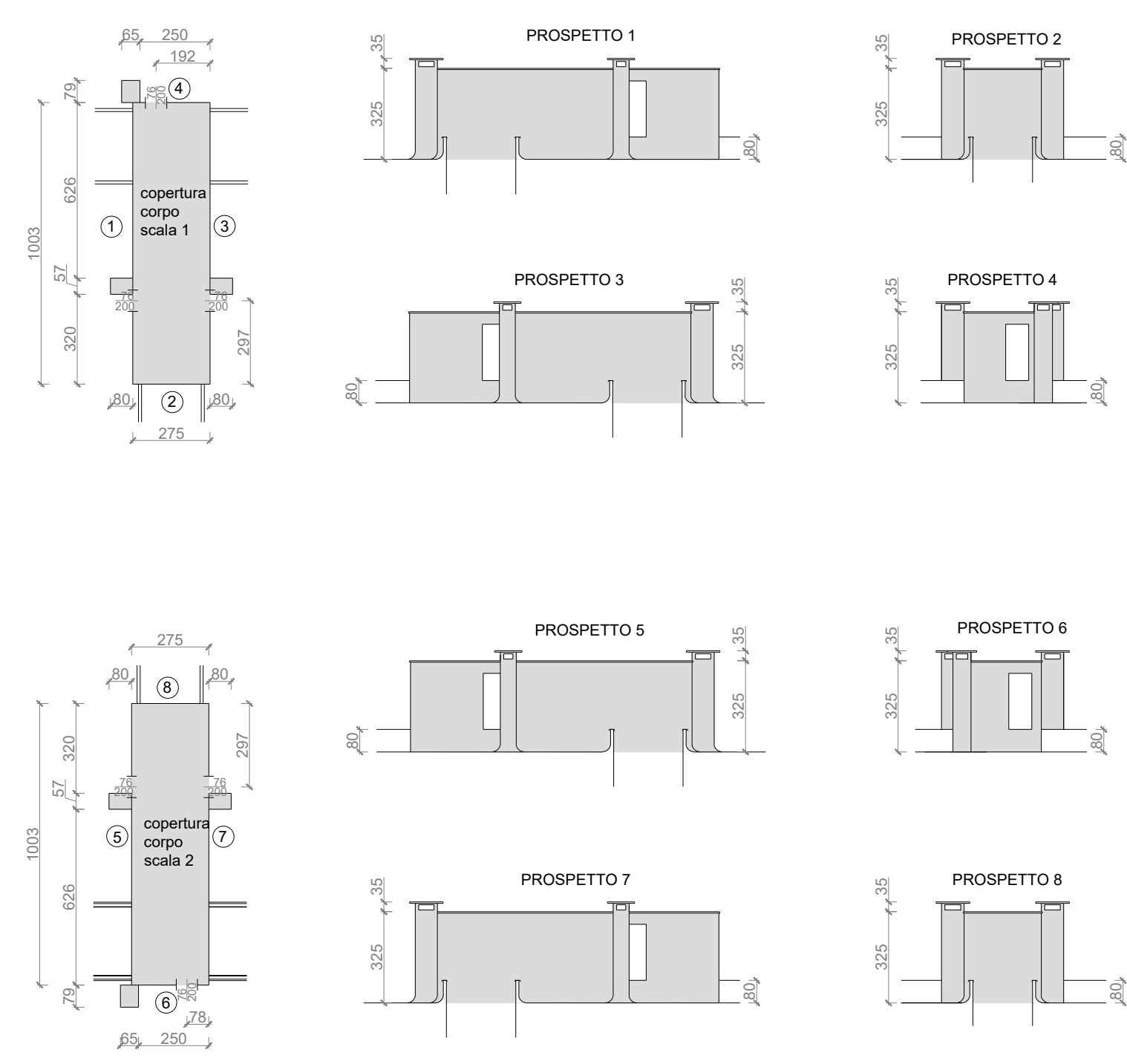
PLANIMETRIA EDIFICIO



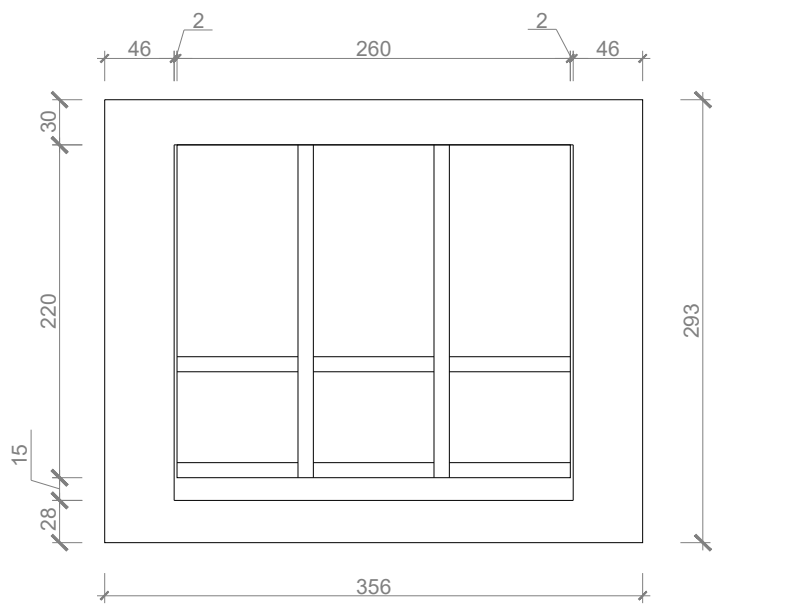
DETTAGLIO GIUNTO LARGHEZZA 4 cm PROFONDITA 4 cm



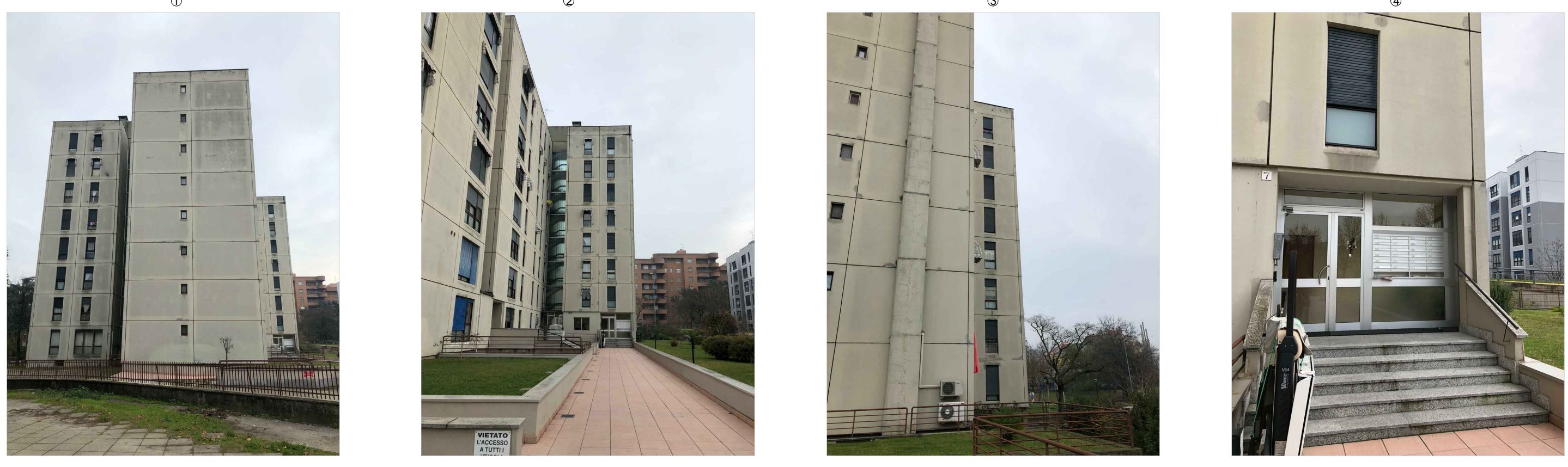
apertura di 2,7m rispetto a parte vetrata sovrastante. parte sovrastante ricorciata (6,87 m) conservata nella superficie della facciata 15



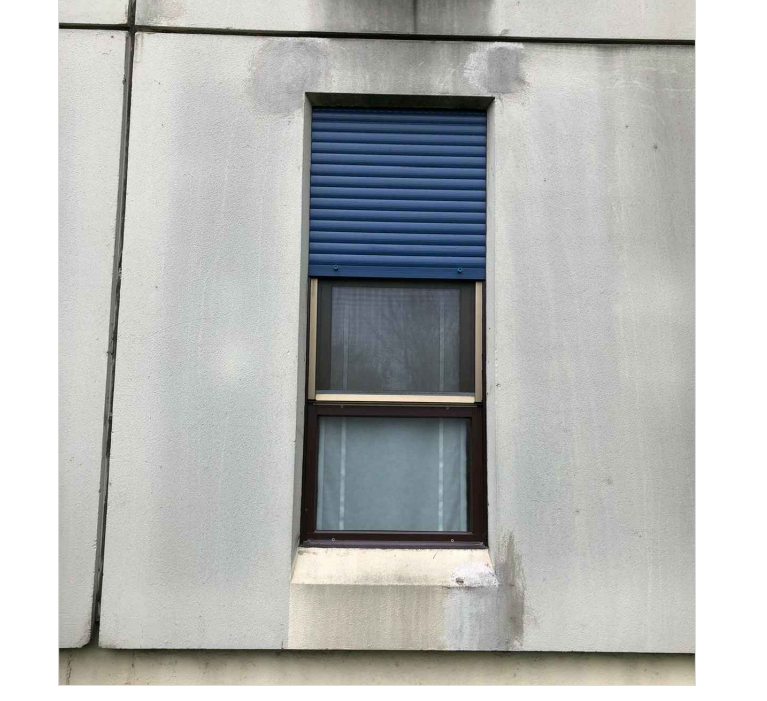
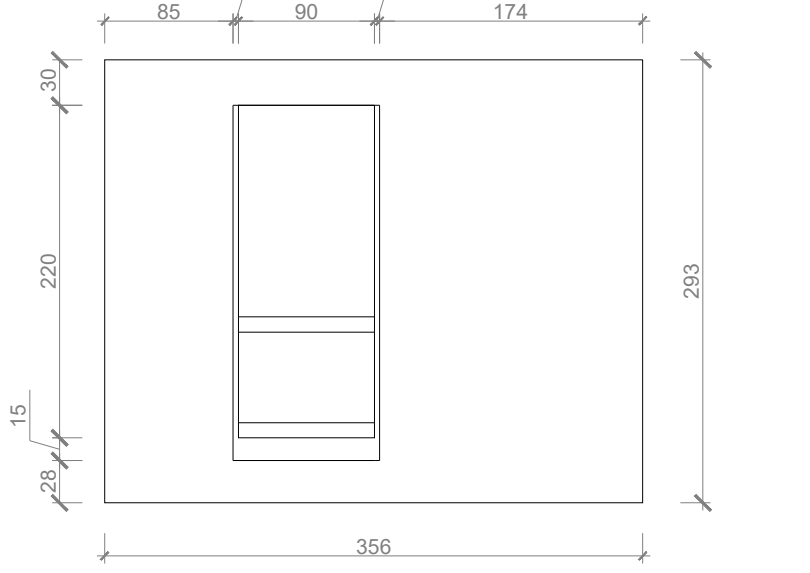
FINESTRA TIPO 1 SCALA 1:50



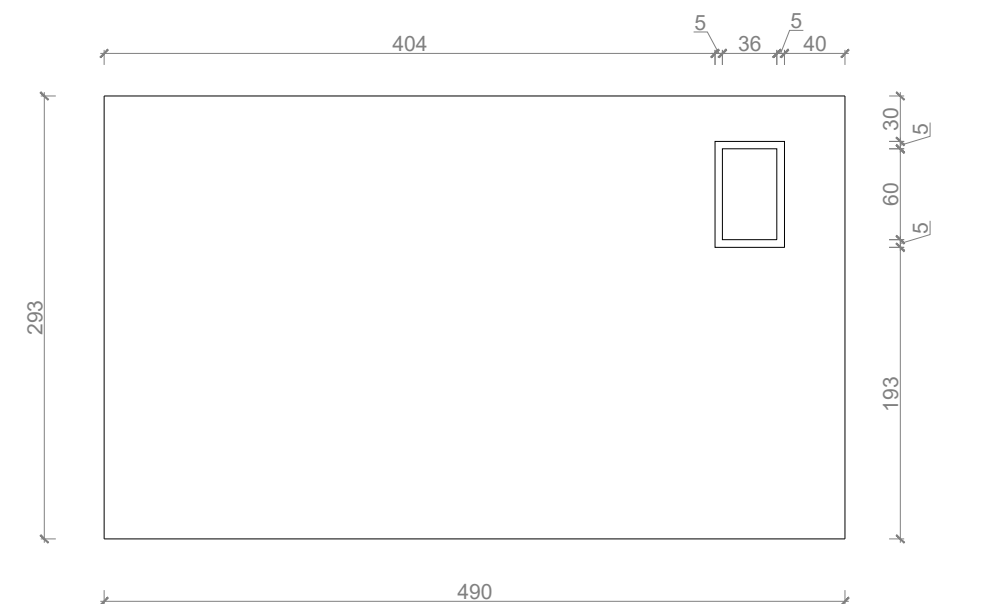
- LEGENDA IMMAGINI
- 1,2) Edificio parte fuoriterno
 - 3) Visibile il camino della centrale termica non più in uso
 - 4) Porta principale di accesso
 - 5,6) Degrado dell'intonaco nella parte inferiore dell'edificio
 - 7,8,9) Vetrata continua, visibile nei prospetti 3-5-13-15
 - 10) Giardino-piano interrato
 - 11) Punto di degrado dell'intonaco e tubolare
 - 12) Ringhiera del giardino
 - 13,14,15,16) Apertura sovrastante sul piano interrato



FINESTRA TIPO 2 SCALA 1:50

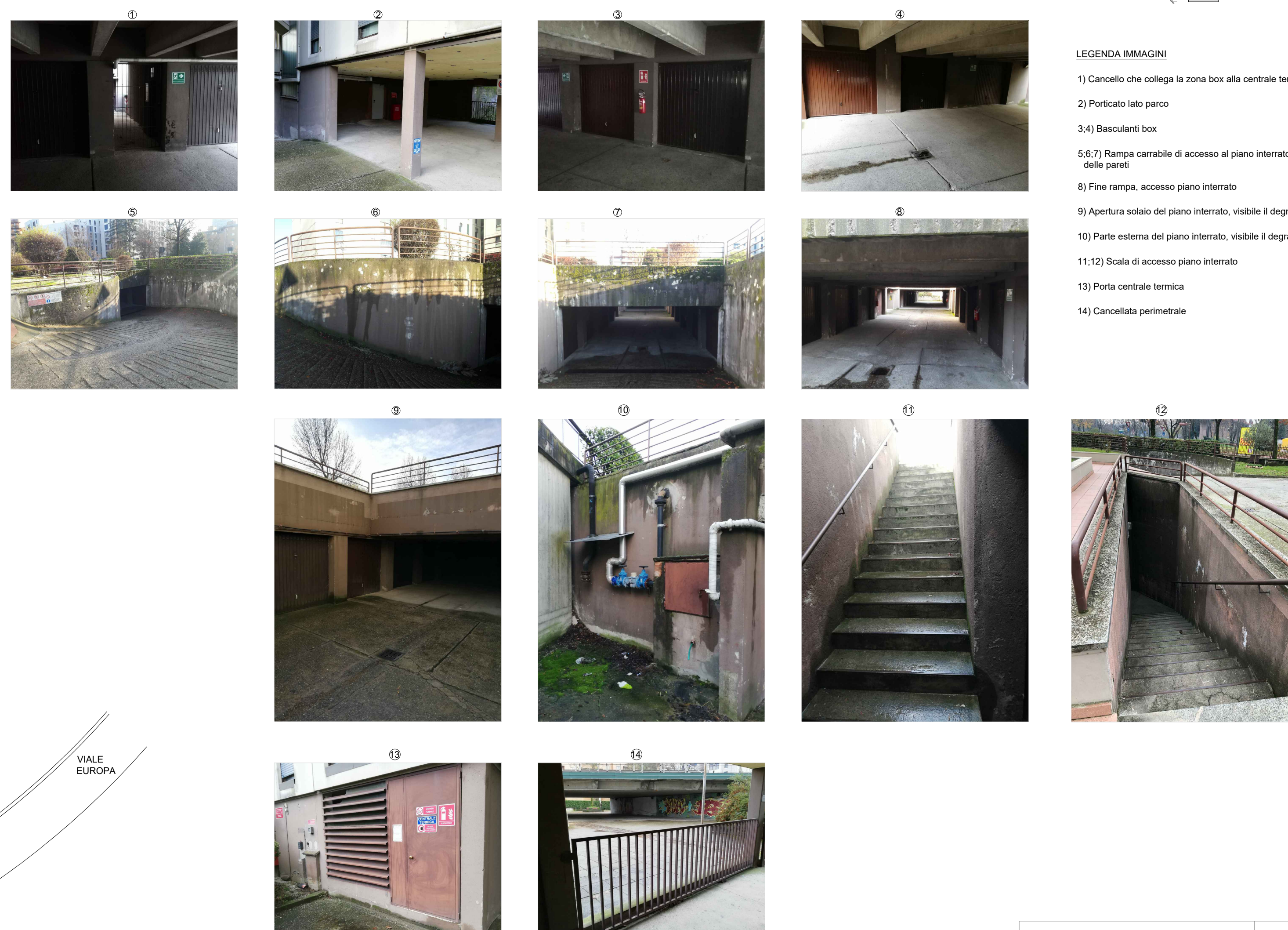
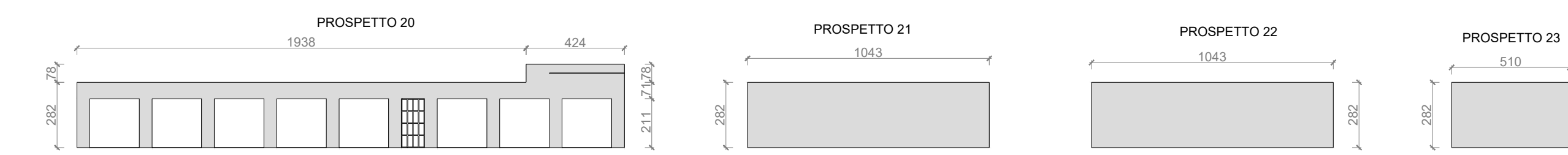
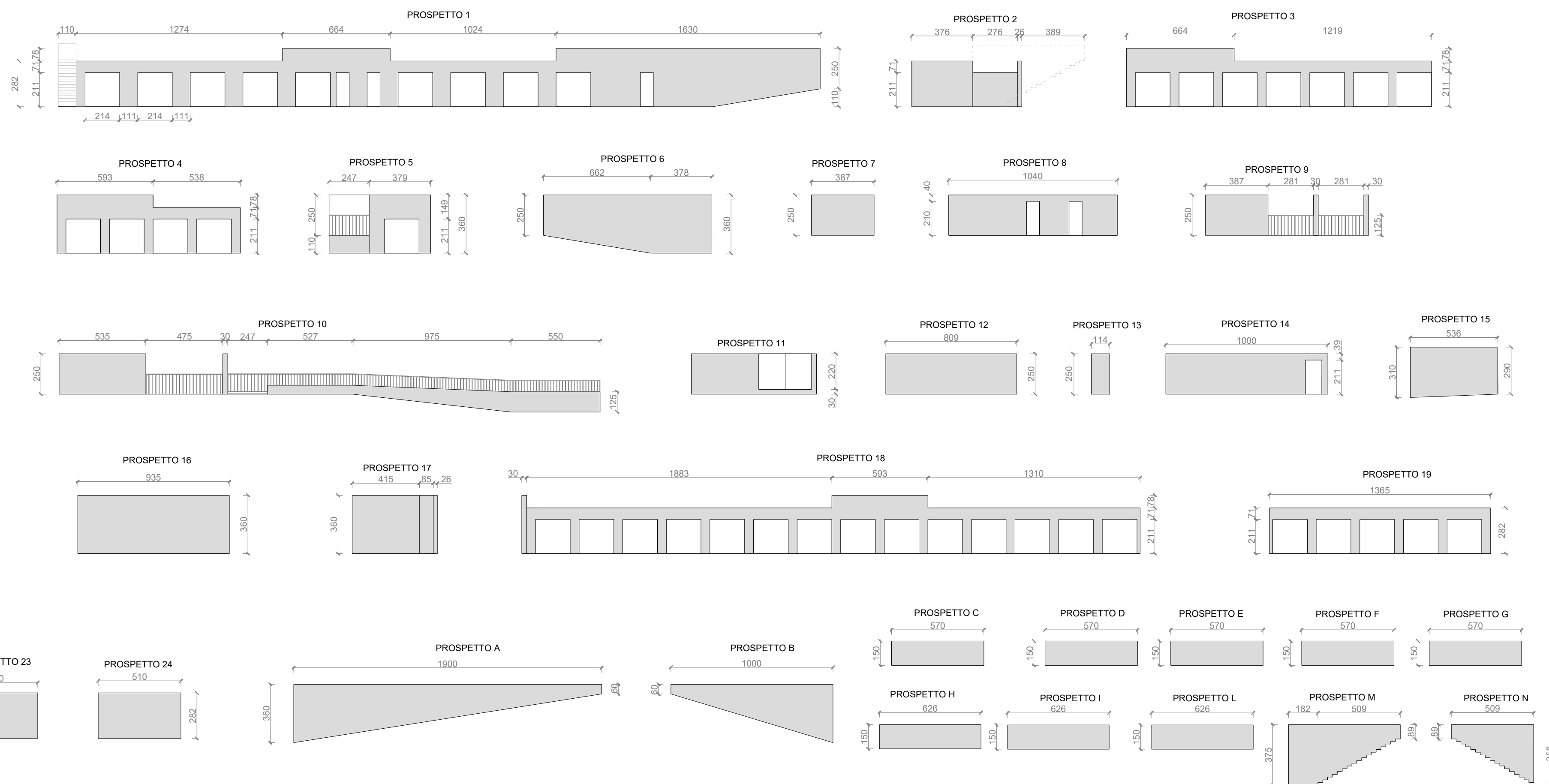


FINESTRA TIPO 3 SCALA 1:50



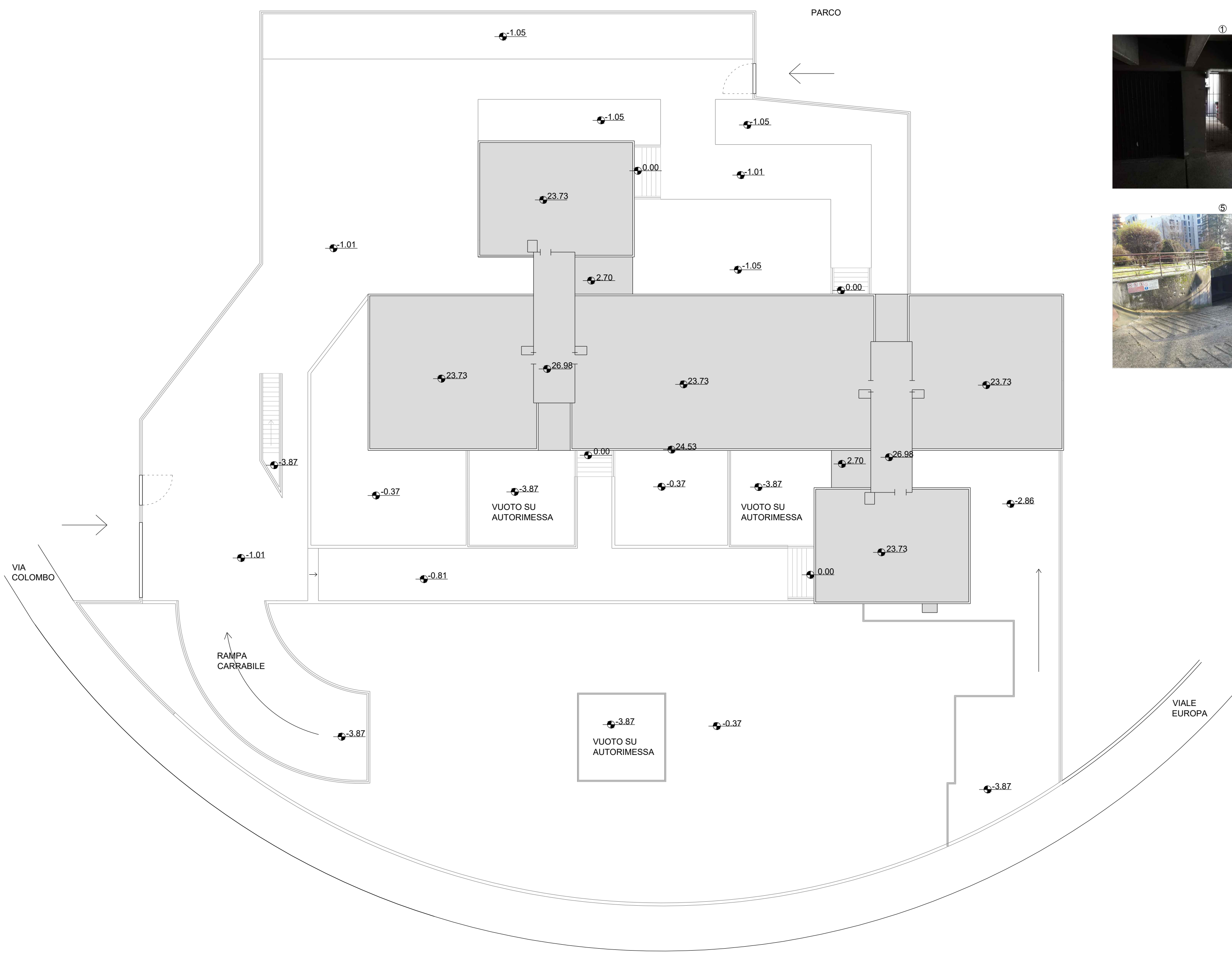
Allegato IV – Pianta piano interrato

PLANIMETRIA PIANO INTERRATO



LEGENDA IMMAGINI

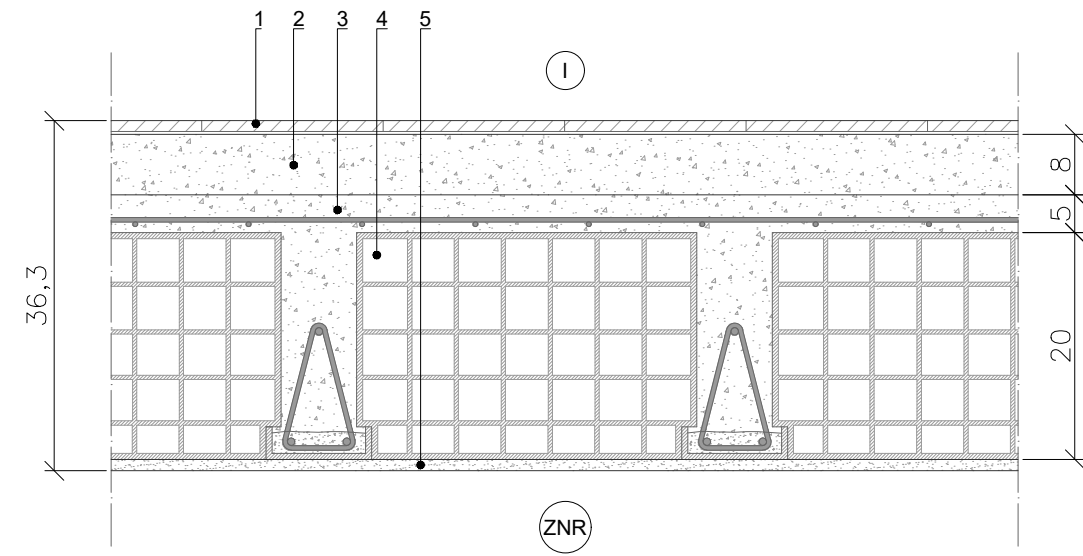
- 1) Cancello che collega la zona box alla centrale termica
- 2) Porticato lato parco
- 3,4) Basculanti box
- 5,6,7) Rampa carrabile di accesso al piano interrato, visibile il degrado dell'intonaco delle pareti
- 8) Fine rampa, accesso piano interrato
- 9) Apertura solaio del piano interrato, visibile il degrado dell'intonaco
- 10) Parte esterna del piano interrato, visibile il degrado dell'intonaco
- 11,12) Scala di accesso piano interrato
- 13) Porta centrale termica
- 14) Cancellata perimetrale



POLITECNICO DI MILANO 1863	A.A. 22/23	SCUOLA AUC	TAV. 4
Abbatino Marco Brogli Riccardo		PIANO INTERRATO scala 1:200	
C Condominio Via Cristoforo Colombo, 5 26900 Lodi			

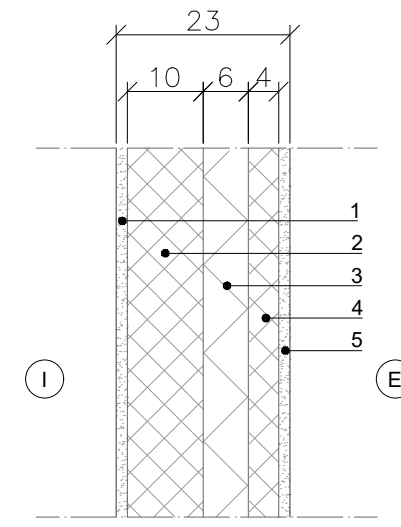
Allegato V – Stratigrafie stato di fatto

Pavimento verso Piano box ($U= 1,20 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



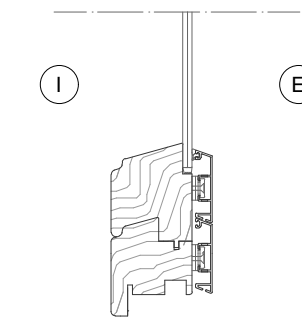
N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170
1	Pavimento in gress	15,00	1,300	0,012
2	Sottofondo di cemento magro	80,00	0,700	0,114
3	Caldana	50,00	1,200	0,042
4	Soletta in latero-cemento	200,00	0,660	0,303
5	Intonaco	15,00	0,700	0,021
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170

Chiusura verticale esterna ($U= 1,40 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



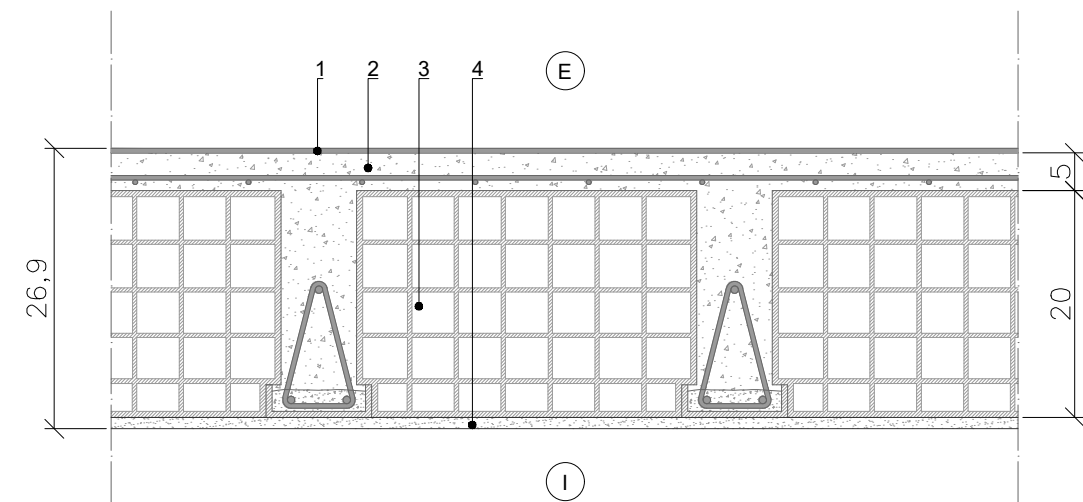
N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
1	Intonaco	15,00	0,700	0,014
2	Pannello C.I.s. Prefabbricato	100,00	5,900	0,017
3	Isolante Polistirene	60,00	0,115	0,522
4	Pannello C.I.s. Prefabbricato	40,00	5,900	0,007
5	Intonaco	15,00	0,700	0,014
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040

Serramento 260x220 mm ($U_w= 4,97 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



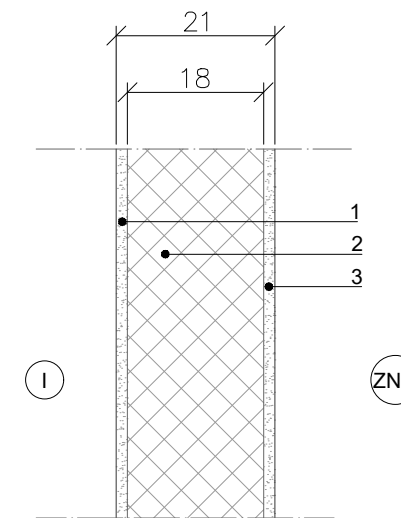
N.	Descrizione strato	Area [m^2]	Trasm. [$\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$]
1	Singolo vetro	4,64	5,746
2	Telaio in legno	1,08	1,900

Copertura piana ($U= 1,20 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



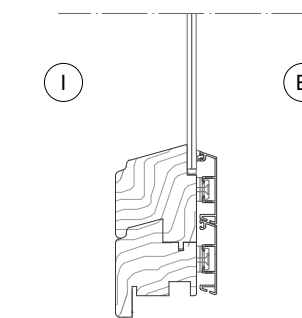
N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040
1	Membrana bituminosa	4,00	0,170	0,024
2	Caldana	50,00	1,200	0,042
3	Soletta in latero-cemento	200,00	0,660	0,303
4	Intonaco	15,00	0,700	0,021
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,110

Chiusura verticale vs Zona non riscaldata ($U= 2,73 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
1	Intonaco	15,00	0,700	0,014
2	C.I.s. armato	180,00	2,300	0,078
3	Intonaco	15,00	0,700	0,014
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130

Serramento 90x220 mm ($U_w= 4,80 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



N.	Descrizione strato	Area [m^2]	Trasm. [$\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$]
1	Singolo vetro	1,56	5,746
2	Telaio in legno	0,42	1,900

Allegato VI – Bollette stagione termica 2021/2022

CONDOMINIO ACERI

VIA Colombo, 5/7

Amministratore: ALBO SERVICE

STAGIONE TERMICA: 2021/2022

DATI BOLLETTE TELERISCALDAMENTO

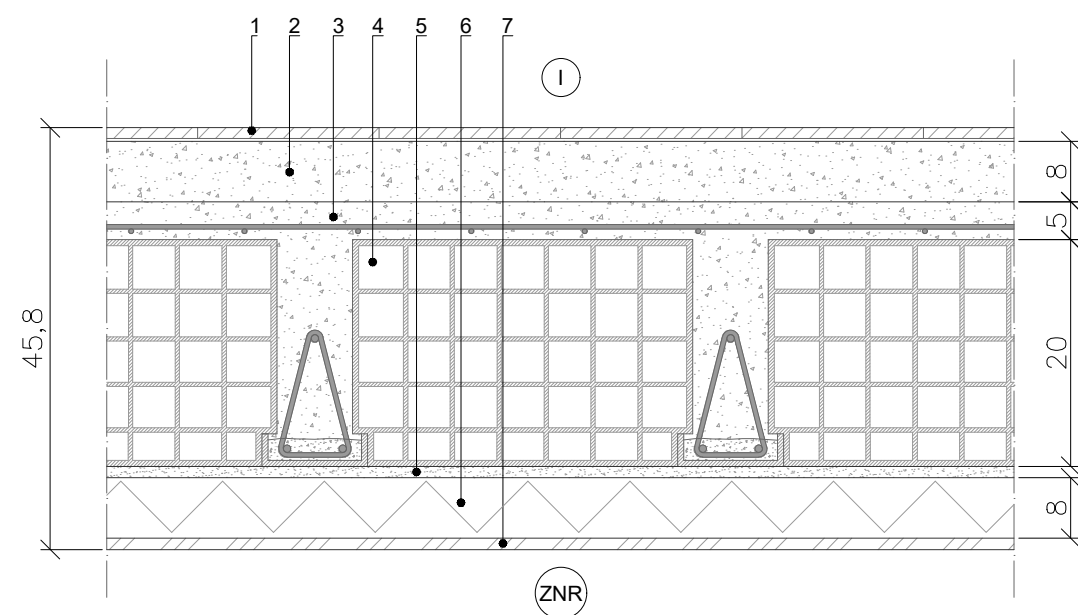
Data Inizio	Data Fine	Consumo [kWht]	Totale [€]
01/05/2021	31/02/2021	11149	930,42 €
01/06/2021	30/09/2021	30162	2.836,83 €
01/10/2021	31/10/2021	29261	3.781,92 €
01/11/2021	30/11/2021	59572	7.699,55 €
01/12/2021	16/12/2021	86297	11.153,69 €
17/12/2021	31/01/2022	92226	17.316,28 €
01/02/2022	28/02/2022	61317	11.680,23 €
01/03/2022	31/03/2022	54509	10.383,37 €
01/04/2022	30/04/2022	28093	5.269,86 €
Totali		452586	71.052,15 €

DATI BOLLETTE TELERISCALDAMENTO

Data Inizio	Data Fine	Consumo [kWht]	Totale [€]
01/05/2021	31/05/2021	976	197,90 €
01/06/2021	30/06/2021	1092	228,82 €
01/07/2021	31/07/2021	1549	335,11 €
01/08/2021	31/08/2021	1698	364,49 €
01/09/2021	30/09/2021	1875	399,18 €
01/10/2021	31/10/2021	1904	349,14 €
01/11/2021	30/11/2021	1733	322,65 €
01/12/2021	31/12/2021	1882	346,33 €
01/01/2022	31/01/2022	1776	364,99 €
01/02/2022	28/02/2022	1341	343,06 €
01/03/2022	31/03/2022	1285	335,33 €
01/04/2022	30/04/2022	1267	605,69 €
Totali		18378	4.192,69 €

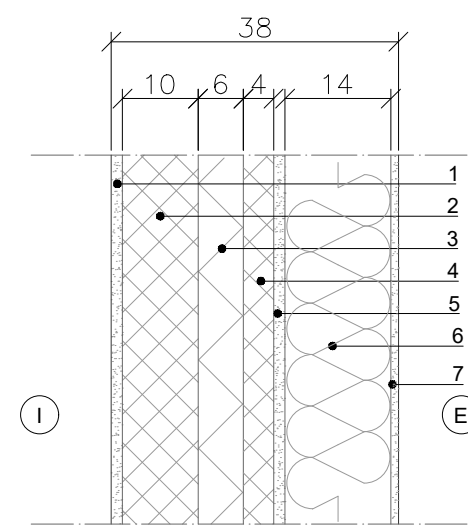
Allegato VII – Stratigrafie coibentate

Pavimento verso Piano box ($U=0,33 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



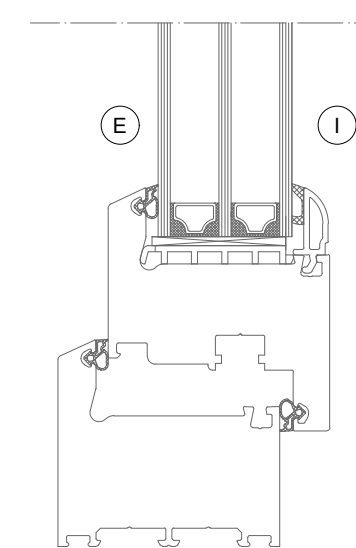
N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m²K/W]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170
1	Pavimento in gress	15,00	1,300	0,012
2	Sottofondo di cemento magro	80,00	0,700	0,114
3	Caldana	50,00	1,200	0,042
4	Soletta in latero-cemento	200,00	0,660	0,303
5	Intonaco	15,00	0,700	0,021
6	Poliuretano Espanso	80,00	0,035	2,286
7	Rivestimento metal-siliconico	15,00	1,000	0,019
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170

Chiusura verticale esterna ($U=0,20 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



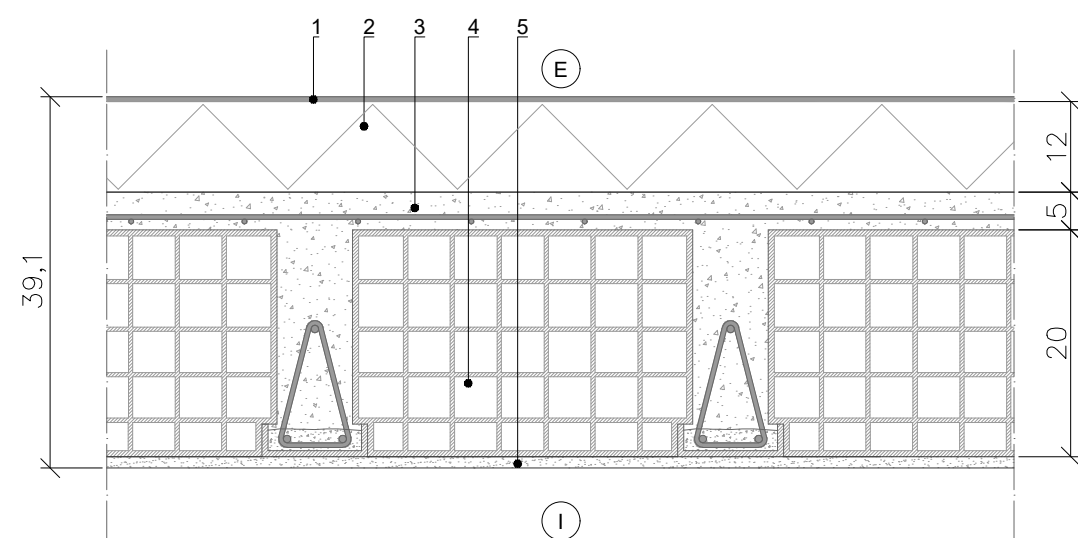
N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m²K/W]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
1	Intonaco	15,00	0,700	0,014
2	Pannello C.I.s. Prefabbricato	100,00	5,900	0,017
3	Isolante Polistirene	60,00	0,115	0,522
4	Pannello C.I.s. Prefabbricato	40,00	5,900	0,007
5	Intonaco	15,00	0,700	0,014
6	Lana di roccia	140,00	0,033	4,242
7	Rasatura con rete rinforzante	6,00	0,800	0,009
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040

Serramento 260x220 mm ($U_w=1,30 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



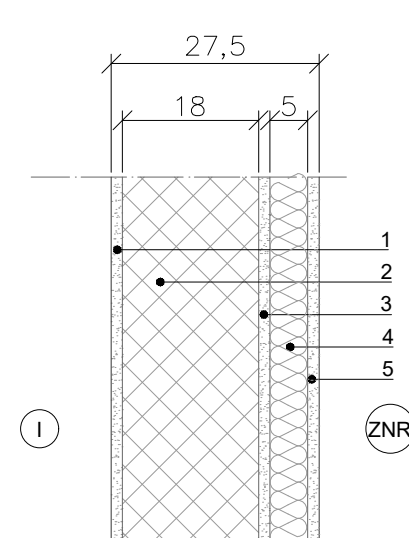
N.	Descrizione strato	Area [m²]	Trasm. [W/m²/K]
1	Triplo vetro	4,64	0,925
2	Telaio in PVC	1,08	1,000

Copertura piana ($U=0,19 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



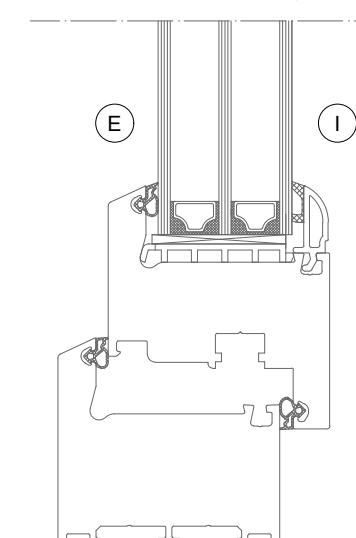
N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m²K/W]
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040
1	Doppia embrana bituminosa	8,00	0,170	0,048
2	Pannello in stiferite	120,00	0,025	4,800
3	Caldana	50,00	1,200	0,042
4	Soletta in latero-cemento	200,00	0,660	0,303
5	Intonaco	15,00	0,700	0,021
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,110

Chiusura verticale verso Zona non riscaldata ($U=0,51 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



N.	Descrizione strato	Spes. [mm]	Cond. [W/m/K]	Res. [m²K/W]
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
1	Intonaco	15,00	0,700	0,014
2	C.I.s. armato	180,00	2,300	0,078
3	Intonaco	15,00	0,700	0,014
4	Lana di roccia	50,00	0,033	1,429
5	Rasatura con rete rinforzante	6,00	0,800	0,009
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130

Serramento 90x220 mm ($U_w=1,30 \text{ W/m}^2/\text{K}$)



N.	Descrizione strato	Area [m²]	Trasm. [W/m²/K]
1	Triplo vetro	1,56	0,925
2	Telaio in PVC	0,42	1,000

Allegato VIII – Scheda tecnica pannello solare termico

COLLETTORE SOLARE FSK



Codice	Descrizione
101080250	1 Collettore solare FSK 2.0
101080251	2 Collettore solare FSK 2.0
101080252	5 Collettore solare FSK 2.0
101080253	8 Collettore solare FSK 2.0
101080254	16 Collettore solare FSK 2.0
101080255	1 Collettore solare FSK 2.5
101080256	2 Collettore solare FSK 2.5
101080257	5 Collettore solare FSK 2.5
101080258	8 Collettore solare FSK 2.5
101080259	16 Collettore solare FSK 2.5



collettori solari



EN 12975

- CERTIFICATO EN 12975
- CERTIFICAZIONE SOLAR KEYMARK
- 5 ANNI DI GARANZIA
- SUPERFICIE SELETTIVA SU PIASTRA IN ALLUMINIO
- ISOLAMENTO IN LANA DI ROCCIA

Pannello solare piano per montaggio verticale e orizzontale dotato di piastra captante in alluminio con film selettivo. La piastra captante è saldata ad una serie di tubazioni in rame unite ad arpa a due collettori di distribuzione idraulica sempre in rame con quattro uscite idrauliche. Il pannello solare è costituito di una struttura in alluminio, isolato verso il basso con lana di roccia e dotato superiormente di vetro solare di tipo temprato con Black-Frame Desingn.

Elemento	Descrizione
VETRO	Vetro temprato Black-Frame Desingn
ISOLANTE	Lana di roccia
SUPERFICIE ASSORBENTE	Full selective
ASSORBITORE	Alluminio / Rame
DISTRIBUZIONE INTERNA	Arpa
TELAIO E FONDO	Alluminio / Alluminio

Dimensioni

Descrizione	PANNELLI SOLARI FSK	
	FSK 2.0	FSK 2.5
Area lorda (m ²)	2.02	2.51
Area di apertura (m ²)	1.84	2.31
Area di assorbimento (m ²)	1.84	2.31
Larghezza (mm)	1170	1170
Altezza (mm)	1730	2150
Profondità (mm)	83	83
Peso a vuoto (kg)	31	38

* I termini di garanzia sono a corredo del prodotto o disponibili presso Kloben.

Specifiche tecniche

Descrizione		PANNELLI SOLARI FSK	
		FSK 2.0	FSK 2.5
Assorbitore		Alluminio, rivestimento sottovuoto altamente selettivo	Alluminio, rivestimento sottovuoto altamente selettivo
Film selettivo		Full face selective TiNOx Al	Full face selective TiNOx Al
Assorbanza		0,95	0,95
Ø Tubo collettore		22 mm	22 mm
Ø Tubo registro		8 mm	8 mm
Connessioni idrauliche		n°4 x 22 mm (raccodo a ogiva)	n°4 x 22 mm (raccodo a ogiva)
Angolo di installazione	°	15.. 75	15 .. 75
Contenuto di liquido	l	1.56	1.77
Temperatura di stagnazione	°C	181	181
Spessore isolamento	mm	40	40
Spessore vetro	mm	3.2	3.2
Trasmittanza		0,90	0,90
Pressione massima	bar	10	10
Numero massimo pannelli in serie		6	6
Distanza minima tra pannelli	mm	55	55

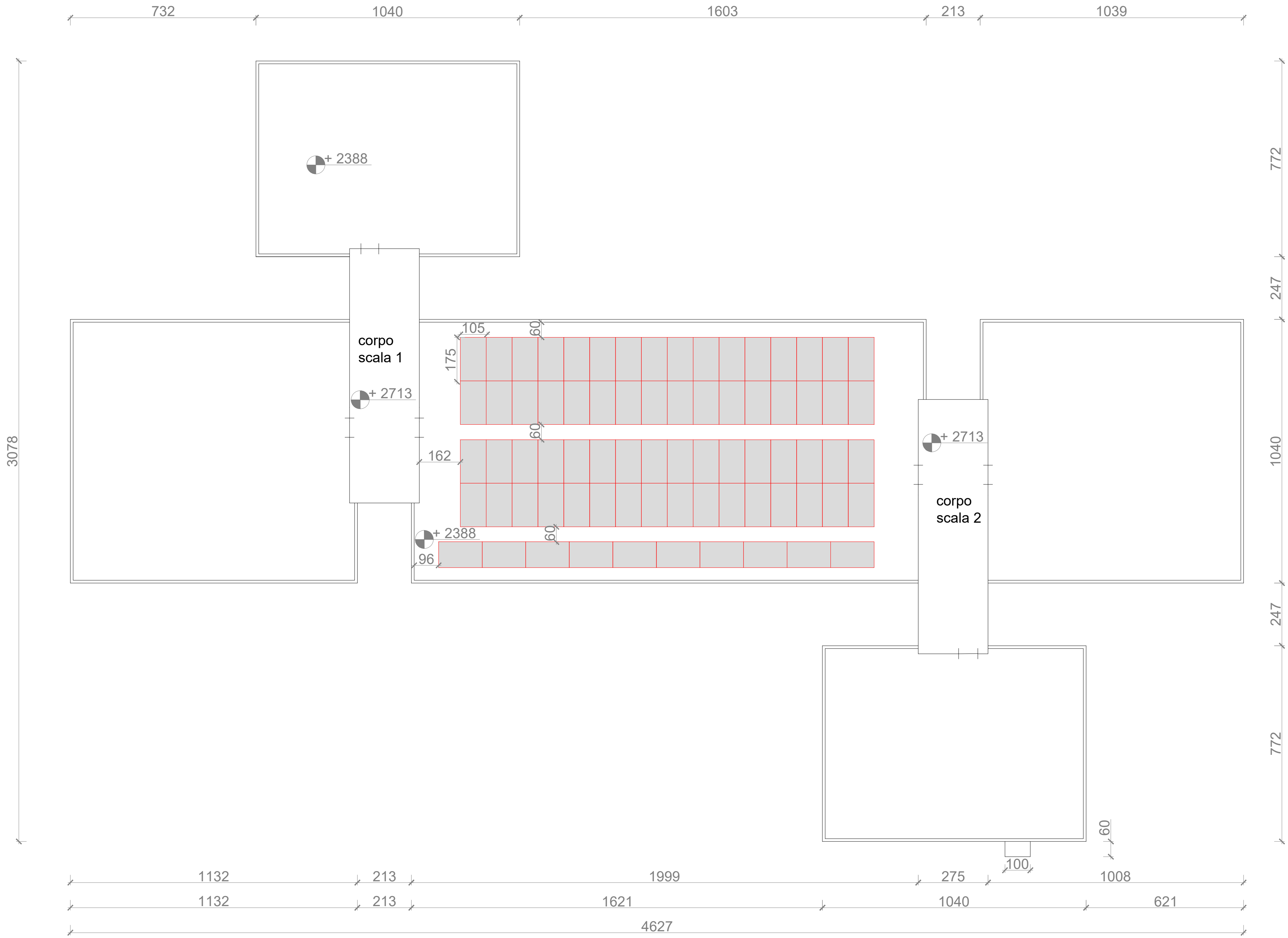
Specifiche termiche

Descrizione		PANNELLI SOLARI FSK	
		FSK 2.0	FSK 2.5
Rendimento ottico η_0 (1000 W/m ²)	%	78,5	78,5
Perdita di calore I ordine a_1	W/m ² K	3,594	3,594
Perdita di calore II ordine a_2	W/m ² K ²	0,014	0,014
IAM Incidence Angle Modifier	K_{θ_i} (50°)	0,94	0,951
Capacità termica C	kJ/m ² K	9,543	9,543
Portata consigliata	l/m ² min	0,3-0,6	0,3-0,6
Potenza di picco (1000 W/m ²)	W	1507	1751
Producibilità energetica (Test di Wurzburg, 3 m ²)	kWh/anno	1115	1295
Q_u - a 50°C (C.E.T.)	kWh/m ²	449,01	451,98
Q_u - a 75°C (C.E.T.)	kWh/m ²	266,34	267,86
Q_u - a 50°C (C.E.T.)	kWh _t	907,00	1.139,00
Q_u - a 75°C (C.E.T.)	kWh _t	538,00	675,00
$F'(\tau\alpha)$		0,795	0,795
b_0		0,103	0,103
K_{θ_d}		0,936	0,936
Rendimento a $T^*m = 0,04$ (C.E.T.)	%	62	62

IAM laterale e trasversale

Angolo incidente	0	20	40	50	60	70	90
$K_{\theta_b}(\theta_{laterale})$	1,00	0,99	0,97	0,94	0,90	0,80	0,00
$K_{\theta_b}(\theta_{trasversale})$	1,00	0,99	0,97	0,94	0,90	0,80	0,00

Allegato IX – Pianta solare termico



Allegato X – Scheda tecnica caldaia a gas

- Caldaia in acciaio, pressurizzata, per impianti di riscaldamento ad acqua calda fino a 90°C.
- Potenzialità: da 44 a 291 kW (da 37.840 a 250.160 kcal/h).
- Funzionamento: gasolio-gas.
- Focolare cilindrico ad inversione di fiamma, svincolato dalla piastra tubiera posteriore, saldato ad arco sommerso su barra di rame.
- Corpo caldaia in acciaio S 235 J RG 2 UNI EN 10.027/1, interamente elettrosaldato in atmosfera controllata di CO₂.
- Fascio tubiero composto da tubi in acciaio S 235 J RG 2 UNI EN 10.027/1, dello spessore di 4 mm.
- Portellone a registrazione totale che permette una perfetta tenuta dei prodotti della combustione.
- Mantellatura totale in lamiera di acciaio verniciato con polveri epossidiche ed isolamento con materassino di lana minerale dello spessore di 80 mm, al fine di ridurre le dispersioni di calore per perdite passive.
- Pannello elettrico di regolazione, esterno al mantello, provvisto di: termostato d'esercizio, termostato di sicurezza a riarmo manuale, termometro, termostato di minima sul circolatore, termostato anti-inerzia, interruttore generale, interruttore circolatore, interruttore bruciatore. Custodia in materiale plastico con grado di protezione minimo IP 40.

Tipo		MK 55	MK 70	MK 80	MK 90	MK 100	MK 120	MK 140	MK 170	MK 230	MK 300
Potenza utile	kW	44÷54,7	50÷68,4	62÷80,1	75÷90,3	90÷100,1	102÷120,2	120÷140,3	145÷170,1	174÷230	220÷291,7
	kcal/h	37.840÷47.042	43.000÷58.824	53.320÷68.846	64.500÷77.658	77.400÷86.086	87.720÷103.372	103.200÷120.658	124.700÷146.286	149.640÷197.800	189.200÷250.862
Potenza focolare	kW	48÷60,2	54÷74,7	67÷87,4	80,5÷98,8	97÷109,3	110÷131,1	130÷153,3	157÷186,1	188÷250,5	237÷319,7
	kcal/h	41.280÷51.772	46.440÷64.242	57.620÷75.164	69.230÷84.968	83.420÷93.998	94.600÷112.746	111.800÷131.838	135.020÷160.046	161.680÷215.430	203.820÷274.942
Volume camera di comb.	m ³	0,056	0,056	0,056	0,100	0,100	0,100	0,121	0,121	0,190	0,235
Carico termico	kW/m ³	1.075	1.334	1.561	988	1.093	1.311	1.267	1.538	1.318	1.360
	kcal/h m ³	924.500	1.147.179	1.342.214	849.680	939.980	1.127.460	1.089.570	1.322.694	1.133.842	1.169.966
Superficie di scambio	m ²	2,7	2,7	2,7	4,3	4,3	4,3	5,1	5,1	6,5	7,9
Resa termica	kW/m ²	20,3	25,3	29,7	21,0	23,3	28,0	27,5	33,4	35,4	36,9
	kcal/h m ²	17.423	21.787	25.513	18.060	20.020	24.040	23.658	28.684	30.431	31.755
Numero tubi fumo	n°	18	18	18	23	23	23	23	23	28	28
Diametro tubi fumo	Ø est.	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"
Peso caldaia	kg	200	220	220	300	310	310	340	340	410	460
Capacità caldaia	l	90	90	90	140	140	140	180	180	280	300
Pressione di esercizio	bar	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pressione di prova idraulica	bar	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Temp. max di funzionamento	°C	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
P.d.c. lato H ₂ O *	mbar	8	10	13	12	14	18	20	22	25	30
Pressione camera di comb.	mbar	0,12	0,15	0,2	0,24	0,36	0,5	0,7	1,2	1,5	3,2
Rendimento min. al 100% **	%	87,5	87,7	87,8	87,9	88	88,2	88,3	88,5	88,7	88,8
Rend. al 100% nel campo utilizzo	%	90,7	91,5	91,5	91,3	91,5	91,6	91,3	91,3	91,8	91
Rendimento min. al 30%	%	85,3	85,5	85,8	85,9	86,1	86,3	86,5	86,8	87,1	87,2
Rendimento al 30%	%	88,5	88,9	89	89,3	90,1	92,8	92,5	92,6	93	92
Perdite con bruciatore funz.	%	8,2	7,48	7,45	7,61	7,35	7,27	7,66	7,58	7,18	7,84
Perdite con bruciatore spento	%	0,28	0,3	0,26	0,32	0,26	0,25	0,29	0,22	0,24	0,26
Perdite al mantello ***	%	1,1	1,02	1,05	1,09	1,15	1,13	1,04	1,12	1,02	0,96
Attacco bruciatore (Ø)	mm	125	125	125	150	150	150	150	150	185	185
Attacco camino (Ø)	mm	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250
Depressione min. al camino	mbar	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Temperatura max fumi	°C	180	185	188	181	185	196	186	188	182	198
Temp. fumi nel campo di potenza	°C	141÷180	148÷185	151÷188	146÷181	155÷185	169÷196	145÷186	150÷188	142÷182	144÷198
CO ₂ a gas	%	9,8	9,7	10	9,6	9,75	10,2	10,5	9,9	9,7	10
CO a gas	ppm	27	24	22	25	19	28	26	22	16	21
NOx a gas	ppm	43	39	42	45	40	48	42	50	44	49
Portata max fumi a gasolio	m ³ /h	150	180	210	240	270	314	373	453	599	756
Portata max fumi a gas metano	m ³ /h	133	159	185	212	239	278	338	411	531	665
Vol. aria comb. a gasolio (pratica)	m ³ /h	82	98	114	131	148	171	197	239	327	413
Vol. aria comb. a metano (pratica)	m ³ /h	76	90	105	120	136	158	175	213	302	376
Dim. camera comb. Ø x lungh.	mm	330x650	330x650	330x650	390x830	390x830	390x830	390x1010	390x1010	468x1050	468x1300
Campo regolazione termostato	°C	55÷80	55÷80	55÷80	55÷80	55÷80	55÷80	55÷80	55÷80	55÷80	55÷80

* p.d.c. lato acqua relativa ad un Δt di 15°C - ** rendimento minimo richiesto per l'omologazione CE - *** perdita al mantello con Δt≈50°C

Allegato XI – Scheda tecnica pompa di calore

Modello: BHP2-I/A 2017

Dati per determinazione COP_{PL} : prestazioni calcolate a condizioni Average e acqua a 35°C

	T _{design}	A (T _{biv})	B	C	D
Te	-10 °C	-7 °C	2 °C	7 °C	12 °C
PLR	100%	88%	54%	35%	15%
DC		37,0	48,8	56,7	65,7
COP' (pieno carico)		2,77	3,56	4,07	4,65
COP (carico parziale)		3,17	3,19	3,17	2,45
P	41,8				
CR		1,00	0,46	0,26	0,10
f _{cop}		1,00	0,90	0,78	0,53

Dati di Potenza e COP a pieno carico sorgente fredda aria

	Potenza Termica (kW)			COP		
	T 35°C	T 45°C	T 55°C	T 35°C	T 45°C	T 55°C
-7 °C	37,0	36,2	-	2,77	2,27	-
2 °C	48,8	46,8	-	3,56	2,88	-
7 °C	56,7	53,9	51,2	4,07	3,28	2,61
12 °C	65,7	62,1	58,4	4,65	3,74	2,95

Potenza frigorifera nominale

Fattori di carico	100%	75%	50%	25%
EER	3,11	3,74	4,05	3,20

Modello: BHP2-I/A 2019

Dati per determinazione COP_{PL} : prestazioni calcolate a condizioni Average e acqua a 35°C

	T _{design}	A (T _{biv})	B	C	D
Te	-10 °C	-7 °C	2 °C	7 °C	12 °C
PLR	100%	88%	54%	35%	15%
DC		42,9	56,4	65,6	76,1
COP' (pieno carico)		2,79	3,59	4,11	4,69
COP (carico parziale)		3,20	3,21	3,20	2,47
P	48,5				
CR		1,00	0,46	0,26	0,10
f _{cop}		1,00	0,89	0,78	0,53

Dati di Potenza e COP a pieno carico sorgente fredda aria

	Potenza Termica (kW)			COP		
	T 35°C	T 45°C	T 55°C	T 35°C	T 45°C	T 55°C
-7 °C	42,9	42,0	-	2,79	2,28	-
2 °C	56,4	54,2	-	3,59	2,89	-
7 °C	65,6	62,4	59,3	4,11	3,30	2,61
12 °C	76,1	71,9	67,6	4,69	3,76	2,96

Potenza frigorifera nominale

Fattori di carico	100%	75%	50%	25%
EER	3,11	3,77	4,18	3,40



Allegato XII – Scheda tecnica caldaia a condensazione

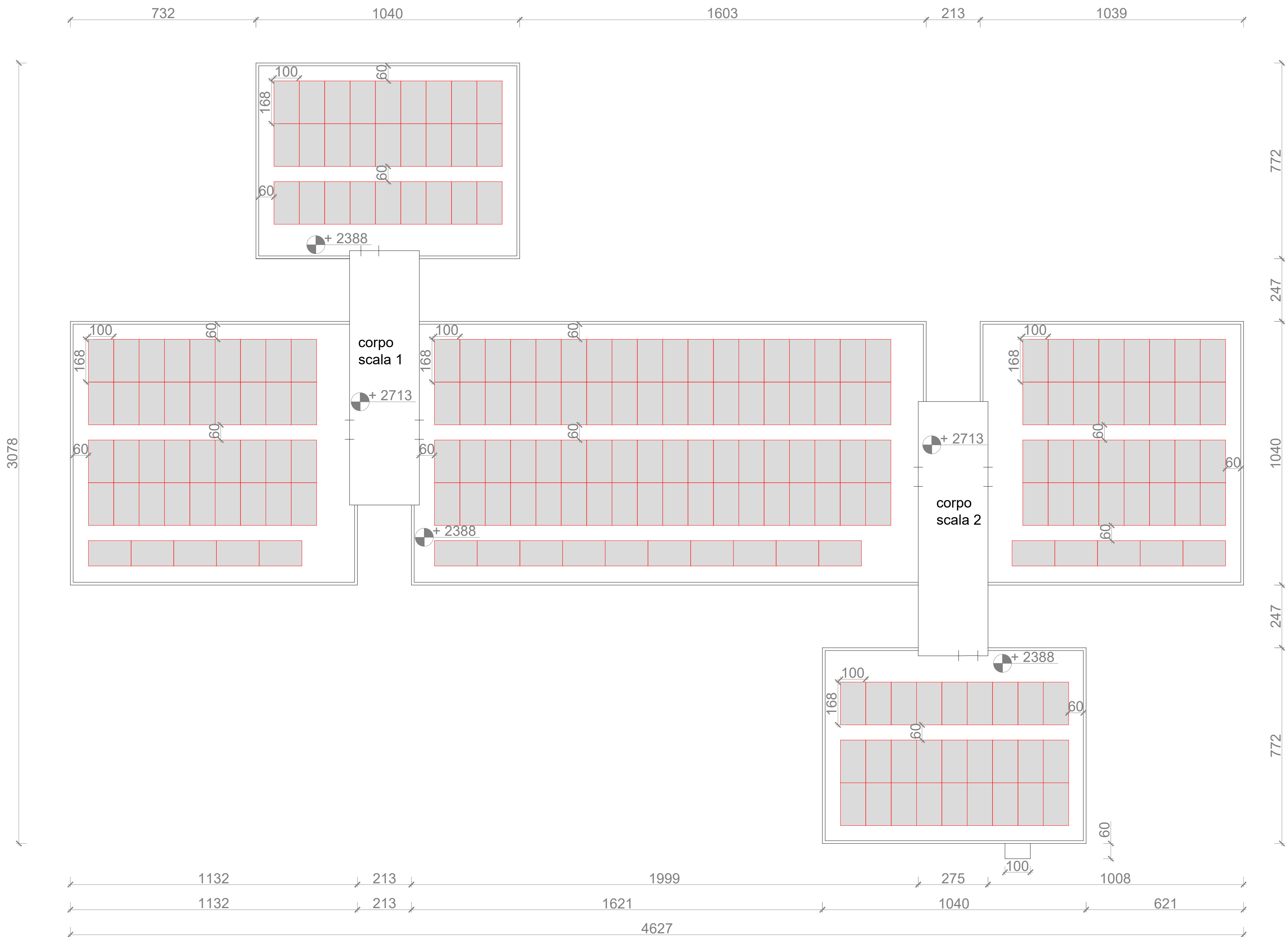
Dati Tecnici

DESCRIZIONE	POWER PLUS						
	50 M	100 M	100 S	50 M DEP	100 M DEP	100 S DEP	
Combustibile	G20 - G30 - G31						
Categoria apparecchio	II2H3+						
Tipo apparecchio	B23 - B53 - C13x - C33x - C43x - C53x - C63 - C63x - C83						
Potenza termica focolare rif. PCS (min - max) G20	16,3 - 50	16,3 - 100	16,3 - 100	16,3 - 38,7	16,3 - 77,3	16,3 - 77,3	kW
Potenza termica focolare rif. PCI (min - max) G20	15 - 45	15 - 90	15 - 90	15 - 34,8	15 - 69,6	15 - 69,6	kW
Potenza termica utile (80°/60°C) (min - max)	14,8 - 44,2	14,8 - 88,3	14,8 - 88,3	14,8 - 34,2	14,8 - 68,5	14,8 - 68,5	kW
Potenza termica utile (50°/30°C) (min - max)	16,3 - 48,5	16,3 - 96,8	16,3 - 96,8	16,3 - 37,6	16,3 - 75,3	16,3 - 75,3	kW
Rendimento utile rif. PCI (80°C/60°C)	98,2	98,2	98,2	98,4	98,4	98,4	%
Rendimento utile rif. PCI (50°C/30°C)	107,7	107,7	107,7	108,2	108,2	108,2	%
Rendimento utile al 30% rif. PCI (80°C/60°C)	98,7						%
Rendimento utile al 30% rif. PCI (50°C/30°C)	108,7						%
Perdite al camino con bruciatore funzionante	1,3						%
Perdita al camino a bruciatore spento	0,1						%
Perdita al mantello (Tm = 70°)	0,5						%
Temperatura fumi	Temperatura ritorno + 5						°C
CO ₂ al minimo - massimo G20	9,0 - 9,0						%
CO ₂ al minimo - massimo G30 - G31	10,4 - 10,4						%
CO S.A. al minimo - massimo inferiore a	11 - 91						mg/kWh
Classe NO _x	5						
Portata aria G20	58,78	117,56	117,56	44,42	88,84	88,84	Nm ³ /h
Portata aria G30 - G31	58,59	117,18	117,18	45,29	90,58	90,58	Nm ³ /h
Portata fumi G20	71,04	142,08	142,08	57,26	114,52	114,52	Nm ³ /h
Portata fumi G30 - G31	71,76	143,52	143,52	55,47	110,94	110,94	Nm ³ /h
Portata massica fumi (max-min) G20	20,57 - 6,60	41,14 - 6,60	41,14 - 6,60	15,54 - 6,60	31,08 - 6,60	31,08 - 6,60	gr/s
Portata massica fumi (max-min) G30 - G31	20,52 - 6,85	41,04 - 6,85	41,04 - 6,85	15,86 - 6,85	31,73 - 6,85	31,73 - 6,85	gr/s
Prevalenza residua ventilatore caldaia senza tubi alla potenza min	50	50	50	50	50	50	Pa
Prevalenza residua ventilatore caldaia senza tubi alla potenza max	560	560	560	420	420	420	Pa
Prevalenza residua ventilatore a valle del clapet (*) alla potenza min	40	40	40	40	40	40	Pa
Prevalenza residua ventilatore a valle del clapet (*) alla potenza max	490	490	490	370	370	370	Pa
Pressione minima di esercizio riscaldamento	0,5						bar
Pressione massima di esercizio riscaldamento	6						bar
Temperatura massima ammessa	90						°C
Campo di selezione temperatura acqua caldaia (±3°C)	20 - 80						°C
Contenuto acqua	5	10	10	5	10	10	l
Alimentazione elettrica	230 - 50						V-Hz
Potenza elettrica assorbita massima	80	160	154	77	154	160	W
Grado di protezione elettrica	X0D						IP
Quantità di condensa	7,2	14,4	14,4	5,6	11,2	11,2	kg/h
Rumorosità alla potenza max / min (**)	57,1 / 48,2	58,9 / 49,0	58,9 / 49,0	56,0 / 48,2	58,0 / 49,0	58,0 / 49,0	dBA

(*) Dati ottenuti considerando il clapet con cui la caldaia è stata omologata.

(**) Test eseguiti a 1m dall'apparecchio, a 1,5m d'altezza e con rumore di fondo pari a 36,5 dBA.

Allegato XIII – Pianta fotovoltaico



Allegato XIV – Scheda tecnica pannello fotovoltaico



Dettagli Modulo Fotovoltaico E.ON Aura RM330S

Dati generali

Potenza nominale P_{max}^* : 330 Wp

Corrente nominale (I_{mpp}): 9,52 A

Limiti di tolleranza di P_{max} : 0 / +5 Wp

Tensione a circuito aperto U_{oc} : 40,7 V

Efficienza modulo: 19,5%

Corrente di corto circuito I_{sc} : 10,13 A

Tensione nominale (U_{mpp}): 34,7 V

Riduzione dell'efficienza relativa a 200 W/m²: minore del 3%

Coefficienti di temperatura

NOCT: 42 +/- 2°C

Coefficiente di temperatura di U_{oc} : -0,304% / K

Coefficiente di temperatura di P_{max} : -0,37% / K

Coefficiente di temperatura di I_{sc} : +0,05% / K

*in condizioni standard 1000 W/m², 25°C, AM 1,5

Dati meccanici

Celle solari

120 (6x20), silicio monocristallino

Peso

18,9 kg

Dati meccanici

Dimensioni del modulo (LxPxA)	1684 x 1002 x 35 mm
Lunghezza del cavo	130 cm
Vetro (frontale)	Vetro di sicurezza da 3,2 mm
Retro	Lamina, nero
Numero di diodi di bypass	3
Telaio	Lega di alluminio anodizzato
Colore del telaio	Argento
Scatola di giunzione	Classe di protezione IP68
Connettori	MC4 Originale (Staubli MC4-EVO2)

Condizioni operative

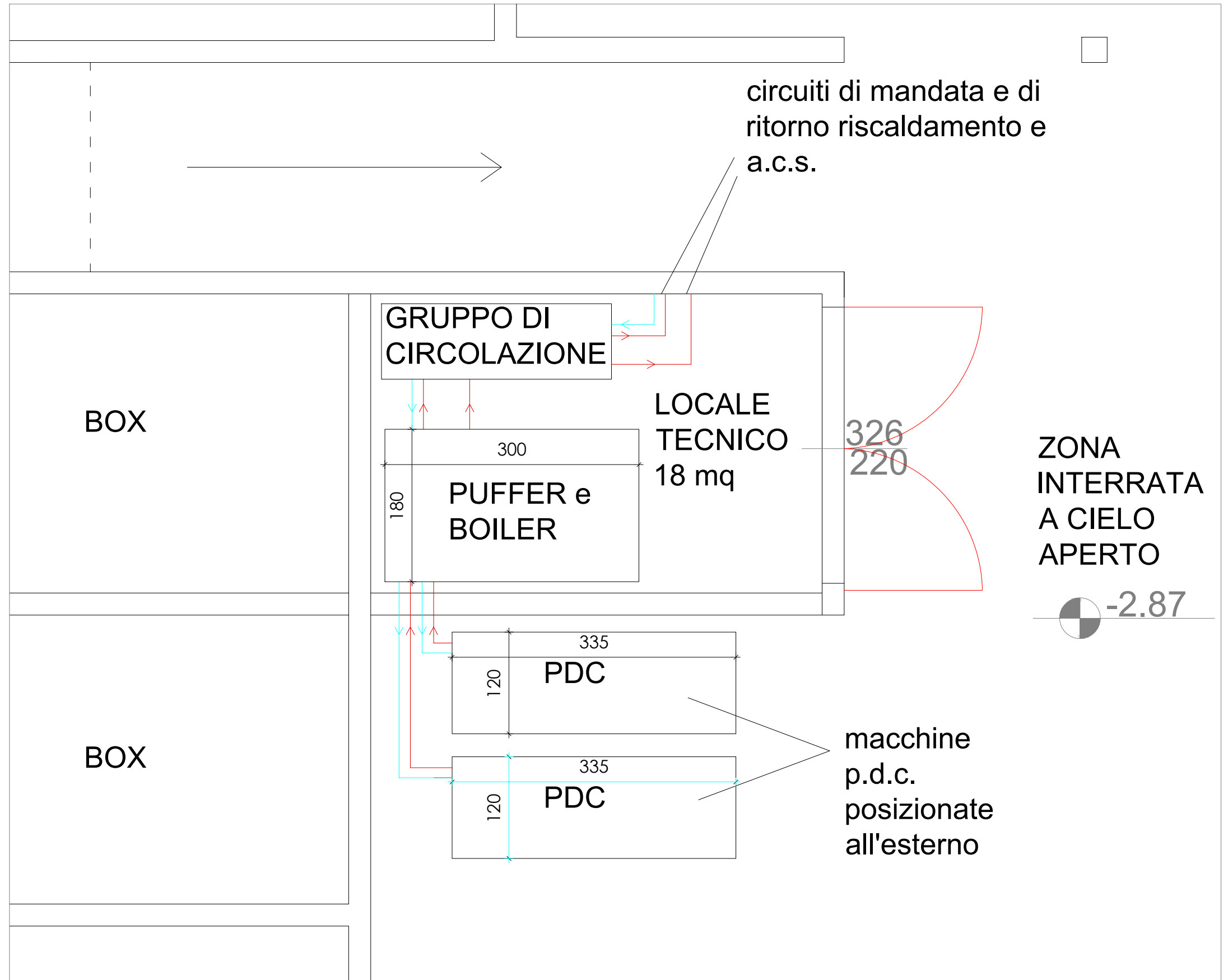
Tensione massima di sistema	1500 V DC (IEC)
Temperatura di esercizio	da -40°C a +85°C
Capacità di carico della corrente inversa	20 A
Capacità di carico meccanico	5400 Pa
Classe di protezione	II

Informazioni sull'imballaggio

Numero di moduli per scatola	26
Dimensioni di trasporto (LxPxA)	1736 x 1109 x 1169 mm
Peso lordo incl. pallet	605 kg
Impilabilità per pallet	duplice

Allegato XV – Pianta locale tecnico p.d.c.

NAVIGATORE



POLITECNICO DI
MILANO 1863

A.A.
22/23

SCUOLA AUIC

Abbatino Marco
Broglia Riccardo



PLANIMETRIA LOCALE
TECNICO
scala _ 1:50

Condominio Via Cristoforo Colombo, 5
26900 Lodi

TAV.
9

Allegato XVI – Computo A1

7f	A15025a	per i primi 30 giorni, compreso ogni onere e magistero di approvvigionamento, montaggio, manutenzione, smontaggio e ritiro dal cantiere a fine lavori	mq	5960,00	€ 3,69	€ 21.992,40	
7g	A15025b	per ogni mese o frazione di mese successivo (non inferiore a 25 giorni). Per un mese successivo	mq	5960,00	€ 3,92	€ 23.363,20	4 MESI AGGIUNTIVI
8	M01002b	Opere da elettricista. Smontaggio rete di illuminazione in facciata e impianto antenna.	ore	16,00	€ 37,61	€ 601,76	2 persone 1 giornata

TOTALE ALLESTIMENTO CANTIERE

€ 260.978,08

COIBENTAZIONE CHIUSURE OPACHE

Davanzali							
9	A25023	Taglio di superfici verticali con seghe elettriche, elettroidrauliche o con motore a scoppio per la creazione di giunti, tagli, aperture di vani porta, finestre e demolizioni controllate:					Taglio davanzali e spallette
	A25023c	profondità di taglio 150 ÷ 200 mm	m	294,00	€ 96,35	€ 28.326,90	
10	B45246	Fornitura e posa di scossaline in lamiera atte alla formazione di davanzali ed imbottiti per le finestre	m	294,00	€ 70,00	€ 20.580,00	
Cappotto chiusure verticali esterne							
11	A25046	Rimozione del solo strato di finitura di intonaco (colla o stucco)	mq	5069,00	€ 9,40	€ 47.648,60	
	A25130	Trasporto a discarica controllata secondo il DLgs 13 gennaio 2003, n. 36 dei materiali di risulta provenienti da demolizioni, previa caratterizzazione di base ai sensi del DM 27 settembre 2010 da computarsi a parte, con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno e scarico con esclusione degli oneri di discarica	mc	50,69	€ 49,35	€ 2.501,55	
	A25136a	rifiuti ammissibili in discarica per rifiuti inerti (art. 5 DM 27 settembre 2010)	t	101,38	€ 18,00	€ 1.824,84	
12	A75034	Finitura civile con rasante premiscelato a base di legante cementizio e inerti applicato a mano su sottofondo esistente con spessore non inferiore a 3 mm	mq	5069,00	€ 11,16	€ 56.570,04	
13	B15094	Lana di roccia, conforme alla norma UNI EN 13163, avente valore di conducibilità termica lambdaD compreso tra 0,030 e 0,031 W/mK, resistenza a trazione >= 100 KPa, euroclasse di reazione al fuoco E secondo EN 13501-1, rispondente ai criteri CAM (Criteri Ambientali Minimi), in pannelli posti in opera per isolamento termico a cappotto. Il sistema a cappotto, posato su pareti esterne già preparate, provvisto di ETA, è costituito da adesivo minerale ad elevate prestazioni, fissaggio meccanico eseguito con idonei tasselli, successiva rasatura eseguita in due mani con idoneo rasante, con interposta rete in fibra di vetro antialcalina del peso >= 140 g/mq, compresi rinforzi diagonali in rete presso le aperture, nastri autoespandenti sigillanti, rinforzi di paraspigolo, gocciolatoio, escluso primer e rivestimento di finitura adeguato all'ETA del produttore del sistema: dimensioni pannelli 500 x 500 mm, fissati con idoneo collante e tasselli ed ancorati meccanicamente a sottoprofilo in pvc orizzontali e verticali:					
	B15094b	spessore 60 mm	mq	5069,00	€ 80,24	€ 406.736,56	
	B15094c	sovrapprezzo per ogni 20 mm in più di pannello isolante (8 cm = 4 x 6,99)	mq	5069,00	€ 27,96	€ 141.729,24	
14	B15108	Rivestimento acrilossilosanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2/1,5 mm, con protezione del film secco dalla proliferazione di muffe e alghe, densità 1,75 kg/l, diffusione del vapore classe V1 secondo EN 1062, permeabilità all'acqua classe W2, secondo EN 1062, ad alta resa cormatica.	mq	5069,00	€ 20,02	€ 101.481,38	
Rivestimento soffito box							
16	B15081	Isolamento termico in estradosso di primo solaio mediante applicazione di pannelli sandwich costituiti da schiuma polyiso PIR espansa, rivestiti su entrambe le facce con velo di vetro saturato, resistenza a compressione valore minimo di 150 kPa; comportamento a carico costante determinato al 2% di schiacciamento superiore a 5.000 kg/mq, fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo micron 56, conforme alla norma UNI EN 13165, conducibilità termica lambdaD = 0,025 ÷ 0,028 W/Mk, dimensioni 1200 x 600 mm:					
	B15081a	spessore 30 mm	mq	436,31	€ 20,92	€ 9.127,61	
	B15081b	sovrapprezzo per ogni cm in più di pannello isolante	mq	436,31	€ 26,35	€ 11.496,77	

18	B15109	Rivestimento metilsiliconico ad effetto minerale, a base di particelle di nanoquarzo, ad elevata brillantezza e stabilità del colore, con granulometria 1,5 mm, con protezione del film secco dalla proliferazione di muffe e alghe, contenente speciali pigmenti ad effetto fotocatalitico, densità 1,3 kg/l, diffusione del vapore classe V1 secondo EN 1062, permeabilità all'acqua classe W3 secondo EN 1062, ad alta resa cromatica. Compreso saocciolatoio perimetrale.	mq	436,31	€ 27,04	€ 11.797,82
		Copertura				
19	B12042	Preparazione pavimentazione terrazzo per posa isolamento mediante rimozione dell'attuale materiale edile/guaine impermeabili fino al vivo del solaio, compreso l'abbassamento dei materiali di risulta al piano di carico dell'autoveicolo, il carico dei materiali di risulta, il loro trasporto al sito di destinazione e gli oneri di smaltimento.	mq	586,00	€ 75,00	€ 43.950,00
20	B16051	Isolamento pavimento terrazzo mediante: - Fornitura e posa pannelli di Stifferite Class B spessore mm 120 - Fornitura e posa in opera di massetto tradizionale con miscela di inerti selezionati e cemento tipo IV/A 32,5 dosato in q.li 2,5 al mq, spessore 4-5 cm, finitura superficiale a frattazzo per formazione pendenze di colo; - Fornitura e posa in opera di doppio manto impermeabile in opera a qualsiasi altezza, composto da membrana elastomerica bitume distillato, armato con un tessuto non tessuto di poliestere imputrescibile stabilizzato con fibra di vetro, autoprotetta con scaglie di ardesia di spessore mm 4,5, flessibilità a freddo -20°C, applicata a caldo con giunti sfalsati e sovrapposti di cm 10 in senso longitudinale e cm 15 di festa, sigillati a caldo su superfici orizzontali verticali o inclinate, lisciate o rustiche, previa accurata pulizia e asportazione di corpi estranei applicate in indipendenza o in semiaderenza o in aderenza totale a seconda della pendenza della copertura. Compreso inoltre l'onere l'aria classe 4 secondo la norma UNI EN 12207, tenuta all'acqua classe 7A secondo la norma UNI 12208, resistenza al vento classe B2 secondo la norma UNI 12210, idoneo per zona climatica E con trasmittanza termica $U_w \leq 1,30$ W/mqK, idoneo per la zona climatica F con trasmittanza termica $U_w < 1,00$ W/mqK, prestazione acustica $R_w = 36$ dB, coprifili interni sui 3 lati delle dimensioni di 60x7 mm, incluso il trasporto, esclusi il controtelaio, il tiro ai piani ed eventuali assistenze murarie: bbricato	mq	586,00	€ 105,00	€ 61.530,00
		Cappotto su pareti vs corpo scala				
21	B15094	Lana di roccia, conforme alla norma UNI EN 13163, avente valore di conducibilità termica λ_D compreso tra 0,030 e 0,031 W/mK, resistenza a trazione ≥ 100 KPa, euroclasse di reazione al fuoco E secondo EN 13501-1, rispondente ai criteri CAM (Criteri Ambientali Minimi), in pannelli posti in opera per isolamento termico a cappotto. Il sistema a cappotto, posato su pareti esterne già preparate, provvisto di ETA, è costituito da adesivo minerale ad elevate prestazioni, fissaggio meccanico eseguito con idonei tasselli, successiva rasatura eseguita in due mani con idoneo rasante, con interposta rete in fibra di vetro antialcalina del peso ≥ 140 g/mq, compresi rinforzi diagonali in rete presso le aperture, nastri autoespandenti sigillanti, rinforzi di parapigolo, gocciolatoio, escluso primer e rivestimento di finitura adeguato all'ETA del produttore del sistema: dimensioni pannelli 500 x 500 mm, fissati con idoneo collante e tasselli ed ancorati meccanicamente a sottoprofilo in pvc orizzontali e verticali:				
	B15094b	spessore 50 mm	mq	831,00	€ 62,74	€ 52.136,94
22	B15108	Rivestimento acrilossilanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2/1,5 mm, con protezione del film secco dalla proliferazione di muffe e alghe, densità 1,75 kg/l, diffusione del vapore classe V1 secondo EN 1062, permeabilità all'acqua classe W2, secondo EN 1062, ad alta resa cromatica.	mq	831,00	€ 20,02	€ 16.636,62

TOTALE COIBENTAZIONE CHIUSURE OPACHE

€ 1.014.074,87

SOSTITUZIONE SERRAMENTI

23	A25114	Smontaggio di intissi esterni in legno come tinte, sportelli a vetri, persiane ecc., calcolato sulla superficie, inclusa l'eventuale parte vetrata, compreso telaio, controtelaio, smuratura delle grappe o dei tasselli di tenuta ed eventuale taglio a sezione degli elementi Avvertenze: Nelle stime relative a questo paragrafo non sono inclusi gli eventuali costi relativi al carico, trasporto e scarico a discarica autorizzata. Sono altresì inclusi gli oneri relativi ad ogni movimentazione praticata in cantiere come l'avvicinamento a luogo di deposito provvisorio, il calo in basso, ecc.				
	163	90x220	mq	322,74	€ 19,86	€ 6.409,62
	55	260x220	mq	314,60	€ 19,86	€ 6.247,96
	32	46x70	mq	10,30	€ 19,86	€ 204,64

24	A25115	Smontaggio di avvolgibili in legno o pvc, compreso lo smontaggio del rullo e dell'avvolgitore e la smuratura dei supporti					
		Totale	mq	647,64	€ 26,48	€ 17.149,51	
25	A25130	Trasporto a discarica controllata secondo il DLgs 13 gennaio 2003, n. 36 dei materiali di risulta provenienti da demolizioni, previa caratterizzazione di base ai sensi del DM 27 settembre 2010 da computarsi a parte, con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno e scarico con esclusione degli oneri di discarica	mc	129,53	€ 49,35	€ 6.392,21	
	A25136	Compensi alle discariche					
	A25136b	Rifiuti non ammissibili in discarica per rifiuti inerti	t	64,76	€ 100,00	€ 6.476,40	
26	C25092c	Manodopera per posa di falso telaio					
	163	90x220	m	1010,60	€ 4,31	€ 4.359,93	
	55	260x220	m	528,00	€ 4,31	€ 2.277,90	
	32	46x70	m	74,24	€ 4,31	€ 320,29	
27	C23074c	Falso telaio in legno con finale in PVC e rete per intonaco, completo di zanche e listello inferiore con funzione 4° lato, con spalla da 131 a 200 mm					
	163	90x220	m	1010,60	€ 21,50	€ 21.727,90	
	55	260x220	m	528,00	€ 21,50	€ 11.352,00	
	32	46x70	m	74,24	€ 21,50	€ 1.596,16	
28	C25077	Serramento realizzato con profili estrusi in pvc prodotti secondo la norma DIN 7748, esenti da cadmio, autoestinguenti, classe 1 di reazione al fuoco; sistema caratterizzato da profili formati da 5 camere interne, dimensione minima in profondità 70 mm, trasmittanza termica del nodo $U_f=1,30$ W/mqK, rinforzati con profili in acciaio zincato spessore 15/10, a 3 guarnizioni in TPE coestruse e saldate negli angoli; montato su controtelaio da computarsi a parte, fornito e posto in opera, compresi maniglie, cerniere, meccanismi di manovra, dispositivi di sicurezza contro le false manovre e quant'altro necessario per il funzionamento, doppio riscontro antiscasso, con carrello di sollevamento per agevolare la chiusura a battente, cerniere inferiori e superiori portata 130 kg simmetriche e quant'altro necessario per il funzionamento, anta dormiente (no ribalta) con cerniere centrali a scomparsa e per tenuta anta-telaio, con vetrocamera doppio vetro con canalina, con prestazioni termiche e acustiche idonee, permeabilità all'aria classe 4 secondo la norma UNI EN 12207, tenuta all'acqua classe 7A secondo la norma UNI 12208, resistenza al vento classe B2 secondo la norma UNI 12210, idoneo per zona climatica E con trasmittanza termica $U_w \leq 1,30$ W/mqK, idoneo per la zona climatica F con trasmittanza termica $U_w < 1,00$ W/mqK, prestazione acustica $R_w=36$ dB, coprifili interni sui 3 lati delle dimensioni di 60x7 mm, incluso il trasporto, esclusi il controtelaio, il tiro ai piani ed eventuali assistenze murarie:					
	163	90x220	mq	322,74	€ 459,66	€ 148.350,67	
	55	260x220	mq	314,60	€ 444,23	€ 139.754,76	
	32	46x70	mq	10,30	€ 459,66	€ 4.736,34	
29	C25095c	Cassonetto coprirlullo in pvc colore bianco in massa, multicamera spessore 24 mm, ad alto isolamento termoacustico e coperchio a scatto con doppia guarnizione, ispezione frontale, incluso il trasporto, escluso il tiro ai piani: profondità fino a 110 mm	cad	250,00	€ 317,75	€ 79.437,50	
30	C15084b	Avvolgibili con telo composto da stecche agganciate in metallo coibentato con chiuma poliuretanic e superficie preverniciata, con traversa finale, fornito e posto in opera, compresi supporti con cuscinetti a sfera, rullo, staffe, puleggia, cinghia, attacchi al rullo, guide fisse in ferro zincato ad U, quadretto di arresto, avvolgitore alla cinghia incassato nella muratura ed ogni altro accessorio, in opera comprese le opere murarie e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'art, incluso il trasporto, escluso il tiro al piano: in alluminio altezza stecche 55 mm, spessore 14 mm, peso circa 4,5 kg.	mq	647,64	€ 117,17	€ 75.884,45	

TOTALE SOSTITUZIONE SERRAMENTI

€ 532.678,21

OPERE DI COMPLETAMENTO

31	M01002b	Opere da elettricista. Adeguamento impianto di illuminazione esterna e impianto antenna.	ore	100,00	€ 37,61	€ 3.761,00	
----	---------	--	-----	--------	---------	------------	--

TOTALE OPERE DI COMPLETAMENTO

€ 3.761,00

TOTALE GENERALE ESCLUSO IVA

€ 1.811.492,16

RIASSUNTO

		Allestimento cantiere				€ 260.978,08	
		Coibentazione chiusure opache				€ 1.014.074,87	

	Sostituzione serramenti	€ 532.678,21
	Opere di completamento	€ 3.761,00
	TOTALE GENERALE ESCLUSO IVA	€ 1.811.492,16

Allegato XVII – Computo A2

COMPUTO METRICO ESTIMATIVO CASO A 2

Intervento consistente in:

- isolamento muratura esterna
- isolamento pareti vs ambienti non riscaldati
- isolamento pavimenti vs ambienti non riscaldati
- sostituzione serramenti
- impianto solare termico

codice DEI	descrizione	u.m.	quantità	prezzo unitario	totale	note
---------------	-------------	------	----------	-----------------	--------	------

ELENCO LAVORI

ALLESTIMENTO CANTIERE

TOTALE ALLESTIMENTO CANTIERE € 260.978,08

COIBENTAZIONE CHIUSURE OPACHE

TOTALE COIBENTAZIONE CHIUSURE OPACHE € 1.014.074,87

SOSTITUZIONE SERRAMENTI

TOTALE SOSTITUZIONE SERRAMENTI € 532.678,21

IMPIANTO SOLARE TERMICO

31	85017	Impianto centralizzato a collettori solari piani per produzione di acqua sanitaria in edificio adibito ad abitazione costituito da: collettori solari piani con piastra captante composta da tubi di rame e lastra in rame con trattamento sputtering, isolamento posteriore in schiuma poliuretanicca rivestita in alluminio, copertura in vetro temperato semiriflettente, contenitore in acciaio inox; supporti di fissaggio dei collettori in tubolari profilati d'acciaio zincato; serbatoi di accumulo per acqua calda in acciaio termofonato completi di coibentazione in schiuma poliuretanicca; scambiatore di calore del tipo in controcorrente a piastre in acciaio inox; elettropompe di circolazione per acqua calda; valvole deviatrici motorizzate a 3 vie; centralina elettronica differenziale; quadro elettrico con interruttori e spie; tubazioni in acciaio zincato; rivestimento isolante di tutte le tubazioni; valvole di intercettazione a sfera; vaso di espansione e gruppo di caricamento e rabbocco automatico del glicole; glicole antigelo di primo riempimento; accessori vari di completamento; con esclusione di: colonne collegamento collettori-serbatoi (previsti entrambi su terrazzo di copertura); colonne montanti per alimentazione acqua fredda e per la distribuzione dell'acqua calda agli appartamenti; sistema di integrazione (previsto autonomo); impianto di ricircolo (non previsto); opere edili di assistenza; baggioli o travi in acciaio per appoggio supporti dei collettori solari. L'impianto è dimensionato per fornire l'80% del fabbisogno annuo di acqua calda, stimato in 200 l/giorno a 40° C per appartamento di 70-80 m2, con le seguenti ipotesi: zona centrale dell'Italia o comunque con insolazione media giornaliera 6 ÷ 9 ore di sole (per altre zone vedere carta del sole); inclinazione collettori solari pari a 45°; orientamento collettori solari: sud:				
	085017a	120 mq di collettori solari	cad	1	€ 182.316,51	€ 182.316,51

TOTALE SOLARE TERMICO € 182.316,51

OPERE DI COMPLETAMENTO

TOTALE OPERE DI COMPLETAMENTO € 3.761,00

TOTALE GENERALE ESCLUSO IVA € 1.993.808,67

RIASSUNTO

	Allestimento cantiere	€ 260.978,08
	Formazione rivestimento a cappotto	€ 1.014.074,87
	Serramenti	€ 532.678,21
	Impianto solare termico	€ 182.316,51
	Opere di completamento	€ 3.761,00

TOTALE GENERALE ESCLUSO IVA € 1.993.808,67

Allegato XVIII – Computo B1

COMPUTO METRICO ESTIMATIVO CASO B 1

Intervento consistente in:

- isolamento muratura esterna
- isolamento pareti vs ambienti non riscaldati
- isolamento pavimenti vs ambienti non riscaldati
- sostituzione serramenti
- impianto fotovoltaico
- sostituzione caldaia esistente con sistema ibrido

codice DEI	descrizione	u.m.	quantità	prezzo unitario	totale	note
------------	-------------	------	----------	-----------------	--------	------

ELENCO LAVORI

ALLESTIMENTO CANTIERE

TOTALE ALLESTIMENTO CANTIERE

€ 260.978,08

COIBENTAZIONE CHIUSURE OPACHE

TOTALE COIBENTAZIONE CHIUSURE OPACHE

€ 1.014.074,87

SOSTITUZIONE SERRAMENTI

TOTALE SOSTITUZIONE SERRAMENTI

€ 532.678,21

IMPIANTO FOTOVOLTAICO

31	105001	Modulo fotovoltaico a struttura rigida con celle al silicio monocristallino, tensione massima di sistema 1000 V, completo di cavi con connettori MC4 e scatola di giunzione IP 67 con diodi di by-pass, involucro in classe II con struttura sandwich e telaio in alluminio anodizzato, certificazione IEC 61215, garanzia di prestazione del 90% in 12 anni e dell'80% in 25 anni; cablaggio e fornitura in opera di struttura di supporto modulare in alluminio anodizzato <i>inclusi:</i>					
	105001b	Potenza di picco maggiore di 250 W fino a 350 W, efficienza del modulo > 17%	W	70.620,00	€ 1,68	€ 118.641,60	
32	105011	Inverter monofase multi-idirezionale per impianti residenziali connessi in rete (grid connected) e sistema di accumulo in sito, sistema di conversione DC/AC a ponte IGBT, protezione contro l'inversione di polarità, varistori di classe e controllore di isolamento lato corrente continua, varistori lato corrente alternata, sistema di protezione anti-isola, sistema di protezione di interfaccia integrato, dispositivo di distacco automatico dalla rete, sistema di raffreddamento a ventilazione, 2 inseguitori MPPT, 2 ingressi c.c., range di tensione in ingresso 65-600 V c.c., massima corrente in ingresso lato DC 22 A, tensione di uscita 230 V c.a. 50 Hz, fattore di potenza 0,8-1 e distorsione armonica < 3,5%, grado di efficienza massima 97,5%, interfacce WLAN-Ethernet LAN, ingressi digitali, porte USB, RJ45, MODBUS RS485, involucro metallico da parete con grado di protezione IP 65, compresa l'attivazione dell'impianto, potenza nominale in uscita:	cad	1,00	€ 15.000,00	€ 15.000,00	
33	105023	Sistema di accumulo energia con tecnologia ioni Litio, in involucro da parete grado di protezione IP65, protezione contro sovratensioni, interfaccia di connessione con l'inverter Modbus RTU (RS485), capacità di utilizzo 90% DoD, tensione nominale 48V, compresa l'attivazione dell'impianto, energia totale accumulabile:					
	105023a	3,3 kWh, capacità 63 Ah, potenza massima 3 kW	cad	48,00	€ 2.969,52	€ 142.536,96	

TOTALE FOTOVOLTAICO

€ 276.178,56

SISTEMA IBRIDO

34	105001	Smontaggio e smaltimento caldaia esistente	cad	1,00	€ 2.500,00	€ 2.500,00	
35	033098	Sistema ibrido per solo riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria in abbinamento a bollitore separato, composto da pompa di calore esterna monoblocco aria/acqua da 110 kW monofase ad inverter con refrigerante e caldaia interna a condensazione con resa termica utile di 90 kW, da collegare idraulicamente in serie fra loro, comprensiva di pannello di controllo per gestire unità a condensazione e pompa di calore, rubinetti intercettazione unità esterna di serie, valvola termostatica antigelo di serie con l'unità esterna che evita inserimento glicole impianto, la caldaia rispetta i requisiti della Direttiva ErP (2009/125/EC) ed ELD (2010/30/EC), alimentazione elettrica 230/1/50Hz	cad	1,00	€ 55.000,00	€ 55.000,00	

TOTALE SISTEMA IBRIDO

€ 57.500,00

OPERE DI COMPLETAMENTO

TOTALE OPERE DI COMPLETAMENTO

€ 3.761,00

TOTALE GENERALE ESCLUSO IVA

€ 2.145.170,72

RIASSUNTO

	Allestimento cantiere	€ 260.978,08
	Formazione rivestimento a cappotto	€ 1.014.074,87
	Serramenti	€ 532.678,21
	Impianto Fotovoltaico	€ 276.178,56
	Sistema ibrido	€ 57.500,00
	Opere di completamento	€ 3.761,00

TOTALE GENERALE ESCLUSO IVA

€ 2.145.170,72

Allegato XIX – Computo B2

COMPUTO METRICO ESTIMATIVO CASO B 2

Intervento consistente in:

- isolamento muratura esterna
- isolamento pareti vs ambienti non riscaldati
- isolamento pavimenti vs ambienti non riscaldati
- sostituzione serramenti
- impianto fotovoltaico
- sostituzione caldaia esistente con P.D.C.

codice DEI	descrizione	u.m.	quantità	prezzo unitario	totale	note
------------	-------------	------	----------	-----------------	--------	------

ELENCO LAVORI

ALLESTIMENTO CANTIERE

TOTALE ALLESTIMENTO CANTIERE € 260.978,08

COIBENTAZIONE CHIUSURE OPACHE

TOTALE COIBENTAZIONE CHIUSURE OPACHE € 1.014.074,87

SOSTITUZIONE SERRAMENTI

TOTALE SOSTITUZIONE SERRAMENTI € 532.678,21

IMPIANTO FOTOVOLTAICO

31	105001	Modulo fotovoltaico a struttura rigida con celle al silicio monocristallino, tensione massima di sistema 1000 V, completo di cavi con connettori MC4 e scatola di giunzione IP 67 con diodi di by-pass, involucro in classe II con struttura sandwich e telaio in alluminio anodizzato, certificazione IEC 61215, garanzia di prestazione del 90% in 12 anni e dell'80% in 25 anni; cablaggio e fornitura in opera di struttura di supporto modulare in alluminio anodizzato <i>inclusi:</i>				
	105001b	Potenza di picco maggiore di 250 W fino a 350 W, efficienza del modulo > 17%	W	70.620,00	€ 1,68	€ 118.641,60
32	105011	Inverter monofase multi-idirezionale per impianti residenziali connessi in rete (grid connected) e sistema di accumulo in sito, sistema di conversione DC/AC a ponte IGBT, protezione contro l'inversione di polarità, varistori di classe e controllore di isolamento lato corrente continua, varistori lato corrente alternata, sistema di protezione anti-isola, sistema di protezione di interfaccia integrato, dispositivo di distacco automatico dalla rete, sistema di raffreddamento a ventilazione, 2 inseguitori MPPT, 2 ingressi c.c., range di tensione in ingresso 65-600 V c.c., massima corrente in ingresso lato DC 22 A, tensione di uscita 230 V c.a. 50 Hz, fattore di potenza 0,8-1 e distorsione armonica < 3,5%, grado di efficienza massima 97,5%, interfacce WLAN-Ethernet LAN, ingressi digitali, porte USB, RJ45, MODBUS RS485, involucro metallico da parete con grado di protezione IP 65, compresa l'attivazione dell'impianto, potenza nominale in uscita:	cad	1,00	€ 15.000,00	€ 15.000,00
33	105023	Sistema di accumulo energia con tecnologia ioni Litio, in involucro da parete grado di protezione IP65, protezione contro sovratensioni, interfaccia di connessione con l'inverter Modbus RTU (RS485), capacità di utilizzo 90% DoD, tensione nominale 48V, compresa l'attivazione dell'impianto, energia totale accumulabile:				
	105023a	3,3 kWh, capacità 63 Ah, potenza massima 3 kW	cad	48,00	€ 2.969,52	€ 142.536,96

TOTALE FOTOVOLTAICO € 276.178,56

POMPA DI CALORE

34	105001	Smontaggio e smaltimento caldaia esistente	cad	1,00	€ 2.500,00	€ 2.500,00
35	033098	Pompa di calore idronica aria/acqua per produzione acqua calda uso riscaldamento e uso sanitario tramite serbatoio di accumulo incorporato, dotata di centralina di regolazione e interfaccia con impianto fotovoltaico alimentazione elettrica 230 V-1-50 Hz, funzionamento con aria esterna fino a -20 °C, temperatura massima mandata impianto 60 °C. resa termica 90 kW.	cad	3,00	€ 30.000,00	€ 90.000,00

TOTALE SISTEMA IBRIDO € 92.500,00

OPERE DI COMPLETAMENTO

TOTALE OPERE DI COMPLETAMENTO

€ 3.761,00

TOTALE GENERALE ESCLUSO IVA

€ 2.180.170,72

RIASSUNTO

Allestimento cantiere	€ 260.978,08
Formazione rivestimento a cappotto	€ 1.014.074,87
Serramenti	€ 532.678,21
Impianto Fotovoltaico	€ 276.178,56
Pompa di calore	€ 92.500,00
Opere di completamento	€ 3.761,00

TOTALE GENERALE ESCLUSO IVA

€ 2.180.170,72