



Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

A.a. 2021/2022

Sessione di Laurea Novembre 2022

Riqualificazione energetica in ambito Superbonus 110%

Incentivo fiscale: opportunità a lungo termine o solo un rimedio
momentaneo?

Relatore:

Masoero Marco Carlo

Candidato:

Lefosse Francesco Giuseppe

Sommario

Abstract	3
Inquadramento generale.....	4
Contesto internazionale e storia dei provvedimenti in tema energia e ambiente	4
La politica dell'Unione Europea	6
Green Deal europeo	6
La risposta dell'Italia.....	7
Il superbonus 110%	9
Una risposta concreta a due criticità.....	9
L'incentivo in legislatura.....	11
Beneficiari.....	11
Scadenze.....	12
Condizioni necessarie per accedere all'incentivo	12
Interventi agevolabili.....	13
Massimali di spesa.....	20
Meccanismo economico.....	24
L'iter per una corretta realizzazione dell'incentivo.....	27
Normativa e definizioni in ambito energetico.....	31
Bilancio energetico	31
Carico termico sensibile di progetto in regime invernale ed estivo.....	35
Procedura di calcolo del carico termico sensibile di progetto per il riscaldamento	36
Procedura di calcolo del carico termico sensibile di progetto per il raffrescamento	45
Analisi del caso studio	48
Descrizione del fabbricato e stato dei luoghi	48
Dati climatici	51
Involucro opaco e trasparente zona riscaldata	53
Impianto termico e sanitario	56
Verifica edilizia e urbanistica	57
Studio di fattibilità: ante intervento.....	59
Studio di fattibilità: post-intervento e interventi migliorativi.....	66
Verifica requisiti di accesso e confronto	100
Redazione computo metrico	103
Asseverazione ENEA	105
Conclusione	109
Indice delle figure e tabelle	111

Bibliografia.....	113
-------------------	-----

Abstract

Il presente **progetto di tesi di laurea magistrale** si pone l'obiettivo di dimostrare come l'agevolazione fiscale c.d. **"Superbonus 110%"**, introdotta dall'**articolo 119 del decreto-legge n. 34/2020 (decreto Rilancio)**, e rinnovata nelle scadenze dalla legge di bilancio 2022, è stato applicato in un caso studio reale e di quali benefici la stessa possa portare sia in micro che in macro-scala.

Nel corso della trattazione, oltre a illustrare l'iter progettuale che si cela dietro l'applicazione dell'incentivo, si proverà a contestualizzare tale misura nella realtà energetica contemporanea e nelle proposte che le politiche nazionali e mondiali hanno intenzione di portare avanti, per perseguire gli obiettivi prefissati negli anni a venire.

Inquadramento generale

Oggigiorno le parole che si sentono maggiormente nelle aperture dei telegiornali, nei comizi politici, nelle testate dei principali quotidiani nazionali, fino alle chiacchiere da bar di quartiere sono: **“risparmio energetico”, “caro bollette”, “regole per il consumo intelligente e consapevole”** e così via.

Le vicissitudini del mondo attuale hanno costretto tutte le nazioni del globo a dare maggiore importanza alla **questione energetica** e a tutto ciò che ruota intorno ad essa, vuoi per i **danni economici e sociali** causati dalla **pandemia da COVID-19**, vuoi per lo scoppio del recente **conflitto Russia-Ucraina** che vede coinvolta la maggior potenza mondiale per esportazione e detenzione di gas naturale da cui dipende quasi tutta l'Europa ma anche per avvenimenti più remoti che hanno fatto da apri pista a diverse proposte, antenate delle politiche attuali.

Contesto internazionale e storia dei provvedimenti in tema energia e ambiente

È risaputo come il **fabbisogno mondiale di energia primaria** sia in **costante aumento** (eccetto per una breve pausa dovuta alla pandemia), soprattutto per l'incalzante contributo dato delle realtà emergenti quali **India e Cina**, come illustrato nella figura sottostante aggiornata al 2013.

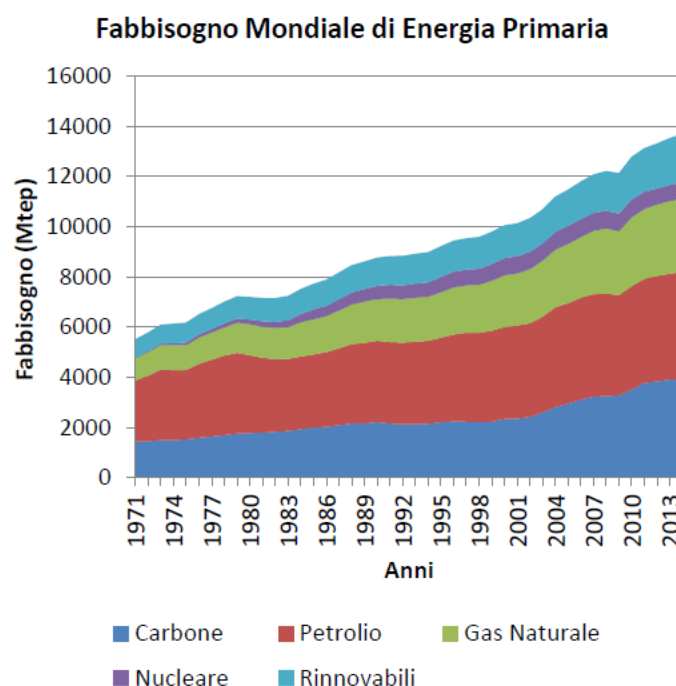


Figura 1 Fabbisogno mondiale di energia primaria aggiornato al 2013 (IEA, s.d.)

Tutto ciò porta con sé delle criticità che potrebbero condurre anche a dei conflitti per l'approvvigionamento delle risorse residue sulla terra.

Tali **criticità** sono di natura:

- **ambientale**: maggiori emissioni di CO₂ e relativi cambiamenti climatici;
- **geopolitica ed economica**: gas naturale e petrolio sono le risorse che più di tutte fungono da merce di scambio fra potenze economiche e politiche (comanda chi ne ha di più e lo gestisce a proprio piacimento senza regolamentazione alcuna);

Per quanto riguarda il secondo aspetto, gli organi superiori come le **Nazioni Unite** possono fare ben poco, se non mediare costantemente fra le parti per evitare che emergano dei conflitti tali da mettere in difficoltà non solo le nazioni coinvolte ma anche quelle che per diversi motivi sono legate ad esse (vedasi conflitto Russia-Ucraina).

Passando all'aspetto ambientale invece, proprio le Nazioni Unite fecero un primo passo con la stipula della **convenzione quadro** nel 1994 che fu firmata da 50 paesi e si poneva come obiettivo quella della **riduzione delle emissioni dei gas serra e del contenimento dell'incremento medio globale della temperatura**.

Sulla scia di questa convenzione, furono poi adottati due protocolli successivi quali il **protocollo di Kyoto del 1997** e l'**accordo di Parigi del 2015**.

Il primo aveva come target la **riduzione delle emissioni dei gas serra di almeno il 5%** rispetto ai livelli del 1990 nel periodo 2008-2012 e prevedeva un sistema di 'crediti' per cui se una nazione firmataria fosse riuscita a superare l'obiettivo preposto per quella annualità, avrebbe potuto cedere a nazioni meno efficienti il proprio surplus, in nome di una cooperazione tra paesi.

Il secondo, invece, si pose obiettivi maggiormente a breve termine cercando di **mantenere l'incremento della temperatura media globale rispetto ai livelli preindustriali al di sotto dei 2°C**. Alla ratifica avvenuta nel novembre 2016, i paesi firmatari hanno presentato i propri piani di azione, di cui si riportano quelli proposti dai membri principali:

PAESE	OBIETTIVO
UE	- 40% di emissioni GHG nel 2030 rispetto al 1990
Russia	- 25÷30% di emissioni GHG nel 2030 rispetto al 1990
Cina	• Riduzione della carbon intensity (emissioni per unità di PIL) del 60-65% rispetto al 2005 nel 2030 • Picco delle emissioni di CO₂ prima del 2030 • 20% di fonti non fossili nel mix energetico primario
India	- 33÷35% di carbon intensity (emissioni per unità di PIL) nel 2030 rispetto al 2005
Giappone	- 26% di emissioni GHG nel 2030 rispetto al 2013
USA	- 26÷28% di emissioni GHG nel 2025 rispetto al 2005

Figura 2 Obiettivi proposti dalle principali nazioni in ambito accordo di Parigi

La politica dell'Unione Europea

La tabella precedente mostra quale fosse, nel 2016, l'obiettivo che l'Europa si era prefissata di raggiungere nel 2030.

Nel corso degli anni, tale target ha avuto diverse rivisitazioni e, anzi, si è andati oltre proponendo l'ardua sfida di diventare, nel 2050, il **primo continente a impatto climatico zero** tramite l'attuazione del **Green Deal europeo**.

Procedendo per gradi, nel settembre 2020 la commissione propone di inserire nella normativa europea sul clima un nuovo obiettivo di **riduzione delle emissioni nette di almeno il 55%** entro il 2030 a livello dell'UE che viene approvato dai leader europei nel dicembre 2020.

Green Deal europeo

Con questo termine l'unione europea ha voluto indicare la strada per la realizzazione di quella che viene definita una **profonda trasformazione** che riguarda i seguenti punti cardine (europea, s.d.):

- **riduzione delle emissioni;**
- **creazione posti di lavoro;**
- affrontare il problema della **povertà energetica;**
- **ridurre la dipendenza energetica dall'esterno;**
- **migliorare la salute e il benessere;**
- rendere i **trasporti sostenibili;**

Riduzione del
55%
delle emissioni delle
automobili entro il 2030

Riduzione del
50%
delle emissioni dei furgoni
entro il 2030

Zero
emissioni prodotte dalle
automobili nuove entro il 2035

- guidare la **terza rivoluzione industriale;**

35 milioni
di edifici potrebbero essere ristrutturati entro il
2030

160 000
nuovi posti di lavoro verdi potrebbe essere
creati nel settore dell'edilizia

- realizzare un sistema energetico più pulito: 40% di **penetrazione rinnovabile** entro il 2030:

40%
-
nuovo obiettivo in materia di energia
rinnovabile per il 2030

36-39%
-
nuovi obiettivi di efficienza energetica per il
2030 per il consumo di energia finale e
primaria

- **proteggere la natura:** ripristino delle foreste, dei suoli, delle zone umide e delle torbiere per un maggiore assorbimento di CO₂ e un miglioramento delle vite di tutti:

Nuovi obiettivi per l'assorbimento naturale del carbonio:

-225 Mt

vecchio obiettivo

-268 Mt

attuale assorbimento del
carbonio

-310 Mt

nuovo obiettivo

La commissione europea ha così previsto, tramite il regolamento denominato **Next Generation EU (NGEU)**, lo stanziamento di **750 miliardi di euro** accessibili presentando un piano nazionale che preveda un investimento di almeno il **37% del budget in materia energetica** per il raggiungimento dei target prefissati.

La risposta dell'Italia

L'Italia, quale stato membro dell'unione europea, deve anch'essa contribuire al raggiungimento degli obiettivi preposti per il 2030 prima e per il 2050 poi tramite l'attuazione di un piano che favorisca gli interventi su scala nazionale.

In particolare, nell'aprile 2021 il parlamento europeo ha approvato il **PNRR (Piano Nazionale Ripresa e Resilienza)** da sottoporre all'approvazione della commissione europea. Mario Draghi, presidente del Consiglio dei ministri, parlò così a riguardo:

“il PNRR è parte di una più ampia e ambiziosa strategia per l'ammodernamento del paese... in tema di sviluppo e mobilità sostenibile, ambiente e clima, idrogeno, automotive e filiere della salute”.

Il PNRR contiene al suo interno **sei missioni** di cui la seconda è quella dedicata alla **'Rivoluzione verde e transizione ecologica'**.

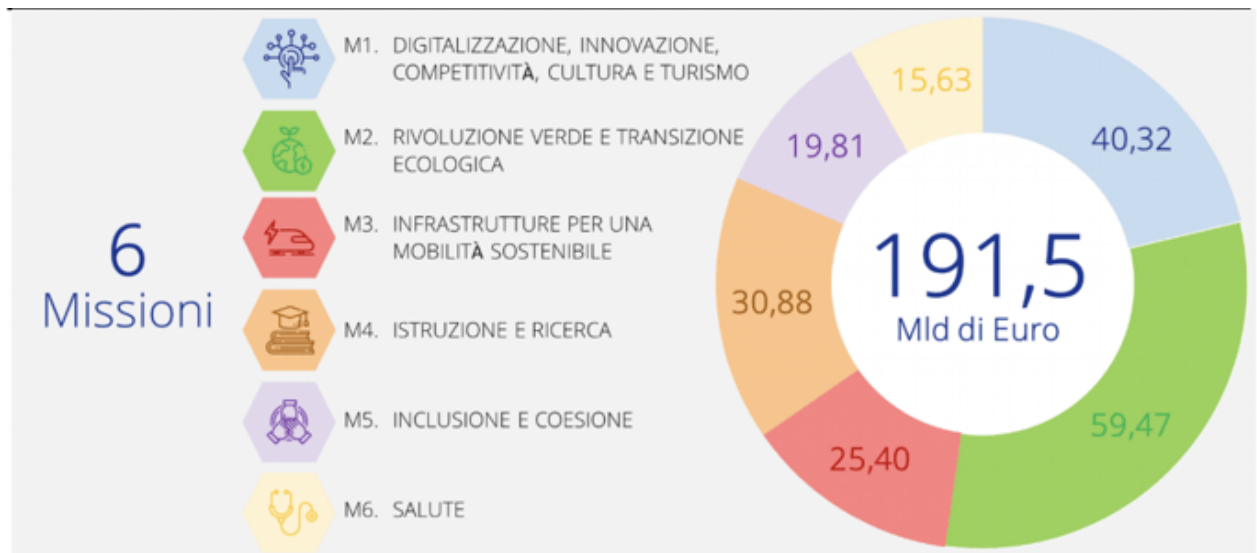


Figura 3 Missioni inserite nel PNRR

Analizzando più nel dettaglio il punto M2, la missione ha quattro componenti fondamentali:



Figura 4 Componenti della missione 2

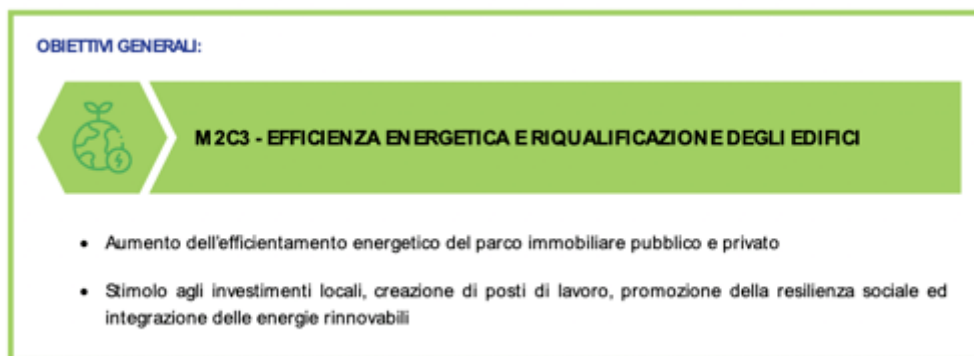


Figura 5 Dettaglio della componente 3, inerente alla trattazione

Richiamando il sesto punto cardine del green deal, quello della terza rivoluzione industriale, l'UE stanzierà circa **72.2 miliardi di euro di finanziamenti** nel corso di sette anni per la ristrutturazione degli edifici sia pubblici che privati, ponendosi l'obiettivo di:

- imporre agli stati membri di intervenire ogni anno su **almeno il 3% degli edifici pubblici**;
- fissare al 48% la **percentuale di energia rinnovabile** negli edifici entro il 2030;
- di aumentare dell'1.1% annuo fino al 2030 l'**uso di energie rinnovabili** per gli usi finali di riscaldamento e raffrescamento.

Rileggendo questi tre punti, appare palese come i vertici dei governi italiani che si sono susseguiti negli ultimi anni, abbiano preso spunto da questo estratto per attuare l'incentivo, oggetto della seguente trattazione.

Il superbonus 110%

Una risposta concreta a due criticità

Prima dell'avvento di questo incentivo fiscale, in Italia erano già usufruibili dalla popolazione altre tipologie di bonus fiscali sempre orientate alla promozione dell'efficientamento energetico, il recupero del patrimonio edilizio e la messa in sicurezza delle strutture con una percentuale detraibile inferiore, normate dagli **articoli 14 e 16 del decreto-legge 63/2013**. Fra queste si annoverano:

- **bonus casa:** detrazione fiscale del 50% nell'ambito della **ristrutturazione edilizia**: interventi di **manutenzione straordinaria** sulle singole unità abitative o sulle parti comuni di edifici residenziali, compresi quelli finalizzati al risparmio energetico e interventi di **manutenzione ordinaria** che riguardano esclusivamente le parti comuni dello stabile, compresi quelli necessari a integrare o mantenere in efficienza gli impianti tecnologici esistenti;
- **ecobonus:** detrazioni fiscali dal 50% al 90% nell'ambito di opere relative alla **riqualificazione energetica** in cui rientrano tutti gli interventi che aumentano il livello di efficienza energetica degli edifici esistenti;
- **sismabonus:** anche questo incentivo ha una base di partenza detraibile pari al 50% che può diventare 70% o 80% qualora gli interventi portino o a una riduzione di una, due o più classi di rischio.

Il superbonus è stato inserito all'interno del più ampio **'Decreto Rilancio'** con cui lo stato italiano ha previsto lo stanziamento di circa **55 miliardi di euro** a sostegno delle famiglie, imprese e settori in difficoltà colpiti pesantemente dall'avvento della pandemia da COVID-19 e prevede principalmente **l'innalzamento dell'aliquota fiscale detraibile** dei bonus sopra citati al 110% a seguito del rispetto di determinati parametri che verranno approfonditi nel prosieguo della trattazione.

Questo incentivo nasce come risposta a due criticità: una con origini più remote e un'altra più recente.

La prima riguarda il **settore dell'edilizia** e delle imprese che vi operano e il **patrimonio edilizio italiano**.

Dal **rapporto annuale 2021** redatto dall'enea (Energia Nucleare Energie Alternative) circa la certificazione energetica degli edifici (ENEA, s.d.), si evince come la maggior parte degli immobili presenti e certificati sul territorio italiano siano antecedenti al 1991 (in particolare circa il 40% del totale è collocato fra il 1945 e il 1976) e quindi anche alla legge 10/1997 **"Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso nazionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia"** che fu la prima a riportare delle linee guida in ambito progettazione, messa in opera ed esercizio di edifici e impianto e limiti ai consumi di energia. Di tutti questi edifici il 60%/70% ha ottenuto una classe energetica bassa (G-F-E), indice di scarse prestazioni ed elevati fabbisogni e quindi consumi mentre quelli più recenti, in particolare dal 2016 in poi, in concomitanza con l'introduzione di normative quali il **decreto interministeriale del 26/06/2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione dei requisiti minimi degli edifici"** e la realizzazione dal 2021 di edifici **nzeb (nearly zero energy building)** per cui tutte le nuove costruzioni devono essere realizzate in modo tale da rispettare la definizione stessa di nzeb: **edificio ad altissima prestazione energetica in cui il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in situ**.

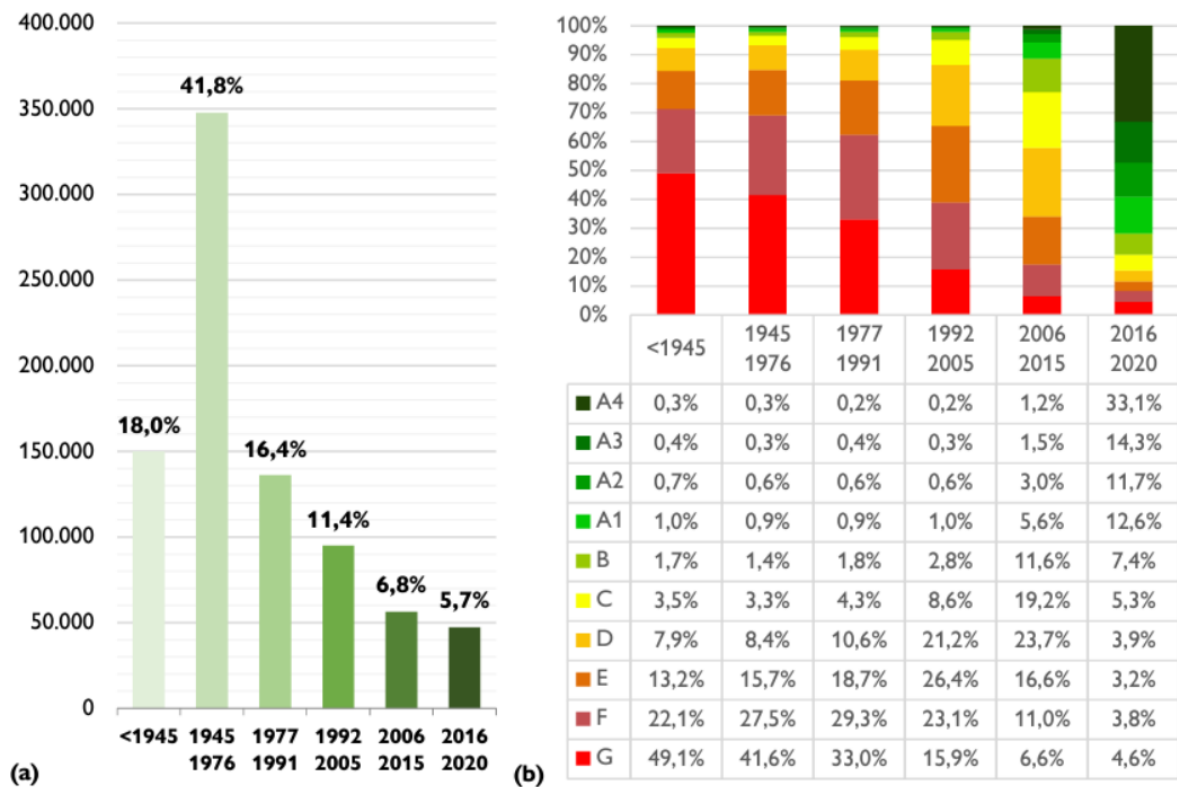


Figura 6 Distribuzione degli APE (attestati di prestazione energetica) per periodo di costruzione (a) e distribuzione percentuale degli APE per periodo di costruzione e classe energetica (b)

L'altro aspetto significativo, sempre restando in tema di edilizia, è quello della profonda crisi che dal 2007 ha messo in ginocchio il settore edile e molte imprese che vi operano.



Figura 7 Investimenti del settore edile (ANCE, s.d.)

Parlando di investimenti in costruzioni, infatti, si può notare come questi dal 2007 in poi abbiano subito un rapido decremento, passando dai circa 190 milioni del 2007 fino ai 120 del 2014 (circa il 40% in meno), per poi trovare un accenno di rinascita del settore intorno al 2016 che non ha avuto modo di perdurare, in quanto stroncato sul nascere dalla pandemia, la seconda criticità.

Proprio il diffondersi di quella che all'inizio sembrava una malattia circoscritta esclusivamente al mondo orientale e asiatico, e lontana dalla quotidianità occidentale, ha inflitto il così detto colpo di grazia a un settore già in grossa difficoltà, che stava cercando di risollevarsi, supportato dagli incentivi governativi minori e che ha visto in un solo anno una riduzione di circa il 20% delle immissioni di danaro pari alla metà di quella che si era avuta in sette anni.

L'incentivo in legislatura

Come già accennato in precedenza, questo incentivo fiscale è disciplinato dall'**articolo 119 del decreto-legge n. 34/2020 (c.d. decreto Rilancio)** e consiste in una detrazione fiscale del 110% per le spese sostenute dal 01/07/2020 al 31/12/2021 (proroghe successive) per la realizzazione di interventi aventi fine ultimo **l'efficienza energetica e/o il consolidamento statico/riduzione del rischio sismico degli edifici**. Vi rientrano anche **l'installazione di impianto fotovoltaici e delle infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici**.

Nella trattazione degli interventi il focus sarà incentrato sul lato 'eco' del bonus.

Beneficiari

Possono accedere alla detrazione fiscale:

- **condomini;**
- **persone fisiche**, al di fuori dell'esercizio di attività di impresa, arti e professioni, che possiedono o detengono l'immobile oggetto dell'intervento;
- **persone fisiche**, al di fuori dell'esercizio di attività di impresa, arti e professioni, proprietari (o comproprietari con altre persone fisiche) di edifici costituiti da 2 a 4 unità immobiliari distintamente accatastate;
- **Istituti autonomi case popolari** (Iacp) comunque denominati o altri enti che rispondono ai requisiti della legislazione europea in materia di "in house providing" su immobili, di loro proprietà ovvero gestiti per conto dei comuni, adibiti ad edilizia residenziale pubblica;
- **cooperative di abitazione** a proprietà indivisa su immobili dalle stesse posseduti e assegnati in godimento ai propri soci;
- **Onlus, associazioni di volontariato e associazioni di promozione sociale;**
- **associazioni e società sportive dilettantistiche**, limitatamente ai lavori destinati ai soli immobili o parti di immobili adibiti a spogliatoi;
- I **soggetti Ires** rientrano tra i beneficiari nella sola ipotesi di partecipazione alle spese per interventi trainanti effettuati sulle parti comuni in edifici condominiali.

In generale la detrazione spetta ai soli soggetti proprietari, comproprietari o in possesso di idoneo titolo sull'immobile oggetto di intervento¹, i quali possono essere:

- **single unità immobiliari** indipendenti;

¹ Sono esclusi gli immobili rientranti nelle categorie A/1, A/8, A/9

- **edifici unifamiliari composti da 2 a 4 unità immobiliari** distintamente accatastate (anche detti mini-condominio);
- unità immobiliari collocate **all'interno di edifici plurifamiliari**, ma solo se **funzionalmente indipendenti**² e dotato di uno o più **accessi autonomi** dall'esterno³;
- **condomini di fatto**, aventi un proprio codice fiscale e amministratore incaricato.

Scadenze

Inizialmente il termine ultimo per ultimare e saldare i lavori era stato fissato al **31/12/2021**. Con la **legge di bilancio 2022**, le scadenze hanno subito una **proroga sia temporale che percentuale**, differenziata in funzione dei soggetti che sostengono le spese. In particolare:

1. **scadenza al 31/12/2025**, con detrazione ripartita in quattro quote annuali di pari importo per:
 - **condomini, persone fisiche**, al di fuori dell'esercizio di attività di impresa, arte e professione, per gli interventi su edifici composti da due a quattro unità immobiliari distintamente accatastate, anche se posseduti da un unico proprietario o in comproprietà da più persone fisiche, **onlus, organizzazioni di volontariato e associazioni di promozione sociale** iscritte negli appositi registri, nelle seguenti misure:
 - a. 110% entro il 31/12/2023;
 - b. 70% entro il 31/12/2024;
 - c. 65% entro il 31/12/2025;
2. **scadenza al 31/12/2022** con detrazione al 110% per gli interventi effettuati da persone fisiche su unità unifamiliari a condizione che al 30/09/2022 siano stati effettuati almeno il 30% dei lavori complessivamente previsti da progetto;
3. **scadenza al 31/12/2023** con detrazione al 110% per le lacp a condizione che al 30/06/2023 siano stati effettuati almeno il 60% dei lavori complessivamente previsti da progetto.

Condizioni necessarie per accedere all'incentivo

Esistono diversi parametri da rispettare per far sì che il progetto possa essere idoneo per accedere all'incentivo e ottenere la detrazione al 110%. Fra questi si riportano:

1. in caso di edifici con più unità immobiliari aventi differenti destinazioni d'uso, definire la **percentuale di superficie residenziale** che deve essere **superiore al 50%** per poter lavorare sulle parti comuni;
2. l'unità deve essere **riscaldata** e quindi essere **dotata di un impianto termico** ben definito nelle sue quattro componenti principali: **generazione, distribuzione, emissione e regolazione**;
3. è necessario adoperare materiali che rispondano ai **criteri minimi ambientali C.A.M.**;
4. effettuare almeno un intervento trainante (definizione a seguire);
5. il rispetto dei requisiti tecnici minimi previsti dei decreti di cui al **comma 3-ter dell'articolo 14 del decreto-legge n. 63/2013** in cui si definiscono anche le modalità di controllo a campione con cui ENEA assicurerà l'idoneità dei progetti oggetto di approfondimento;
6. garantire il salto di **almeno due classi energetiche** o, se non possibile, il conseguimento della classe più alta (qualora un immobile si trovi già in classe A3, questo può solo ottenere la

² Unità dotata in maniera esclusiva di almeno tre dei quattro impianti quali: fornitura idrica, di gas, di energia elettrica, climatizzazione invernale.

³ Ingresso indipendente, non comune ad altre unità immobiliari, delimitato da cancello o portone di ingresso che permettono l'ingresso da strada, cortile o proprietà anche non esclusiva.

certificazione A4), certificato attraverso la redazione di un **attestato di prestazione energetica** così detto convenzionale, avente un format dedicato per il superbonus, sia nelle condizioni ante opera (stato di fatto) che post opera (stato di progetto).

Interventi agevolabili

Al punto quattro del sottoparagrafo precedente, si è accennato all'esecuzione di un intervento trainante. Infatti, le opere ammissibili nell'incentivo si suddividono in **trainanti** e **trainate**.

Le prime sono così chiamate in quanto la loro realizzazione traina con sé la possibilità di sfruttare questa grande opportunità e sono:

- intervento di **isolamento termico delle strutture opache verticali e/o orizzontali** delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno, vani non riscaldati o contro terra nella misura minima del **25% della superficie disperdente lorda**⁴;
- interventi per la **sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale** esistenti con impianti (centralizzati nel caso di condomini di fatto) per il riscaldamento, raffrescamento o la fornitura di acqua calda sanitaria:
 - a. **a condensazione**, con efficienza almeno pari alla classe A;
 - b. **a pompa di calore**, ivi compresi sistemi ibridi⁵ o geotermici;
 - c. **impianti di microgenerazione**⁶;
 - d. allaccio a **sistemi di teleriscaldamento** efficiente (per condomini di fatto) o **caldaie a biomassa** aventi prestazioni emissive con i valori previsti almeno per la classe 5 stelle per i comuni montati non interessati dalle procedure europee di infrazione n. 2014/2147 del 10 luglio 2014 o n. 2015/2043 del 28 maggio 2015 per l'inottemperanza dell'Italia agli obblighi previsti dalla direttiva 2008/50/CE;
- **interventi antisismici**;

Fra gli interventi trainati si annoverano:

- qualsiasi intervento di **efficientamento energetico** come al **comma 2 dell'articolo 119**:
 - a. **sostituzione di finestre** comprensive di infissi delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno o verso vani non riscaldati;
 - b. installazione di **sistemi di schermatura e/o chiusure tecniche oscuranti mobili**, montate solidali all'involucro edilizio. L'installazione dovrà avvenire esclusivamente sulle esposizioni **da Est a Ovest passano per il Sud** e assicurare un **fattore di trasmissione solare totale g_{tot}** ⁷(serramento più schermatura) minore o uguale a 0.35;

⁴ È ammissibile anche l'isolamento termico del tetto qualora non si esegua contemporaneamente la coibentazione del solaio di sottotetto

⁵ Sistema di generazione costituito dalla serie di una pompa di calore aria-acqua e di una caldaia a condensazione (di backup)

⁶ Impianto costituito da un cogeneratore di potenza adeguata, solitamente rientrano nella microcogenerazione i cogeneratori di potenza inferiore ai 50 kW

⁷ Rapporto fra energia trasmessa attraverso la combinazione di vetratura e schermatura solare e l'energia incidente sull'infisso

- c. installazione di **collettori solari** per la produzione di acqua calda sanitaria i quali dovranno possedere certificazione **Solar Keymark**⁸, essere garantiti così come i bollitori per almeno anni cinque mentre i componenti elettrici e gli accessori per almeno due anni;
- d. installazione di **impianti fotovoltaici** per la produzione di energia elettrica;
- e. contestuale installazione di **sistemi di accumulo** di energia per l'immagazzinamento dell'energia elettrica prodotta in situ;
- f. installazione di sistemi di **building automation**;
- g. installazione di **colonnine per la ricarica dei veicoli elettrici** (wallbox);
- h. sostituzione dei sistemi esistenti per la produzione di acqua calda sanitaria con **scaldacqua a pompa di calore**;
- i. **eliminazione delle barriere architettoniche** tramite, ad esempio, l'installazione di ascensori e montacarichi per agevolare la mobilità di persone portatrici di handicap.



Figura 8 Immagine riassuntiva del meccanismo di interventi trainati e trainanti

⁸ Certificazione per collettori e sistemi solari termici sviluppata dall'European Solar Thermal Industry federation ESTIF e dall'European Committee for Standardisation CEN con l'obiettivo di uniformare i dati tecnici dei prodotti solari

Oltre alle tipologie di intervento sopra elencati, gli stessi devono ottemperare a determinati parametri per essere ammissibili.

Per quanto riguarda gli interventi riguardanti l'involucro edilizio, le nuove strutture (stratigrafie e infissi) dovranno avere le seguenti **trasmissioni minime** (più stringenti dei limiti da rispettare per altri interventi edilizi ma prive dell'apporto dei ponti termici):

Requisiti degli interventi di isolamento termico

Tabella 1 - Valori di trasmissione massimi consentiti per l'accesso alle detrazioni

Tipologia di intervento	Requisiti tecnici di soglia per la tipologia di intervento	
i. Strutture opache orizzontali: isolamento coperture (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)	Zona climatica A	$\leq 0,27 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica B	$\leq 0,27 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica C	$\leq 0,27 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica D	$\leq 0,22 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica E	$\leq 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica F	$\leq 0,19 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
ii. Strutture opache orizzontali: isolamento pavimenti (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)	Zona climatica A	$\leq 0,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica B	$\leq 0,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica C	$\leq 0,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica D	$\leq 0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica E	$\leq 0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica F	$\leq 0,23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
iii. Strutture opache verticali: isolamento pareti perimetrali (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)	Zona climatica A	$\leq 0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica B	$\leq 0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica C	$\leq 0,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica D	$\leq 0,26 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica E	$\leq 0,23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica F	$\leq 0,22 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
iv. Sostituzione di finestre comprensive di infissi (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 10077-1)	Zona climatica A	$\leq 2,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica B	$\leq 2,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica C	$\leq 1,75 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica D	$\leq 1,67 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica E	$\leq 1,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	Zona climatica F	$\leq 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Ai sensi delle norme UNI EN ISO 6946, il calcolo della trasmissione delle strutture opache non include il contributo dei ponti termici.

Figura 9 Requisiti degli interventi di isolamento termico

A tal proposito si ricorda la definizione di trasmittanza termica U per le pareti e U_w per i componenti trasparenti secondo normativa:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_1^N R_i + R_{se}} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

- R_{si} Resistenza Termica Superficiale Interna
- R_{se} Resistenza Termica Superficiale Esterna
- R_i Resistenza del componente omogeneo calcolata come
 $R_i = \frac{s_i}{\lambda_i} \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$ con s_i [m] e λ_i $\left[\frac{W}{m K} \right]$ rispettivamente spessore e conducibilità termica del componente i-esimo UNI EN ISO 6946

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \Psi_g}{A_g + A_f}$$

- **A_g** è l'area del vetro;
- **U_g** è il valore di trasmittanza termica riferito all'area centrale della vetrata, e non include l'effetto del distanziatore del vetro lungo il bordo della vetrata stessa;
- **A_f** è l'area del telaio;
- **U_f** è il valore di trasmittanza termica del telaio applicabile in assenza della vetrata;
- **l_g** è la lunghezza del perimetro del vetro;
- **Ψ_g** è il valore di trasmittanza termica lineare concernente la conduzione di calore supplementare che avviene a causa dell'interazione tra telaio, vetri e distanziatore dei vetri in funzione delle proprietà termiche di ognuno di questi componenti e si rileva, secondo quanto precisato nell'Annex E della norma UNI EN ISO 10077-1, preferibilmente con il calcolo numerico eseguito in accordo con la norma ISO 10077-2; quando non sono disponibili i risultati di calcolo dettagliati ci si può riferire ai prospetti E.1 ed E.2 i quali indicano i valori Ψ_g di default per le tipiche combinazioni di telai, vetri e distanziatori.

Le pompa di calore ammissibili, a seconda della tipologia adottata, dovranno necessariamente avere:

Tabella 1 - Coefficienti di prestazione minimi per pompe di calore elettriche

Tipo di pompa di calore	Ambiente esterno [°C]	Ambiente interno [°C]	COP	EER
Ambiente esterno/interno				
aria/aria	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	3,9 ⁶	3,4
aria/acqua potenza termica utile riscaldamento ≤ 35 kW	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	4,1	3,8
aria/acqua potenza termica utile riscaldamento >35 kW	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	3,8	3,5
salamoia/aria	Temperatura entrata: 0	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	4,3	4,4
salamoia/ acqua	Temperatura entrata: 0	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	4,3	4,4
acqua/aria	Temperatura entrata: 10 Temperatura uscita: 7	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido entrata: 15	4,7	4,4
acqua/acqua	Temperatura entrata: 10	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	5,1	5,1

Tabella 2 - Coefficienti di prestazione minimi per pompe di calore a gas

Tipo di pompa di calore	Ambiente esterno [°C]	Ambiente interno [°C]	GUEh
Ambiente esterno/interno			
aria/aria	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata : 6	Bulbo secco all'entrata: 20	1,46 ⁷
aria/acqua	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata : 6	Temperatura entrata: 30 ⁸	1,38
salamoia/aria	Temperatura entrata: 0	Bulbo secco all'entrata: 20	1,59
salamoia/ acqua	Temperatura entrata: 0	Temperatura entrata: 30 ⁷	1,47
acqua/aria	Temperatura entrata: 10	Bulbo secco all'entrata: 20	1,60
acqua/acqua	Temperatura entrata: 10	Temperatura entrata: 30 ⁷	1,56

Figura 10 Requisiti minimi pompe di calore

Anche in questo caso si rammenta che:

- **COP**: rapporto fra il calore somministrato alla sorgente a temperatura più alta e il lavoro speso per fare ciò (indice prestazione in riscaldamento)
- **EER**: rapporto fra il calore sottratto alla sorgente a temperatura più bassa e il lavoro speso
- **GUEh**: rapporto tra l'energia fornita (calore ceduto al mezzo da riscaldare) ed energia consumata dal bruciatore

Nei casi sopra descritti, qualora si debba ricorrere a impianti a biomassa, le prestazioni degli stessi dovranno rispettare quanto segue:

Requisiti degli impianti e degli apparecchi a biomassa

1. Al fine del recepimento degli ambiti di intervento individuati nel "Piano di azione per il miglioramento della qualità dell'aria" del 4 giugno 2019, l'accesso alle detrazioni per i generatori di calore alimentati con biomassa è subordinato:
 - a) nel caso di contestuale sostituzione di un altro impianto a biomasse, al conseguimento della certificazione ambientale con classe di qualità 4 stelle o superiore ai sensi del decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare del 7 novembre 2017, n.186;
 - b) in tutti gli altri casi, al conseguimento della certificazione ambientale con classe di qualità 5 stelle ai sensi del medesimo decreto.
2. Per gli impianti e gli apparecchi a biomassa, l'accesso alle detrazioni è consentito a condizione che soddisfino i seguenti requisiti:
 - a) Per le caldaie a biomassa di potenza termica nominale inferiore o uguale a 500 kWt:
 - i. certificazione di un organismo accreditato che attesti la conformità alla norma UNI EN 303-5, classe 5;
 - ii. obbligo di installazione di un sistema di accumulo termico dimensionato secondo quanto segue:
 - per le caldaie con alimentazione manuale del combustibile, in accordo con quanto previsto dalla norma EN 303-5;
 - per le caldaie con alimentazione automatica del combustibile, prevedendo un volume di accumulo non inferiore a 20 dm³/kWt;
 - per le caldaie automatiche a pellet prevedendo comunque un volume di accumulo, tale da garantire un'adeguata funzione di compensazione di carico, con l'obiettivo di minimizzare i cicli di accensione e spegnimento, secondo quanto indicato dal costruttore e/o dal progettista.
 - iii. il combustibile utilizzato deve essere certificato da un organismo di certificazione accreditato che ne certifichi la conformità alla norma UNI EN ISO 17225 ivi incluso il rispetto delle condizioni previste dall'Allegato X, Parte II, sezione 4, paragrafo 1, lettera d) alla parte V del d.lgs. 152/2006 e successive modificazioni. Nel caso delle caldaie potrà essere utilizzato solo pellet appartenente alla classe di qualità per cui il generatore è stato certificato, oppure pellet appartenente a classi di miglior qualità rispetto a questa. In tutti i casi la documentazione fiscale dovrà riportare l'evidenza della classe di qualità e il codice di identificazione rilasciato dall'Organismo di certificazione accreditato al produttore e/o distributore del pellet;
 - iv. possono altresì essere utilizzate altre biomasse combustibili purché previste tra quelle indicate dall'Allegato X, Parte II, sezione 4, paragrafo 1, alla parte V del d.lgs. 152/2006 e successive modificazioni, solo nel caso in cui la condizione di cui al comma 1 risulti certificata anche per tali combustibili.
 - b) Per le stufe ed i termocamini a pellet:
 - i. certificazione di un organismo accreditato che attesti la conformità alla norma UNI EN 14785;
 - ii. il pellet utilizzato deve essere certificato da un organismo di certificazione che ne certifichi la conformità alla norma UNI EN ISO 17225-2 ivi incluso il rispetto delle condizioni previste dall'Allegato X, Parte II, sezione 4, paragrafo 1, lettera d) alla parte V del d.lgs. 152/2006 e successive modificazioni.
 - c) Per i termocamini a legna:
 - i. certificazione di un organismo accreditato che attesti la conformità alla norma UNI EN 13229;
 - ii. la legna utilizzata è certificata secondo la norma UNI EN ISO 17225-5. Possono altresì essere utilizzate altre biomasse combustibili purché previste tra quelle indicate dall'Allegato X, Parte II, sezione 4, paragrafo 1, alla parte V del d.lgs. 152/2006 e successive modificazioni, solo nel caso in cui la condizione di cui al comma 1 risulti certificata anche per tali combustibili.
 - d) Per le stufe a legna:



- i. certificazione di un organismo accreditato che attesti la conformità alla norma UNI EN 13240;
- ii. la legna utilizzata e certificata secondo la norma UNI EN ISO 17225-5. Possono altresì essere utilizzate altre biomasse combustibili purché previste tra quelli indicate dall'Allegato X, Parte II, sezione 4, paragrafo 1, alla parte V del d.lgs. 152/2006 e successive modificazioni, solo nel caso in cui la condizione di cui al punto iii risulti certificata anche per tali combustibili.

Figura 11 Requisiti minimi caldaia a biomassa

L'ultimo intervento ad avere ulteriori restrizioni è l'installazione dei collettori solari, queste sono riportati di seguito:

Collettori solari

Per gli interventi di installazione di pannelli solari, l'accesso alle detrazioni è consentito a condizione che soddisfino i requisiti di cui all'Allegato A, capitolo 3.

L'energia termica prodotta in un anno per unità di superficie lorda, espressa in kWh/m²anno è calcolata come segue:

- a) per impianti solari realizzati con collettori piani o con collettori sottovuoto o collettori a tubi evacuati

$$Q_u = \frac{Q_{col}}{A_G}$$

- b) per impianti solari termici del tipo *factory made* per i quali è applicabile la sola norma EN 12976

$$Q_u = \frac{Q_L}{3,6 \cdot A_G}$$

- c) per impianti solari termici realizzati con collettori solari a concentrazione

$$Q_u = \frac{Q_{sol}}{A_G}$$

dove:

- i. A_G è l'area lorda del singolo modulo di collettore/sistema solare così come definita nelle norme UNI EN ISO 9806 e UNI EN 12976 e riportata nella certificazione *Solar Keymark* o, equivalentemente, nell'attestazione rilasciata da ENEA per i collettori a concentrazione.
- ii. Q_{col} è l'energia termica prodotta in un anno da un singolo modulo di collettore solare, espressa in kWh, il cui valore, relativo alla località di riferimento di Würzburg, è riportato nella certificazione *Solar Keymark*, scegliendo, a seconda del tipo di applicazione, la temperatura media di funzionamento del collettore (T_m) così come definita nella Tabella 1.
- iii. Q_L è l'energia termica prodotta dal sistema solare *factory made* su base annuale, espressa in MJ, così come definita ai sensi della norma UNI EN 12976, il cui valore, relativo alla località di riferimento di Würzburg, è riportato nell'attestazione di conformità (*test report*) rilasciata da laboratorio accreditato. Poiché il suddetto *test report* riporta diversi valori di tale grandezza per diversi valori del carico termico giornaliero, ai fini del riconoscimento dell'incentivo va considerato il valore, tra quelli disponibili, corrispondente ad un carico termico giornaliero, espresso in litri/giorno, pari al volume del serbatoio solare o al volume ad esso più vicino.
- iv. Q_{sol} è l'energia termica prodotta in un anno da un singolo modulo di collettore solare a concentrazione, espressa in kWh, il cui valore, relativo alla località di riferimento di Atene, è riportato nella certificazione *Solar Keymark* (ove applicabile) o nell'attestazione di conformità rilasciata dall'ENEA, scegliendo, a seconda del tipo di applicazione, la temperatura media di funzionamento del collettore (T_m) così come definita nella Tabella 1.

Tabella 1 – Temperature medie di funzionamento in relazione alla destinazione del calore prodotto

Applicazione a cui è destinato il calore prodotto	T _m - Temperatura media di funzionamento
Produzione di acqua calda sanitaria	50 °C
Produzione combinata di a.c.s. e riscaldamento ambiente	
Produzione di calore di processo a bassa temperatura	75 °C
<i>Solar cooling</i> a bassa temperatura	
Produzione di calore di processo a media temperatura	150 °C
<i>Solar cooling</i> a media temperatura	

Figura 12 Requisiti minimi collettori solari

Massimali di spesa

Ovviamente è superfluo affermare come, per la realizzazione dei sopra citati interventi, qualsiasi essi siano, sia necessario investire determinate somme di denaro e farsi carico dunque di alcune spese.

Infatti, non è possibile portare in detrazione il totale complessivo delle opere di progetto ma, per ogni intervento, lo stato garantisce la copertura di un **determinato massimale** di spesa comprensivo di:

- **ammontare totale delle opere** relative alla realizzazione dell'intervento **comprensive di iva**;
- **spese tecniche professionali**, anch'esse comprensive di eventuali regimi fiscali particolari e iva per quanto riguarda la fattibilità dell'intervento, la progettazione, l'eventuale coordinamento della sicurezza in cantiere e relativa direzione lavori, la compilazione dell'asseverazione sul portale ENEA e la redazione dell'attestato di prestazione energetica finale;
- **spese relative al visto di conformità** che un commercialista o ente certificato (CAF) dovranno provvedere a redigere per attestare la sussistenza dei presupposti che danno diritto alla fruizione della detrazione.

Ciò detto, qualora le voci dei singoli interventi eccedano tali massimali, la differenza sarà addebitata in **accollo** alla committenza, la quale dovrà provvedere a saldare l'eccesso con opportuno **bonifico parlante**⁹, su fatturazione della ditta coinvolta.

Al tempo stesso tali massimali non sono unici, ma variano in base all'immobile oggetto di intervento.

Intervento	Massimale di spesa [€]		
	Una unità immobiliare	Da 2 a 8 unità	Da 8 unità in su
Interventi trainanti			
		Massimale per unità	
Isolamento termico	50000	40000	30000
Sostituzione impianto termico	30000	20000	15000
Interventi trainati			
Pannelli fotovoltaici	2400 per ogni kWp installato fino a 48000		
Sistemi di accumulo	1000 per ogni kWh installato fino a 48000		

⁹ A differenza del bonifico ordinario, nel bonifico parlante andranno indicati: nome, cognome e indirizzo della persona a cui è intestato; codice IBAN di chi deve ricevere l'importo indicato; causale nella quale riportare la motivazione per cui avviene il saldo dell'importo ed eventuale norma legislativa di agevolazione; codici fiscali dei beneficiari della detrazione; codice fiscale o partita IVA della ditta che ha eseguito i lavori

Colonnine ricarica	2000	1500	1200
Sostituzione infissi	54545.45		
Installazione schermature solari	54545.45		
Installazione collettori solari	54545.45		
Scaldacqua a pompa di calore	30000		

Tabella 1 Tabella riassuntiva massimali di spesa ammissibili

Inoltre, al fine di rendere il più oggettivo possibile il computo metrico di progetto, è fatto obbligo far riferimento (salvo casi eccezionali) a due tipologie di prezziario:

- **prezziari editi della casa editrice DEI** – Tipografia del Genio Civili;
- **prezziari regionali** in base all'ubicazione del cantiere;
- **prezziari delle province autonome** a seconda dell'ubicazione del cantiere.

Qualora tali riferimenti non riportassero una specifica voce o un particolare sistema, il tecnico abilitato potrà provvedere a sottoscrivere un **nuovo prezzo**, supportato da opportuna **'analisi prezzi'** in cui andrà a comporre, partendo da voci note, il costo finale comprensivo di fornitura e posa in opera.

Oltre alla verifica del massimale di spesa, lo stato, a partire dal 16 aprile 2022 ha imposto un'ulteriore verifica sui costi inseriti nei computi metrici, al fine di contenere lo smisurato aumento dei prezzi di mercato dovuto sia al costante aumento della richiesta e sia alle difficoltà nel reperire i materiali utili alla realizzazione dei prodotti finali, oltre che per tutte le criticità socioeconomiche che il conflitto russo-ucraino trascina con sé.

Questa verifica impone che i prezzi della sola fornitura dei materiali, siano inferiori a quanto stabilito nel cosiddetto **'decreto prezzi'** del MiTE pubblicato in **gazzetta ufficiale n. 63 del 16/03/2022**. Si specifica come non siano da includersi iva, oneri professionali e posa in opera.

Di seguito la tabella presente in gazzetta:

Costi massimi specifici

Tipologia di intervento	Spesa specifica massima ammissibile
Riqualificazione energetica	
Interventi di cui all'articolo 2, comma 1, lettera a), del DM 6 agosto 2020 (c.d. "Requisiti tecnici") - zone climatiche A, B, C	960 €/m ²
Interventi di cui all'articolo 2, comma 1, lettera a), del DM 6 agosto 2020 (c.d. "Requisiti tecnici") - zone climatiche D, E, F	1.200 €/m ²
Strutture opache orizzontali: isolamento coperture	
Esterno	276 €/m ²
Interno	120 €/m ²
Copertura ventilata	300 €/m ²
Strutture opache orizzontali: isolamento pavimenti	
Esterno	144 €/m ²
Interno/terreno	180 €/m ²
Strutture opache verticali: isolamento pareti perimetrali	
Zone climatiche A, B e C	
- Esterno/diffusa	180 €/m ²
- Interno	96 €/m ²
- Parete ventilata	240 €/m ²
Zone climatiche D, E ed F	
- Esterno/diffusa	195 €/m ²
- Interno	104 €/m ²
- Parete ventilata	260 €/m ²
Sostituzione di chiusure trasparenti, comprensive di infissi	
Zone climatiche A, B e C	
- Serramento	660 €/m ²
- Serramento + chiusura oscurante (persiana, tapparelle, scuro)	780 €/m ²
Zone climatiche D, E ed F	
- Serramento	780 €/m ²
- Serramento + chiusura oscurante (persiana, tapparelle, scuro)	900 €/m ²
Installazione di sistemi di schermatura solari e/o ombreggiamenti mobili comprensivi di eventuali meccanismi di automatici di regolazione	276 €/m ²



Impianti a collettori solari		
Scoperti		900 €/m ²
Piani vetrati		1.200 €/m ²
Sottovuoto e a concentrazione		1.500 €/m ²
Impianti di riscaldamento con caldaie ad acqua a condensazione e/o generatori di aria calda a condensazione (*)		
P _{nom} ≤ 35kWt		240 €/kWt
P _{nom} > 35kWt		216 €/kWt
Impianti con micro-cogeneratori		
Motore endotermico / altro		3.720 €/kWe
Celle a combustibile		30.000 €/kWe
Impianti con pompe di calore (*)		
Tipologia di pompa di calore	Esterno/Interno	
Compressione di vapore elettriche o azionate da motore primo e pompe di calore ad assorbimento	Aria/Aria	720 €/kWt (**)
	Altro	1.560 €/kWt
Pompe di calore geotermiche		2.280 €/kWt
Impianti con sistemi ibridi (*)		1.860 €/kWt ¹
Impianti con generatori di calore alimentati a biomasse combustibili (*)		
P _{nom} ≤ 35kWt		420 €/kWt
P _{nom} > 35kWt		540 €/kWt
Impianti di produzione di acqua calda sanitaria con scaldacqua a pompa di calore		
Fino a 150 litri di accumulo		1.200 €
Oltre 150 litri di accumulo		1.500 €
Installazione di tecnologie di building automation		60 €/m ²

(*) Nel solo caso in cui l'intervento comporti il rifacimento del sistema di emissione esistente, come opportunamente comprovato da opportuna documentazione, al massimale si aggiungono 180 €/m² per sistemi radianti a pavimento, o 60 €/m² negli altri casi, ove la superficie si riferisce alla superficie riscaldata.

(**) Nel caso di pompe di calore a gas la spesa specifica massima ammissibile è pari a 1.200 €/kWt.

I costi esposti in tabella si considerano al netto di IVA, prestazioni professionali, opere relative alla installazione e manodopera per la messa in opera dei beni.

¹ Ci si riferisce alla potenza utile in riscaldamento della pompa di calore.

22A01629

— 16 —



Figura 13 Massimali specifici decreto prezzi

Al fine di rendere più semplice l'interpretazione di tali costi specifici, l'ENEA, tramite la risposta a una [faq](#)¹⁰ ha fatto alcuni **esempi pratici** per provare a fugare ogni dubbio.

Si riporta di seguito l'estratto della **faq n. 2 predisposte dal MiTE nell'aprile 2022 in merito al decreto 14 febbraio 2022 – 'definizione dei costi massimi specifici agevolabili, per alcune tipologie di beni, nell'ambito delle detrazioni fiscali per gli edifici'** (ENEA, s.d.):

[...]. A titolo meramente esemplificativo e non esaustivo, si riportano di seguito alcune casistiche: nel caso di isolamento di pareti disperdenti, la fornitura dell'isolante termico, del sistema di ancoraggio, tutti i materiali che concorrono alla realizzazione dell'intonaco esterno di copertura dell'isolante, etc. Inoltre, per le superfici orizzontali o inclinate, la pavimentazione (non di pregio), le tegole, il controsoffitto della sola porzione isolata, etc.; nel caso di infissi, la fornitura di infisso, telaio, controtelaio, celetto, cassonetto, tapparella, rullo avvolgibile, avvolgitore, persiane e, ove previsto, componentistica dell'impianto elettrico, etc.; nel caso di schermature solari e/o ombreggiamenti mobili la fornitura della schermatura solare e/o ombreggiante, il sistema di montaggio e, ove previsto, la componentistica dell'impianto elettrico, etc.; nel caso di impianti solari termici, la fornitura del pannello solare, sistema di montaggio, serbatoio di accumulo, componentistica dell'impianto idraulico e, ove previsto, dell'impianto elettrico, i sistemi di pompaggio, etc.; nel caso di caldaie a condensazione, la fornitura della caldaia, canna fumaria e, ove previsto, sistema di termoregolazione evoluti, sistema di pompaggio, sistema di trattamento dell'acqua, componentistica dell'impianto idraulico ed elettrico, compresi serbatoi di accumulo, etc.; nel caso di impianti con micro-cogeneratori, la fornitura del cogeneratore, canna fumaria, componentistica dell'impianto idraulico (compreso i serbatoi di accumulo), elettrico e di adduzione del combustibile, etc.; nel caso di impianti a pompe di calore, la fornitura della pompa di calore, la componentistica comprensiva del circuito del gas frigorifero, dell'impianto idraulico o aeraulico (compreso i serbatoi di accumulo), elettrico e, ove previsto, di adduzione del gas, etc.; Pag. 2 a 5 nel caso di impianti ibridi, quanto indicato per le caldaie a condensazione e per le pompe di calore, etc.; nel caso di caldaie a biomasse, la fornitura della caldaia, canna fumaria, sistema di abbattimento delle emissioni in atmosfera, sistema di stoccaggio della biomassa, sistema di caricamento della biomassa e, ove previsto, sistema di termoregolazione evoluti, sistema di pompaggio, sistema di trattamento dell'acqua, componentistica dell'impianto idraulico ed elettrico, compresi serbatoi di accumulo, etc.; nel caso di sistemi di building automation, la fornitura del sistema e la componentistica dell'impianto idraulico ed elettrico, etc. I costi di cui alla Tabella A del DM costi massimi non comprendono l'IVA, i costi delle prestazioni professionali, i costi connessi alle opere relative all'installazione e tutti i costi della manodopera. Rientrano tra le "opere relative alla installazione" unicamente quelle relative alle opere provvisorie (compresi i ponteggi) ed alle opere connesse ai costi della sicurezza. []

Meccanismo economico

Dopo aver introdotto gli interventi e i massimali, resta un ultimo punto da affrontare. Come fa lo stato italiano a 'restituire' le somme investite?

Le vie percorribili per rispondere a questa domanda sono tre:

1. **cessione del credito** maturato;
2. **sconto in fattura**;

¹⁰ FAQ (in inglese Frequently Asked Questions, "domande frequenti") sono le domande che vengono più frequentemente poste dagli utilizzatori di un certo servizio, soprattutto sui siti web e nelle comunità virtuali, le quali vengono raccolte in una lista con le relative risposte dagli amministratori del servizio, in modo tale da reindirizzare i nuovi utenti alla lista ed evitare di rispondere più volte alle stesse domande.

3. detrazione in dichiarazione dei redditi.

Con l'elevazione della detrazione fiscale al 110%, vuol dire che lo stato, oltre a pagare la totalità degli interventi ammissibili, riconosce a chi ha investito in questa possibilità un ulteriore 10%.

Analizziamo nel dettaglio le tre opportunità sopra elencate.

Chi sceglie la **detrazione**, anticiperà in toto le spese (detraibili e non) per poi ottenere il 'rimborso' andare a trasferire i crediti nella propria dichiarazione dei redditi e quindi a sfruttare le somme per il pagamento delle tasse.

Con lo **sconto in fattura** invece, il committente, a meno di spese non detraibili, potrà ottenere i lavori completamente gratuitamente poiché sarà la ditta a emettere fatture a saldo zero in cui andrà a imporre uno sconto pari al 100% di quello fatturato e provvederà a recuperare il credito in un secondo momento o portandolo in detrazione tenendolo sul proprio cassetto fiscale oppure ricorrendo alla cessione dello stesso.

La modalità maggiormente sfruttata da privati e ditte ma anche quella oggetto di maggiori rivisitazioni da parte del governo, è l'ultima riportata, ovvero la **cessione del credito**. Tramite questa manovra, infatti, è possibile trasferire il credito proveniente dagli interventi di superbonus dal proprio cassetto fiscale a quello di un altro soggetto, trasformando una cifra 'virtuale' in liquidità pronta da essere reinvestita in altri progetti o per saldare eventuali pendenze con i fornitori.

Inizialmente era molto allettante questa soluzione in quanto era permessa una **cessione infinita**, una catena senza fine. Con il **decreto sostegni ter**, invece, si è posto un **veto alle cessioni multiple**, bloccando la catena al primo versamento, attuando una **stretta antifrode**.

Infatti, inizialmente, per poter convertire in denaro utile, i crediti presenti sul proprio cassetto fiscale, bastava presentare ai diversi enti (poste italiane, banche, istituto cessione del credito) l'asseverazione compilata sul portale dedicato dell'ENEA, senza documentazione a supporto alcuna e la cessione era pressoché immediata. Con questa facilità, purtroppo, sono emersi nel tempo diversi **cantieri fantasmi** in cui erano stati asseverati lavori mai iniziati. Dopo gli opportuni accertamenti, però, durante un'audizione al senato sul disegno di legge conversione del decreto-legge n. 4/2022 (c.d. Decreto Sostegni-Ter), il **direttore dell'Agenzia delle Entrate, Ernesto Maria Ruffini**, ha affermato come, dai dati in loro possesso, le frodi derivanti da interventi di superbonus 110% siano **solo il 3%** della totalità relativa a tutte le detrazioni fiscali. Di seguito la classifica delle frodi fiscali:

La classifica delle frodi fiscali	
Misura fiscale	Importo
Bonus facciate	46%
Ecobonus	34%
Bonus affitti	9%
Sismabonus	8%
Superbonus	3%

Tabella 2 Classifica delle frodi fiscali (AdE, s.d.)

A fare da ponte fra la cessione multipla del decreto rilancio e la cessione unica del decreto sostegni ter, si è posto il **decreto aiuti** in cui si è concessa nuovamente la cessione multipla (fino a quattro passaggi) ma con determinati requisiti e meccanismi utili alla tracciabilità del credito madre (associazione di un codice identificativo univoco).

I limiti imposti riguardano l'opportunità di poter cedere il proprio credito la prima volta in maniera libera, indipendentemente dall'ente che lo acquisisce mentre la seconda e la quarta cessione dovranno essere effettuate verso soggetti vigilati dalla Banca d'Italia. La quarta cessione, invece, libera, riguarda solo le banche che hanno esaurito il numero delle possibili cessioni, e solamente verso soggetti che hanno un contratto di conto corrente in essere e/o qualificati.



Figura 14 Riassunto del meccanismo fiscale

L'iter per una corretta realizzazione dell'incentivo.



I profili generali dell'agevolazione

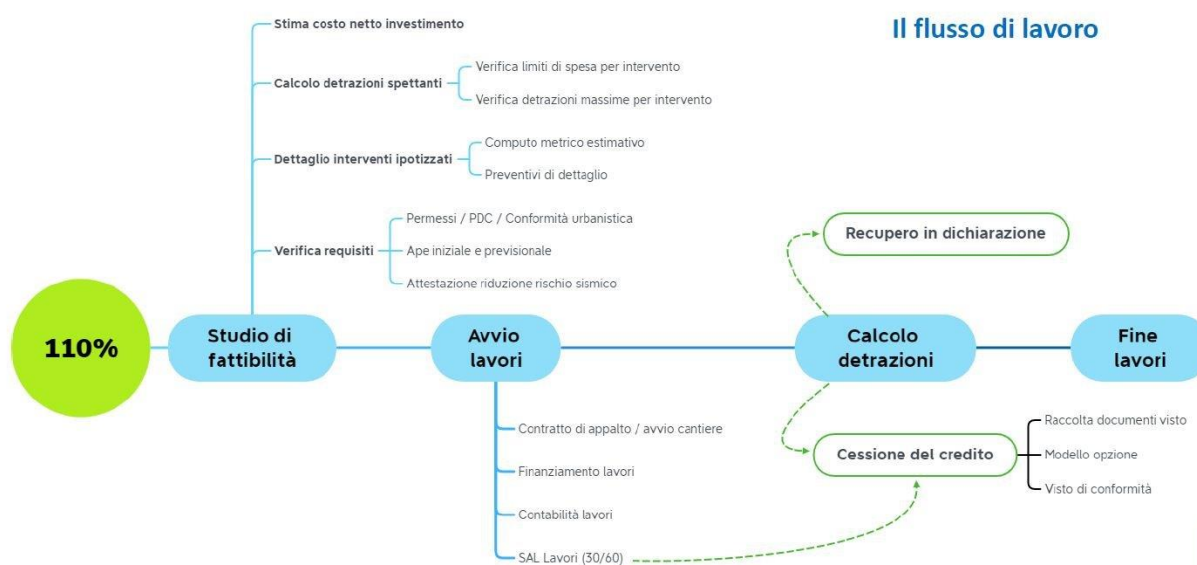


Figura 15 Schema di flusso iter realizzazione superbonus 110%

Per poter mettere in atto quanto sopra descritto ed essere certi di non incorrere in problemi futuri sia di tipo edilizio, che impiantistico, che legislativo ed economico, il committente, sia esso un privato proprietario di unità immobiliare o ditta che si incarica di effettuare i lavori su immobili da lei opportunamente selezionati, dovrà affidarsi a uno o più tecnici che abbiano le giuste competenza nel settore. Infatti, per usufruire della detrazione, è opportuno far riferimento principalmente a **tre professionisti**: un **ingegnere energetico** per l'individuazione e la progettazione degli interventi di efficientamento più idoneo al caso studio, un tecnico sia esso **geometra, ingegnere civile o edile** che abbia conoscenza della pratica edilizia e riesca a interpretare la documentazione, un **commercialista** per quanto riguarda l'aspetto economico e finanziario.

Prima di entrare nel merito della progettazione e programmazione dell'intervento, è preliminare effettuare un **sopralluogo** dell'unità immobiliare. Questo primo step è fondamentale per tre motivi:

1. ottenere una **conoscenza approfondita dell'immobile** in termini di struttura (verifica delle stratigrafie delle pareti verticali e orizzontali allo stato di fatto, degli infissi sia telaio che vetro, delle chiusure oscuranti e degli eventuali cassonetti), delle pareti disperdenti verso esterno, verso vani non riscaldati o verso altre unità avendo cura di conoscerne la destinazione d'uso e la conseguente temperatura interna, di impianto sia esso per il riscaldamento, per la produzione di acqua calda sanitaria, per il raffrescamento (analisi delle quattro componenti fondamentali che lo costituiscono: sistema di generazione, emissione, distribuzione e regolazione), della presenza di eventuali impianto per la produzione di fonti rinnovabili (fotovoltaico e solare termico). Per fare ciò può essere utile la creazione di una scheda dati da compilare man mano in loco con tutte le voci suggerite;
2. **verificare**, con l'ausilio delle planimetrie catastali, **che lo stato di fatto rilevato coincida con quello dichiarato al catasto urbano** e non incorrere in eventuali **abusi edilizi**. A questo proposito

si ricorda come, inizialmente, qualsiasi immobile in cui si riscontrassero incongruenze di questo genere, erano automaticamente escluse dalla fruizione del superbonus. Successivamente, però questo vincolo è stato ammorbidito ed è stato concesso di effettuare interventi di superbonus in caso di abusi edilizi ma che gli stessi avrebbero potuto comunque essere oggetto di verifica da parte degli operatori comunali. In poche parole, è possibile lavorare in presenza abusi purché entro la fine del cantiere il committente provveda a rimediare e a sanare lo stato di fatto;

3. **controllare che l'impianto termico installato**, anche se vetusto, abbia i requisiti per essere considerato esistente e funzionante o attivabile con interventi di manutenzione ordinaria. Ciò detto sarà necessario chiedere alla committenza la corretta registrazione dello stesso al catasto impianti termico C.I.T. regionale e il relativo libretto di impianto termico di centrale.

Una volta raccolti tutti i dati, si procede con la redazione dello **studio di fattibilità**. Si provvede dunque a realizzare il modello energetico allo stato di fatto e, dall'analisi dei risultati, **individuare gli interventi migliorativi** più idonei, tenendo conto che sarà obbligatorio effettuare almeno una tipologia di intervento trainante.

Simulato lo stato di progetto, per verificare di aver soddisfatto il secondo requisito, quello di garantire il salto di almeno due classi energetiche, si producono gli attestati di prestazione energetica convenzionali ante e post-intervento. Questa tipologia è stata inserita proprio in ambito superbonus con il **decreto-legge 19 maggio 2020, n. 34** ed è differente dal normale A.P.E. redatto nei casi indicati nel **decreto-legge 63/2013, legge 90/2013**, come, ad esempio, il passaggio di proprietà e che ha scopo informativo per i proprietari, presenti o futuri. Questo tipo di attestato è valido **unicamente** per la verifica sopra citata. La determinazione della classe energetica avviene parimenti a quanto accade nel caso base: comparando la prestazione energetica dell'edificio oggetto di studio con quella dell'edificio cosiddetto di riferimento, il quale ha le medesime caratteristiche morfologiche ed espositive del caso reale ma con strutture e impianti come da normativa ed è riferita all'indice di prestazione globale non rinnovabile $EP_{gl,nren}$ [kWh/m²anno].

$$EP_{gl,nren} = EP_{H,nren} + EP_{C,nren} + EP_{V,nren} + EP_{W,nren} + EP_{L,nren} + EP_{T,nren}$$

Quindi, l'indice globale è pari alla somma degli indici relativi ai seguenti servizi:

- climatizzazione invernale
- climatizzazione estiva
- ventilazione
- acqua calda sanitaria
- illuminazione
- trasporto persone o cose.

La differenza principale riguarda gli edifici composti da più unità immobiliari: oltre a produrre un numero di APE pari a quello degli immobili costituenti, verrà prodotto un indicatore complessivo, riferito all'intero gruppo immobiliare ottenuto come media ponderata sulla superficie utile dell'intero edificio e ai soli servizi presenti nello stato ante operam¹¹. Inoltre, l'APE convenzionale **non dovrà**

¹¹ Ad esempio, qualora il progetto preveda la sostituzione dell'impianto di climatizzazione invernale esistente con un impianto a pompa di calore idoneo anche per il raffrescamento estivo, i servizi da considerare nella redazione dell'APE post operam saranno solo il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria. Il raffrescamento non sarà incluso tra i servizi da valutare nel calcolo dell'APE post operam, perché non presente in origine (ante operam).

essere depositato al catasto energetico, e può essere redatto dallo stesso tecnico che effettua lo studio di fattibilità, a differenza dall'APE tradizionale finale.

Definiti gli interventi di procede col presentare il progetto alla committenza per discutere pro e contro di quanto previsto e, qualora si ottenga il placet dalla stessa, il tecnico prosegue con la redazione del **computo metrico** in cui andrà a dettagliare voce per voce i singoli interventi sia in termini di costo che in termini di specifiche tecniche. Presenterà dunque lo stesso alla ditta/ le ditte incaricate e, una volta trovato il punto di equilibrio fra domanda e offerta, il progetto potrà definirsi avviabile.

Trovata la quadra sia con la committenza che con la ditta, si può procedere avviando le pratiche per la **cantierizzazione del progetto**. Il tecnico provvede a produrre un documento che rientra fra i cosiddetti titoli abilitativi, la C.I.L.A. (comunicazione di inizio lavori asseverata) che, con l'avvento del superbonus e con l'accordo siglato il 4 agosto 2021 e inserito in gazzetta ufficiale il 23 agosto, è diventata **C.I.L.A.-S** dove la 's' finale sta per **semplificata**. Infatti, come accennato in precedenza, non sarà necessario asseverare lo stato legittimo dell'immobile (assenza di abusi edilizi) ma, al tempo stesso, non costituisce una sanatoria. Inoltre, è necessario indicare che gli interventi indicati rientrano nel superbonus 110% (riqualificazione energetico o miglioramento sismico che sia), una descrizione sintetica degli stessi mentre gli elaborati grafici restano facoltativi. Questo tipo di comunicazione si rende necessaria quando si tratta di interventi che non riguardano parti strutturali dell'edificio, senza modificare la volumetria e la destinazione d'uso. La C.I.L.A. andrà depositata allo sportello unico per l'edilizia SUE del comune di riferimento.

Contestualmente a questo documento, si rende necessaria la produzione di altri due documenti che hanno come focus la sicurezza in cantiere. Questi sono il **POS** e il **PSC**. Il primo è il piano operativo di sicurezza ed è redatto dalla ditta incaricata e concerne la gestione lavorativa, il secondo è il piano di sicurezza e coordinamento ed è redatto dal tecnico che riveste il ruolo di coordinatore della sicurezza in fase di progettazione **CSP** in cui si descrivono le fasi operative e le eventuali situazioni di rischio che potrebbero emergere, indicando le azioni da mettere in atto per la riduzione e/o l'eliminazione di ogni eventuale pericolo. Il **PSC** verrà valutato in corso d'opera dal coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione **CSE**, il quale potrà richiedere ulteriori integrazioni oltre a monitorare la corretta applicazione dello stesso.

Nel POS si trovano:

- i **dati identificativi** dell'impresa esecutrice;
- le **specifiche mansioni**, inerenti alla sicurezza, svolte in cantiere da ogni figura nominata allo scopo dall'impresa esecutrice
- la **descrizione dell'attività di cantiere**, delle modalità organizzative e dei turni di lavoro l'elenco dei ponteggi, dei ponti su ruote a torre e di altre opere provvisorie di notevole importanza, delle macchine e degli impianti utilizzati nel cantiere
- l'**elenco delle sostanze e miscele** pericolose utilizzate nel cantiere con le relative schede di sicurezza
- l'**esito del rapporto di valutazione del rumore**
- l'individuazione delle **misure preventive e protettive**, integrative rispetto a quelle contenute nel Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) quando previsto, adottate in relazione ai rischi connessi alle proprie lavorazioni in cantiere
- le **procedure complementari** e di dettaglio, richieste dal Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) quando previsto
- l'**elenco dei dispositivi di protezione individuale** forniti ai lavoratori occupati in cantiere

- la documentazione in merito **all'informazione ed alla formazione** fornite ai lavoratori occupati in cantiere

Nel **PSC** invece, il **CSP** inserisce:

- **identificazione e descrizione** dell'opera
- individuazione dei **soggetti** con compiti di sicurezza
- individuazione e valutazione dei **rischi**
- **scelte progettuali ed organizzative**, procedure e misure preventiva e protettive in riferimento all'area di cantiere, all'organizzazione dello stesso, alle lavorazioni
- le **prescrizioni operative**
- le **misure di coordinamento**
- le **modalità organizzative** della cooperazione e del coordinamento
- organizzazione prevista per il servizio di pronto soccorso
- **durata** prevista delle lavorazioni
- **stima dei costi** della sicurezza

Finite la fase **documentale**, si può finalmente passare a quella **esecutiva**.

Questa prevede la messa in atto di quanto sopra descritto. Si provvede a preparare **l'area di cantiere**, a installare eventuali **impalcature, ponteggi e linee vita** per lavori in quota in sicurezza quali cappotto termico e installazione pannelli fotovoltaici o solare termico. Col procedere delle realizzazioni, è permesso suddividere la richiesta della detrazione in massimo tre step, chiamati stati di avanzamento lavori **SAL**. Questi potranno essere compilati sul portale ENEA dedicato una volta effettuati rispettivamente il 30%, il 60% e il 100% dei lavori complessivamente presentati in progetto (siano essi esclusivamente superbonus 110% o meno), inclusivi di iva, spese tecniche e quant'altro a corredo.

Parallelamente, qualora sia prevista l'installazione di un impianto fotovoltaico, sarà necessario procedere con **l'iter di registrazione** dello stesso in modo tale da ottenere, alla conclusione lavori, il contratto siglato fra proprietario e **GSE** (gestore servizi energetici) in cui il primo si impegna a cedere l'energia non destinata all'autoconsumo mentre qualora sia prevista la sostituzione dell'impianto termico, ad aggiornare il **libretto di impianto** secondo quanto installato sia in termici di macchine che di eventuale sistema di distribuzione e regolazione.

Normativa e definizioni in ambito energetico

Prima di passare all'argomento cardine della trattazione: l'analisi del caso studio, al fine di rendere più fluida la stessa, è opportuno introdurre alcune definizioni e alcuni stralci di normativa in ambito energetico, per una migliore comprensione di quanto verrà riportato in seguito.

Bilancio energetico

La quasi totalità degli studi in ambito energetico, siano essi relativi a nuove costruzioni o a ristrutturazioni (efficientamento), è incentrata sul concetto di **bilancio termico**. Per avere una conoscenza globale dell'oggetto dell'analisi, è necessario conoscere o imporre (secondo normativa qualora si tratti di edifici non ancora realizzati) nella maniera più realistica possibile, tutti i flussi energetici coinvolti.

L'obiettivo ultimo è la **determinazione dei carichi termici di progetto** sia per la stima sia dei valori di picco utili al dimensionamento e al sistema impiantistico in generale e sia dei consumi energetici ed è possibile solo tramite la soluzione delle equazioni di conservazione della massa e dell'energia, con le opportune assunzioni e in particolare nelle condizioni esterne e interne relative al caso peggiore possibile.

Inoltre, ambito che riguarda maggiormente il superbonus 110%, altro scopo per cui approfondire questo aspetto è la possibilità di **effettuare verifiche** sia relativamente al **rispetto dei requisiti di legge** sia alla **comparazione** di diverse soluzioni per possibili misure di risparmio energetico.

Di seguito si riporta la definizione di carico termico:

Il carico termico è il flusso di energia che occorre immettere e/o sottrarre da uno spazio confinato per mantenere al suo interno le desiderate condizioni ambientali (con particolare riferimento a temperatura ed umidità relativa).

Questo si suddivide in:

1. in base al **fenomeno**, al **componente edilizio** e alla **localizzazione**:
 - a. carico termico per **trasmissione**: attraverso l'involucro opaco o vetrato che sia;
 - b. carico termico per **infiltrazione**: relativo ai flussi entalpici delle portate d'aria incontrollate attraverso l'involucro perimetrale;
 - c. carico termico per **ventilazione**: relativo ai flussi entalpici delle portate d'aria di ventilazione;
 - d. carico **esogeno** ed **endogeno**: a seconda che siano provenienti rispettivamente dall'esterno o dall'interno dell'ambiente;
2. in base al **effetto associato**:
 - a. carico termico **sensibile**: se correlato a una variazione di temperatura;
 - b. carico termico **latente**: relativo ai passaggi di stato, soprattutto evaporazione e condensazione del vapore acqueo e quindi all'umidità relativa;
3. a seconda del **periodo** di calcolo e alle condizioni di progetto:
 - a. **invernale**: per la stima dei carichi di progetto e il soddisfacimento del fabbisogno termico in regime invernale;
 - b. **estivo**: per la stima dei carichi di progetto e il soddisfacimento del fabbisogno termico in regime estivo.

L'ultima tipologia, se così si vuole definire, è quella che viene utilizzata rispettivamente per i fabbisogni rispettivamente di riscaldamento e raffrescamento.

Come anticipato in apertura di paragrafo, per giungere alla determinazione dei carichi termici di progetto, è necessario passare dalle **equazioni di bilancio di energia e massa**.

Partendo dal **primo principio della termodinamica**, considerando un **sistema aperto**¹² e con variazioni di energia dovute solamente al contributo dell'energia interna, in termini di potenze si ottiene:

$$\Phi - \dot{L}_i = \sum_{i=1}^n G_{usc,i} \cdot (h + e_c + e_g)_i - \sum_{j=1}^m G_{ent,j} \cdot (h + e_c + e_g)_j + \frac{dU}{dt}$$

Φ = flusso termico netto scambiato dal sistema termodinamico con l'ambiente esterno;

$\dot{L}_i$ = potenza meccanica netta all'asse (lavoro tecnico o all'asse);

h = entalpia massica del fluido entrante/uscente;

e_c = energia cinetica massica del fluido entrante/uscente;

e_g = energia potenziale gravitazionale massica del fluido entrante/uscente;

$G_{usc,i}$ = "n" portate di fluido uscenti dal sistema termodinamico;

$G_{ent,j}$ = "m" portate di fluido entranti nel sistema termodinamico;

$\frac{dU}{dt}$ = variazione di energia interna del sistema termodinamico nel tempo.

Per ogni equazione di bilancio che si rispetti, oltre alle ipotesi e alle assunzioni che verranno elencate a breve, è d'obbligo la circoscrizione del sistema e dunque le **condizioni al contorno** e il **volume di controllo**. Per fare è necessario rifarsi al concetto di **zona termica** di cui si riporta la definizione:

E' una porzione di edificio costituita da insieme di più ambienti termicamente omogenei fra loro, nei quali le variazioni del carico termico (latente e/o sensibile) sono simili, serviti dal medesimo sistema di riscaldamento e/o climatizzazione

Individuate dunque le zone termiche come sopra, all'interno di ognuna di esse si dovrà decidere cosa considerare nel volume di controllo e cosa escludere. Prassi vuole che il volume di controllo sia costituito esclusivamente dall'aria contenuta all'interno dell'ambiente e dell'involucro edilizio, rendendo estranei allo stesso pareti, partizioni, arredi e qualsiasi oggetto presente.

¹² Sistema che interagisce con l'ambiente esterno scambiando energia e materia e gli scambi sono considerati positivi se entranti nel volume di controllo e negativi quando uscenti dallo stesso.

Di seguito una rapida raffigurazione del concetto sopra espresso, dove in rosso è indicato il contorno del volume di controllo.

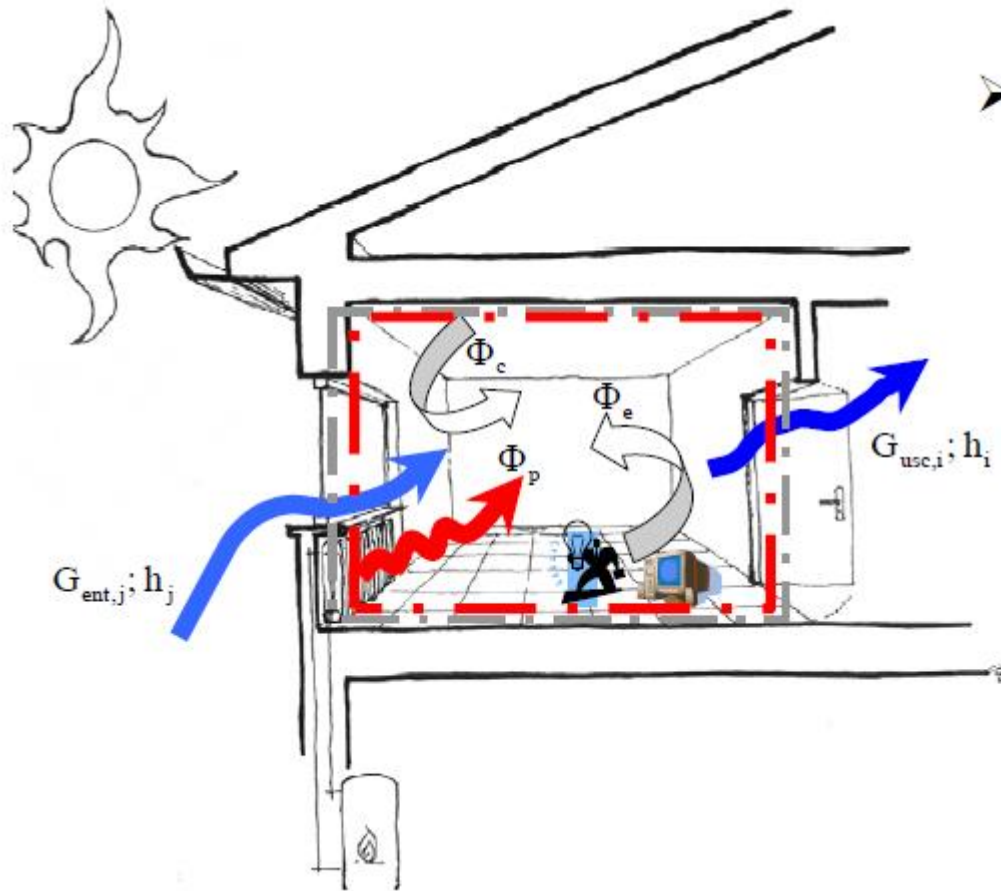


Figura 16 Raffigurazione volume di controllo (in rosso)

Richiamando l'equazione di bilancio, è possibile semplificarla:

1. si può trascurare il lavoro interno L_i
2. le variazioni di energia cinetica e potenziale dell'aria sono trascurabili
3. i flussi termici sono esclusivamente di natura convettiva poiché si è considerato il solo volume di aria

$$\sum_{k=1}^q \Phi_k = \sum_{i=1}^n G_{usc,i} \cdot c_{p,i} \cdot T_i - \sum_{j=1}^m G_{ent,j} \cdot c_{p,j} \cdot T_j + \frac{dU}{dt}$$

I flussi k-esimi, a seconda della natura del fenomeno, si distinguono in:

- **convettivi** Φ_c
- **endogeni convettivi** Φ_e
- **emissione** del terminale Φ_p

$$\Phi_c + \Phi_e + \Phi_a + \Phi_p = \rho \cdot V \cdot c_v \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

Dove Φ_a non è altro che l'opposto della differenza tra flussi entalpici relativi alle portate di ventilazione e infiltrazione e ϑ è il simbolo della temperatura coerentemente alle normative **UNI** e **CEN**.

Restringendo il campo alla sola quota sensibile, ricordando che il carico termico sensibile indica il flusso di energia da sottrarre o immettere in ambiente al fine di mantenere costante il valore di set-point prefissato (variazione di temperatura nulla), l'equazione di cui sopra è riscrivibile come segue:

$$\Phi_c + \Phi_e + \Phi_a + \tilde{\Phi}_p = 0$$

È bene far presente che nonostante la variazione di temperatura sia nulla, ciò non implica che il regime sia stazionario anzi, tutt'altro: tutti i flussi sono tempo-dipendenti. Infatti, si otterranno come soluzioni sia valori **puntuali** che **profili temporali** di progetto.

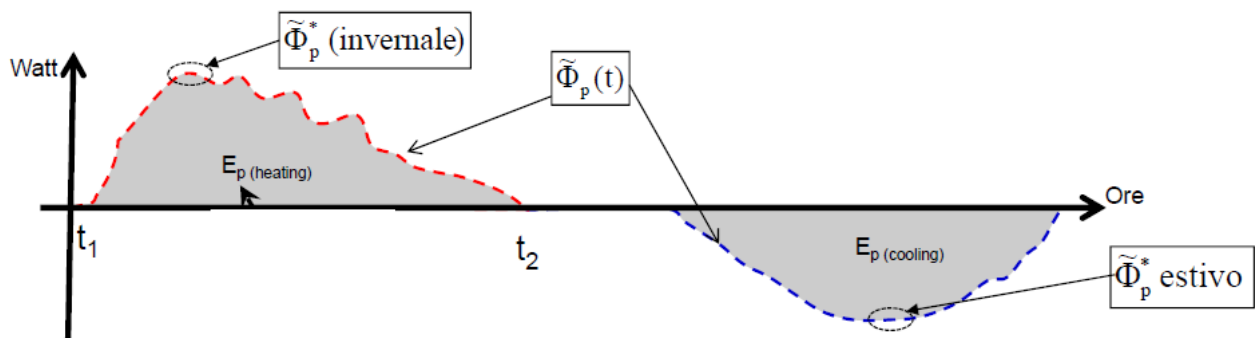


Figura 17 Andamento del carico termico in condizioni invernali ed estive

In particolare, all'interno della definizione di Φ_a , vi sono le portate entrate e uscenti dal volume di controllo. Per trovarle è opportuno completare con l'equazione del bilancio delle masse di aria secca e vapore acqueo.

$$\Phi_a = - \left(\sum_{i=1}^n G_{usc,i} \cdot c_{p,i} \cdot \theta_i - \sum_{j=1}^m G_{ent,j} \cdot c_{p,j} \cdot \theta_j \right)$$

$$G_i^+ - G_i^- + G_L^+ - G_L^- + G_v^+ - G_v^- + G_p^+ - G_p^- = 0$$

$$G_i^+ \cdot x_e + G_L^+ \cdot x_L + G_v^+ \cdot x_v + G_{w,e}^+ - (G_i^- + G_L^- + G_v^-) \cdot \tilde{x}_i + \tilde{G}_{w,p} = 0$$

G^+ = portate d'aria secca entranti nell'ambiente

G^- = portate d'aria secca uscenti dall'ambiente, in valore assoluto

$G_{w,e}$ = portata di vapor d'acqua netta prodotta dalle sorgenti endogene

x_e = umidità specifica dell'aria esterna

x_L = umidità specifica dell'aria nei locali limitrofi

x_v = umidità specifica dell'aria di ventilazione

$\tilde{x}_i$ = umidità specifica di progetto dell'aria interna (valore controllato)

$\tilde{G}_{w,p}$ = portata di vapor d'acqua messa in gioco dall'impianto

La prima è di complessa risoluzione, motivo per cui, a livello ingegneristico si fa in modo di rifarsi ai seguenti casi:

- presenza di **sole infiltrazioni**
- presenza di **sistemi di ventilazione naturale**
- presenza di **sistemi di ventilazione meccanica**
- presenza di **sistemi di climatizzazione** ad aria in cui alla ventilazione meccanica si associa lo sfruttamento della portata di aria di ventilazione anche a scopi termici

Con la seconda invece sarà possibile determinare la portata di vapore acqueo da generare per mantenere in ambiente l'umidità specifica relativa di progetto: il carico igrometrico di progetto o carico latente di progetto.

Carico termico sensibile di progetto in regime invernale ed estivo

Per quanto riguarda il regime invernale e dunque il carico termico sensibile di riscaldamento, è opportuno ricordare che:

- la temperatura esterna è mediamente più bassa di quella interna al volume di controllo;

- gli apporti gratuiti quali carichi endogeni ed esogeni contribuiscono alla riduzione del carico appannaggio dell'impianto e quindi saranno considerate trascurabili nell'ottica di porti nella condizione stocasticamente peggiore;
- l'accumulo termico e l'inerzia dell'edificio sono trascurabili dal momento che sul lungo periodo la variazione di temperatura può assumersi costante;
- le sole dispersioni sono determinanti ai fini dei calcoli: per trasmissione e ventilazione;
- si opera in regime stazionario;
- le condizioni interne ed esterne sono normate in base alla zona climatica di riferimento e alla destinazione d'uso dell'edificio;
- le portate di aria di ventilazione derivano da stime progettuali.

Passando al regime estivo, in questo caso la risoluzione appare più complessa:

- non è possibile, anche nella giornata stessa, determinare se la temperatura esterna sia superiore o inferiore a quella interna e di conseguenza la variazione potrà essere sia negativa che positiva;
- la radiazione solare e i carichi endogeni gravano sull'impianto termico in termini di carico da soddisfare e sono fortemente stocastiche;
- a differenza del caso invernale, accumulo termico ed inerzia dell'edificio non sono trascurabili;
- i flussi termici convettivi sono quelli scambiati dall'aria contenuta all'interno del volume di controllo mentre quelli radiativi intervengono in maniera ritardata e parziale;
- il regime di calcolo è transitorio;
- per quanto riguarda le condizioni interne ed esterne anziché far riferimento a dei valori puntuali, è idoneo creare dei profili temporali;
- tener conto delle portate di aria di ventilazione e infiltrazione.

Procedura di calcolo del carico termico sensibile di progetto per il riscaldamento

Dalle assunzioni fatte in precedenza, si può affermare come il carico termico di progetto in regime invernale dipenda dai soli flussi convettivi ed entalpici che sono determinabili facendo riferimento alla normativa **UNI EN 12831**, valida per edifici residenziali, ad uso ufficio, pubblici, scuole, biblioteche, ospedali, case circondariali, del terziario, ad uso industriale.

$$\tilde{\Phi}_p^* = -\Phi_c - \Phi_a$$

Per poter sfruttare a tutti gli effetti delle indicazioni normative, è opportuno riportare delle ulteriori **ipotesi** a cui è comunque possibile apportare delle correzioni:

- le proprietà termofisiche dei materiali e dei componenti edilizi sono costanti nel tempo e non dipendono dalla temperatura;
- le altezze degli ambienti sono inferiori ai 5 metri;
- la temperatura interna di progetto è riportata nell'allegato nazionale alla norma di cui si riporta la tabella con le indicazioni dei valori da ipotizzare a seconda della tipologia di locale

Tipo di locale dell'edificio	Temperatura interna di progetto, $\tilde{\theta}_i$ [C°]
Ufficio singolo	20
Uffici a spazio aperto	20
Sala conferenze	20
Auditorium	20
Bar-Ristorante	20
Aule scolastiche	20
Scuola materna	20
Asilo nido	22
Supermercato	16
Locali di abitazione	20
Bagni	24
Chiese	15
Musei, gallerie	16

Tabella 3 Temperatura interna di progetto in funziona del tipo di locale

- la temperatura esterna è anch'essa normata dalla UNI 5364 mentre nella UNI EN 12831 troviamo un quadro delle temperature medie annuali dei capoluoghi di provincia italiani

Prov.	Comune	Alt. [m]	Z	GG	θ_e^* [°C]	$\theta_{m,e}$ [°C]
AN	Ancona	16	D	1688	-2	15,1
AO	Aosta	583	E	583	-10	10,4
AQ	L'Aquila	714	E	2514	-5	12,1
BA	Bari	5	C	1185	0	16,4
BO	Bologna	54	E	2259	-5	14,2
BZ	Bolzano	262	E	2791	-15	12,6
CA	Cagliari	4	C	990	3	17,6
FI	Firenze	40	D	1821	0	14,8
GE	Genova	19	D	1435	0	16,1
MI	Milano	122	E	2404	-5	13,7
NA	Napoli	17	C	1034	2	18,2
PA	Palermo	14	B	751	5	18,0
PD	Padova	12	E	2383	-5	12,8
PZ	Potenza	819	E	2472	-3	12,5
RC	Reggio Cal.	15	B	772	3	18,1
RM	Roma	20	D	1415	0	16,3
TN	Trento	194	E	2567	-12	15,9
TO	Torino	239	E	2617	-8	12,4
UD	Udine	113	E	2323	-5	13,6
VE	Venezia	1	E	2345	-5	13,8

Tabella 4 Temperatura esterne di progetto provinciali

Il flusso termico convettivo non è altro che la sommatoria delle diverse perdite per trasmissione sia verso l'esterno che verso locali a temperatura interna differente. La formulazione è del tipo $U \cdot A \cdot \Delta T$ ed il prodotto fra la differenza tra temperatura interna ed esterna e la sommatoria dei coefficienti di perdita per trasmissione H_T

$$-\Phi_c = (H_{T,e} + H_{T,nr} + H_{T,i} + H_{T,t}) \cdot (\tilde{\theta}_i - \theta_e^*)$$

$H_{T,e}$ = coefficiente di perdita per trasmissione fra ambiente riscaldato ed ambiente esterno [W/K]

$H_{T,nr}$ = coefficiente di perdita per trasmissione fra ambiente riscaldato ed ambienti adiacenti non riscaldati [W/K]

$H_{T,i}$ = coefficiente di perdita per trasmissione fra ambiente riscaldato ed ambienti adiacenti riscaldati ad una temperatura interna significativamente diversa dalla temperatura di progetto dell'ambiente riscaldato [W/K]

$H_{T,t}$ = coefficiente di perdita per trasmissione fra ambiente riscaldato e terreno [W/K]

Il primo, il coefficiente di perdita per **trasmissione verso l'esterno** $H_{T,e}$ dipende dalle caratteristiche dell'involucro e dai ponti termici lineari a cavallo degli ambienti

$$H_{T,e} = \sum_{k=1}^n A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_{l=1}^m \Psi_l \cdot l_l \cdot e_l$$

A_k = l'area della k-sima superficie (norma UNI EN 13789)

U_k = trasmittanza termica della k-sima superficie edilizia (UNI EN 6946 per i componenti opachi, UNI EN 10077-1 per componenti trasparenti, UNI 13947 per facciate continue,)

Ψ_l = trasmittanza termica lineare del l-simo ponte termico lineare (normative UNI EN ISO 10211-2 ed UNI EN ISO 14683)

l_l = lunghezza del l-simo ponte termico lineare (norma UNI EN 13789)

n = numero delle superfici (ciascuna aventi caratteristiche termofisiche uniformi)

e_k, e_l = fattori correttivi per tener conto dell'esposizione della superficie

m = numero dei ponti termici lineari

Il coefficiente di perdita per **trasmissione verso ambienti non riscaldati** $H_{T,nr}$ include un **fattore correttivo** b_u dipendente dalla differenza di temperatura fra interno ed esterno e fra interno e locale 'freddo'.

$$H_{T,mr} = \left(\sum_{k=1}^n A_k \cdot U_k + \sum_{l=1}^m \Psi_l \cdot l_l \right) \cdot b_u$$

A seconda che la temperatura del locale non riscaldato sia nota o meno, vi sono tre approcci possibili per ottenere il valore del fattore correttivo:

1. valore noto

$$b_u = \frac{\tilde{\theta}_i - \theta_{i,mr}}{\tilde{\theta}_i - \theta_e^*}$$

2. valore incognito, procedura semplificata facendo riferimento normativo come segue, a seconda della destinazione d'uso:

Tipo di vano	b_u [-]
Locali / numero di pareti del vano non riscaldato rivolte verso l'ambiente esterno	
Con una parete esterna	0,4
Senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,5
Con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (p. es. garages)	0,6
Con tre pareti esterne (p. es. vani scala esterni)	0,8
Cantine	
Senza finestre / serramenti esterni	0,5
Con finestre / serramenti esterni	0,8
Sottotetti	
Il tasso di ventilazione del sottotetto è elevato, (es. tetti ricoperti con tegole o altri materiali di copertura non a tenuta) senza rivestimento con feltro o assito	1,0
Altri tetti non isolati	0,9
Tetti isolati	0,7
Disimpegni interni (senza muri esterni – ricambio d'aria inferiore a 0,5 vol/h)	0
Disimpegni ventilati (aperture/volume > 0,005 m ² /m ³)	1,0
Solette sospese (soletta sopra vespaio)	0,8

Tabella 5 Fattore correttivo in funzione del locale non riscaldato

3. valore incognito, procedura dettagliata attraverso il bilancio di energia del locale non riscaldato:

$$b_u = \frac{H_{nr,e}}{H_{i,nr} + H_{nr,e}}$$

$H_{nr,e}$ = il coefficiente di perdita termica (complessiva) fra lo spazio non riscaldato (pedice “nr”) e l’ambiente esterno (pedice “e”) (in W/K).

$H_{i,nr}$ = il coefficiente di perdita termica complessiva fra l’ambiente interno riscaldato (pedice “i”) e lo spazio non riscaldato (pedice “nr”) (in W/K).

A differenza dei suoi sopra citati, il coefficiente di perdita per **trasmissione verso ambienti riscaldati a temperatura diversa** $H_{T,i}$ non dipende dai ponti termici lineari. Infatti, la sua equazione è la seguente e contiene un fattore di riduzione simile al b_u , che tiene conto dei differenti delta di temperatura e anch’esso normato nella UNI EN 12831, appendice D:

$$H_{T,i} = \sum_{k=1}^n A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$$

$$f_{ij} = \frac{\tilde{\theta}_i - \theta_j}{\tilde{\theta}_i - \theta_e^*}$$

Calore trasferito dal vano riscaldato verso:	θ_i [°C]
Locale adiacente all’interno di una stessa unità immobiliare	θ_j è fissato come requisito progettuale sulla base della destinazione d’uso nel caso di: bagni, magazzini, gradienti verticali della temperatura dell’aria.
Locale adiacente appartenente ad un’altra unità immobiliare (appartamento)	$\theta_j = \frac{\tilde{\theta}_i + \theta_{m,e}}{2}$
Locali adiacenti appartenenti ad un altro edificio	$\theta_{m,e}$

Tabella 6 Determinazione parametro per la determinazione del coefficiente

Il coefficiente la cui trattazione risultata un po' più complessa è l’ultimo, quello relativo alla perdita per **trasmissione con il terreno** $H_{T,t}$. I fattori da cui dipende sono molteplici:

- superficie e perimetro di contatto pavimento – terreno
- profondità del piano interrato rispetto al piano di campagna

- proprietà termofisiche del terreno stesso

Nonostante nella norma EN-ISO 13370 è riportata una procedura alquanto dettagliata e onerosa in termini di elaborazione, poiché il peso di questa componente non è importante per lo scopo, si può definire il parametro come segue:

$$H_{T,t} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_{k=1}^n A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w$$

f_{g1} = coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto della variazione annuale della temperatura dell'aria esterna.

f_{g2} = fattore di riduzione della temperatura

A_k = area della k-sima superficie dell'ambiente riscaldato a contatto con il terreno

$U_{equiv,k}$ = trasmittanza termica equivalente della k-sima superficie dell'ambiente riscaldato a contatto con il terreno

n = numero delle superfici (ciascuna aventi caratteristiche termofisiche uniformi) dell'ambiente riscaldato a contatto con il terreno

G_w = fattore di correzione che tiene conto dell'influenza della falda acquifera.

Dei fattori correttivi riportati:

- f_{g1} può assumere al più il valore di 1.45
- f_{g2} è valutato come segue:

$$f_{g2} = \frac{\tilde{\theta}_i - \theta_{m,e}}{\tilde{\theta}_i - \theta_e^*}$$

- G_w dipende dalla distanza fra il livello superiore della falda e la quota del pavimento: se maggiore di 1 è uguale a 1, altrimenti bisogna far riferimento o alla EN ISO 13370 o all'appendice D della UNI-EN 12831 con valore pari a 1.15
- $U_{equiv,k}$ dipende se a disperdere è una parete verticale o orizzontale e dal parametro B' e dal livello a cui è posto il piano interrato:

$$B' = \frac{A_g}{0.5 \cdot P}$$

A_g = superficie del pavimento a contatto con il terreno in m^2 .

(Nel caso in cui il bilancio sia risolto per l'intero edificio, A_g corrisponde alla superficie dell'impronta al suolo dell'edificio. Se l'attenzione è focalizzata sul singolo ambiente o su una porzione dell'edificio - ad esempio una sola unità abitativa all'interno di una serie di villette a schiera - A_g corrisponde alla superficie del pavimento dell'ambiente e/o dell'unità abitativa a contatto con il terreno)

P = perimetro del pavimento a contatto con il terreno in m (somma dei lati del pavimento a contatto con il terreno che confinano con l'ambiente esterno).

(Se il bilancio è risolto per l'intero edificio, P corrisponde al perimetro della superficie in pianta dell'edificio stesso. Se l'attenzione è focalizzata sul singolo ambiente o su una porzione dell'edificio P corrisponde alla somma dei soli lati del pavimento che confinano con l'ambiente esterno; non vengono cioè conteggiati nel perimetro i lati del pavimento a contatto con il terreno che confinano con unità abitative e/o ambienti adiacenti)

Caso 1 - pavimento ($z = 0$ m)	Valore del coefficiente B' [m]	$U_{equivalente}$ [$W/(m^2K)$]				
		Pavimento non isolato	$U_{pavimento} = 2,00 W/(m^2K)$	$U_{pavimento} = 1,00 W/(m^2K)$	$U_{pavimento} = 0,50 W/(m^2K)$	$U_{pavimento} = 0,25 W/(m^2K)$
	2	1,30	0,77	0,55	0,33	0,17
	4	0,88	0,59	0,45	0,30	0,17
	6	0,68	0,48	0,38	0,27	0,17
	8	0,55	0,41	0,33	0,25	0,16
	10	0,47	0,36	0,30	0,23	0,15
	12	0,41	0,32	0,27	0,21	0,14
	14	0,37	0,29	0,24	0,19	0,14
	16	0,33	0,26	0,22	0,18	0,13
	18	0,31	0,24	0,21	0,17	0,12
	20	0,28	0,22	0,19	0,16	0,12
Caso 2 - pavimento ($z = 1,5$ m)	Valore del coefficiente B' [m]	$U_{equivalente}$ [$W/(m^2K)$]				
		Pavimento non isolato	$U_{pavimento} = 2,00 W/(m^2K)$	$U_{pavimento} = 1,00 W/(m^2K)$	$U_{pavimento} = 0,50 W/(m^2K)$	$U_{pavimento} = 0,25 W/(m^2K)$
	2	0,86	0,58	0,44	0,28	0,16
	4	0,64	0,48	0,38	0,26	0,16
	6	0,52	0,40	0,33	0,25	0,15
	8	0,44	0,35	0,29	0,23	0,15
	10	0,38	0,31	0,26	0,21	0,14
	12	0,34	0,28	0,24	0,19	0,14
	14	0,30	0,25	0,22	0,18	0,13
	16	0,28	0,23	0,20	0,17	0,12
	18	0,25	0,22	0,19	0,16	0,12
	20	0,24	0,20	0,18	0,15	0,11

Caso 3 - pavimento (z = 3 m)	Valore del coefficiente B' [m]	U _{equivalente} [W/(m ² K)]				
		Pavimento non isolato	U _{pavimento} = 2,00 W/(m ² K)	U _{pavimento} = 1,00 W/(m ² K)	U _{pavimento} = 0,50 W/(m ² K)	U _{pavimento} = 0,25 W/(m ² K)
	2	0,63	0,46	0,35	0,24	0,14
	4	0,51	0,40	0,33	0,24	0,14
	6	0,43	0,35	0,29	0,22	0,14
	8	0,37	0,31	0,26	0,21	0,14
	10	0,32	0,27	0,24	0,19	0,13
	12	0,29	0,25	0,22	0,18	0,13
	14	0,26	0,23	0,20	0,17	0,12
	16	0,24	0,21	0,19	0,16	0,12
	18	0,22	0,20	0,18	0,15	0,11
	20	0,21	0,18	0,16	0,14	0,11

Caso 4 - parete	U _{parete} [W/(m ² K)]	U _{equivalente} [W/(m ² K)]				
		z = 0 m	z = 1 m	z = 2 m	z = 3 m	-
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	0,50	0,44	0,39	0,35	0,32	-
	0,75	0,63	0,54	0,48	0,43	-
	1,00	0,81	0,68	0,59	0,53	-
	1,25	0,98	0,81	0,69	0,61	-
	1,50	1,14	0,92	0,78	0,68	-
	1,75	1,28	1,02	0,85	0,74	-
	2,00	1,42	1,11	0,92	0,79	-
	2,25	1,55	1,19	0,98	0,84	-
	2,50	1,67	1,27	1,04	0,88	-
	2,75	1,78	1,34	1,09	0,92	-
	3,00	1,89	1,41	1,13	0,96	-

Tabella 7 Parametri per la valutazione del coefficiente di trasmissione verso il terreno

Come per il flusso convettivo, anche quello di perdita per **ventilazione** è dipendente da un coefficiente di perdita:

$$|\Phi_a| = H_{v,i} \cdot (\tilde{\theta}_i - \theta_e^*)$$

Dove:

$$H_{v,i} = H_{v,e} + H_{v,L}$$

$H_{v,e}$ = coefficiente di perdita per ventilazione con l'ambiente esterno [W/K]

$H_{v,L}$ = coefficiente di perdita per ventilazione con ambienti limitrofi non riscaldati o riscaldati a temperatura diversa da $\tilde{\theta}_i$ [W/K]

$$H_{v,e} = q \cdot \rho_{int} \cdot c_{p,int}$$

q = portata volumetrica di aria globalmente scambiata dall'ambiente riscaldato con l'esterno [m³/s]

$c_{p,int}$ = capacità termica massica a pressione costante dell'aria (umida), valutata nelle condizioni termoigrometriche interne

ρ_{int} = massa volumica dell'aria valutata alla temperatura interna dell'ambiente, $\tilde{\theta}_i$

Assumendo per ρ_{int} e $c_{p,int}$ valori costanti e pari, rispettivamente, a 1.20 kg/m³ e 1004 J/(kgK), ed esprimendo la portata volumetrica in m³/h, l' $H_{v,e}$ si può scrivere nella nota forma:

$$H_{v,e} = 0.34 \cdot q'$$

Dove: q' è espresso in [m³/h]

$$H_{v,L} = \sum_{j=1}^n q_{L,j} \cdot \rho_{int} \cdot c_p \cdot f_{v,j}$$

$q_{L,j}$ = j-sima portata volumetrica di aria di ventilazione scambiata con i locali limitrofi
 ρ_{int} = massa volumica dell'aria (valutata alla temperatura interna, $\tilde{\theta}_i$, ed alla pressione presente all'interno del locale riscaldato)

C_p = capacità termica massica (valutata alle condizioni termodinamiche dell'aria all'interno del locale riscaldato)

$f_{v,j}$ = fattore di riduzione del salto termico (tiene conto del fatto che le portate d'aria $q_{L,j}$ mettono in gioco un salto termico inferiore a quello pari a $\tilde{\theta}_i - \theta_e^*$)

$$f_{v,j} = \frac{\tilde{\theta}_i - \theta_{L,j}}{\tilde{\theta}_i - \theta_e^*}$$

$\theta_{L,j}$ = temperature dell'aria all'interno dei locali limitrofi non riscaldati (o riscaldati a temperatura diversa da $\tilde{\theta}_i$) da cui provengono le varie portate d'aria $q_{L,j}$.

Procedura di calcolo del carico termico sensibile di progetto per il raffrescamento

Come anticipato in precedenza, l'approccio in regime estivo è più complesso di quello invernale appena dettagliato.

Prima di introdurre le equazioni e i coefficienti, è opportuno introdurre un po' di terminologia:

- **heat gains:** flussi termici entranti quali la radiazione solare, carichi termici endogeni, flussi entalpici sensibili. In generale possono essere sia convettivi, che radiativi che misti;
- **cooling loads:** flussi termici da sottrarre per garantire la temperatura di set point. Essi sono esclusivamente convettivi;
- **heat extraction rate:** flusso termico rimosso dall'impianto di climatizzazione istante per istante e non per forza deve coincidere con il cooling load. È di natura convettiva;
- **cooling load sulla batteria:** flusso termico da rimuovere dalla batteria di raffreddamento ed è pari alla somma degli heat extraction rates delle zone termiche servite dalla batteria stessa. Sono di natura convettiva;
- **sfasamento e smorzamento:** sono i due fenomeni per cui non sempre heat gains e cooling loads istante per istante coincidono. I carichi possono essere emessi nel tempo sia in ritardo, anche quando l'effetto della sorgente è terminato e con dei valori minori di quelli di picco. Questi dipendono principalmente dall'inerzia di diversi componenti presenti in ambiente.

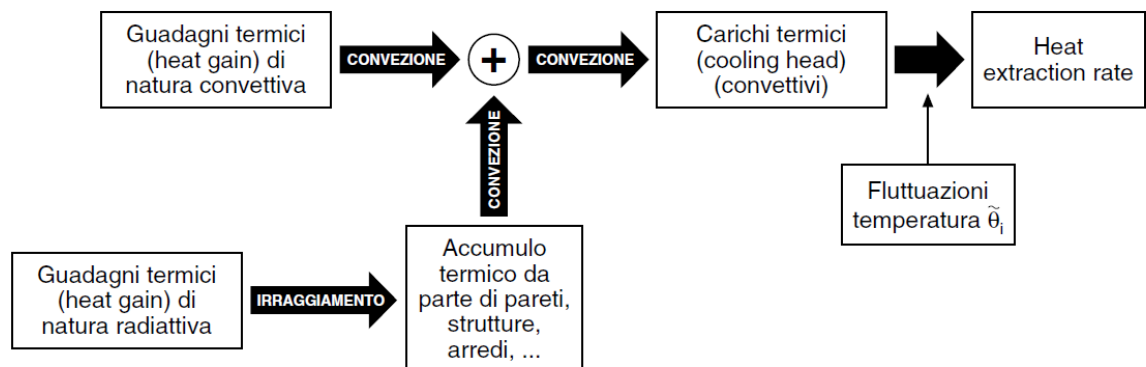


Figura 18 Schema di funzionamento carichi estivi

Passando alla procedura di calcolo, in questo caso l'equazione sarà funzione del tempo t e il valore di progetto non sarà altro che il picco della funzione nel tempo.

$$\tilde{\Phi}_p(t) = -\Phi_c(t) - \Phi_a(t) - \Phi_e(t)$$

$$\left| \tilde{\Phi}_p^* \right| = \text{Max} \left| \tilde{\Phi}_p(t) \right|$$

Poiché abbiamo parlato di heat gains e cooling loads, al fine di mettere bene in evidenza i contributi radiativi e convettivi, l'equazione di cui sopra si può riscrivere come segue:

$$\tilde{\Phi}_p(t) = -\left[\left(\Phi_c^{hg}\right)_{conv} + X \cdot \left(\Phi_c^{hg}\right)_{rad}\right] - \left[\Phi_a^{hg}\right] - \left[\left(\Phi_e\right)_{conv} + X \cdot \left(\Phi_e^{hg}\right)_{rad}\right]$$

Φ_c^{hg} = Guadagni termici esogeni (si includono in questo termine anche i carichi solari trasmessi dai componenti trasparenti),

Φ_e^{hg} = Guadagni termici endogeni,

Φ_a^{hg} = Guadagni termici dovuti alla ventilazione,

- il coefficiente X è una frazione il cui valore è compreso fra 0 ed 1;

Gli step da seguire per determinare il carico termico di progetto sono quattro:

1. calcolo degli heat gains: per la quota di Φ_a , essendo puramente **convettiva**, si può utilizzare la risoluzione nel caso invernale mentre per quanto riguarda il flusso convettivo $\Phi_{c,op}$ questo può essere stimato o attraverso la quantificazione dei carichi termici attraverso le pareti oppure attraverso metodi dedicati come quello delle **conduction time series CTS**¹³

$$\Phi_e^{hg} = \Phi_{pers}^{hg} + \Phi_{illum}^{hg} + \Phi_{me}^{hg} + \Phi_{el}^{hg} + \Phi_{cott}^{hg}$$

Φ_{pers}^{hg} ———> Occupanti (persone)

Φ_{illum}^{hg} ———> Sistemi di illuminazione artificiale

Φ_{el}^{hg} ———> Apparecchiature elettriche ed elettroniche, elettrodomestici

Φ_{me}^{hg} ———> Motori elettrici

Φ_{cott}^{hg} ———> Appareti di cottura e cibo

$$\Phi_c^{hg} = \Phi_{trasp}^{hg} + \Phi_{op}^{hg}$$

¹³ Realizzazione di un profilo di carico conoscendo i flussi termici istantanei nell'arco di 24 ore

- Φ_{op}^{hg} = guadagno termico o apporto attraverso le componenti opache dell'involucro edilizio;
- Φ_{trasp}^{hg} = guadagno termico o apporto attraverso le componenti trasparenti dell'involucro edilizio.

2. determinazione coefficiente X

3. **calcolo dei cooling loads:** questo avviene o tramite il bilancio termico diretto o attraverso funzioni di trasferimento e risposta all'impulso come il metodo RTS¹⁴
4. determinazione **profilo di carico e del carico termico di progetto.**

¹⁴ Radiant Time Series: procedura semplificata in cui si usano dei coefficienti di peso per convertire gli apporti radiativi degli heat gains e dei cooling loads.

Analisi del caso studio

Dopo aver definito il quadro storico-politico che ha condotto il governo all'introduzione del superbonus 110%, le caratteristiche legislative dello stesso e aver approfondito la normativa che sta alla base di ogni studio e analisi energetica, si può finalmente passare a descrivere nel dettaglio le fasi procedurali che permettono ad un tecnico di produrre un progetto idoneo all'incentivo. In particolare, la trattazione proseguirà come segue:

- **descrizione del fabbricato e stato dei luoghi**
- **verifiche edilizie e urbanistiche**
- **studio di fattibilità** (analisi ante e post-intervento)
- dettaglio degli **interventi migliorativi** proposti
- **quadro economico e computo metrico**
- **asseverazione** ENEA

Descrizione del fabbricato e stato dei luoghi

L'immobile oggetto di studio, risalente al **1955** e sottoposto a successive modifiche nel **1970**, è situato nel comune di **Zinasco**, provincia di Pavia, nel nord Italia, in un'area inserita nel tessuto '**consolidato residenziale B1**', come riportato nel **Piano di Governo del Territorio Comunale**. La costruzione è accessibile attraverso un accesso pedonale a sud e da un accesso carroia a est.

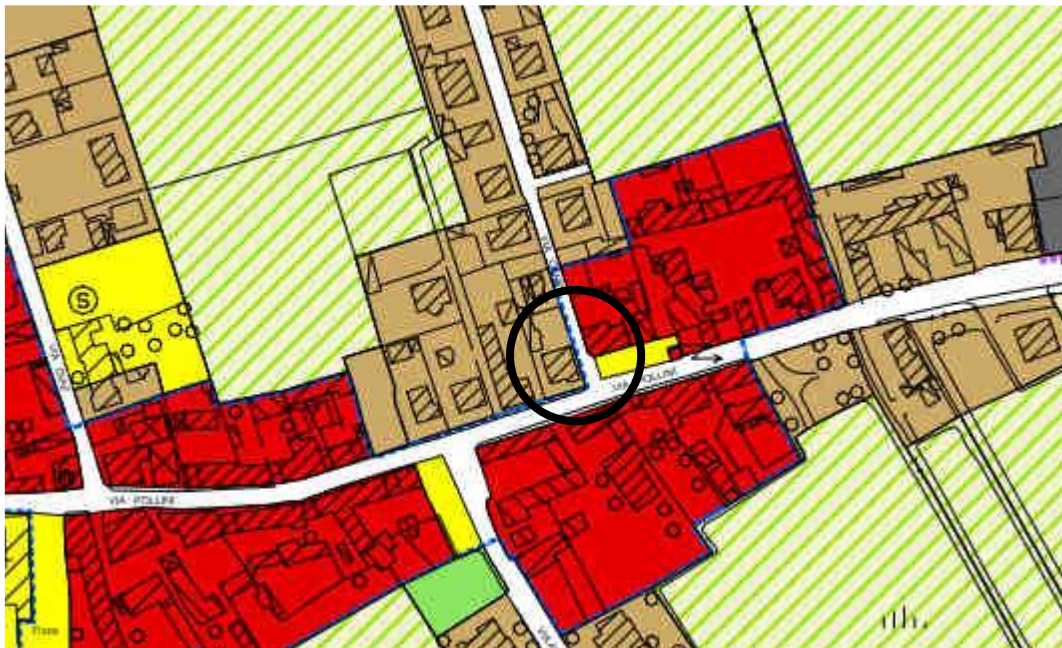


Figura 19 Individuazione immobile

Compongono l'unità immobiliare un **corpo principale** costituito da **due livelli** sovrapposti, piano terra rialzato e piano seminterrato, collegati fra loro da scale e **pertinenze esterne** quali autorimessa, ripostiglio e tettoia. La porzione abitativa è situata al piano terra con un'altezza netta dei locali pari a 3 metri e confina perimetralmente con l'esterno, superiormente con un sottotetto non riscaldato mentre il piano seminterrato è adibito a locali accessori (locale non riscaldato). L'ingresso avviene da terrazzo esterno, sulla destra troviamo il locale cucina mentre a sinistra il soggiorno. Proseguendo dal disimpegno si diramano: un ripostiglio, due camere e due bagni (uno principale e uno di servizio).

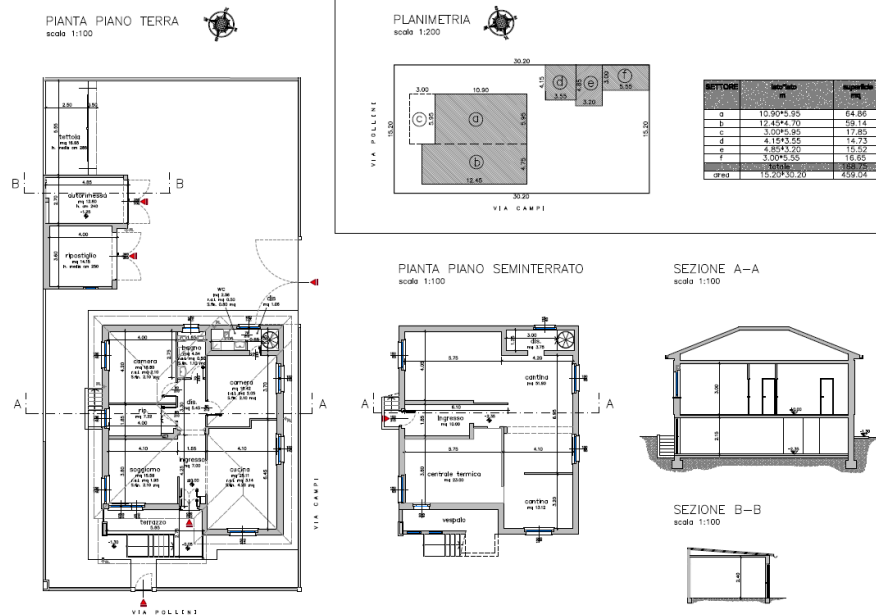


Figura 20 Planimetrie e sezione immobile





Figura 21 Redazione fotografica stato di fatto

Dati climatici

Il comune di Zinasco è collocato nella **zona climatica E**. Di seguito si riportano tabellati:

- i dati di progetto invernali ed estivi, i valori medi mensili di temperatura e umidità relativa

COMUNE

Comune	ZINASCO	CAP	27030	
Provincia	PAVIA	Sigla	PV	
Regione	LOMBARDIA			
Dati geografici	Latitudine: 45°7'21" Longitudine: 9°0'4" Altitudine:84 m			

DATI INVERNALI DI PROGETTO

Zona Climatica E

Temperatura esterna [°C]	-5.04
Umidità relativa esterna [%]	38.70
Gradi Giorno	2619
Velocità Vento [m/s]	5.00

DATI ESTIVI DI PROGETTO

Temperatura esterna [°C]	32.0
Umidità relativa esterna [%]	50.0
Escursione termica giornaliera [°C]	12.0
Riduzione irrad. TOT per foschia [%]	0.0

TEMPERATURE MEDIE MENSILI [°C]

gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
5.0	1.3	9.5	12.6	19.0	22.9	23.9	22.7	18.5	14.3	7.2	2.6

UMIDITA' RELATIVA MENSILE [%]

gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
91.90	76.60	60.80	65.30	75.60	59.00	72.10	86.50	85.70	89.00	95.50	98.50

Figura 22 Dati di progetto

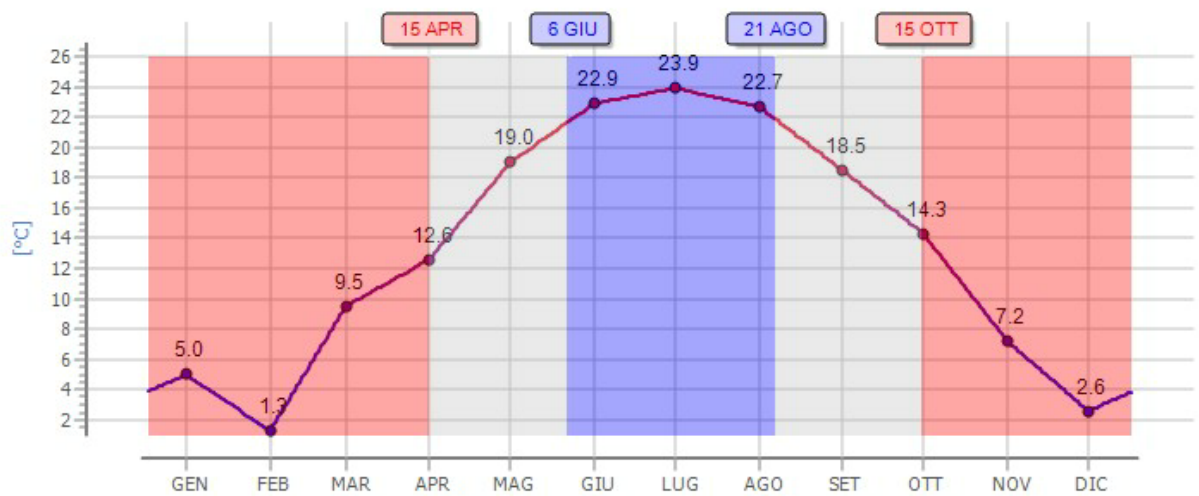
- i valori mensili, totali e per esposizione delle irradiazioni solari

IRRADIAZIONI [MJ/m ²]												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
N	1.42	2.50	3.83	5.01	8.22	10.34	9.65	7.05	4.61	2.81	1.85	1.25
NE	1.53	3.21	5.85	7.30	11.09	13.10	12.68	10.08	6.77	3.60	2.08	1.34
E	2.90	6.26	9.83	9.90	13.57	15.21	15.11	13.08	9.91	5.98	3.88	2.88
SE	4.83	9.39	12.43	10.43	12.66	13.38	13.55	12.99	11.35	8.04	6.15	5.25
S	6.09	11.25	13.13	9.44	10.44	10.74	10.89	11.16	11.08	9.09	7.61	6.78
SW	4.83	9.39	12.43	10.43	12.66	13.38	13.55	12.99	11.35	8.04	6.15	5.25
W	2.90	6.26	9.83	9.90	13.57	15.21	15.11	13.08	9.91	5.98	3.88	2.88
NW	1.53	3.21	5.85	7.30	11.09	13.10	12.68	10.08	6.77	3.60	2.08	1.34
H Tot.	3.70	8.00	13.30	14.50	20.70	23.70	23.30	19.50	14.10	8.10	5.00	3.50

Figura 23 Irradiazioni mensili, totali e per esposizione

- i periodi di riscaldamento e raffreddamento:

PERIODO DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO



Periodo di riscaldamento:	15 OTT - 15 APR
Periodo di raffreddamento:	6 GIU - 21 AGO

Figura 24 Periodo di riscaldamento e raffreddamento

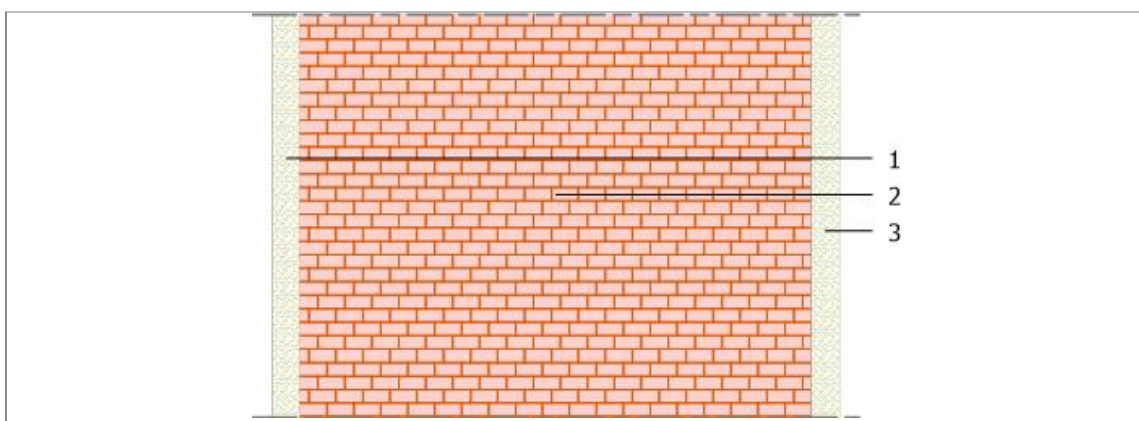
Involucro opaco e trasparente zona riscaldata

Per quanto riguarda l'involucro edilizio, si fa riferimento solamente a ciò che delimita la zona termica oggetto di studio. A seguito dell'analisi della documentazione relativa al progetto iniziale, all'anno di costruzione e alle informazioni ricevute dalla committenza, è possibile riportare quanto segue:

- **muratura portante perimetrale in laterizio pieno da 420 mm** avente la seguente stratigrafia:

STRATIGRAFIA

Strato	Descrizione	Spessore [mm]	Conduttività [W/mK]	Conduttanza [W/m²K]	Massa superficiale [kg/m²]	Resistenza al vapore [-]	Calore specifico [J/kgK]	Resistenza [m²K/W]
	Adduttanza interna	0		7.7000				0.1299
1	Intonaco interno	20	0.7000	35.0000	28.00	10.7222	1'000	0.0286
2	Mattoni laterizio pieni - densità 1800	380	0.7200	1.8947	684.00	9.3826	1'000	0.5278
3	Intonaco esterno - cp 1000	20	0.9000	45.0000	36.00	22.7059	1'000	0.0222
	Adduttanza esterna	0		25.0000				0.0400



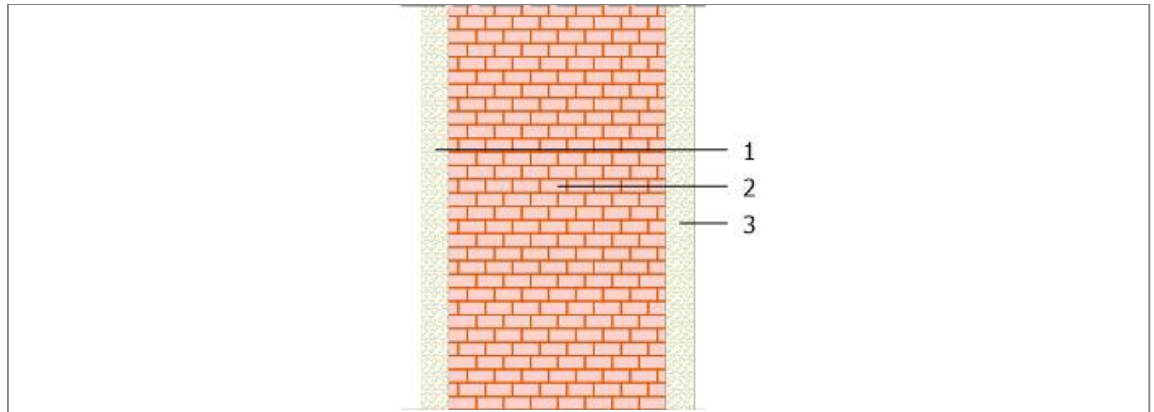
Spessore totale = 420 [mm]
Trasmittanza termica globale = 1.3361 [W/m²K]
Resistenza termica globale = 0.7484 [m²K/W]
Massa superficiale globale = 684.00 [kg/m²]
Capacità termica areica = 63.133[kJ/m²K]
Trasmittanza termica periodica = 0.14[W/m²K]
Fattore di attenuazione = 0.10[-]
Sfasamento = 14.59[h]

Figura 25 Stratigrafia muratura portante perimetrale

- sottofinestra da 200 mm:

STRATIGRAFIA

Strato	Descrizione	Spessore [mm]	Conduttività [W/mK]	Conduttanza [W/m²K]	Massa superficiale [kg/m²]	Resistenza al vapore [-]	Calore specifico [J/kgK]	Resistenza [m²K/W]
	Adduttanza interna	0		7.7000				0.1299
1	Intonaco interno	20	0.7000	35.0000	28.00	10.7222	1 '000	0.0286
2	Mattoni laterizio pieni - densità 1800	160	0.7200	4.5000	288.00	9.3826	1 '000	0.2222
3	Intonaco esterno - cp 1000	20	0.9000	45.0000	36.00	22.7059	1 '000	0.0222
	Adduttanza esterna	0		25.0000				0.0400



Spessore totale = 200 [mm]

Trasmittanza termica globale = 2.2579 [W/m²K]

Resistenza termica globale = 0.4429 [m²K/W]

Massa superficiale globale = 288.00 [kg/m²]

Capacità termica areica = 70.832[kJ/m²K]

Trasmittanza termica periodica = 1.12[W/m²K]

Fattore di attenuazione = 0.49[-]

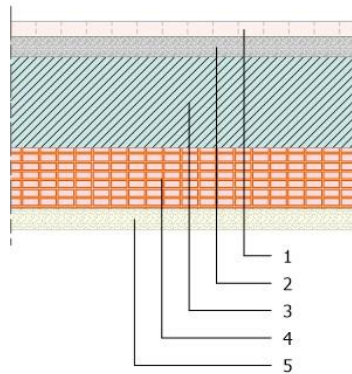
Sfasamento = 6.58[h]

Figura 26 Stratigrafia sottofinestra

- solaio di sottotetto e verso locale seminterrato in **profilati di acciaio e tavellone** da 205 mm avente la seguente stratigrafia:

STRATIGRAFIA

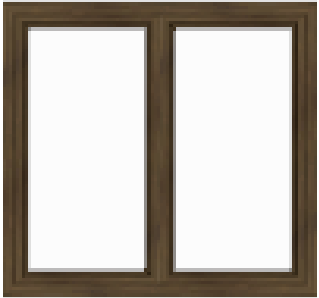
Strato	Descrizione	Spessore [mm]	Conduttività [W/mK]	Conduttanza [W/m²K]	Massa superficiale [kg/m²]	Resistenza al vapore [-]	Calore specifico [J/kgK]	Resistenza [m²K/W]
	Adduttanza interna	0		5.9000				0.1695
1	Pavimentazione interna	15	1.4700	98.0000	25.50	205.3191	1'000	0.0102
2	Malta di cemento	20	1.4000	70.0000	40.00	22.7059	1'000	0.0143
3	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	90	0.1500	1.6667	36.00	5.1467	1'000	0.6000
4	Tavellone in laterizio	60		4.0000	37.00	9.3826	1'000	0.2500
5	Intonaco esterno - cp 840	20	0.9000	45.0000	36.00	22.7059	840	0.0222
	Adduttanza esterna	0		5.9000				0.1695



Spessore totale = 205 [mm]
 Trasmittanza termica globale = 0.8093 [W/m²K]
 Resistenza termica globale = 1.2357 [m²K/W]
 Massa superficiale globale = 138.50 [kg/m²]
 Capacità termica areica = 55.942 [kJ/m²K]
 Trasmittanza termica periodica = 0.41 [W/m²K]
 Fattore di attenuazione = 0.51 [-]
 Sfasamento = 7.48 [h]

Figura 27 Stratigrafia solaio sottotetto e piano rialzato

- gli infissi sono in **legno semplice** e **vetro singolo** con trasmittanza termica media U_w 4.17 W/m²K e tutte, tranne una con **persiana esterna in legno a lamelle fisse**, presentano come schermatura esterna **tapparelle in pvc non isolato** con cassonetto anch'esso semplice.

INFISSO INTERNO			
Titolo	FN[R] 2AB[1V] MM		
Descrizione	Finestra [Rettangolare] 2 Ante Battenti [1 Vetro] con Montante Mobile		
	VETRO Tipo vetro = Singolo Area - $A_g = 1.30 \text{ m}^2$ Perimetro - $L_g = 6.88 \text{ m}$ Trasmittanza - $U_g = 5.40 \text{ W/m}^2\text{K}$ Fattore solare normale - $f_g = 0.85$		TELAIO Tipo telaio = Legno o metallo-legno Area - $A_r = 0.80 \text{ m}^2$ Trasmittanza - $U_r = 2.20 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Area totale infisso - $A_w = 2.10 \text{ m}^2$		

Cassonetto	CS1	
Parapetto	PP1	
Resistenza superficiale interna	0.13	m ² K/W
Resistenza superficiale esterna	0.04	m ² K/W
Resistenza intercapedine	-	m ² K/W
Coefficiente riduzione area telaio	0.38	
Trasmittanza totale infisso - U_w	4.1797	W/m²K
Resistenza totale infisso - R_w	0.24	m²K/W

Figura 28 Scheda tecnica infisso tipo ante intervento

Impianto termico e sanitario

L'immobile è servito per quanto riguarda il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria da un **generatore a condensazione** installato nel 2019 avente **potenza termica nominale pari a 25.6 kW** e **rendimento termico utile del 92%**. La distribuzione non ha subito modifiche rispetto al sistema originario; dunque, ad oggi appare **vetusto e poco coibentato**. Il sistema di emissione è costituito principalmente da **radiatori in ghisa** mentre troviamo un **radiatore in alluminio** di recente installazione in bagno. Il sistema di regolazione è di zona con un **termostato ambiente del tipo ON-OFF**.

Non è presente alcun sistema sia per il raffrescamento di ambienti sia per la ventilazione che è esclusivamente naturale.

Nonostante non sia vincolante per l'accesso alla detrazione a seguito delle semplificazioni elencate in abito legislativo, la committenza ha richiesto che venisse comunque verificata prima dell'inizio lavori la presenza di eventuali abusi edilizi o difformità urbanistiche. L'ispezione documentale presso gli archivi comunali ha permesso di accertare la sussistenza dei seguenti titoli:

- **autorizzazione a nuove costruzioni** – prima edificazione
- **richiesta ampliamento** – realizzazione nuovo bagno e modifica scale
- **condono edilizio** - sanatoria accessori esterni e veranda.

Inoltre, **l'aggiornamento catastale del 13 giugno 1986**, rappresenta l'assetto dei beni coerentemente allo stato di fatto. La proprietà è distinta a catasto fabbricati al **foglio 15 mappale 763 subalterni 2 e 3**.

La verifica è stata condotta dall'analisi delle pratiche edilizie ed il confronto con i rilievi architettonici effettuati. Lo studio ha permesso di rilevare la **presenza di difformità**. Pertanto, si è provveduto a redigere una **sanatoria** delle stesse, prevedendo una corretta rappresentazione dell'assetto dei beni.

Le discrepanze emerse riguardavano:

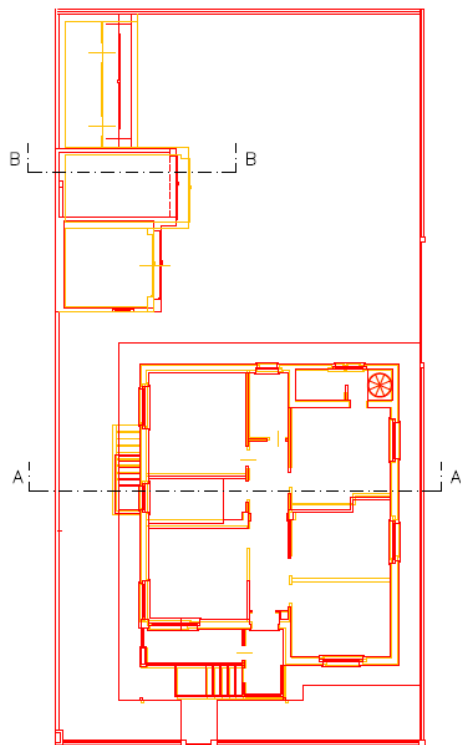
1. **variazioni** locali accessori esterni
2. **modifiche** sui prospetti e sulla copertura
3. **distribuzione interna**
4. **opere esterne minori** quali pavimentazioni e recinzioni/parapetti

L'origine cronologica degli abusi al corpo di fabbrica principale è riconducibile all'epoca di edificazione per difformità parziali ai titoli di legittimazione o per imperfezione grafica degli elaborati progettuali.

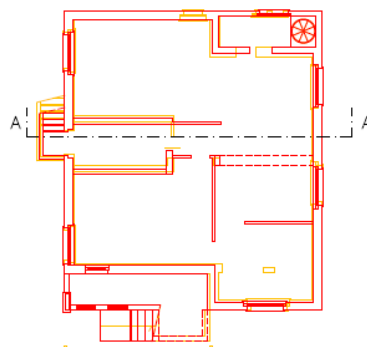
Le opere oggetto di condono edilizio risultano dichiarate nel periodo ante 1965 e sanate attraverso superfici non conformi allo stato di fatto dovuti a un mero errore di calcolo e/o di misurazioni. Si rileva inoltre la **rimozione della chiusura trasparente della veranda**.

Per quanto riguarda l'impatto di tali abusi sul paesaggio, le trasformazioni apportate ripropongono un sistema costruttivo-edilizio che conferma l'immagine del contesto originario, utilizzando pari codici architettonici e tipologia caratteristiche dell'ambito circostante. L'incidenza visiva risulta **limitata**, in quanto tutti gli elementi di modifica sono stati realizzati con materiali tipici della zona ed integrati fra loro. In sintesi, le alterazioni paesaggistiche risultano inferiori alla soglia di rilevanza, pertanto non si pongono in contrasto con l'esigenza di tutela del vincolo.

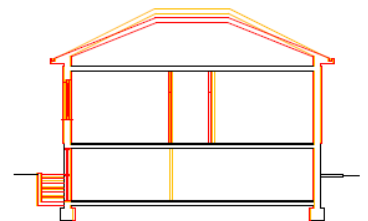
PIANTA PIANO TERRA
scala 1:100



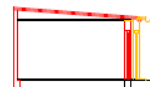
PIANTA PIANO SEMINTERRATO
scala 1:100



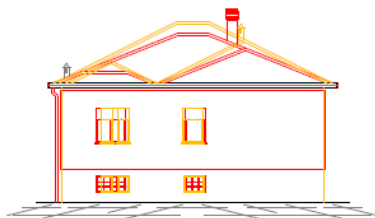
SEZIONE A-A
scala 1:100



SEZIONE B-B
scala 1:100



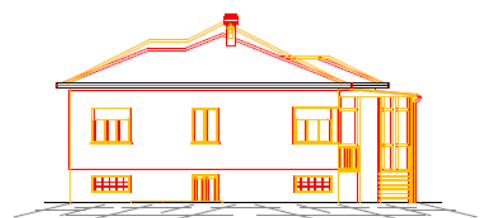
PROSPETTO NORD
scala 1:100



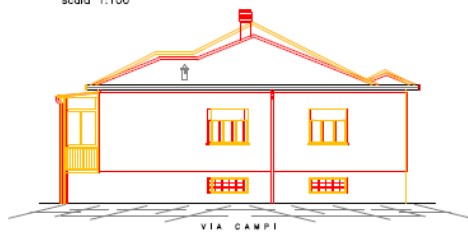
PROSPETTO SUD
scala 1:100



PROSPETTO OVEST
scala 1:100



PROSPETTO EST
scala 1:100



PROSPETTO ACCESSORI ESTERNI
scala 1:100

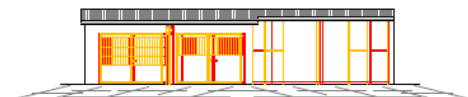


Figura 29 Planimetrie di confronto sovrapponendo stato di fatto e stato assentito

Studio di fattibilità: ante intervento

Una volta inquadrato l'immobile oggetto di studio e fatte le opportune verifiche richieste dalla committenza e comunque doverose al fine di consegnare un progetto esente da ogni tipo di problematica burocratica futura, si può procedere con lo studio di fattibilità nel quale, dopo aver realizzato il fabbricato così come descritto, si ipotizzeranno gli interventi migliorativi, partendo dalle criticità emerse per proseguire con le verifiche di soddisfacimento dei requisiti per far sì che l'opera possa essere idonea all'incentivo fiscale.

Affinché i risultati ottenuti possano essere ritenuti attendibili e utili ai fini preposti, oltre a una **corretta modellazione** e a una conoscenza normativa opportuna del tecnico incaricato, è obbligatorio sfruttare un software che sia riconosciuto dal **Comitato Termotecnico Italiano C.T.I.** In questo caso si è usufruito dei prodotti offerti dalla casa **ACCA Software**.

Il primo step prevede l'**inserimento dei dati generali** relativamente al comune di ubicazione e all'edificio per quanto concerne la tipologia di intervento, il numero di unità immobiliari e la data di inizio lavori (se precedente o posteriore al 6 ottobre 2020).

Si passa quindi alla fase di inserimento dati vero e proprio, specifico dell'edificio oggetto di intervento. Nella sezione 'EOdC e ZONE' è possibile inserire l'edificio oggetto di certificazione e suddividere lo stesso in zone termiche¹⁵ indicando la destinazione d'uso¹⁶ (nel caso in esame sarà la E1.1).

E1 ₁	abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo
E1 ₁	collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi
E1 ₂	abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria
E1 ₃	alberghi, pensioni con servizi per ogni camera con bagno
E1 ₃	alberghi, pensioni con doccia ogni camera
E1 ₃	alberghi, pensioni con servizi comuni
E2	uffici e assimilabili
E3	ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili con servizi comuni
E3	ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili con servizi in ogni stanza
E4 ₁	cinema e teatri, sale di riunione per congressi e assimilabili
E4 ₂	mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto e assimilabili
E4 ₃	bar, ristoranti, sale da ballo e assimilabili
E5	attività commerciali e assimilabili
E6 ₁	piscine, saune e assimilabili
E6 ₂	palestre e assimilabili
E6 ₃	servizi di supporto alle attività sportive
E7	attività scolastiche
E8	attività industriali, artigianali e assimilabili

Figura 30 Destinazioni d'uso

¹⁵ Porzione di edificio costituita da uno o più ambienti termicamente omogenei tra loro, serviti da un unico servizio di riscaldamento e/o climatizzazione, con variazioni poco discrepanti di carico termico sensibile e latente o misto.

¹⁶ Insieme delle modalità e delle finalità di utilizzo di un suolo, di un'opera, di un manufatto, di una costruzione dell'essere umano, di un bene naturalistico o di un veicolo.

Per quanto riguarda la zona termica, invece, questa è stata considerata **unica** per tutto lo spazio abitato. In particolare, è stato inserito il servizio di riscaldamento con radiatori prevalentemente su parete esterna non isolata (eccetto il terminale a servizio del disimpegno) e regolazione di zona del tipo ON-OFF, il servizio di acqua calda sanitaria con temperatura di erogazione di 40° e fabbisogno giornaliero calcolato sulla superficie utile e il servizio di ventilazione naturale con un ricambio pari a mezzo volume ora come indicato al punto **D.5.1 della UNI EN 12831/2006** per gli edifici residenziali privi di impianti meccanici dedicati. Al fine di ottenere anche i carichi termici specifici ambiente per ambiente, sono state definite le seguenti sottozone:

Sottozona	Superficie utile [m ²]	Potenza terminale [kW]
Cucina	25.15	4.494
Soggiorno	15.47	4.066
Ripostiglio	7.80	0.987
Bagno	4.54	1.010
WC	5.53	0.987
Camera 1	17	2.461
Camera 2	16.42	2.397
TOTALE	91.91	16.402

Tabella 8 Superficie utile e potenza dei terminali per ogni sottozona

Definito quanto sopra, si può procedere con la **definizione della centrale termica**. Nel caso in questione questa è costituita unicamente dalla caldaia a condensazione che serve sia per il riscaldamento che per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Introdotta le caratteristiche tecniche del generatore, si passa al sottosistema di distribuzione rifacendosi a quanto suggerisce la normativa:

- per il riscaldamento si è considerato un impianto autonomo in edificio a singolo piano con tubazione incassata a pavimento con distribuzione a collettori, temperatura di mandata pari a 80° e di ritorno a 60°, isolamento della tubazione scadente e/o inesistente, ottenendo un rendimento complessivo del sistema pari a 0.92
- per l'acqua calda sanitaria è bastato indicare che il sistema è antecedente all'entrata in vigore della legge 373/79¹⁷ e il passaggio delle tubazioni non avviene completamente in ambiente riscaldato con un rendimento del 89.29%

Termina così l'input delle informazioni 'esterne' al fabbricato e si procede con la renderizzazione del modello energetico. Grazie al software, è possibile realizzare un modello **BIM** che permette, oltre a una rappresentazione 3D dell'immobile oggetto di studio, di attribuire ad ogni componente le caratteristiche termofisiche, così da avere riassunto in un unico progetto, tutto ciò che può servire alle parti coinvolte: dal progettista, all'operario e anche a chi dovrà intervenire in futuro per un ulteriore efficientamento, senza dover raccogliere documentazione sparsa qua e là, fra i diversi enti.

Si precisa che si è provveduto a riportare esclusivamente la modellazione dell'ambiente riscaldato, andando a indicare che il solaio di calpestio è confinante con un **locale seminterrato avente infissi esterni** mentre quello di copertura con **un tetto non isolato generico**. Di seguito si riportano i fattori di correzione b_{tr} adoperati come da normativa:

¹⁷ Legge redatta per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici e prevedeva i primi vincoli in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici e prescrizioni per l'isolamento termico degli edifici.

Solaio	b_{tr}
Calpestio	0.80
Copertura	1.00

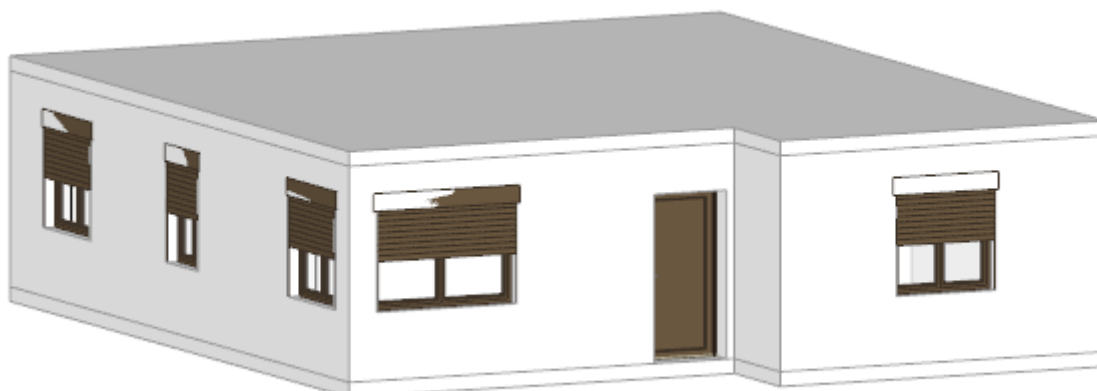
Tabella 9 Fattori correttivi considerati per i solai

Per i cassonetti degli avvolgibili, ove presenti, anche in questo caso si è fatto riferimento alla normativa **UNI/TS 11300-1 dell'ottobre 2014** in cui al **paragrafo 11.1.1** si suggeriscono i seguenti valori di trasmittanza termica:

- 6 W/m²K per i cassonetti non isolati (caso in esame)
- 1 W/m²K per i cassonetti coibentati: almeno 20 mm di materiale isolante su tutti e sei i lati fondo compreso.

Nello stato di fatto, per il contributo dei ponti termici, poiché non necessaria una risoluzione agli elementi finiti, si è sfruttato il **wizard** di riconoscimento e calcolo automatico.

Di seguito le grafiche al termine della compilazione.



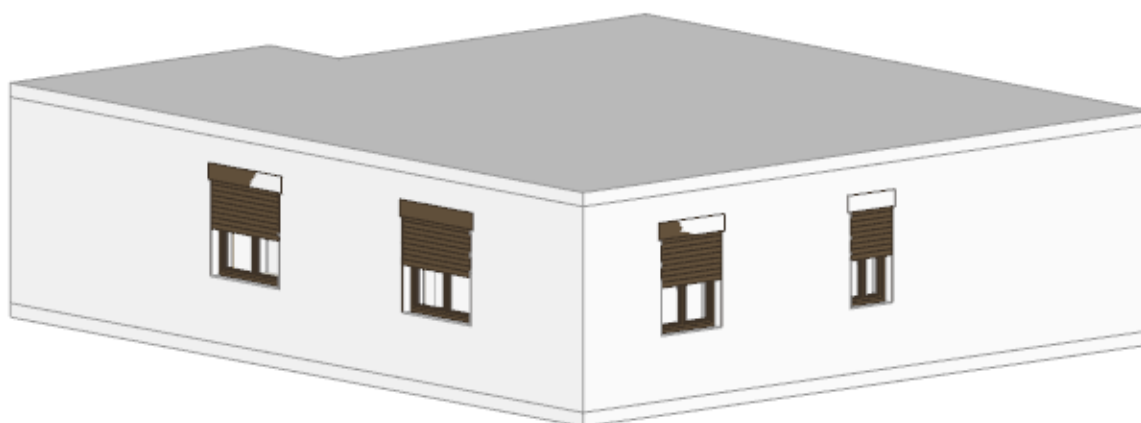


Figura 31 Edificio modellato

PIANO TERRA

Scala 1:100

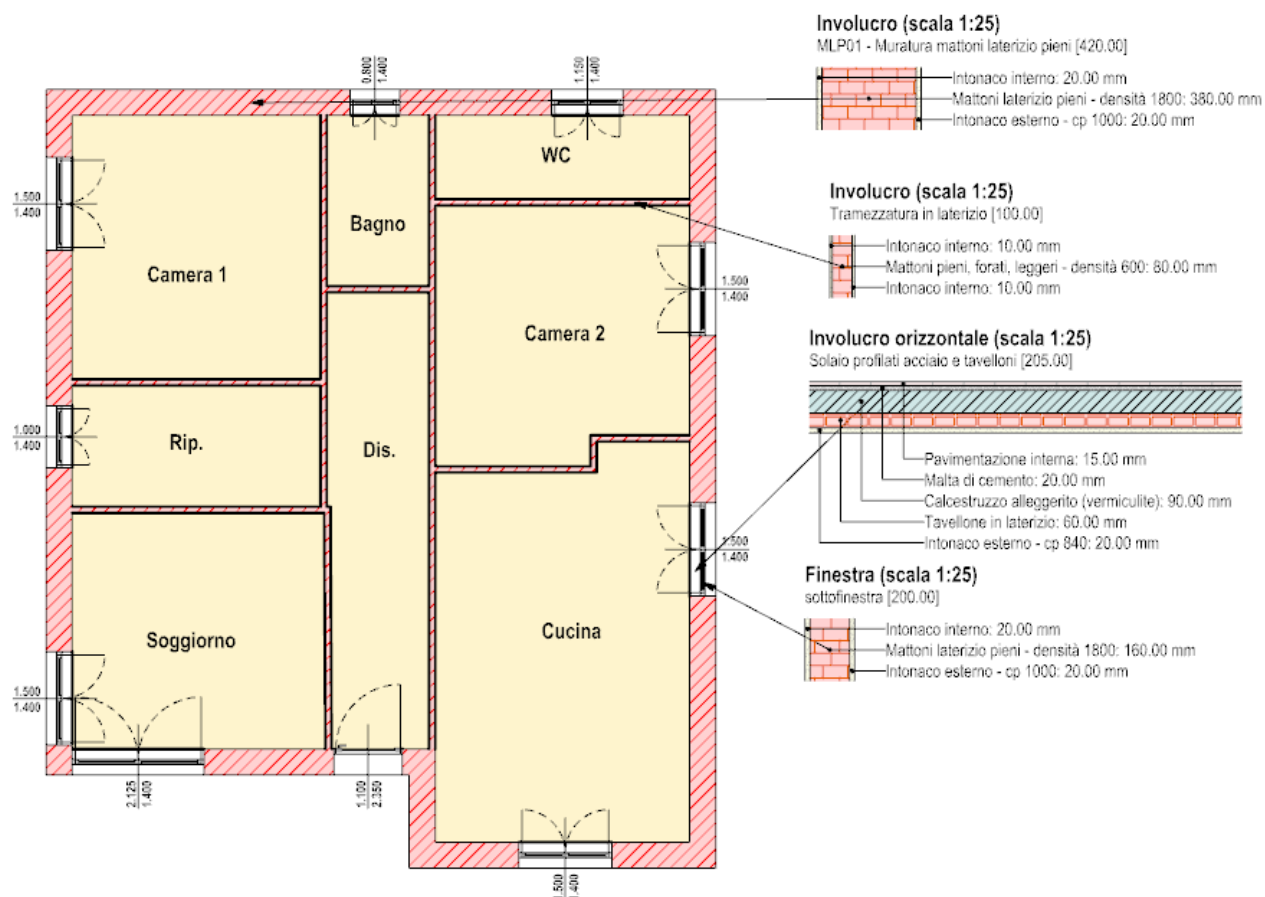
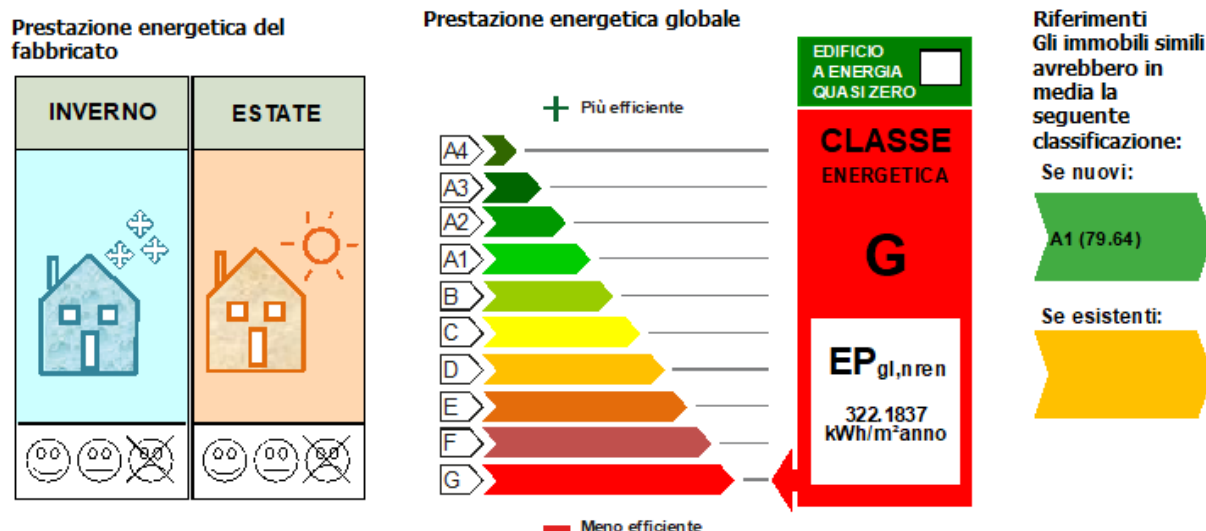


Figura 32 Planimetria con dettaglio delle strutture

Realizzato così lo stato rilevato, si può procedere con il calcolo dei risultati e la verifica delle prestazioni.

L'edificio ha ottenuto la più bassa classe energetica possibile, ovvero la classe G, come d'altronde era plausibile attendersi.

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO



SERVIZI ENERGETICI PRESENTI

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

Figura 33 Risultati stato di fatto

DATI DI DETTAGLIO DEL FABBRICATO

Volume lordo	431.47 [m³]
Superficie lorda disperdente	411.82 [m²]
Rapporto di forma S/V	0.95 [1/m]
Volume netto	316.32 [m³]
Superficie netta calpestabile	105.44 [m²]
Capacità termica totale	22'766.86 [kJ/K]

Tabella 10 Dati del fabbricato ante intervento

Entrando nel dettaglio, già dall'**etichetta energetica** emerge come, oltre a un **indice di prestazione energetica globale non rinnovabile EP_{gl,nren}** particolarmente elevato, anche le prestazioni energetiche del fabbricato sia invernali che estive risultano basse. Questi due parametri dipendono da specifici coefficienti al netto del rendimento degli impianti presenti:

- **Indice di prestazione termica utile per il riscaldamento dell'edificio di riferimento EP_{H,nd,limite}** (2019/21) nel caso invernale, calcolato secondo quanto indicato dall'allegato 1, capitolo 3 del decreto requisiti minimi del 26 giugno 2015 ipotizzando che l'immobile sia realizzato con elementi edilizi corrispondenti ai valori minimi di legge in vigore dal 1 gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1 gennaio 2021 per il resto.

Prestazione invernale dell'involucro	Qualità	Indicatore
$EP_{H,nd} \leq 1 * EP_{H,nd,limite} (2019/21)$	alta	😊
$1 * EP_{H,nd,limite} (2019/21) < EP_{H,nd} \leq 1,7 * EP_{H,nd,limite} (2019/21)$	media	😐
$EP_{H,nd} > 1,7 * EP_{H,nd,limite} (2019/21)$	bassa	😞

Figura 34 Parametri indice di prestazione invernale

- trasmittanza termica periodica¹⁸ e area solare equivalente estiva¹⁹ per unità di superficie utile nel caso estivo

Prestazione estiva dell'involucro		Qualità	Indicatore
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} \leq 0,03$	$Y_{IE} \leq 0,14$	alta	😊
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} \leq 0,03$	$Y_{IE} > 0,14$	media	😐
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} > 0,03$	$Y_{IE} \leq 0,14$		
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} > 0,03$	$Y_{IE} > 0,14$	bassa	😞

Figura 35 Parametri indice di prestazione estivo

Parametro	Valore
Edificio $EP_{H,nd}$ [kWh/m²anno]	203.64
Riferimento $EP_{H,nd,limite}$ (2019/21) [kWh/m²anno]	37.64
$A_{sol,est}/A_{sup,utile}$ [-]	0.063
Y_{IE}	0.24

Tabella 11 Valori ottenuti ante intervento

Per quanto riguarda l'analisi dei componenti al fine di identificare le maggiori criticità che hanno determinato tale esito, si procede con la valutazione delle dispersioni. Dal grafico sottostante si evince come le maggiori dispersioni siano attribuibili alle perdite per trasmissione mentre la restante 'fetta' della torta è suddivisa fra ventilazione e apporti quali quelli solari e interni che hanno un'incisione relativa ricordando la formulazione del fabbisogno di energetico.

¹⁸ Parametro che esprime la capacità di un componente edilizio di attenuare e sfasare nel tempo il flusso termico proveniente dall'esterno che lo attraversa nell'arco delle ventiquattro ore di una giornata

¹⁹ Parametro che permette di tener conto delle caratteristiche e delle dimensioni di vetro e delle schermature, dell'ombreggiatura da corpi limitrofi, ostruzioni esterne e oggetti orizzontali e verticali, latitudine a cui è inserito l'edificio in esame e del suo orientamento

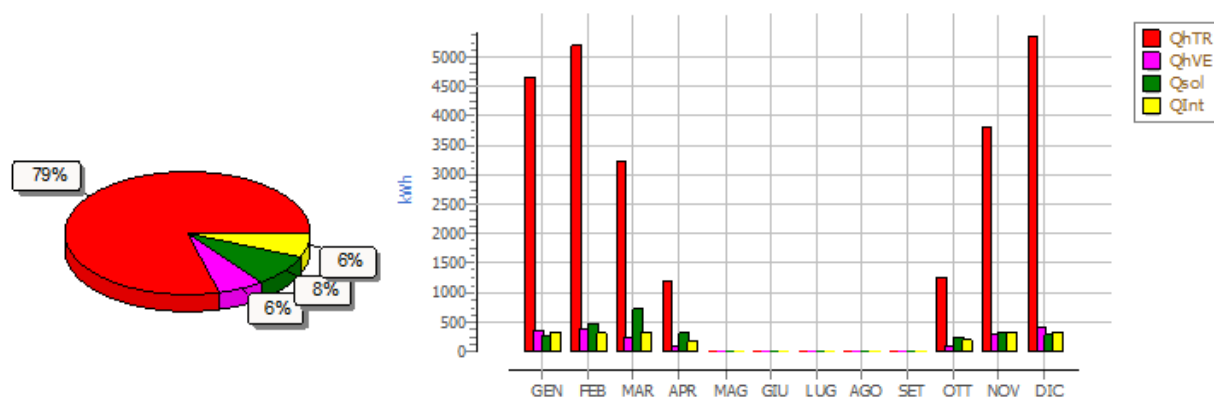


Figura 36 Fabbisogni di energia per il riscaldamento

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \times (Q_{int} + Q_{sol,w})$$

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \times Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol,w}) - \eta_{C,ls} \times (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

dove:

$Q_{H,nd}$ è lo scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento, espresso in MJ;

$Q_{C,nd}$ è lo scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento, espresso in MJ;

$Q_{H,tr}$ è lo scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento, espresso in MJ;

$Q_{C,tr}$ è lo scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento, espresso in MJ;

$Q_{H,ve}$ è lo scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento, espresso in MJ;

$Q_{C,ve}$ è lo scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento, espresso in MJ;

Q_{gn} sono gli apporti totali di energia termica, espressi in MJ;

Q_{int} sono gli apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne, espressi in MJ;

$Q_{sol,w}$ sono gli apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti vetrati, espressi in MJ;

$\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica;

$\eta_{C,ls}$ è il fattore di utilizzazione delle dispersioni di energia termica.

Analizzando più nel dettaglio le perdite per trasmissione, per quanto riguarda l'involucro edilizio, pesano significativamente le dispersioni attraverso l'involucro opaco piuttosto che quello trasparente e attribuibili ai ponti termici. Questo per il tecnico appare come un grosso suggerimento circa quali componenti attenzionare e migliorare nel progetto di post-intervento.

Mentre entrando nello specifico degli apporti solari, questi derivano prevalentemente dalle componenti trasparenti in un rapporto di circa 1 a 5.

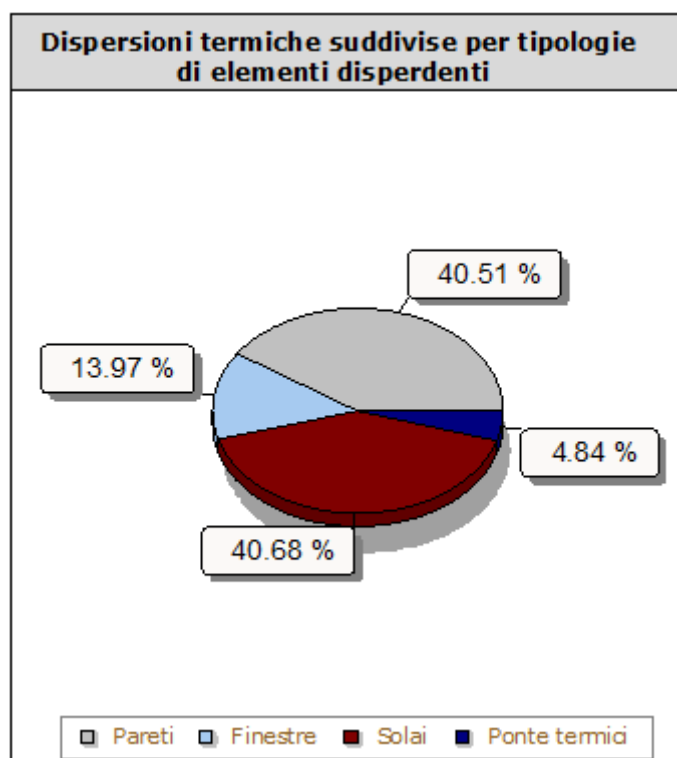


Figura 37 Dispersioni termiche per tipologia di elemento disperdente

Apporti solari	kWh
Componenti opachi	576.08
Componenti trasparenti	2604.88

Tabella 12 Valori apporti solari suddivisi per componente disperdente

In definitiva il carico termico di progetto invernale è pari a circa 12 kW di cui 11 kW per trasmissione e 1 kW per ventilazione ricordando che, per porsi nel caso più gravoso, si escludono gli apporti gratuiti.

	kW
Carico termico di progetto Q_p	12263
Carico termico massimo per trasmissione Q_{hTRp}	10938
Carico termico massimo per ventilazione Q_{vp}	1325

Tabella 13 Carico termico di progetto in dettaglio

Studio di fattibilità: post-intervento e interventi migliorativi

Terminato lo studio dello stato di fatto, bisogna analizzare i dati ottenuti e trovare una quadra che permetta di individuare gli interventi oltre che opportuni anche utili per ottenere il salto di due classi energetiche e rispettare tutti i requisiti prestazionali per accedere all'incentivo fiscale, coinvolgendo anche le ditte coinvolte e la committenza.

Nel caso in esame si è provveduto a eseguire i seguenti interventi migliorativi:

1. **isolamento termico delle pareti verticali;**
2. **sostituzione infissi** e relativi oscuranti e cassonetti ove presenti;
3. **sostituzione attuale generatore di calore** con contestuale modifica del sistema di emissione con **realizzazione di pavimento radiante;**
4. installazione di **pannelli fotovoltaici con batteria di accumulo dell'energia;**
5. installazione di **wallbox** nel cortile interno per la ricarica di veicoli elettrici.

Con queste opere l'intervento rientra nella **ristrutturazione importante di II livello**: involucro e impianto. Infatti, sempre nel **decreto requisiti minimi del 26 giugno 2015**, sono stati indicate diverse tipologie di intervento a cui corrispondono anche differenti requisiti tecnici da rispettare. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dell'**allegato 1, capitolo 6**:

Tipologia di intervento	Descrizione livelli di intervento	Prescrizioni / Verifiche di legge
Edifici nuovi	Edifici di nuova costruzione o demoliti e ricostruiti	Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 3.
Ampliamenti di edifici esistenti	Ampliamenti volumetrici di un edificio esistente se collegati a impianto tecnico esistente. Recupero volumi esistenti precedentemente non climatizzati o cambio di destinazione d'uso (es. recupero sottotetti, depositi, magazzini) se collegati a impianto tecnico esistente.	Rispetto, per la parte ampliata e per il volume recuperato: • di tutti i requisiti pertinenti di cui al capitolo 2; • delle prescrizioni di cui al paragrafo 3.2, capoversi 4 e 7; • dei requisiti relativi al coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (H^*_{T}), di cui al paragrafo 3.3, lettera b), punto i. • dei requisiti relativi al parametro $Asol,est/A_{sup,utile}$, di cui al paragrafo 3.3, lettera b), punto ii..
	Ampliamenti volumetrici di un edificio esistente se dotati di nuovi impianti tecnici. Recupero volumi esistenti precedentemente non climatizzati o cambio di destinazione d'uso (es. recupero sottotetti, depositi, magazzini) se dotati di nuovi impianti tecnici.	Rispetto, per la parte ampliata o il volume recuperato, di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 3 (come se si trattasse di un edificio nuovo) .
Ristrutturazione importante di primo livello	Intervento che interessa gli elementi e i componenti integrati costituenti l'involucro edilizio delimitanti un volume a temperatura controllata dall'ambiente esterno e da ambienti non climatizzati, con un incidenza superiore al 50 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e comporta il rifacimento dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio.	Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 3, limitatamente ai servizi coinvolti (impianto/i).

Ristrutturazione importante di secondo livello	Intervento che interessa gli elementi e i componenti integrati costituenti l'involucro edilizio delimitanti un volume a temperatura controllata dall'ambiente esterno e da ambienti non climatizzati, con un incidenza superiore al 25 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e può interessare l'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva;	Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2, 4 e 5 e in particolare: • dei requisiti di trasmittanza termica limite di cui all'Appendice B delle porzioni e delle quote di elementi e componenti l'involucro dell'edificio interessati dai lavori di riqualificazione energetica; • dei requisiti minimi per gli impianti oggetto di intervento, se applicabile; • del requisito relativo al coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (H_T), di cui all'Appendice A, determinato per l'intera parete, comprensiva di tutti i componenti, su cui si è intervenuti. A titolo esemplificativo e non esaustivo: - se l'intervento riguarda una porzione della copertura dell'edificio, la verifica del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (H_T) si effettua per l'intera porzione di copertura; - se l'intervento riguarda una porzione della parete verticale dell'edificio esposta a nord, la verifica del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (H_T) si effettua per l'intera porzione di parete verticale esposta a nord.
Riqualificazione energetica (ovvero interventi non riconducibili ai casi di cui al paragrafo 1.4.1)	Intervento che interessa: • coperture piane o a falde, opache e trasparenti (isolamento / impermeabilizzazione), compresa la sostituzione di infissi in esse integrate; • pareti verticali esterne, opache e trasparenti, compresa la sostituzione di infissi in esse integrate.	Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 5 e in particolare dei valori di trasmittanza termica limite di cui all'Appendice B per le parti dell'involucro dell'edificio interessate all'intervento
<i>Nota: Indicazioni esemplificative e non esaustive delle casistiche possibili</i>	Ristrutturazione dell'impianto/i di riscaldamento, di raffrescamento e produzione dell'acqua calda sanitaria o installazione di nuovo/i impianto/i per i predetti servizi	Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 5 e in particolare dell'efficienza media stagionale dell'impianto o degli impianti ristrutturati o installati di cui ai punti 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3.
	Sostituzione del solo generatore di calore e installazione di generatori di calore e/o altri impianti tecnici per il soddisfacimento dei servizi dell'edificio	Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 5 e in particolare che dell'efficienza di generazione di cui ai punti 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3.

Tabella 14 Dettaglio tipologie di intervento e requisiti minimi

Nel trarre le conclusioni dai risultati nello stato di fatto, era già stata anticipata la possibilità di intervenire sui componenti di involucro, opaco e trasparente.

Il primo intervento proposto, infatti riguarda l'isolamento delle pareti verticali in laterizio pieno da 420 mm. Per rendere ammissibile l'intervento, si deve ipotizzare una nuova stratigrafia con isolante che permetta di ottenere la trasmittanza limite normativa al netto dei ponti termici di 0.23 W/m²K per la zona climatica E.

Tipologia di intervento	Soglia
iii. Strutture opache verticali: isolamento PARETI PERIMETRALI (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)	Zona climatica A ≤ 0,38 W/m ² *K
	Zona climatica B ≤ 0,38 W/m ² *K
	Zona climatica C ≤ 0,30 W/m ² *K
	Zona climatica D ≤ 0,26 W/m ² *K
	Zona climatica E ≤ 0,23 W/m ² *K
	Zona climatica F ≤ 0,22 W/m ² *K

Tabella 15 Trasmittanza limite pareti opache verticali per zona climatica

Per ottenere tale risultato è stato necessario applicare all'esterno della stratigrafia esistente un **pannello da 140 mm di polistirene espanso additivato con grafite avente conducibilità termica pari a 0.035 W/mK**. Questa applicazione permette di ottenere una nuova trasmittanza pari a 0.21 W/m²K con una riduzione di circa l'85% del valore iniziale. Stesso discorso per il sottofinestra.

STRATIGRAFIA

Strato	Descrizione	Spessore [mm]	Conduttività [W/mK]	Conduttanza [W/m²K]	Massa superficiale [kg/m²]	Resistenza al vapore [-]	Calore specifico [J/kgK]	Resistenza [m²K/W]
	Adduttanza interna	0		7.7000				0.1299
1	Intonaco interno	20	0.7000	35.0000	28.00	10.7222	1'000	0.0286
2	Mattoni laterizio pieni - densità 1800	380	0.7200	1.8947	684.00	9.3826	1'000	0.5278
3	T 150 CAM	140	0.0350	0.2500	3.50	50.0000	1'260	4.0000
4	Intonaco esterno - cp 1000	20	0.9000	45.0000	36.00	22.7059	1'000	0.0222
	Adduttanza esterna	0		25.0000				0.0400

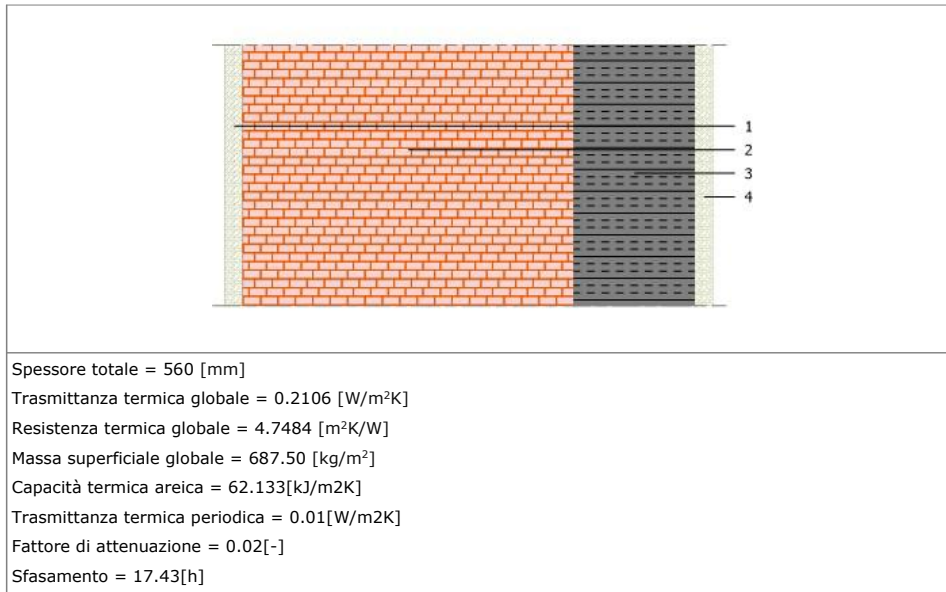


Figura 38 Stratigrafia muratura portante post

STRATIGRAFIA

Strato	Descrizione	Spessore [mm]	Conduttività [W/mK]	Conduttanza [W/m²K]	Massa superficiale [kg/m²]	Resistenza al vapore [-]	Calore specifico [J/kgK]	Resistenza [m²K/W]
	Adduttanza interna	0		7.7000				0.1299
1	Intonaco interno	20	0.7000	35.0000	28.00	10.7222	1'000	0.0286
2	Mattoni laterizio pieni - densità 1800	160	0.7200	4.5000	288.00	9.3826	1'000	0.2222
3	T 150 CAM	140	0.0350	0.2500	3.50	50.0000	1'260	4.0000
4	Intonaco esterno - cp 1000	20	0.9000	45.0000	36.00	22.7059	1'000	0.0222
	Adduttanza esterna	0		25.0000				0.0400

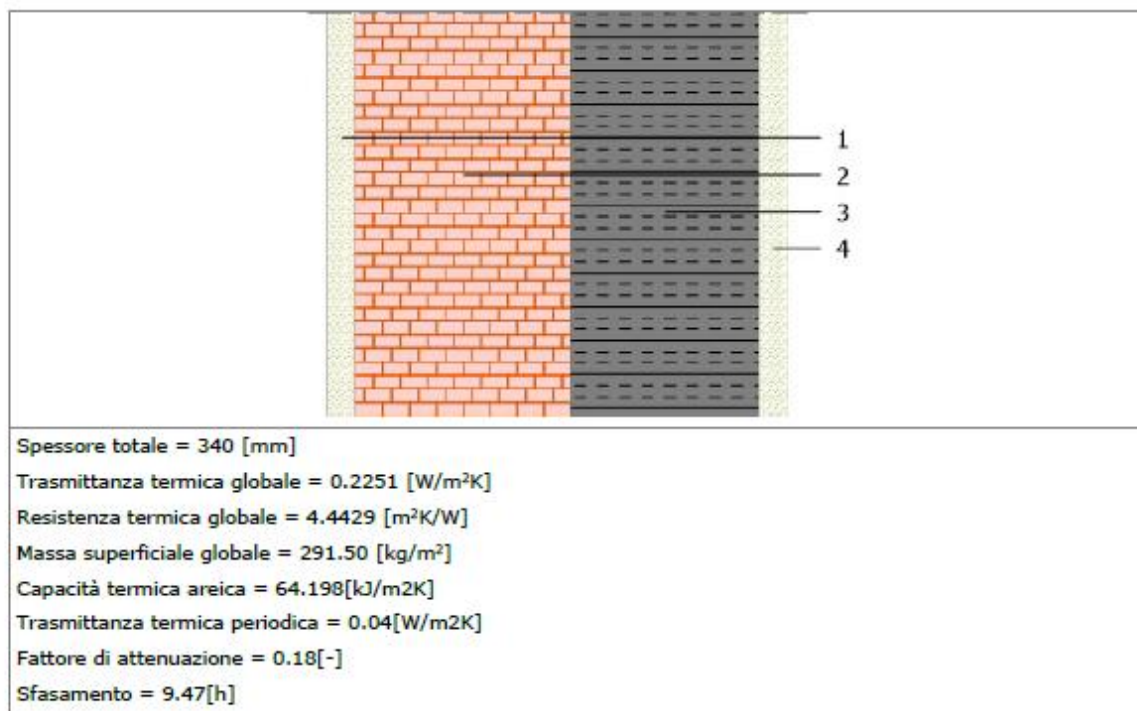


Figura 39 Stratigrafia sottofinestra post

Di seguito la scheda tecnica del materiale isolante dalla quale si evince anche la corrispondenza ai criteri CAM, ulteriore sotto requisito.

Lastra isolante per facciate

SCHEMA TECNICA

T150 CAM CERTIFICATO SECONDO I CAM	100 ETICS	Norma UNI EN
λ_D CONDUCIBILITA' TERMICA (W/mK)	0,035	12667
S spessore	R_D RESISTENZA TERMICA (m ² K/W)	
40	1,14	12667
50	1,43	12667
60	1,71	12667
80	2,29	12667
100	2,86	12667
120	3,43	12667
140	4,00	12667
160	4,57	12667
180	5,14	12667
200	5,71	12667
CS10 RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE AL 10% DI DEFORMAZIONE (kPa)	≥100	1607
TRi RESISTENZA ALLA TRAZIONE PERPENDICOLARE ALLE FACCE (kPa)	≥150	1607
DS(N) STABILITA' DIMENSIONALE IN CONDIZIONI NORMALIZZATE DI LABORATORIO	± 0,2%	12087
μ RESISTENZA ALLA DIFFUSIONE DEL VAPORE ACQUEO	30/70	12066
WL(T)2 ASSORBIMENTO D'ACQUA A LUNGO PERIODO	≤3%	12087
Capacità termica specifica	1260 J/(kgK)	12524
WLp Assorbimento d'acqua a seguito di immersione parziale	< 0,5%	12087
Reazione al fuoco	E	13501-1
MATERIALE RICICLATO	10%	D.M. 11/2017

TOLLERANZE

UNI EN 822—			UNI EN 824	UNI EN 825
L ₂	W ₂	T ₂	S ₂	P ₅
± 2			± 2 /1.000	± 5 mm
	± 2			
		± 1		

DIMENSIONI

1000X500XSP

IMBALLI

SPESSORE	MQ/ COLLO	MC/ COLLO	MQ/ BANCALE	MC/ BANCALE
mm	mq	mc	mq	mc
40	7,5	0,3	75	3
50	6	0,3	60	3
60	5	0,3	50	3
80	3,5	0,28	35	2.8
100	3	0,3	30	3
120	2,5	0,3	25	3
140	2	0,28	20	2.8
160	1,5	0,28	15	2.8
180	1,5	0,27	15	2.7
200	1,5	0,3	15	3



UNI UNIPLAST 10667 UNI EN 13163:2017 UNI EN 13499:2005

Figura 40 Scheda tecnica materiale isolante

Per quanto riguarda gli infissi, i vecchi serramenti sono stati sostituiti con dei nuovi aventi **telaio in PVC e vetro doppio basso emissivo**. Gli avvolgibili sono in **PVC coibentato** così come il nuovo cassonetto per

l'alloggiamento degli stessi quando non utilizzati e avranno una trasmittanza di 1 W/mK come da suggerimento normativo già richiamato nello stato di fatto. Il nuovo portone di ingresso invece è del tipo blindato, con chiusura europea.

Tipologia di intervento	Soglia
vi. Sostituzione di finestre comprensive di INFISSI (calcolo secondo le norme UNI ENISO 10077-1)	Zona climatica A $\leq 2,60 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica B $\leq 2,60 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica C $\leq 1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica D $\leq 1,67 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica E $\leq 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica F $\leq 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabella 16 Trasmittanza minima infissi per zona climatica

Si riporta tabella riassuntiva infissi ante e post-intervento:

Chiusura	Superfici e [m ²]	Uw ANTE [W/m ² K]	Uw POST [W/m ² K]	Ug ANTE [W/m ² K]	Ug POST [W/m ² K]	Uf ANTE [W/m ² K]	Uf POST [W/m ² K]	Tipo telaio	Tipo vetro
FN[R] 2AB[1V] MM- n.5 2.10 m ²	10.50	4.1797	1.3000	5.4000	1.1000	2.2000	1.1090	Plastica	Doppio
FN[R] 2AB[1V] MM- n. 1 1.56 m ²	1.56	3.3963	1.3000	5.4000	1.1000	2.2000	0.8555	Plastica	Doppio
FN[R] 2AB[1V] MM- n. 1 1.89 m ²	1.89	4.1051	1.3000	5.4000	1.1000	2.2000	1.0780	Plastica	Doppio
FN[R] 2AB[1V] MM- n. 1 1.12 m ²	1.12	3.5920	1.3000	5.4000	1.1000	2.2000	0.9344	Plastica	Doppio
FN[R] 2AB[1V] MM- n. 1 1.61 m ²	1.61	3.9753	1.3000	5.4000	1.1000	2.2000	1.0319	Plastica	Doppio
FN[R] 2AB[1V] MM- n. 1 1.40 m ²	1.40	3.8439	1.3000	5.4000	1.1000	2.2000	0.9931	Plastica	Doppio
Classica P[R] 1AB[1P]- n. 1 2.59 m ²	2.58	3.3587	1.3000	-	-	-	-	Alluminio	
TOTALE	23.75								

Tabella 17 Confronto ante/post infissi

Nonostante i ponti termici non siano influenti al fine della valutazione delle trasmittanze legislative, la risoluzione degli stessi è necessaria per una corretta verifica dei parametri tecnici relativi al progetto. È fatto obbligo, infatti, nel caso di interventi riguardanti le strutture opache delimitanti verso l'esterno, la verifica di **assenza di muffe** relativamente ai ponti termici e di **condensa interstiziale**. Il secondo punto prevede che all'interno della stratigrafia la condensa non superi mai i 500 g/m^2 e la stessa dovrà rivaporare nell'arco dei 365 giorni dell'anno. Per la stratigrafia oggetto di intervento, tale verifica è soddisfatta:

Verifica igrometrica (UNI EN ISO 13788)

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
FACCIA INTERNA - Piano terra												
Temperatura [°C]	20.0	20.0	20.0	20.0	19.0	22.9	23.9	22.7	18.5	20.0	20.0	20.0
Pressione saturazione [Pa]	2'337.0	2'337.0	2'337.0	2'337.0	2'196.2	2'790.9	2'964.3	2'757.3	2'128.6	2'337.0	2'337.0	2'337.0
Pressione relativa [Pa]	1'434.9	1'278.3	1'194.2	1'315.7	1'796.5	1'747.1	2'238.1	2'484.3	1'977.4	1'752.7	1'523.7	1'441.9
Umidità relativa [%]	61.4	54.7	51.1	56.3	81.8	62.6	75.5	90.1	92.9	75.0	65.2	61.7
Pressione min accett. [Pa]	1'793.6	1'597.9	1'492.7	1'644.6	2'245.6	2'183.9	2'797.6	3'105.4	2'471.8	2'190.9	1'904.6	1'802.4
Fattore di temperatura	0.719	0.679	0.328	0.248	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.816	0.744	0.762
FACCIA ESTERNA - Esterno SUD_OVEST												
Temperatura [°C]	5.0	1.3	9.5	12.6	19.0	22.9	23.9	22.7	18.5	14.3	7.2	2.6
Pressione saturazione [Pa]	871.9	670.7	1'186.8	1'458.2	2'196.2	2'790.9	2'964.3	2'757.3	2'128.6	1'629.1	1'015.2	736.2
Pressione relativa [Pa]	801.2	513.8	721.6	952.2	1'660.3	1'646.6	2'137.3	2'385.0	1'824.2	1'449.9	969.5	725.1
Umidità relativa [%]	91.9	76.6	60.8	65.3	75.6	59.0	72.1	86.5	85.7	89.0	95.5	98.5

Strato	Descrizione	Condensa formata [kg/m²]	Condensa evaporata [kg/m²]	Condensa accumulata [kg/m²]	Massima condensa ammissibile [kg/m²]
1	Intonaco interno	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000
2	Mattoni laterizio pieni - densità 1800	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000
3	T 150 CAM	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000
4	Intonaco esterno - cp 1000	0.0070	-0.0070	0.0000	0.5000
TOTALE		0.0070	-0.0070	0.0000	

Verifica rischio condensa interstiziale	VERIFICATA	La struttura, pur essendo soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, risulta verificata in quanto la quantità stagionale di condensato, pari a 0.0070 kg/m², evapora durante la stagione estiva. Il mese in cui si raggiunge il massimo accumulo di condensa è dicembre. - Primo mese in cui si verifica la condensa: dicembre- Ultimo mese in cui si verifica la condensa: dicembre
Verifica rischio formazione muffe	VERIFICATA	Fattore di temperatura minima fRsi = 0.9474, fattore di temperatura mese critico, fRsi,max = 0.8157, mese critico = ottobre, classe di concentrazione del vapore = Media, valore massimo ammissibile di U = 0.7370 W/m²K.

Figura 41 Verifica igrometrica stratigrafia verticale isolata

Il primo punto invece è più critico e, a differenza dello stato di fatto, per la risoluzione dei ponti termici in questo caso è stato necessario ricorrere agli elementi finiti per una modellazione accurata.

Si riportano i risultati relativi ai ponti termici angolari:

SCHEMA



Verifica rischio di formazione delle muffe - UNI EN ISO 13788

Fattore di temperatura critica	fRsi,max	[-]	0.82
Temperatura formazione muffe	Tsi_min	[°C]	18.96
Temperatura minima sulla faccia interna	Tmin	[°C]	19.58
Mese critico	ottobre		

La struttura non è soggetta a rischio formazione muffe.

Figura 42 Ponte termico angolare coibentato

Più interessante, e meritevole di un ulteriore approfondimento, l'analisi dei ponti termici **parete infisso** in quanto in questo caso è previsto il cosiddetto **risvolto** con cui si evita una modifica netta della geometria, creando una sorta di raccordo con un'altra tipologia di materiale coibente. In particolare, è stato scelto un **pannello coibente da 30 mm di aerogel avente conduttività 0.015 W/mk**.

La risoluzione agli elementi finiti, oltre all'indicare l'ubicazione del cantiere e quindi dei dati climatici, necessita la determinazione delle condizioni al contorno con il calcolo delle temperature interne che avviene secondo **appendice nazionale UNI EN ISO 13788** e delle umidità relative a seconda delle classi di umidità interna che, secondo la classificazione successiva, è media.

1 -> Molto Bassa -> <i>Magazzini</i>
2 -> Bassa -> <i>Uffici, negozi</i>
3 -> Media -> <i>Alloggi con basso indice di affollamento</i>
4 -> Alta -> <i>Alloggi con alto indice di affollamento, palestre, cucine, cantine; edifici riscaldati con sistemi a gas senza camino</i>
5 -> Molto Alta -> <i>Edifici speciali, per esempio lavanderie, distillerie, piscine</i>

Figura 43 Classi di umidità interna

Altri parametri influenti sono le proprietà dei materiali che compongono le stratigrafie interessate e le resistenze termiche relative alla trasmissione del calore.

- Resistenza termica superficiale esterna $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$
- Resistenza termica superficiale interna $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$ (superfici opache)
- Resistenza termica superficiale interna R_{si} (finestre e porte):
 - per direzione del flusso di calore verso l'alto: $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$
 - per direzione del flusso di calore in orizzontale: $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$
 - per direzione del flusso di calore verso il basso: $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$

I parametri che rientrano nel calcolo sono:

- **temperatura minima superficiale** sulla faccia interna
- **la temperatura critica**
- **il fattore di temperatura critico massimo** che dato dal rapporto fra la differenza della temperatura critica e quella esterna e la differenza tra la temperatura interna e quella esterna. Per avere una buona progettazione si dovrà avere un fattore di temperatura critico sempre maggiore del valore massimo;
- **il mese critico**: quello con il fattore di temperature critico minimo con il valore più alto

Di seguito i risultati ottenuti dalle modellazioni effettuate.

Condizioni al contorno

Nella tabella seguente sono riportati i dati di temperatura e umidità relativa, delle zone utilizzate nel calcolo del flusso termico e del rischio di formazione delle muffe.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
ESTERNO												
T[°C]	5.0	1.3	9.5	12.6	19.0	22.9	23.9	22.7	18.5	14.3	7.2	2.6
UR[%]	91.9	76.6	60.8	65.3	75.6	59.0	72.1	86.5	85.7	89.0	95.5	98.5
INTERNO (rispetto al quale si calcola il PT)												
T[°C]	20.0	20.0	20.0	20.0	19.0	22.9	23.9	22.7	18.5	20.0	20.0	20.0
UR[%]	61.4	54.7	51.1	56.3	81.8	62.6	75.5	90.1	92.9	75.0	65.2	61.7

Caratteristiche termiche materiali

Nella tabella seguente è proposto l'elenco di tutti i materiali utilizzati per la struttura del ponte con il relativo valore di conduttività termica.

Tabella 3	
Materiale	Conducibilità termica [W/mK]
Muro	0.7257
Isolante	0.0350
Telaio	0.1056
Aerogel	0.0150

Risultati finali - Calcolo della trasmittanza termica lineica

Nella tabella finale sono riportati i valori di calcolo relativi alla struttura completa.

Il risultato della simulazione numerica è il flusso termico (**F**) che attraversa la struttura, espresso in W/m, dovuto alla differenza di temperatura fra l'ambiente INTERNO e l'ambiente ESTERNO.

Il flusso termico equivalente (**F_spt**), espresso sempre in W/m, relativo alla struttura senza ponte termico, è stato valutato facendo riferimento alla stessa differenza di temperatura fra interno ed esterno e alla lunghezza equivalente (**L**) definita per il confronto.

Dalla differenza fra questi due valori vengono calcolati la trasmittanza termica lineica (**k_l**) e il coefficiente di accoppiamento (**L_{2D}**).

Tabella 6

U	Lungh. associata
[W/m²K]	[m]
0.21	1.68
1.08	0.05

Tabella 7

Descrizione	Simbolo	Valore	Unità di misura
Trasmittanza termica lineica	k _l	0.06	[W/mK]
Flusso termico totale	F	9.39	[W/m]
Coefficiente di accoppiamento	L _{2D}	0.47	[W/mK]
Lunghezza equivalente	L	1.73	[m]
Flusso termico (senza ponte termico)	F_spt	8.15	[W/m]

Nella tabella finale sono riportati i valori mensili per la valutazione del mese critico, del fattore di temperatura critico e della temperatura critica, come previsto dalla **UNI EN ISO 13788**.

Fattore di temperatura critico (*1)	$f_{RS,max}$	[-]	0.63
Temperatura formazione muffa (*1)	T_{min}	[°C]	13.54

Dalla valutazione risulta:

- mese critico (*1): **Dicembre**
- temperatura minima sulla faccia interna (*1): **18.16°C**

Il ponte termico non è soggetto a rischio di formazione muffe.

	condizioni esterne		condizioni interne						
	T_e	φ_e	T_i	φ_i	$p_{sat}(\theta_i)$	p_i	$p_{sat}(\theta_{si})$	$T_{si,min}$	f_{RSi}
Gen	5.0	91.9%	20.0	61.4%	2337	1435	1543	13.46	0.56
Feb	1.3	76.6%	20.0	54.7%	2337	1278	1375	11.7	0.56
Mar	9.5	60.8%	20.0	51.1%	2337	1194	1284	10.68	0.11
Apr	12.6	65.3%	20.0	56.3%	2337	1316	1415	12.14	-0.06
Mag	19.0	75.6%	19.0	81.8%	2196	1796	1932	16.96	0
Giu	22.9	59%	22.9	62.6%	2791	1747	1879	16.52	0
Lug	23.9	72.1%	23.9	75.5%	2964	2238	2407	20.47	0
Ago	22.7	86.5%	22.7	90.1%	2757	2484	2671	22.18	0
Set	18.5	85.7%	18.5	92.9%	2129	1977	2126	18.48	0
Ott	14.3	89%	20.0	75%	2337	1753	1885	16.57	0.4
Nov	7.2	95.5%	20.0	65.2%	2337	1524	1638	14.39	0.56
Dic	2.6	98.5%	20.0	61.7%	2337	1442	1550	13.54	0.63

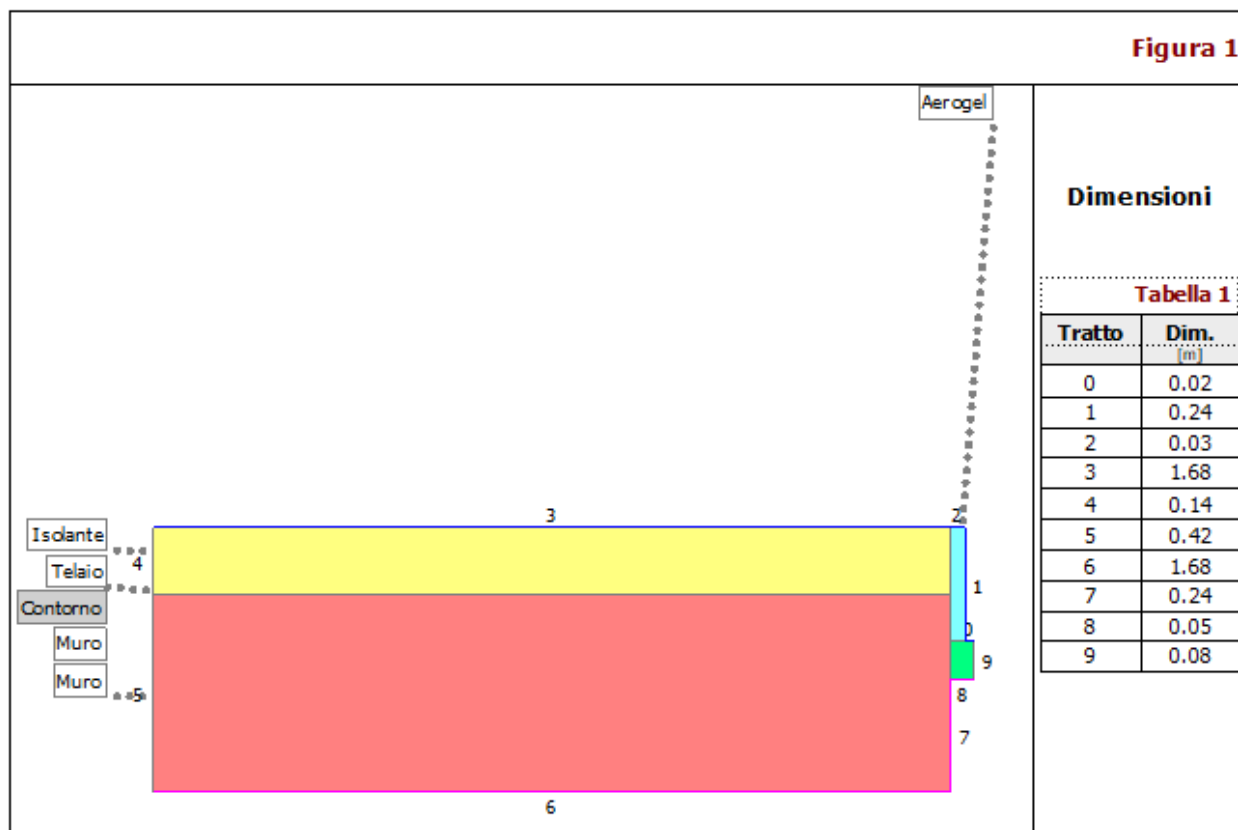
LEGENDA		
T_e	Temperatura esterna media mensile	[°C]
φ_e	Umidità relativa esterna media mensile	[%]
T_i	Temperatura interna media mensile	[°C]
φ_i	Umidità relativa interna media mensile	[%]
$p_{sat}(\theta_i)$	Pressione di saturazione interna	[Pa]
p_i	Pressione di vapore interna	[Pa]
$p_{sat}(\theta_{si})$	Pressione di saturazione interna minima accettabile	[Pa]
$T_{si,min}$	Temperatura superficiale minima accettabile	[°C]
f_{RS}	Fattore di temperatura	[-]

Figura 44 Relazione tecnica in sintesi modellazione ponte termico parete infisso

Dimensioni geometriche

Nella figura seguente è riportato lo schema geometrico del ponte termico nel quale sono rappresentate le dimensioni, la forma e le stratigrafie dei materiali che lo compongono; ogni diverso segmento di confine è contrassegnato da un'etichetta numerata.

Nella tabella a destra sono riportate le dimensioni, espresse in m, di tutti i tratti di confine contrassegnati dalle etichette.



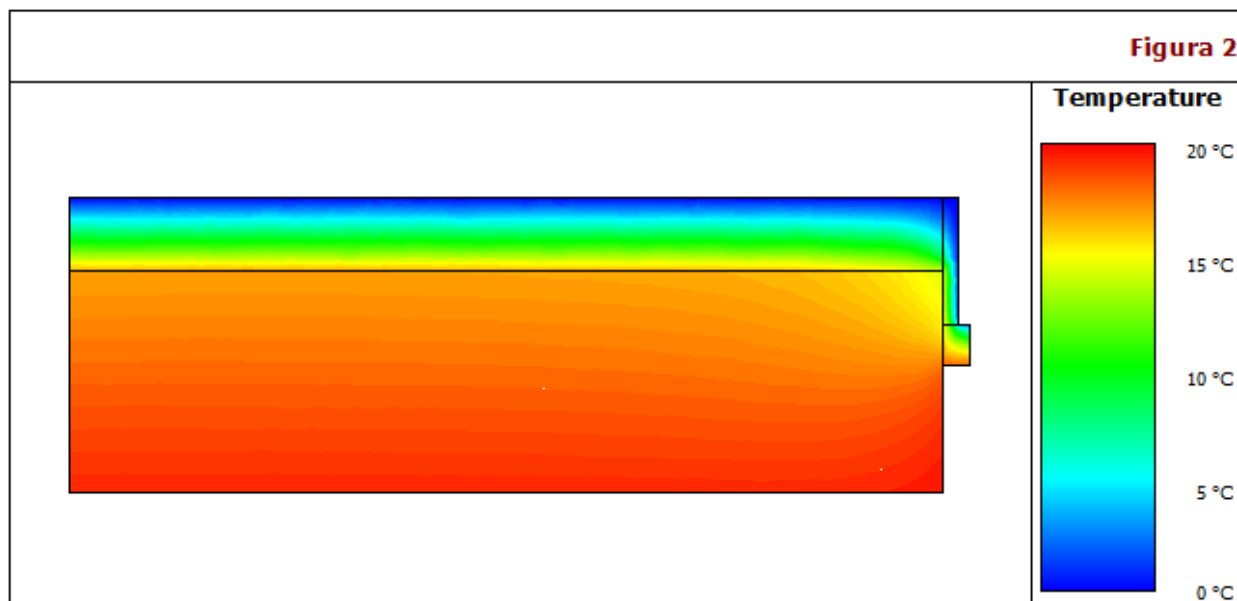
Curve di temperatura

La figura 2 riporta la rappresentazione delle curve di livello del ponte termico calcolato.

Nella tabella sulla destra è riportata la scala cromatica relativa all'intervallo di temperatura definito sul contorno.

Le temperature minime e massime fanno riferimento alle temperature calcolate sulle facce, al confine con l'ambiente interno e quello esterno, tenendo conto anche dello scambio termico convettivo.

Le curve sono definite con un passo di 0.25 °C.



Isoterme

La figura 3 riporta le isoterme utilizzate per il calcolo della temperatura minima sulle superfici interne.

In grassetto la temperatura di formazione della muffa.

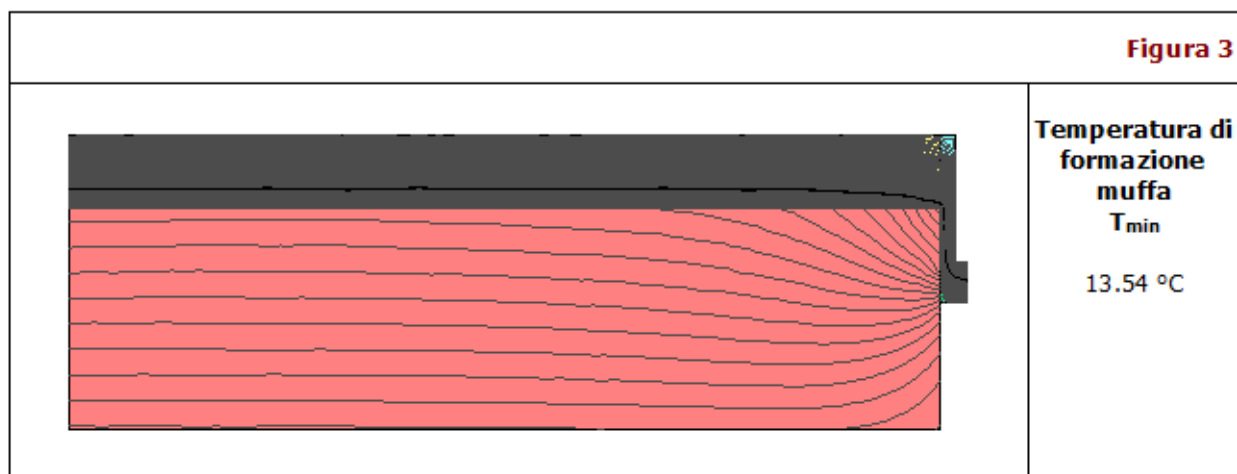


Figura 45 Modellazione del ponte termico con relativi risultati riportati in maniera grafica

Definiti così gli interventi sull'involucro delimitante l'ambiente riscaldato dall'esterno e/o verso locali non climatizzati, prima di procedere con il **dimensionamento** sia del nuovo generatore di calore che dei nuovi terminali di emissione, al fine di ottenere i nuovi carichi termici di progetto, si prosegue con la simulazione degli interventi sopra citati e al calcolo delle nuove prestazioni dell'edificio.

Così facendo, il nuovo carico di progetto, su cui fare le opportune valutazioni è pari a 7065 W con una riduzione di circa il 40% rispetto a quanto richiesto nelle condizioni ante intervento.

Il parametro principale, nel dimensionamento di una pompa di calore, è il **COP** che, come anticipato nella descrizione dei parametri minimi per l'accesso alla detrazione, è un indice di quanta energia termica la macchina fornisce in relazione all'energia elettrica in ingresso. Questo coefficiente è molto dipendente dalla temperatura esterna, in generale il valore è elevato a temperature miti mentre diminuisce sensibilmente quando ci si avvicina a valori prossimi se non addirittura al di sotto dello zero, motivo per cui spesso è necessario prevedere delle integrazioni sia sotto forma di resistenze interne alla macchina esterna, sia sotto forma di vere e proprie caldaie e in questo caso si dovrà parlare di sistemi ibridi.

Di seguito si riporta un andamento tipo del COP di una generica pompa di calore aria-acqua in funzione della temperatura di mandata e di quella esterna.

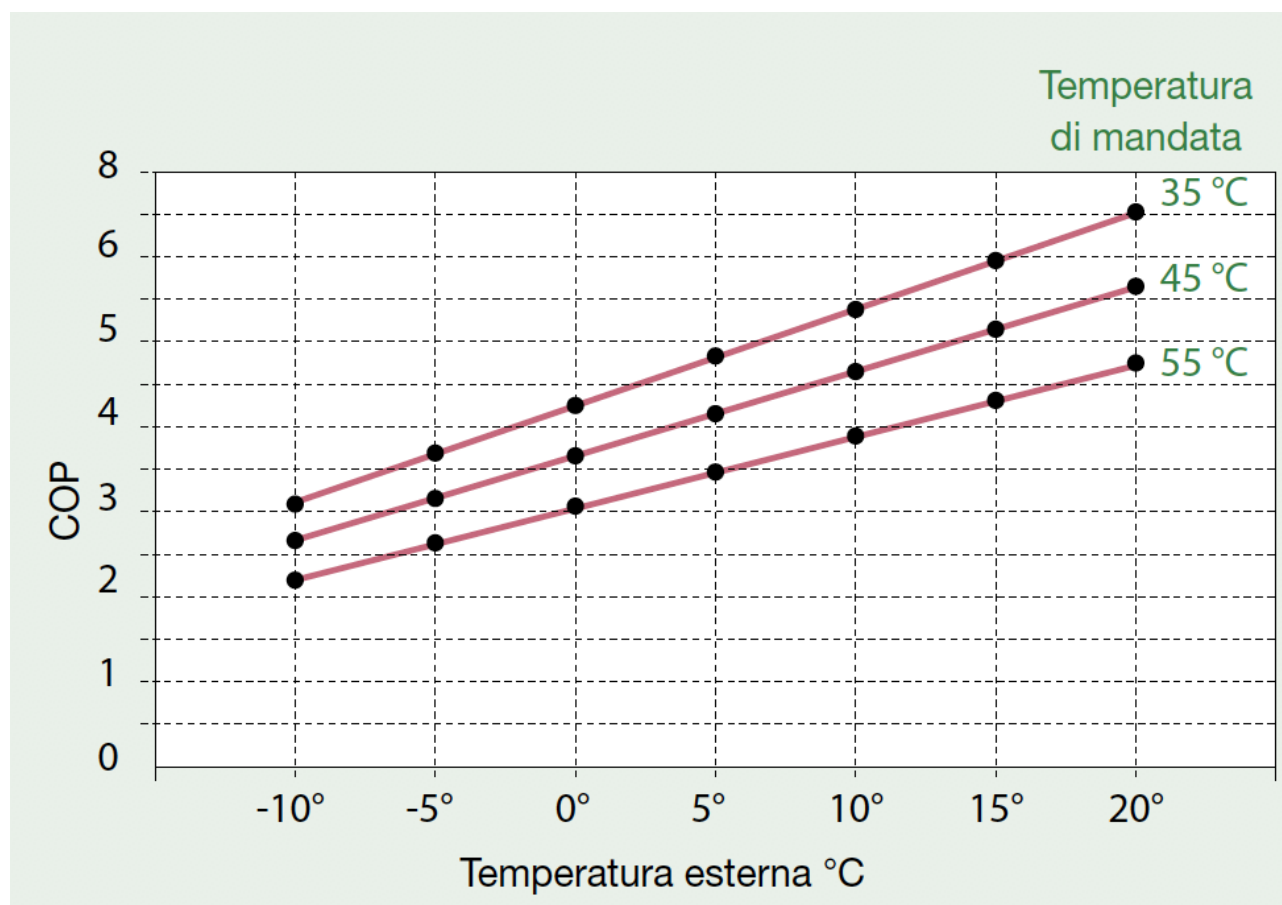


Figura 46 Andamento generico del COP in funzione della temperatura esterna di funzionamento

Oltre al COP, per una corretta valutazione della pompa di calore, bisogna tener conto della temperatura alla quale la macchina viene spenta dal termostato collegato, della temperatura di fabbrica per cui il sistema non può soddisfare alcun carico per estrema rigidità della sorgente fredda, della temperatura così detta di 'cut-off' che è un parametro progettuale per un'ottimizzazione dei consumi.

Fatte queste premesse, per il progetto in esame, è necessaria una macchina che alla temperatura esterna di progetto pari a -5.04°C e a quella interna di 30/35°C (mandata ideale per i sistemi a pavimento radiante) sia in grado di soddisfare un carico termico di 7,065 kW. Fra le alternative prese in considerazione, si è optato per una macchina avente le seguenti caratteristiche:

Specifiche		See less
Aquarea Alta Performance Monoblocco, Generazione J, Monofase • R32		Monofase
		9 kW
Unità esterna		WH-MDC09J3E5
Capacità in riscaldamento (A +7°C, W 35°C)	kW	9,00
COP (A +7°C, W 35°C)		4,48
Capacità in riscaldamento (A +7°C, W 55°C)	kW	8,95
COP (A +7°C, W 55°C)		2,78
Capacità in riscaldamento (A +2°C, W 35°C)	kW	7,45
COP (A +2°C, W 35°C)		3,13
Capacità in riscaldamento (A +2°C, W 55°C)	kW	7,00
COP (A +2°C, W 55°C)		2,12
Capacità in riscaldamento (A -7°C, W 35°C)	kW	7,50
COP (A -7°C, W 35°C)		2,63
Capacità in riscaldamento (A -7°C, W 55°C)	kW	7,00
COP (A -7°C, W 55°C)		1,80
Capacità in raffreddamento (A 35°C, W 7°C)	kW	9,00
EER (A 35°C, W 7°C)		2,71
Capacità in raffreddamento (A 35°C, W 18°C)	kW	9,00
EER (A 35°C, W 18°C)		4,25
Efficienza energetica stagionale - Clima medio (W 35°C / W 55°C)	ηs %	193 / 130
Efficienza energetica stagionale - Clima medio (W 35°C / W 55°C)	SCOP	4,90 / 3,32
Classe di efficienza energetica clima medio (W 35°C / W 55°C) (1)	A+++ to D	A+++ / A++
Efficienza energetica stagionale - Clima caldo (W 35°C / W 55°C)	ηs %	227 / 160
Efficienza energetica stagionale - Clima caldo (W 35°C / W 55°C)	SCOP	5,75 / 4,07
Classe di efficienza energetica - Clima caldo (W 35°C / W 55°C) (1)	A+++ to D	A+++ / A+++
Efficienza energetica stagionale - Clima freddo (W 35°C / W 55°C)	ηs %	164 / 116
Efficienza energetica stagionale - Clima freddo (W 35°C / W 55°C)	SCOP	4,18 / 2,98
Classe di efficienza energetica - Clima freddo (W 35°C / W 55°C) (1)	A+++ to D	A+++ / A+

Si noti come alle condizioni di progetto, la capacità termica soddisfatta è superiore al minimo richiesto (7.50 kW) mentre per quanto riguarda il COP, nonostante questo sia pari a 2.63 e apparentemente inferiore al limite ammissibile nel superbonus, il valore di riferimento è quello alle condizioni standard con temperatura esterna pari a +7°C e interna a 35°C con un coefficiente pari a 4.48 e abbondantemente superiore al 4.1 normativo.

Sebbene nel caso studio abbiano particolare importanza i dati termici, quando si sceglie una pompa di calore non deve assolutamente passare in secondo piano l'aspetto della **rumorosità**. Infatti, le macchine esterne, prevedendo la rotazione di componenti, spesso sono state oggetto di contestazioni perché troppo rumorose nonostante tutti siano d'accordo sulle loro elevate prestazioni e benefici. Nel tempo le case produttrici hanno iniziato a dare maggior peso a questo aspetto e ad esempio, la macchina installata nel progetto, ha dei valori dichiarati compresi fra i 50 e i 60 dB(A)²⁰, paragonabile al rumore emesso da un comune frigorifero di recente fabbricazione.

Outdoor sound power (Heat) (3)	dB(A)	59
Potenza sonora a pieno carico	dB(A)	69
Livello potenza sonora a pieno carico (Raff.)	dB(A)	68

Figura 47 Valori di rumore emesso dalla macchina esterna

²⁰ Rilevamento acustico eseguito con curva di pesatura ponderata A che simula la sensibilità dell'orecchio umano alle varie frequenze

Di seguito lo schema di centrale:

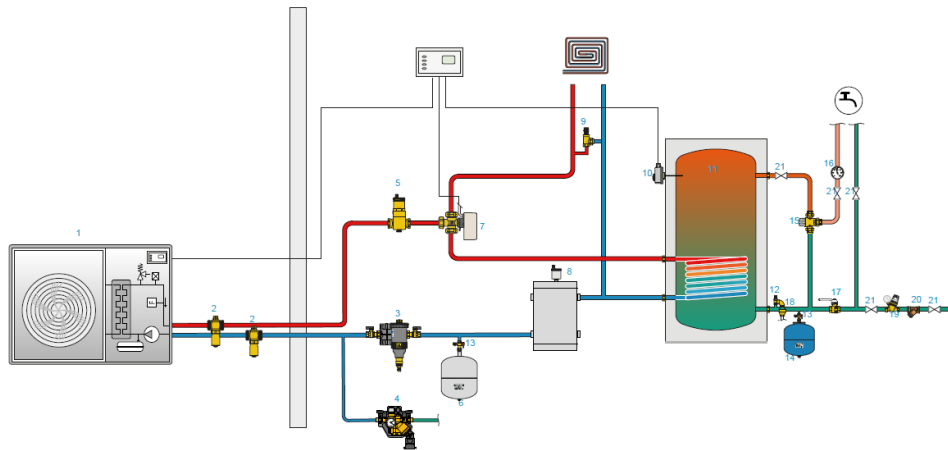


Figura 48 Schema di centrale

Si fa notare come, oltre alla pompa di calore monoblocco, allocata all'esterno dell'involucro, per la produzione di ACS sia stato necessario integrare un **serbatoio di accumulo da 300 litri**. Infatti, generalmente le pompe di calore non riescono di per sé a soddisfare la produzione istantanea di ACS. Per questo motivo si ricorre all'integrazione prevista in cui il bollitore dovrà risultare sovradimensionato in termini di volumetria per permettere di avere sempre acqua a temperature comprese fra 45°C e 50°C, lo scambiatore dovrà essere anch'esso sovradimensionato per ridurre al minimo la differenza tra la temperatura di acqua riservata al servizio ACS e quella tecnica, l'accumulo dovrà essere opportunamente coibentato per ridurre le perdite termiche. Per quanto riguarda la deviazione dell'acqua per ACS, questa avviene grazie all'ausilio di una valvola a tre vie controllata dall'elettronica della pompa di calore.

Passando al sistema di emissione, quando si installa una pompa di calore, a meno che non siano del tipo 'ad alte temperature', è opportuno pensare di collegarle principalmente a due tipologie di terminali: **pavimento/parete/soffitto radiante o ventilconvettori** in quanto consentono di ricevere acqua a temperature di mandata basse, idonee all'ottimale funzionamento della macchina di progetto. Nel caso in esame, anche ascoltando la preferenza della committenza, e tenendo conto del fatto che, oltre ai lavori di superbonus, si è proceduto a effettuare altre lavorazioni rientranti in bonus minori, si è scelto di proseguire nella progettazione con installazione di pavimento radiante in tutti i locali eccetto nei bagni in cui sono stati installati **radiatori elettrici**, così da rendere indipendente il circuito radiante.

Per quanto riguarda questa tipologia di terminali, i vantaggi sono molteplici (CALEFFI, s.d.):

1. **benessere termico**: permettono di perseguire al meglio la curva caratteristica del comfort termico prevedendo, a differenza dei tradizionali sistemi a radiatori, temperature maggiori a pavimento e minori a soffitto grazie alla trasmissione per irraggiamento in ambiente;

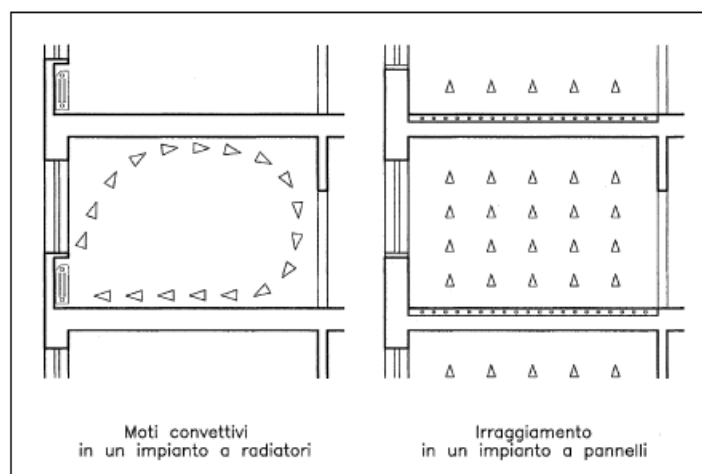


Figura 49 Sistema di trasmissione: confronto fra impianto a radiatore e a pannelli radianti

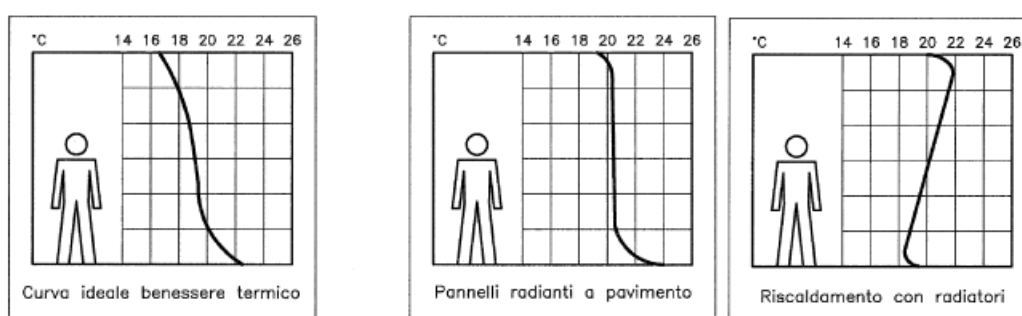


Figura 50 Andamento delle temperature per il benessere ideale

2. **qualità dell'aria** grazie alla minore circolazione di polvere e alla non combustione del pulviscolo atmosferico, causa di arsure e irritazione faringea;
3. prevenendo la formazione di zone umide a pavimento e la conseguente insorgenza di muffe, danno un contributo importante nel **mantenimento di condizioni igieniche idonee agli ambienti**;
4. a livello ambientale risultano l'alternativa migliore quando bisogna intervenire in ristrutturazioni come in questo caso o nuove costruzioni essendo invisibili alla vista e dunque poco ingombranti relativamente alla superficie utile mentre intaccano in maniera secondarie le altezze nette dei locali, non arrecano degrado a intonaci, parquet in legno e serramenti;
5. collegato alle basse temperature e al principio di funzionamento anche un considerevole **risparmio energetico** quantificato mediamente fra il 10 e 15%.

Come tutte le cose, però, oltre a innumerevoli vantaggi, vi sono anche alcuni svantaggi relativamente a:

- a) **temperatura superficiale del pavimento** che deve essere inferiore ai valori indicati in tabella al fine di evitare condizioni di malessere fisiologico:

$$t_p = t_a + \left(\frac{q}{8,92} \right)^{\frac{1}{1,1}}$$

dove: t_p = temperatura superficiale del pavimento, °C
 t_a = temperatura ambiente, °C
 q = potenza termica specifica (verso l'alto) del pannello, W/m²

Temperature limite [°C]	Ambiente
29	Permanenza prolungata
33	Bagno, docce, piscina
35	Zone perimetrali e/o a permanenza breve

Tabella 18 Temperature superficiali di pavimento in funzione dell'ambiente

- b) **elevata inerzia termica** che non li rende idonei per locali con riscaldamento intermittente;
- c) **aspetti progettuali** sia in fase di dimensionamento che di posa in opera dove le varianti sono limitate;
- d) è possibile raffrescare gli ambienti a patto di prevedere un opportuno sistema di **deumidificazione**;
- e) **costo di realizzazione** maggiore nell'ordine del 20% rispetto a impianti tradizionali.

Mentre per la determinazione del generatore, era necessario conoscere il carico termico di progetto relativo alla zona termica nel suo complesso, per l'installazione dei terminali sono stati calcolati i fabbisogni dei singoli locali riportati di seguito con un confronto e la riduzione percentuale rispetto al carico termico attuale, prima delle lavorazioni:

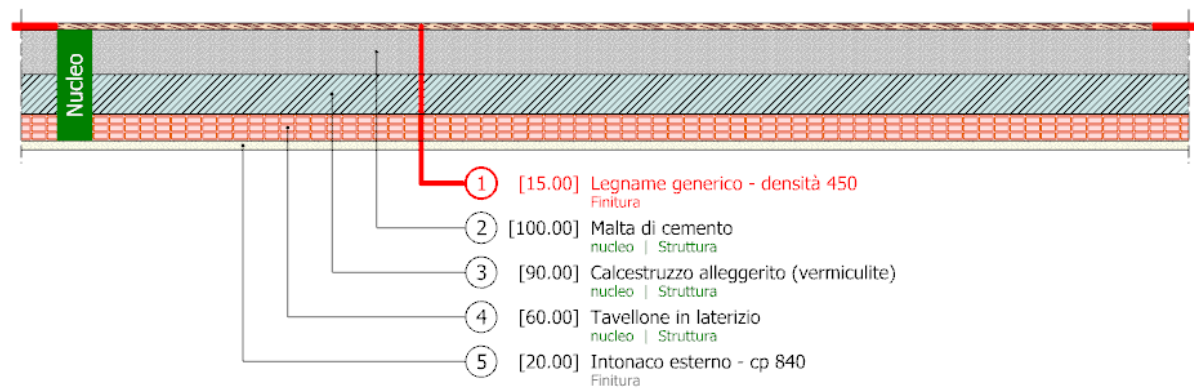
Locale	Carico termico di progetto [W]		Riduzione [%]
	Ante	Post	
Camera 1	2059	1132	45
Camera 2	1529	1017	33.5
Bagno	563	326	42
WC	1131	480	57.6
Dis.	988	748	24.3
Rip.	771	503	34.8
Cucina	3104	1724	44.5
Soggiorno	2118	1135	46.4

Tabella 19 Carico termico singolo locale, confronto ante post

In media si registra una **diminuzione dei carichi** del 40% con il disimpegno che ha subito la variazione minore in quanto ha solo il prospetto frontale disperdente così come il ripostiglio e la camera 2 che hanno una sola parete confinante con l'esterno.

Una volta ottenuti i carichi si può procedere con il dimensionamento vero e proprio dei pannelli. Per fare ciò bisogna prevedere la **nuova stratigrafia** del pavimento a cui, alla composizione esistente, rimossa la

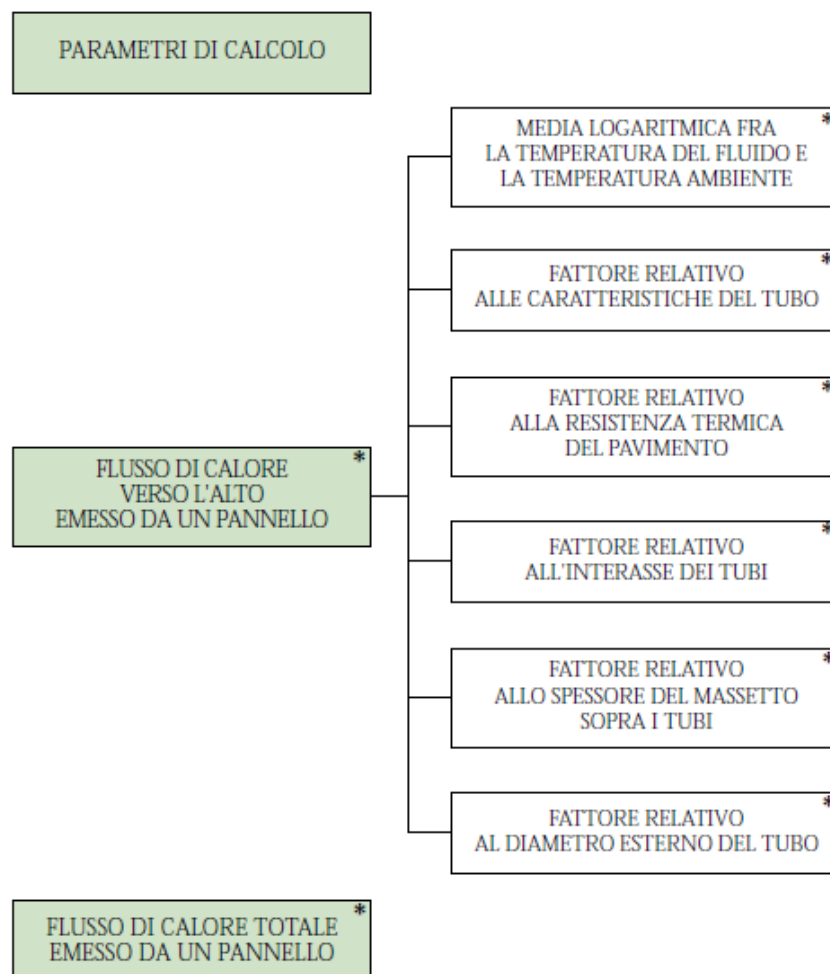
finitura e il massetto esistente, occorre installare il così detto massetto di impianto e la nuova pavimentazione che in questo caso sarà parquet e successivamente ricorrere all'ausilio di un **tool** che riassume la procedura abbastanza complessa di parametrizzazione del pannello in base ai dati di input scelti.



INFERIORE

Figura 51 Stratigrafia solaio di calpestio con massetto di impianto

In generale i flussi logici per il calcolo del flusso di calore emesso da un pannello e il suo successivo dimensionamento sono quelli riportati di seguito mentre la trattazione si soffermerà sugli input e gli output offerti dal tool per spiegare al meglio la scelta degli stessi.



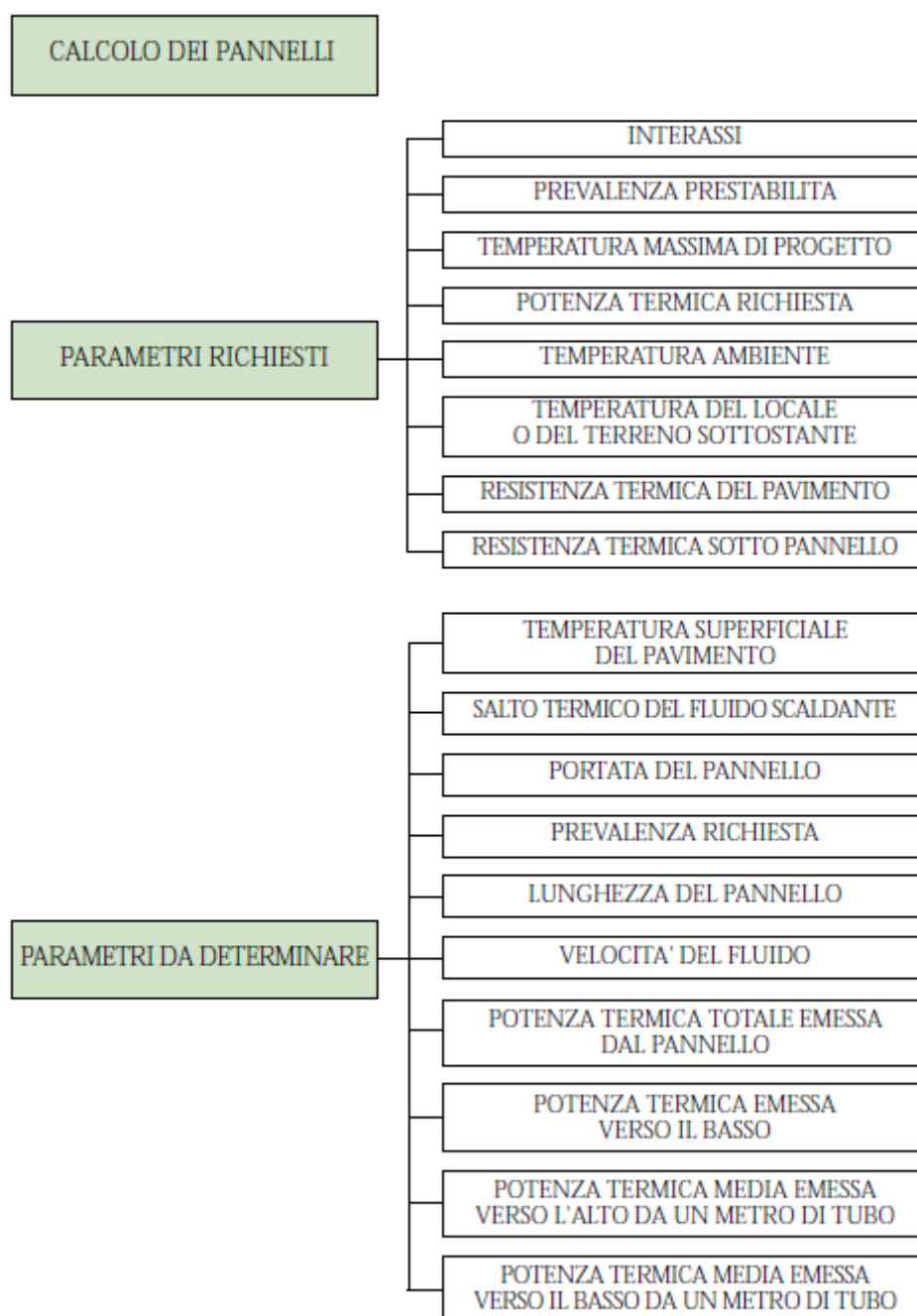


Figura 52 Schema di flusso dimensionamento impianto a pavimento

Una volta imputata la stratigrafia così come sopra riportata, si procede con l'inserimento dei dati di calcolo relativo ai parametri principali di progetto che sono:

- **lunghezza di adduzione:** tratto tra collettore di zona e pannello radiante;
- **tubo impiegato:** preferibilmente in materia plastica (PEX, PB, PP) per facilità di posa, anticorrosione e antincrostazioni, dotati di barriere contro la diffusione dell'ossigeno e con diametri esterno e interno solitamente 16/13 e 20/16;
- **temperatura di mandata del fluido termovettore:** da contenere in un range compreso fra i 35°C e i 45 °C
- **temperature degli ambienti superiori e inferiori;**

- **temperatura superficiale di progetto al pavimento** come riportato in precedenza a seconda del locale di installazione;
- **differenza di temperatura fra mandata e ritorno** del fluido che deve essere inferiore agli 8°C/10°C;
- **velocità del fluido termovettore** ammissibile compresa fra 0.1 m/s e 0.75 m/s;
- **prevalenza** disponibile al colpetto che per pompe di calore varia fra 1500 e 2500 mm c.a.;
- **superficie e interasse** del pannello **standard**;
- **superficie e interasse** della zona **periferica** che non deve essere superiore al 40% di quella standard.

i risultati di calcolo rendono disponibili i fattori relativi alla formulazione del **flusso di calore emesso dal pannello Q** e il suo valore sia nominale [W] che specifico [W/m²] ai fini di verificare che i valori ottenuti siano idonei alla verifica del benessere fisiologico, il ΔT fra mandata e ritorno dal pannello, la **temperatura superficiale**, la **portata**, la **lunghezza** (potrebbe essere necessaria più di una serpentina al fine del soddisfacimento del fabbisogno del locale i-esimo).

Prima di sintetizzare in tabella le caratteristiche di ogni circuito, si riportano i parametri comuni

caratteristiche dell'intero pacchetto	s_{tot}	R_{tot}	U
	[cm]	[m ² K / W]	[W / m ² K]
spessore resistenza trasmittanza	28.5	1.274	0.785

- tubo impiegato

PEX | AL | PEX ▾ diametro 16 ▾ | 2 ▾ [mm] - λ 0.43 [W/mK]

- temperatura del fluido

temperatura di mandata del fluido termovettore ($^{\circ}T$ punto fisso) = 40 ▾

Per il calcolo della temperatura dell'ambiente inferiore e quindi del piano seminterrato, si è fatto ricorso alla formulazione normativa attraverso il coefficiente di correzione b pari a 0.4.

- temperature degli ambienti

[$^{\circ}C$] - temperatura ambiente superiore = [$^{\circ}C$] - temperatura ambiente inferiore = [$^{\circ}C$]

- temperatura superficiale di progetto del pavimento

☉ 29°C - ambienti di normale stazionamento ○ 33°C - bagni, docce, piscine, centri wellness ○ 35°C - zone periferiche, zone perimetrali, locali raramente frequentati

Figura 53 Dati di default comuni a tutti i locali

Locale	Carico termico di progetto [W]	Lunghezza adduzione [m]	Tubo impiegato	ΔT [°C]	G [l/h]	v [m/s]	L [m]	Q [W]	n. serpentine
Camera 1	1132	1	16/14	7.50	127.38	0.32	71.33	667.9	2
Camera 2	1017	5	16/14	7.50	126.09	0.31	74.73	669.64	2
Dis.	748	3	20/18	4.50	223.78	0.31	183.87	754.07	1
Rip.	503	5	16/14	6.50	82.55	0.20	123.33	414.72	2
Cucina	1724	7	20/18	7.50	194.72	0.27	109.07	996.79	2
Soggiorno	1135	7	16/18	6.50	131.11	0.32	65.92	602.04	2

Tabella 20 Dati di progetto per locale

Una volta soddisfatta la distribuzione all'interno dei locali, si deve procedere con la verifica delle **perdite di carico** al fine del corretto dimensionamento della **pompa di circolazione**, attraverso il metodo di soddisfacimento del circuito più sfavorito. Per fare ciò bisogna ricordare che, per un sistema a pannelli radianti a pavimento, le **perdite continue** si calcolano per tutta la lunghezza del pannello mentre quelle **localizzate** sono dovute alla presenza della valvola di intercettazione e alle molteplici curve per cui si stima un valore medio compreso fra il 20% e il 30% delle perdite continue oltre che per quelle **concentrate** presenti fra il generatore e il collettore di zona.

Le perdite continue sono calcolate come segue con l'unica incognita che è il **fattore di attrito adimensionale Fa**, funzione del numero di **Reynold Re** per la determinazione del moto:

$$r = F_a \cdot \frac{1}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

dove: r = perdita di carico unitaria, Pa/m
 F_a = fattore di attrito, adimensionale
 D = diametro interno del condotto, m
 ρ = massa volumica del fluido, kg/m³
 v = velocità media del fluido, m/s

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

dove: D = diametro interno del condotto, m

v = velocità media del flusso, m/s

ν = viscosità cinematica del fluido, m²/s

Dai risultati ottenuti, tutte le condotte hanno un Re maggiore di 2500 (**moto turbolento**) per cui, il coefficiente Fa sarà dato, per la tubazione utilizzata, da:

$$Fa = 0,316 \cdot Re^{-0,25}$$

Invece per la perdita localizzata della valvola di intercettazione:

$$z = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

dove: z = perdita di carico localizzata, Pa

ξ = coefficiente di perdita localizzata, adimensionale

ρ = massa volumica del fluido, kg/m³

v = velocità media del flusso, m/s

TAB. 1b - Valori del coefficiente di perdita localizzata ξ (componenti impianto)

Diametro interno tubi rame, PEad, PEX		8÷16 mm	18÷28 mm	30÷54 mm	>54 mm
Diametro esterno tubi acciaio		3/8"÷1/2"	3/4"÷1"	1 1/4"÷2"	>2"
Tipo di resistenza localizzata	Simbolo				
Valvola di intercettazione diritta		10,0	8,0	7,0	6,0
Valvola di intercettazione inclinata		5,0	4,0	3,0	3,0

Tabella 21 Coefficiente di perdita localizzata per valvola di intercettazione

Si nota come il circuito maggiormente sfavorito sia quello della camera 1.

Locale	Di [m]	v [m/s]	L [m]	Re	Fa	r (perdite continue) [Pa/m]	Perdite localizzate e curve r+30% [Pa/m]	Valvola intercettazione [Pa]	Perdite pannello [kPa]
Camera 1	0.014	0.32	142.66	4480	0.04	146	190	510.5	48
Camera 2	0.014	0.31	149.46	4340	0.04	137	178	479	47
Dis.	0.018	0.31	183.87	5580	0.036	96	124.5	479	41
Rip.	0.014	0.20	246.66	2800	0.043	61	80	199	35
Cucina	0.018	0.27	218.14	4860	0.04	81	105	363	41
Soggiorno	0.018	0.32	131.84	5760	0.036	102	133	510.5	31.5

Tabella 22 Perdite totali dei singoli pannelli

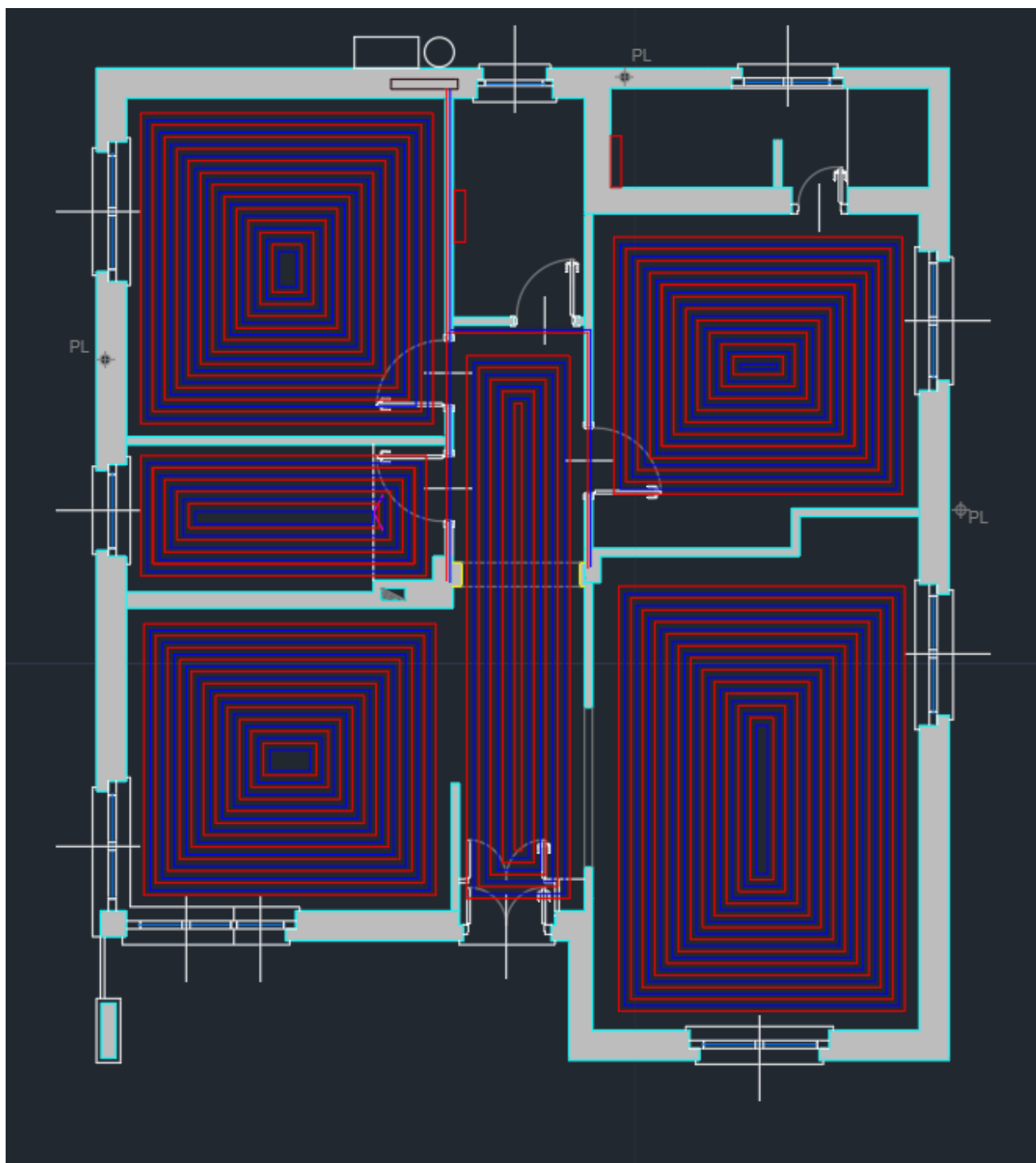
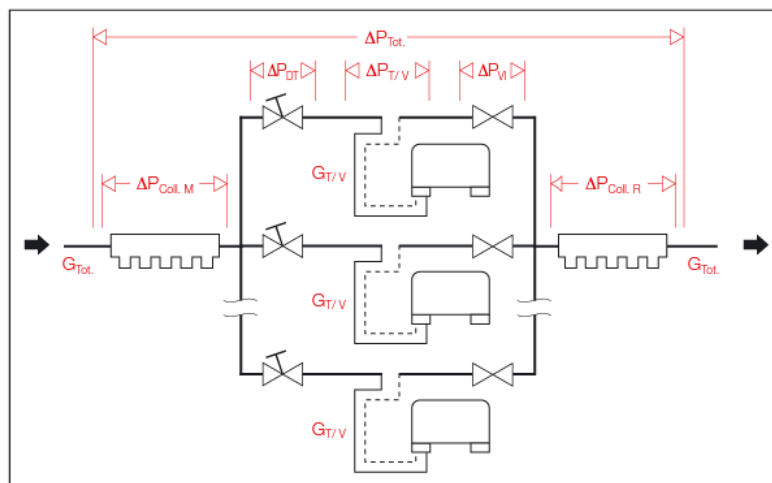
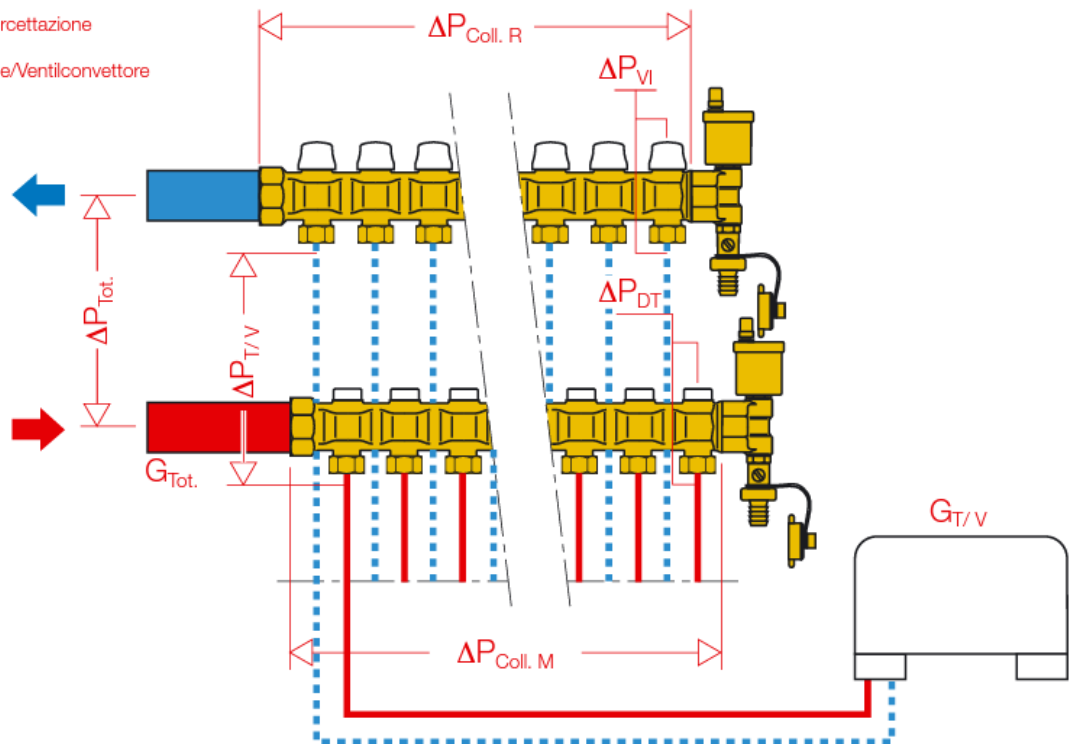


Figura 54 Schema di distribuzione

Passando al **collettore di zona**, questo dovrà avere **6 partenze in mandata e in ritorno**, e una **portata complessiva di 890 l/h**. Per il calcolo delle perdite di carico, si prende ad esempio la logica di calcolo proposta dal seguente costruttore in quanto ogni collettore ha i suoi coefficienti e raramente questi possono essere standardizzati come fatto per la valvola di intercettazione dei pannelli e si terrà in considerazione il circuito della camera 1:

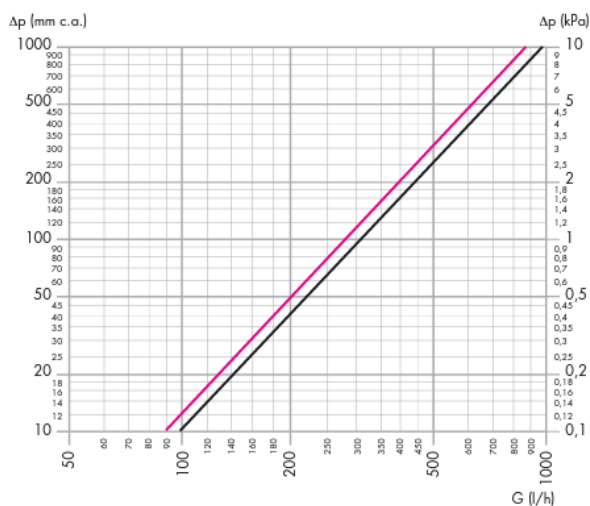
VI = Valvola intercettazione
DT = Detentore
T/ V = Tubazione/Ventilconvettore



- $\Delta P_{Tot.}$ = Perdita totale ai capi del collettore (Mandata + Ritorno + Tubaz./Ventilconv.)
- ΔP_{DT} = Perdita localizzata detentore di taratura circuito (portata circuito T/ V)
- $\Delta P_{T/V}$ = Perdita Tubaz./ Ventilconv. (portata circuito T/ V)
- ΔP_{VI} = Perdita localizzata valvola intercettazione circuito T/ V (portata circuito T/ V)
- $\Delta P_{Coll. M}$ = Perdita distribuita del collettore di mandata (portata totale)
- $\Delta P_{Coll. R}$ = Perdita distribuita del collettore di ritorno (portata totale)

$$\Delta P_{Tot.} = \Delta P_{DT} + \Delta P_{T/V} + \Delta P_{VI} + \Delta P_{Coll. M} + \Delta P_{Coll. R}$$

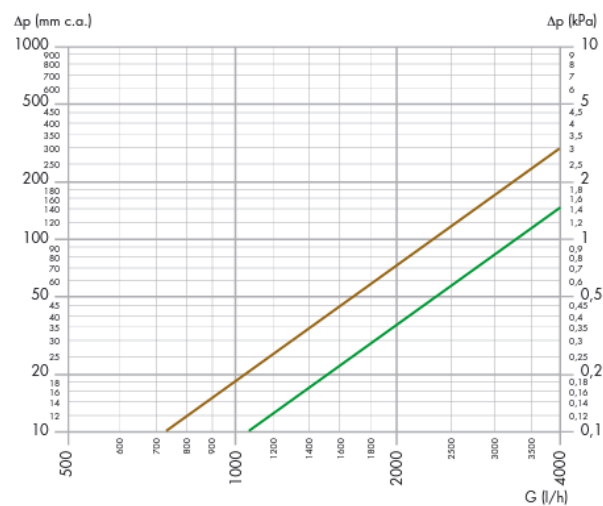
Figura 55 Dettaglio perdite di carico fra collettore e terminale



	Kv	Kv _{0,01}
Detentore tutto aperto	3,10	310
Valvola d'intercettazione	2,87	287

- Kv = portata in m³/h per una perdita di carico di 1 bar

- Kv_{0,01} = portata in l/h per una perdita di carico di 1 kPa



	Kv	Kv _{0,01}
Collettore di mandata/ritorno 3+7 partenze	33,5*	3350*
Collettore di mandata/ritorno 8+13 partenze	23,5*	2350*

* Valore medio

Tabella 23 Perdite di carico tabella per i diversi sottocomponenti

Perdita	[kPa]
Detentore	8
Valvola d'intercettazione	10
Collettore mandata/ritorno 6 partenze	0.07
Pannello	48
Totale	66.14

Tabella 24 Perdite di carico di progetto

Trascurando il tratto di collegamento fra il generatore e il collettore, si può dimensionare la pompa di circolazione tenendo conto dei seguenti parametri di progetto:

- prevalenza di 66.14 kPa
- portata 900 l/h = 0.9 m³/h

al grafico prestazionale sotto riportato, il circolatore più adatto alle esigenze dell'impianto è allocato nella striscia verde scuro modello **evotron 80/130**.

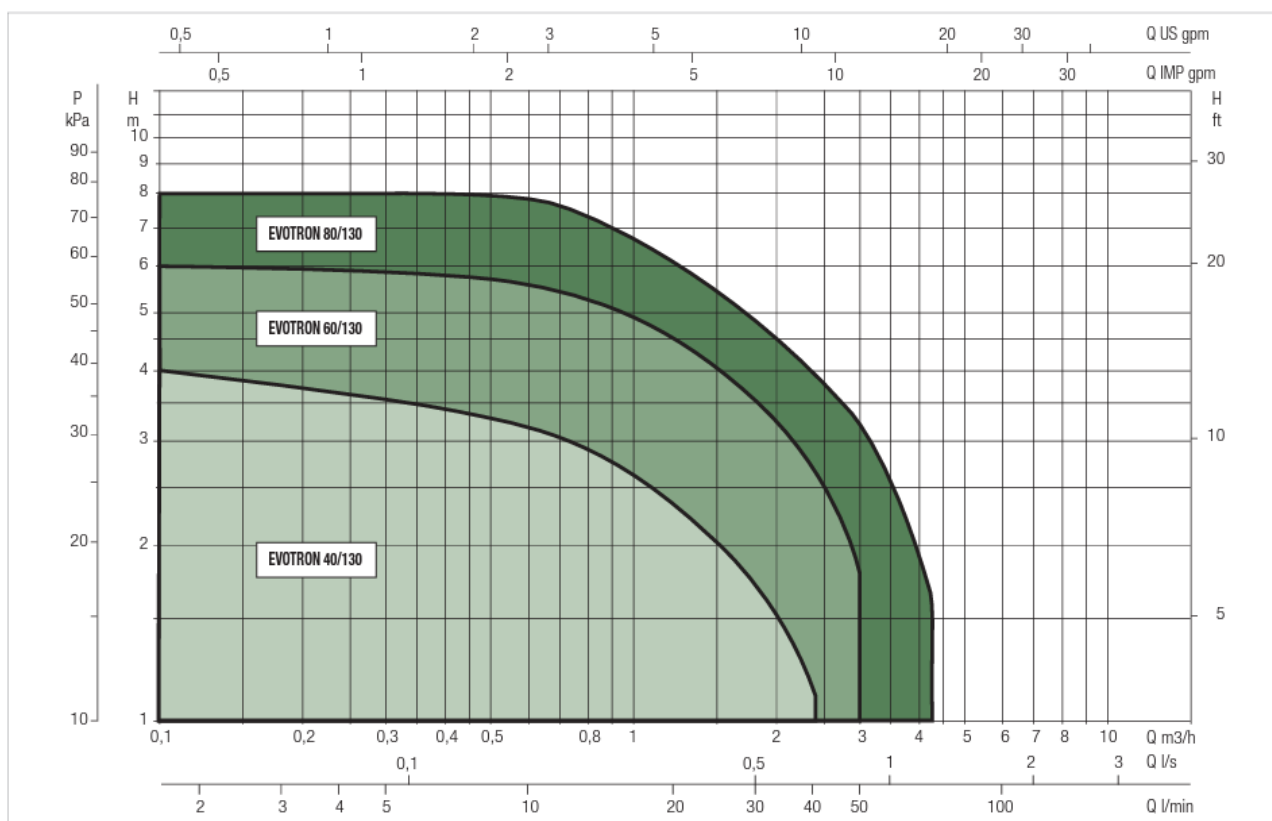
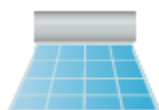


Figura 56 Curve caratteristiche pompe di circolazione

L'ultimo intervento degno di nota è l'**installazione dell'impianto fotovoltaico**. Per il dimensionamento dello stesso, si è pensato di sfruttare la massima superficie disponibile che avesse un'esposizione a sud. Si è riuscito a collocare **15 moduli in silicio monocristallino da 410 Wp** ciascuno per una potenza complessiva di **6150 kWp**, il tutto è servito da un **inverter monofase da 6 kW** e un **sistema di accumulo dell'energia da 9.6 kWh**. Di seguito dati di input del software e schema elettrico unifilare.

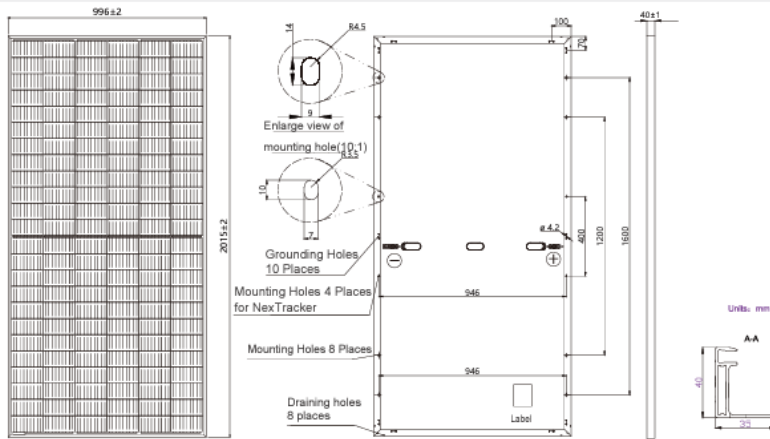


Solare fotovoltaico

Tipo di modulo: Silicio mono-cristallino; **Grado di ventilazione:** Moduli non ventilati;
Superficie in pianta dell'edificio [m²]: 100; **Numero di falde:** 1; **Area netta moduli [m²]:** 28.05; **Potenza picco [kW]:** 6.15.

Figura 57 Dati input software

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	22.7kg±3%
Dimensions	2015±2mm×996±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ²
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	27 Per Pallet

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S10 -400/MR	JAM72S10 -405/MR	JAM72S10 -410/MR	JAM72S10 -415/MR	JAM72S10 -420/MR
Rated Maximum Power(P _{max}) [W]	400	405	410	415	420
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	49.58	49.86	50.12	50.41	50.70
Maximum Power Voltage(V _{mp}) [V]	41.33	41.60	41.88	42.18	42.47
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	10.33	10.39	10.45	10.51	10.56
Maximum Power Current(I _{mp}) [A]	9.68	9.74	9.79	9.84	9.89
Module Efficiency [%]	19.9	20.2	20.4	20.7	20.9
Power Tolerance	0~+5W				
Temperature Coefficient of I _{sc} (α _{Isc})	+0.044%/°C				
Temperature Coefficient of V _{oc} (β _{Voc})	-0.272%/°C				
Temperature Coefficient of P _{max} (γ _{Pmp})	-0.350%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G				

Figura 58 Scheda tecnica modulo fotovoltaico

DATI TECNICI	1PH HYD3000 ZSS	1PH HYD3600 ZSS	1PH HYD4000 ZSS	1PH HYD5000 ZSS	1PH HYD6000 ZSS
Dati tecnici ingresso DC (fotovoltaico)					
Potenza DC Tipica*	3600W	4320W	4800W	6000W	7200W
Massima Potenza DC per ogni MPPT	2000W (160V-520V)	2400W (180V-520V)	2600W (200V-520V)	3000W (250V-520V)	3500W (300V-520V)
N. di MPPT indipendenti/ N. stringhe per MPPT			2/1		
Tensione massima di ingresso			600V		
Tensione di attivazione			120V		
Tensione nominale di ingresso			360V		
Intervallo MPPT di tensione DC			90V-580V		
Intervallo di tensione DC a pieno carico	160V-520V	180V-520V	200V-520V	250V-520V	300V-520V
Massima corrente in ingresso per ogni MPPT			12A/12A		
Massima corrente assoluta per ogni MPPT			15A/15A		
Dati tecnici collegamento batterie					
Tipo di batteria compatibile			Ioni di litio (fornite da Zucchetti)		
Tensione nominale			48V		
Intervallo di tensione ammessa			42V-58V		
Massima potenza di carica/scarica			3000W		
Range di temperatura ammessa**			-10°C/+50°C		
Massima corrente di carica			65A (programmabile)		
Massima corrente di scarica			65A (programmabile)		
Curva di carica			Gestita da BMS di batteria		
Profondità di scarica (DoD)			0%-90% (programmabile)		
Uscita AC (lato rete)					
Potenza nominale	3000W	3680W	4000W	5000W	6000W
Potenza massima	3000VA	3680VA	4000VA	5000VA	6000VA
Massima corrente	13.7A	16A	18.2A	22.8A	27.3A
Tipologia connessione/Tensione nominale			Monofase L/N/PE 220,230,240V		
Intervallo di tensione AC			180V-276V (in accordo con gli standard locali)		
Frequenza nominale			50Hz/60Hz		
Intervallo di frequenza AC			44Hz-55Hz / 54Hz-66Hz (in accordo con gli standard locali)		
Distorsione armonica totale			< 3%		
Fattore di potenza			1 default (programmabile +/- 0.8)		
Limitazione immissione in rete			Programmabile da display		
Uscita EPS (Emergency Power Supply)					
Massima potenza erogata in EPS***			3000VA		
Tensione e frequenza uscita EPS			Monofase 230V 50Hz/60Hz		
Corrente erogabile in EPS			13A		
Potenza apparente di picco in EPS			4000VA per 10s		
Distorsione armonica totale			< 3%		
Switch time			< 10ms		
Efficienza					
Efficienza massima		97.6%		97.8%	98.0%
Efficienza pesata (EURO)		97.2%		97.3%	97.5%
Efficienza MPPT			>99.9%		
Massima efficienza di carica/scarica delle batterie			94.6%		
Consumo in stand-by			< 5W		
Protezioni					
Protezione di interfaccia interna			SI		
Protezioni di sicurezza			Anti islanding, RCMU, Ground Fault Monitoring		
Protezione da inversione di polarità DC			SI		
Sezionatore DC			Integrato		
Protezione da surriscaldamento			SI		
Categoria Sovratensione/Tipo di protezione			Overvoltage Category III / Protective class I		
Scaricatori integrati			AC/DC MOV: Tipo 3 standard		
Soft Start Batteria			SI		
Standard					
EMC			EN 61000-3-2/3/11/12, EN 61000-6-2/3		
Safety standard			IEC 62116, IEC 61727, IEC 61683, IEC 60068-1/2/14/30, IEC 62109-1/2		
Standard di connessione alla rete			Certificati e standard di connessione disponibili su www.zcsazurro.com		
Comunicazione					
Interfacce di comunicazione	Wi-Fi/4G/Ethernet (opzionali), RS485 (protocollo proprietario), SD card, CAN 2.0 (per collegamento con batterie)				
Ulteriori ingressi o connessioni			Ingresso per connessione sensore di corrente		
Archiviazione dati su SD			25 anni		
Informazioni Generali					
Intervallo di temperatura ambiente ammesso			-30°C...+60°C (limitazione di potenza sopra i 45°C)		
Topologia			Trasformerless / Uscita batterie isolata ad alta frequenza		
Grado di protezione ambientale			IP65		
Intervallo di umidità relativa ammesso			0%...95% senza condensazione		
Massima altitudine operativa			2000m		
Rumorosità			< 25dB @ 1mt		
Peso			20.5kg		
Raffreddamento			Convezione naturale		
Dimensioni (H*L*P)			566mm*394mm*173mm		
Display			LCD		
Garanzia			10 anni		

* La potenza DC tipica non rappresenta un limite massimo di potenza applicabile. Il configuratore online disponibile sul sito www.zcsazurro.com fornirà le possibili configurazioni applicabili

** Valore standard per batterie al litio; massima operatività tra +10°C/+40°C

*** La potenza erogata in EPS dipende dal numero e dal tipo di batterie nonché dallo stato del sistema (capacità residua, temperatura)

Figura 59 Scheda tecnica inverter monofase 6 kW

Modello	SBR096	SBR128	SBR160	SBR192	SBR224	SBR256
Caratteristiche tecniche	 3 moduli	 4 moduli	 5 moduli	 6 moduli	 7 moduli	 8 moduli
Dati del sistema						
Tipo di batteria	Cella prismatica LiFePO4					
Modulo batteria	3,2 kWh, 33 kg					
Capacità nominale	9,6 kWh	12,8 kWh	16 kWh	19,2 kWh	22,4 kWh	25,6 kWh
Energia (utilizzabile) ²	9,6 kWh	12,8 kWh	16 kWh	19,2 kWh	22,4 kWh	25,6 kWh
Tensione nominale	192 V	256 V	320 V	384 V	448 V	512 V
Tensione di funzionamento	150 – 219 V	200 – 292 V	250 – 365 V	300 – 438 V	350 – 511 V	400 – 584 V
Potenza CC nominale	5,76 kW	7,68 kW	9,6 kW	11,52 kW	13,44 kW	15,36 kW
Potenza di carica/scarica max	6,57 kW	8,76 kW	10,95 kW	13,14 kW	15,33 kW	17,52 kW
Corrente di carica/scarica max: continua	30 A					
Corrente di carica/scarica max: Impulso 10 s	42 A					
Profondità di scarica	100%					
Corrente di cortocircuito	1700 A					
Display	Indicatore dello stato di carica (SOC), indicatore di stato					
Interfaccia di comunicazione	CAN					
Protezione						
Protezione da sovratensione/sottotensione	Sì					
Protezione da sovracorrente	Sì					
Protezione da sovratemperatura/sottotemperatura	Sì					
Interruttore CC	Sì					
Dati generali						
Dimensioni (L*A*P)	625*545*330 mm	625*675*330 mm	625*805*330 mm	625*935*330 mm	625*1065*330 mm	625*1195*330 mm
Peso	114 kg	147 kg	180 kg	213 kg	246 kg	279 kg
Luogo di installazione	Interno/Esterno					
Metodo di montaggio	Supporto da pavimento					
Intervallo di temperatura ambiente di funzionamento	Carica: da 0 a 50 °C / Scarica: da -30 a 50 °C					
Grado di protezione	IP55					
Intervallo di umidità relativa ammissibile	0% ~ 95% (senza condensa)					
Altitudine di funzionamento max	2000 m					
Metodo di raffreddamento	Convezione naturale					
Certificazioni	CE, CEC, IEC 62619, IEC 62040, UN38.3, VDE 2510-50 ³					
Garanzia ⁴	10 anni					
Espandibilità ⁵	Fino a 4 unità in parallelo (è necessaria una scatola di giunzione extra)					

Figura 60 Scheda tecnica batteria accumulo da 9.6 kWh

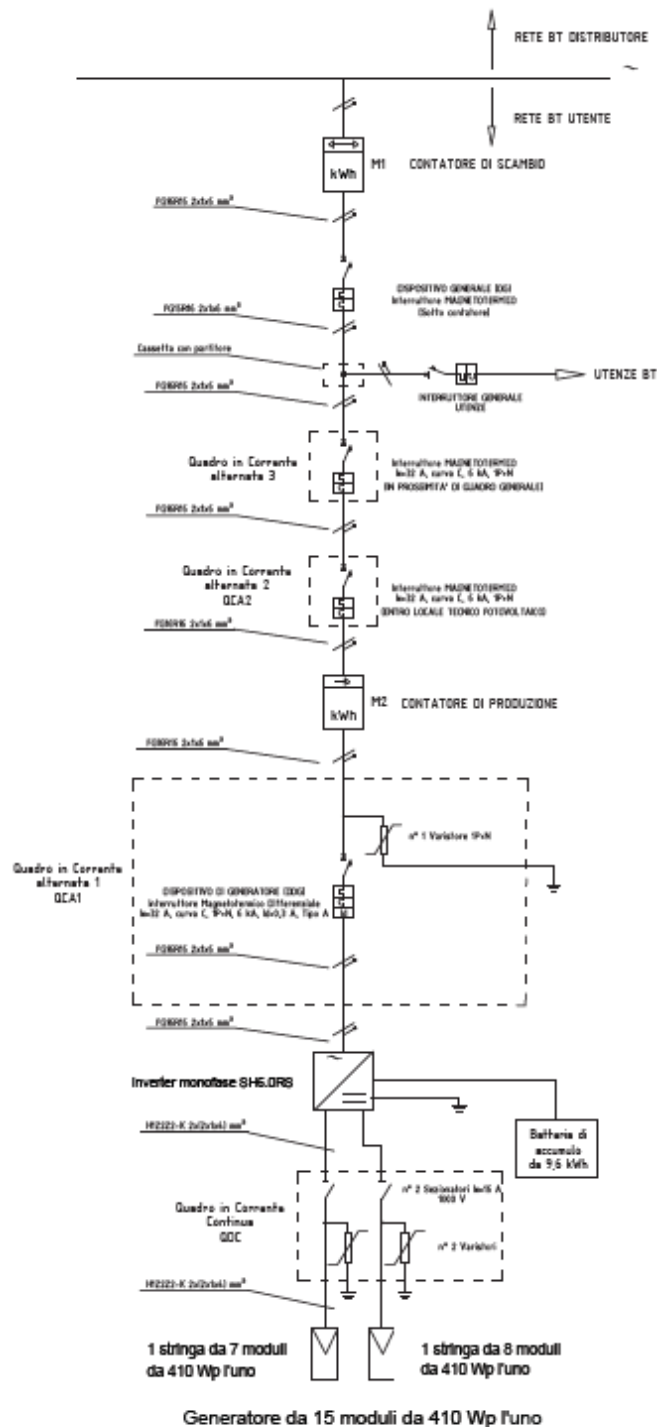


Figura 61 Schema elettrico unifilare

È interessante stimare la produzione annua di tale impianto. Grazie al tool PV-GIS ciò è possibile e si evince come la produzione minima prevista nel mese di dicembre sia di circa 300000 kWh mentre la massima di 900000 kWh viene raggiunta a luglio, come era lecito attendersi.

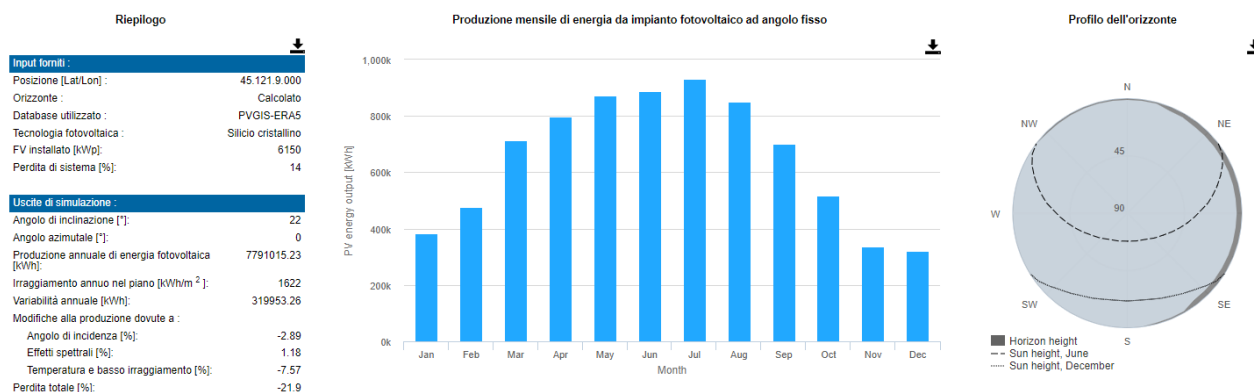


Figura 62 Produzione mensile e annua prevista

Per la pratica di allacciamento e messa in esercizio dell'impianto sarà necessario ricorrere alle piattaforme messe a disposizione dai tre enti coinvolti:

1. **distributore:** per la richiesta del preventivo di connessione, l'accettazione dello stesso e la stesura del regolamento di esercizio;
2. **terna:** per la registrazione e la validazione dell'impianto a cui verrà assegnato un codice CENSIMP;
3. **GSE:** stesura contratto di ritiro dedicato fra l'ente e il produttore dell'impianto che si impegna a cedere l'energia non auto consumata.

Tale processo, soprattutto in un periodo di richieste così abbondante, è abbastanza lento e macchinoso tanto che, al fine di permettere una chiusura senza patemi delle pratiche unifamiliari entro il 31/12/2022, basterà un'autodichiarazione del beneficiario per la cessione dell'energia al GSE a patto che, come avviene per eventuali abusi edilizi, lo stesso provveda con le giuste tempistiche.

Verifica requisiti di accesso e confronto

Prima di procedere con la fase dedicata all'economia del progetto e alle pratiche per asseverare lo stesso, bisogna verificare che lo stesso sia idoneo per accedere all'incentivo.

Gli interventi trainanti sono stati eseguiti addirittura entrambi e, per quanto riguarda l'isolamento delle pareti verticali, si è coibentato oltre il 30 % della superficie disperdente complessiva.

Requisito isolamento delle superfici

Descrizione	Valore
Percentuale della superficie totale soggetta ad interventi	34.53 %
Superficie disperdente lorda soggetta ad interventi	142.33 m²
Superficie disperdente lorda totale	412.17 m²
Nuove superfici disperdenti	0.00 m²

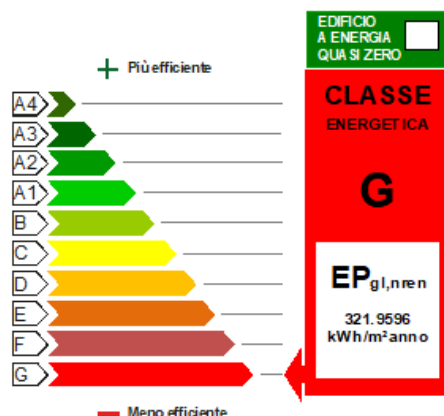
Figura 63 Percentuale di intervento isolamento termico

Il salto delle due classi è stato ampiamente ottenuto come dimostrato dalla comparativa, addirittura raggiungendo la classe energetica migliore in assoluto, seconda sola alla combinazione con la qualifica di edificio NZEB, così come sono stati rispettati tutti i sotto parametri riferiti alle componenti installate:

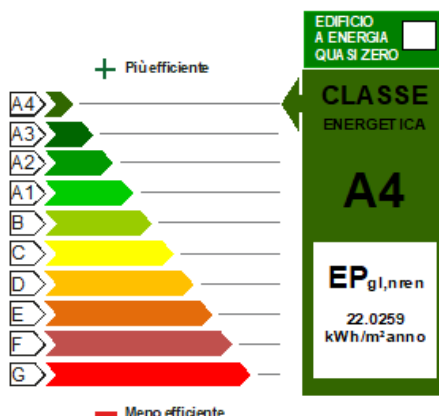


CLASSIFICAZIONE ENERGETICA CONVENZIONALE

ANTE intervento



POST intervento



È assicurato il miglioramento di almeno due classi energetiche

Verifica altri requisiti minimi

Sigla	Descrizione	Esito
H'T	Coefficiente globale di scambio termico medio per trasmissione	✓
Ggl+sh	Trasmittanza di energia solare totale comprensiva di schermatura	✓
Muffa	Verifica muffa	✓
Condensa	Verifica condensa	✓
UMedia	Trasmittanza termica media	✓

Verifica altri requisiti minimi

Sigla	Descrizione	Esito
UMedia	Trasmittanza termica media	✓
UMediaBonus	Trasmittanza MEDIA (al netto dei Ponti Termici)	✓
EtaGh	Rendimento globale medio dell'impianto di riscaldamento	✓
EtaGw	Rendimento globale medio dell'impianto di acqua sanitaria	✓
COP_bonus	COP/GUE della Pompa di Calore (Allegato F superbonus)	✓

Esito della verifica

I requisiti previsti dal Decreto Legge 13 maggio 2020, n.34 (Decreto Rilancio), convertito con modificazioni dalla legge n. 77 del 17 luglio 2020, per accedere al superbonus del 110% sono verificati

Figura 64 Confronto ante e post e verifiche requisiti

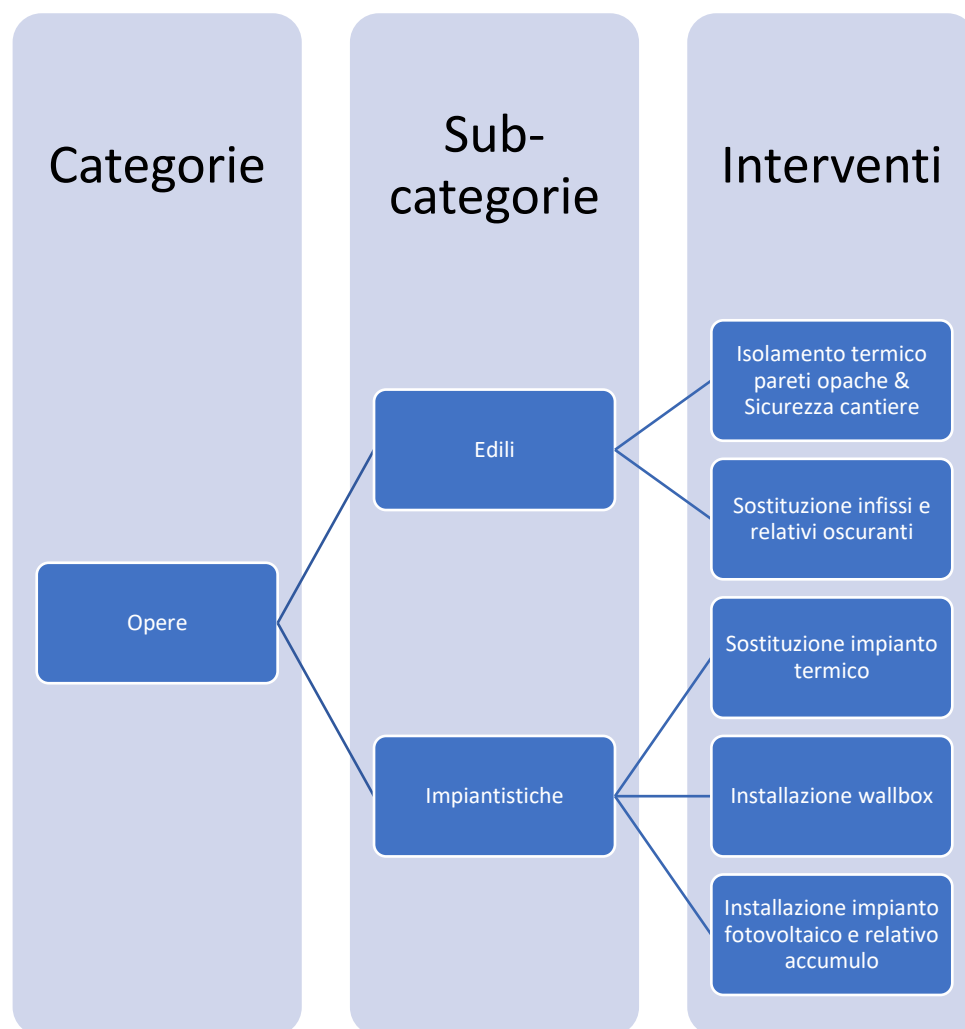
Si seguito una tabella riassuntiva di confronto fra le prestazioni ante e post-intervento:

CENTRALE TERMICA: Unità Aletta					
Descrizione	UM	ANTE	POST	Variazione	%
CLASSE ENERGETICA	-	G	A4	---	↓
EMISSIONI di CO2 TOTALI	kgCO2	6 401.51	515.94	-5885.58	-92 ↓
Fabbisogno di energia primaria TOTALE (QP)	kWh	34 194.91	16 308.75	-17886.16	-52 ↓
INDICE prestazione energetica globale non rinnovabile (EPglnr) per la classificazione energetica	kWh/m²	321.96	22.03	-299.93	-93 ↓
INDICE prestazione energetica globale rinnovabile (EPglr)	kWh/m²	2.35	132.65	130.30	5554 ↑
INDICE prestazione energetica globale non rinnovabile (EPglnr)	kWh/m²	321.96	22.03	-299.93	-93 ↓
INDICE prestazione termica utile per riscaldamento (EP_h_nd)	kWh/m²	203.48	109.98	-93.50	-46 ↓
INDICE prestazione termica utile per raffrescamento (EP_c_nd)	kWh/m²	10.05	4.95	-5.11	-51 ↓
Area solare equivalente estiva (A'sol)	m²	0.0631	0.0247	-0.04	-63 ↓
Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento (Qh_nd)	kWh	21 455.03	11 596.45	-9858.58	-46 ↓
Fabbisogno di energia termica utile per raffrescamento (Qc_nd)	kWh	-1 060.07	-521.65	538.42	-51 ↑
Fabbisogno di energia termica per ACS (Qw)	kWh	1 689.82	1 689.82	0.00	0 ▬
Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento (QPh)	kWh	31 335.02	14 170.02	-17164.99	-55 ↓
Fabbisogno di energia primaria per raffrescamento (QPc)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Fabbisogno di energia primaria per ACS (QPw)	kWh	2 859.90	2 138.73	-721.17	-25 ↓
Fabbisogno totale di energia elettrica ausiliari per riscaldamento (Qxh)	kWh	269.76	0.00	-269.76	-100 ↓
Fabbisogno totale di energia elettrica ausiliari per raffrescamento (Qxc)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Fabbisogno totale di energia elettrica ausiliari per ACS (Qxw)	kWh	256.54	0.00	-256.54	-100 ↓
Fabbisogno di energia elettrica per ventilazione meccanica (QxVe)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Fabbisogno di energia elettrica per illuminazione artificiale (Qxill)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Fabbisogno di energia elettrica per trasporto (QxT)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Energia prodotta dall'impianto Solare Termico (Q_STout)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Energia termica utile fornita dall'impianto solare termico per Riscaldamento (QhSTutile)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Energia termica utile fornita dall'impianto solare termico per ACS (QwSTutile)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico (QelPVout)	kWh	0.00	6 277.20	---	▬
Energia totale prodotta da fonti rinnovabili per riscaldamento	kWh	0.00	12 246.92	---	▬
Energia totale prodotta da fonti rinnovabili per raffrescamento	kWh	0.00	0.00	---	▬
Energia totale prodotta da fonti rinnovabili per ACS	kWh	0.00	5 763.81	---	▬
Rendimento medio globale per riscaldamento (EtaGh)	-	0.68	0.82	0.13	19 ↑
Rendimento medio globale per raffrescamento (EtaGc)	-	0.00	0.00	---	▬
Rendimento medio globale per ACS (EtaGw)	-	0.59	0.79	0.20	34 ↑
Rendimento globale medio (EtaGhw)	-	0.68	0.81	0.14	21 ↑
Emissioni di CO2 per riscaldamento (CO2h)	kgCO2	5 870.50	473.58	-5396.92	-92 ↓
Emissioni di CO2 per raffrescamento (CO2c)	kgCO2	0.00	0.00	---	▬
Emissioni di CO2 per ACS (CO2w)	kgCO2	531.01	42.35	-488.66	-92 ↓
Emissioni di CO2 per ventilazione, illuminazione e trasporti (CO2v + CO2l + CO2t)	kgCO2	0.00	0.00	---	▬
Fabbisogno di energia elettrica da rete per riscaldamento (Qxh_Rete)	kWh	269.76	1 093.22	823.46	305 ↑
Fabbisogno di energia elettrica da rete per ACS (Qxw_Rete)	kWh	256.54	97.77	-158.78	-62 ↓
Fabbisogno di energia elettrica da rete per raffrescamento (Qxc_Rete)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Fabbisogno di energia elettrica da rete per ventilazione (Qxv_Rete)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Fabbisogno di energia elettrica da rete per illuminazione (Qxl_Rete)	kWh	0.00	0.00	---	▬
Fabbisogno di energia elettrica da rete per trasporti (QxT_Rete)	kWh	0.00	0.00	---	▬

Tabella 25 Confronto prestazioni ante post

Constatata la bontà del progetto, si passa alla contabilità dello stesso e alla **verifica sia dei massimali totali che di quelli specifici per intervento**.

Il **computo metrico** avrà la struttura sotto riportata in base ai lavori effettuati e, una volta definito, si andrà a riassumere il tutto nel **quadro economico di progetto** in cui, oltre all'imponibile dei lavori così come stimati, si andranno ad aggiungere le voci relative alle spese tecniche professionali sia dei tecnici che del commercialista con gli opportuni regimi fiscali.



Passando alla verifica dei massimali, si è riuscito nell'intento di permettere al committente di effettuare un lavoro a **costo zero** (sono escluse tutti i versamenti relativi alle pratiche esterne quali allacciamento impianto fotovoltaico e simili) e sono stati verificati anche i nuovi limiti imposti dal decreto MITE relativi al costo della fornitura del materiale per la coibentazione, il generatore termico e l'installazione dei nuovi infissi e avvolgibili.

RIEPILOGO INTERVENTI ECOBONUS	LAVORAZIONI		SPESE TECNICHE			SPESE VISTO DI CONFORMITA'			Delta
	Imponibile	Iva imp+iva	Inc%	Spese T	CASSA PROF 4%	IVA 22%	TOTALE SPESE TECNICHE	SPESA TECNICHE COMMERCIALISTA IVATE	
TRAINANTE - ISOLAMENTO TERMICO INVOLUCRO								€ 49.996,54	€ 50.000,00
TRAINANTE - IMPIANTO TERMICO								€ 29.994,42	€ 30.000,00
TRAINATO - SERRAMENTI ED INFISSI								€ 35.271,25	€ 54.545,45
TRAINATO - WALLBOX								€ 1.986,97	€ 2.000,00
TRAINATO - IMPIANTO FOTOVOLTAICO								€ 14.369,34	€ 14.400,00
TRAINATO - ACCUMULO PER IMPIANTO FV								€ 9.781,67	€ 9.800,00
TOTALE								€ 141.400,20	€ 269.836,35

VERIFICA MASSIMALI MITE	ZONA CLIMATICA		MASSIMALE	[-]	PARAMETRO	[-]	RIFERIMENTO	SPESA	VERIFICA
TRAINANTE - ISOLAMENTO TERMICO INVOLUCRO	E		€ 195,00	€/m2	142,33	m2	€ 27.754,35	€ 19.168,49	OK
TRAINANTE - IMPIANTO TERMICO	E		€ 1.560,00	€/kw/t	9	kw/t	€ 14.040,00	€ 10.510,51	OK
TRAINATO - SERRAMENTI ED INFISSI	E		€ 900,00	€/m2	20,66	m2	€ 18.594,00	€ 16.242,47	OK

Tabella 26 Verifica massimali specifici e complessivi

Asseverazione ENEA

Con lo step appena descritto, la fase di progettazione può ritenersi conclusa ed è necessario avviare le pratiche di cantierizzazione dei lavori così che, una volta effettuati almeno il 30% degli stessi sia in termini fattuali che economici come da quadro economico estimativo, procedere con la prima delle tre asseverazioni a stato di avanzamento lavori SAL concesse.

Per fare ciò, il tecnico abilitato, che può anche coincidere con il progettista, deve inserire tutti i dati richiesta in piattaforma, oltre a caricare i propri documenti di riconoscimento e la polizza assicurativa stipulata per i lavori di superbonus e alla fine si otterrà un'asseverazione protocollata riassuntiva di tutto il progetto, con allegati:

- ape convenzionale ante intervento
- ape convenzionale post-intervento
- computo metrico estimativo
- quadro economico estimativo
- polizza assicurativa (se dedicata altrimenti l'importo viene scalato dal massimale inserito nel momento dell'iscrizione)
- fatture relative al SAL in esame ed eventuali bonifici parlanti qualora non si tratti di sconto in fattura

Appena si seleziona l'opportunità di **creazione di nuova asseverazione**, compare la sezione che non potrà più essere oggetto di modifiche future riguardante la descrizione dell'immobile e la percentuale di SAL che si intende processare. In particolare, si dovrà indicare se trattasi di unità unifamiliare o condominiale, ubicazione, eventuali restrizioni paesaggistiche che impediscono la realizzazione di un intervento trainante, ambito di intervento.

Si prosegue entrando nel merito dell'opera con la **dichiarazione di deposito** documentazione presso uffici di competenza e relativa ex legge 10, **descrizione immobile a livello catastale**, indicazione del **beneficiario** e degli interventi precisando lo stato ante intervento e i nuovi valori sia delle strutture che di **risparmio di energia primaria non rinnovabile annua [kWh/anno]**.

Crea nuova asseverazione

TIPO DI EDIFICIO ☐ EDIFICIO CONDOMINIALE ☒ EDIFICIO UNIFAMILIARE ☐ UNITÀ IMMOBILIARE
Spunta ALL'interno Di Edificio Pluri-familiare Con Sui Finalizzante Indipendente E Omogeneo Di Uno O Più Accessi Autonomi Dall'esterno

DATA INIZIO LAVORI

COMUNE DI UBICAZIONE

È UN COMUNE MONTANO? ☐ SÌ ☒ NO

IL COMUNE È INTERESSATO DALLA PROCEDURA DI INFRAZIONE COMUNITARIA N. 2014/2147 Del 10 Luglio 2014 O N. 2015/2043 Del 28 Maggio 2015 Per La Non Osservanza Dell'Art. 119 Del D.L. 34/2020 E SUCCESSIVE MODIFICAZIONI. ☐ SÌ ☒ NO

L'INTERVENTO RIENTRA TRA QUELLI PREVISTI DAL COMMA 4-TER DELL'ART. 119 DEL D.L. 34/2020 E SUCCESSIVE MODIFICAZIONI. ☐ SÌ ☒ NO

! TUTTE queste informazioni NON possono essere più cambiate, una volta che si clicca su «Invia» nemmeno nei SAL successivi.

INDIRIZZO

NUMERO CIVICO

CAP

ANNO DI COSTRUZIONE DELL'IMMOBILE (Anno Iniziale)

SUPERFICIE TOTALE DISPERDENTE (m²)

L'EDIFICIO È IN UN'AREA NON METANIZZATA? ☐ SÌ ☒ NO
Al Solo Del Comma 1 Lettera C Del Art. 119 Del D.L. 34/2020 ("Rinnovo")

AUTORIZZAZIONE EDILIZIA ☐ LICENZA EDILIZIA / TITOLO EDILIZIO ☐ CONCESSIONE IN SANATORIA ☐ EDIFICIO STORICO SENZA TITOLO EDILIZIO

L'INTERVENTO RIENTRA NEI CASI ☐ SÌ ☒ NO
Di Cui All'articolo 3, Comma 1, Lettera D), E) E F), Del Testo Unico Di Cui Al Decreto Del Presidente Della Repubblica 6 Giugno 2001, N. 380

L'EDIFICIO È SOTTOPOSTO AD ALMENO UNO DEI VINCOLI PREVISTI DAL CODICE DEI BENI CULTURALI E DEL PAESAGGIO, DI CUI Al Decreto Legislativo 22 Gennaio 2004, N. 42, O GLI INTERVENTI SONO VIETATI DA REGOLAMENTI EDILIZI, URBANISTICI E AMBIENTALI DI CUI Al Comma 1 Dell'art. 119 Del D.L. 34/2020 Coniugato Con La Lettera 17 Luglio 2020, 77. ☐ SÌ ☒ NO

S.A.L. ☐ ALMENO AL 30% ☐ ALMENO AL 60% ☐ A FINE LAVORI

**Per teleriscaldamento
Per biomassa
Limite di spesa incrementato del 50%
Limite di 1.600 €/kW per FV
Per realizzare solo interventi «trainati» del comma 2**

ENEA

IN VIA

9

DICHIARA CHE

è stata depositata la relazione tecnica prevista dall'art. 28 della legge 10/91 e dall'art. 8 comma 1 del D.lgs 192/05 e successive modificazioni secondo i modelli riportati nel decreto 26/06/2015 "Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici", o modulistica prevista da disposizioni regionali sostitutive, comprensiva di tutti gli allegati;

Superfici opache verticali e orizzontali

Il risparmio di energia primaria non rinnovabile di progetto è [kWh/anno] 10524.76					
Stratigrafia	Superficie [m²]	Trasmittanza ANTE [W/m²K]	Trasmittanza POST [W/m²K]	Yie [W/m²K]	Confine
Verticali UMediaBonus = 0.2124 W/m²K					
MLP01 - Muratura mattoni laterizio pieni POST	125.02	1.3361	0.2106	0.0050	Esterno
sottofinestra	14.22	2.2579	0.2251	0.0408	Esterno
TOTALE	139.24				

Risparmi di energia primaria ottenuti con gli interventi sugli impianti

Intervento	Energia primaria non rinnovabile [kWh/anno]
Impianto ACS	1842.73
Impianto Riscaldamento	12140.81
Totale Impianti	13983.55

Impianti

PC) Pompa di calore (PDC) a compressione di vapore elettriche anche sonde geotermiche						
VECCHIO GENERATORE SOSTITUITO:		Tipo: Caldaia standard		Potenza Utile Nominale [kW]: 25.80		
Tipo di PDC:	Potenza Utile Nominale [kW]	P. Elettrica assorbita [kW]	Inverter	COP	EER	Sup. riscaldata dalla PDC [mq]
Aria / Acqua	9.00	2.01	SI	4.48	4.25	105.44
Tipo Roof Top:	E' reversibile					
NO	SI					

FV) Impianto fotovoltaico	
	Potenza di picco [kW]
	6.15

eseguiti su:

L'edificio condominiale denominato città: **Roma** (prov. **RM**)

composto dalle seguenti unità immobiliari così individuate:

- 1) **Unità immobiliare** composta dagli identificativi catastali: , i beneficiari della detrazione sono:
Il costo complessivo di progetto sull'unità immobiliare ammonta a : € euro; la spesa ammissibile è € euro.
Sono stati conclusi gli interventi per un ammontare pari a : € euro; la spesa ammissibile è € euro
☐ l'unità immobiliare è riscaldata?
☐ sono stati eseguiti interventi trainati?
[Modifica Dati unità immobiliare](#) **Dati non validati**
- 2) **Unità immobiliare** composta dagli identificativi catastali: , i beneficiari della detrazione sono:
Il costo complessivo di progetto sull'unità immobiliare ammonta a : € euro; la spesa ammissibile è € euro.
Sono stati conclusi gli interventi per un ammontare pari a : € euro; la spesa ammissibile è € euro
☐ l'unità immobiliare è riscaldata?
☐ sono stati eseguiti interventi trainati?
[Modifica Dati unità immobiliare](#) **Dati non validati**

1) **Unità immobiliare** composta dagli identificativi catastali: { }, i beneficiari della detrazione sono: { CF: }

1) Foglio: **54,3** Particella: **4,0** Sub: **4/2** Quota mill. Involucro: **654**
Quota mill. Impianti: **44** Superficie: **177** [m²] **Categoria Catastale: A/2** ▼

Il/i beneficiari della detrazione sono:

+ *Descrivi più righe se i beneficiari della detrazione sono più di uno*

1) Tipo beneficiario: **Persona fisica** ▼ Titolo di possesso: **Proprietario o comproprietario** ▼
Codice fiscale: ☒ Partita iva: ☐ Altro soggetto senza partita iva: ☐
Codice fiscale:

☒ l'unità immobiliare è riscaldata?
☐ sono stati eseguiti interventi trainati?

Conclusione

Sebbene l'ambito del superbonus 110% sia quello che attualmente ricopre la maggior parte della mia occupazione, ho avuto piacere nel trattarlo in tutte le sue sfaccettature perché, oltre al mero risparmio economico per i privati e di guadagno per chi opera nel settore, è anche un ottimo tramite per diffondere quei concetti che saranno alla base della formazione delle generazioni future oltre che da inculcare in quelle del presente, vecchi e giovani che siano. Questi temi riguardano appunto la sostenibilità ambientale, l'uso razionale dell'energia e ultimo, ma non meno importante, che ognuno di noi non deve sentirsi solo a sé stesso ma entrare nell'ottica che ogni azione fatta può essere fatale per le sorti di un'intera comunità.

Per quanto riguarda l'incentivo, lo stesso ha generato e genera tutt'ora pareri discordanti. Per gli ordini degli ingegneri di tutta Italia e per tutte le società a sfondo edile, la detrazione fiscale al 110% è stata una vera e propria manna dal cielo che sperano venga prolungata negli anni a venire.

GIRO D'AFFARI PER RECUPERO EDILIZIO E RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA COLLEGATO AGLI INCENTIVI FISCALI		
Periodi	Stima del giro di affari di imprese relativo a incentivi fiscali (milioni di euro)	variazione % su stesso periodo anno precedente
2018	23.475	2,3
2019	23.588	0,5
2020	21.988	-6,8
2021	31.513	43,3
gennaio 2022	7.350	110,0
febbraio 2022	1.813	35,5
marzo 2022	2.350	37,2
aprile 2022	3.263	42,6
maggio 2022	2.963	28,1
giugno 2022	3.700	45,8
luglio 2022	3.863	37,9
agosto 2022	4.038	26,7
gennaio - agosto 20	29.338	49,1

Figura 66 Investimenti nel patrimonio edilizio pre e post incentivo ad agosto 2022

Per Bankitalia invece, ad esempio, in una recente analisi in merito a come l'Italia sta gestendo i fondi del PNRR, l'incentivo così come impostato e relazionato alla previsione di riduzione delle emissioni di CO₂ di 0.677 milioni di tonnellate entro il 2027, è una misura estremamente onerosa per le casse dello stato e, stando agli attuali tassi di interesse esercitati dalle banche, si ripagherebbe dal 2100 in poi e da suggerito una riduzione dell'aliquota del 40%.

Sebbene ognuno come si suole dire 'tiri l'acqua al proprio mulino', queste due considerazioni fanno capire quanto vasto sia il tema energetico e quante le variabili da considerare.

Qualunque sia il futuro di questo incentivo in particolare, la strada è stata comunque tracciata e la terra non smetterà di chiedere aiuto.

Indice delle figure e tabelle

Figura 1 Fabbisogno mondiale di energia primaria aggiornato al 2013 (IEA, s.d.)	4
Figura 2 Obiettivi proposti dalle principali nazioni in ambito accordo di Parigi	5
Figura 3 Missioni inserite nel PNRR.....	7
Figura 4 Componenti della missione 2	8
Figura 5 Dettaglio della componente 3, inerente alla trattazione	8
Figura 6 Distribuzione degli APE (attestati di prestazione energetica) per periodo di costruzione (a) e distribuzione percentuale degli APE per periodo di costruzione e classe energetica (b)	10
Figura 7 Investimenti del settore edilizio (ANCE, s.d.)	10
Figura 8 Immagine riassuntiva del meccanismo di interventi trainati e trainanti	14
Figura 9 Requisiti degli interventi di isolamento termico	15
Figura 10 Requisiti minimi pompe di calore.....	17
Figura 11 Requisiti minimi caldaia a biomassa.....	19
Figura 12 Requisiti minimi collettori solari.....	20
Figura 13 Massimali specifici decreto prezzi.....	23
Figura 14 Riassunto del meccanismo fiscale	26
Figura 15 Schema di flusso iter realizzazione superbonus 110%.....	27
Figura 16 Raffigurazione volume di controllo (in rosso)	33
Figura 17 Andamento del carico termico in condizioni invernali ed estive	34
Figura 18 Schema di funzionamento carichi estivi.....	45
Figura 19 Individuazione immobile	48
Figura 20 Planimetrie e sezione immobile	49
Figura 21 Redazione fotografica stato di fatto.....	50
Figura 22 Dati di progetto	51
Figura 23 Irradiazioni mensili, totali e per esposizione	52
Figura 24 Periodo di riscaldamento e raffrescamento.....	52
Figura 25 Stratigrafia muratura portante perimetrale.....	53
Figura 26 Stratigrafia sottofinestra	54
Figura 27 Stratigrafia solaio sottotetto e piano rialzato	55
Figura 28 Scheda tecnica infisso tipo ante intervento	56
Figura 29 Planimetrie di confronto sovrapponendo stato di fatto e stato assentito	58
Figura 30 Destinazioni d'uso	59
Figura 31 Edificio modellato.....	62
Figura 32 Planimetria con dettaglio delle strutture	62
Figura 33 Risultati stato di fatto.....	63
Figura 34 Parametri indice di prestazione invernale.....	64
Figura 35 Parametri indice di prestazione estivo	64
Figura 36 Fabbisogni di energia per il riscaldamento.....	65
Figura 37 Dispersioni termiche per tipologia di elemento disperdente	66
Figura 38 Stratigrafia muratura portante post.....	70
Figura 39 Stratigrafia sottofinestra post	71
Figura 40 Scheda tecnica materiale isolante.....	72
Figura 41 Verifica igrometrica stratigrafia verticale isolata	74
Figura 42 Ponte termico angolare coibentato	74
Figura 43 Classi di umidità interna	75
Figura 44 Relazione tecnica in sintesi modellazione ponte termico parete infisso	78

Figura 45 Modellazione del ponte termico con relativi risultati riportati in maniera grafica.....	80
Figura 46 Andamento generico del COP in funzione della temperatura esterna di funzionamento.....	81
Figura 47 Valori di rumore emesso dalla macchina esterna	82
Figura 48 Schema di centrale	83
Figura 49 Sistema di trasmissione: confronto fra impianto a radiatore e a pannelli radianti	84
Figura 50 Andamento delle temperature per il benessere ideale	84
Figura 51 Stratigrafia solaio di calpestio con massetto di impianto	86
Figura 52 Schema di flusso dimensionamento impianto a pavimento	87
Figura 53 Dati di default comuni a tutti i locali	88
Figura 54 Schema di distribuzione	92
Figura 55 Dettaglio perdite di carico fra collettore e terminale	93
Figura 56 Curve caratteristiche pompe di circolazione.....	95
Figura 57 Dati input software.....	95
Figura 58 Scheda tecnica modulo fotovoltaico	96
Figura 59 Scheda tecnica inverter monofase 6 kW.....	97
Figura 60 Scheda tecnica batteria accumulo da 9.6 kWh	98
Figura 61 Schema elettrico unifilare	99
Figura 62 Produzione mensile e annua prevista	100
Figura 63 Percentuale di intervento isolamento termico	100
Figura 64 Confronto ante e post e verifiche requisiti	101
Figura 65 Estratti da portale enea.....	108
Figura 66 Investimenti nel patrimonio edilizio pre e post incentivo ad agosto 2022	109

Tabella 1 Tabella riassuntiva massimali di spesa ammissibili	21
Tabella 2 Classifica delle frodi fiscali (AdE, s.d.)	25
Tabella 3 Temperatura interna di progetto in funziona del tipo di locale	37
Tabella 4 Temperature esterne di progetto provinciali	37
Tabella 5 Fattore correttivo in funzione del locale non riscaldato	39
Tabella 6 Determinazione parametro per la determinazione del coefficiente.....	40
Tabella 7 Parametri per la valutazione del coefficiente di trasmissione verso il terreno.....	43
Tabella 8 Superficie utile e potenza dei terminali per ogni sottozona	60
Tabella 9 Fattori correttivi considerati per i solai	61
Tabella 10 Dati del fabbricato ante intervento	63
Tabella 11 Valori ottenuti ante intervento.....	64
Tabella 12 Valori apporti solari suddivisi per componente disperdente	66
Tabella 13 Carico termico di progetto in dettaglio	66
Tabella 14 Dettaglio tipologie di intervento e requisiti minimi	68
Tabella 15 Trasmittanza limite pareti opache verticali per zona climatica	69
Tabella 16 Trasmittanza minima infissi per zona climatica.....	73
Tabella 17 Confronto ante/post infissi.....	73
Tabella 18 Temperature superficiali di pavimento in funzione dell'ambiente	85
Tabella 19 Carico termico singolo locale, confronto ante post.....	85
Tabella 20 Dati di progetto per locale	89
Tabella 21 Coefficiente di perdita localizzata per valvola di intercettazione.....	91
Tabella 22 Perdite totali dei singoli pannelli	91
Tabella 23 Perdite di carico tabella per i diversi sottocomponenti	94
Tabella 24 Perdite di carico di progetto	94
Tabella 25 Confronto prestazioni ante post.....	102

Tabella 26 Verifica massimali specifici e complessivi.....	104
--	-----

Bibliografia

(s.d.). Tratto da <https://www.iea.org/data-and-statistics>

AdE. (s.d.). Tratto da <https://agenziaentrate.gov.it/portale/>

ANCE. (s.d.). Tratto da <https://ance.it/?>

CALEFFI. (s.d.). Tratto da <https://www.caleffi.com/italy/it/news/schemi-caleffi-2019>

ENEA. (s.d.). Tratto da <https://www.energiaenergetica.enea.it/pubblicazioni/raee-rapporto-annuale-sull-efficienza-energetica/rapporto-annuale-sull-efficienza-energetica-2022.html>

europa, C. (s.d.). Tratto da https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it#thematicareas

IEA. (s.d.). Tratto da <https://www.iea.org/data-and-statistics>