



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in
INGEGNERIA ENERGETICA E NUCLEARE
A.a. 2021/2022
Tesi di Laurea Magistrale
Sessione di Laurea luglio 2022

Riqualificazione energetica residenziale mediante Superbonus 110

Riqualificazione energetica residenziale mediante l'accesso
all'incentivo fiscale Superbonus 110, introdotto dal decreto-legge
"Rilancio" del 19 maggio 2020

Relatori:

Marco Carlo Masoero

Candidati:

Francesco Zito

SOMMARIO

1	ABSTRACT	5
2	INTRODUZIONE	6
2.1	Panorama del patrimonio edilizio italiano e relativi problemi: energetici, statici, antisismici	6
2.2	Impatto della pandemia sul settore edile	8
3	SUPERBONUS 110%	9
3.1	Struttura dell'incentivo	9
3.1.1	Requisiti d'accesso	9
3.1.2	Tipologie di interventi art.119	10
3.1.3	Il credito d'imposta	11
3.1.4	Aspetti economici rif. Art.121 comma 1 del DL 34/2020	12
4	NORMATIVA EDILIZIA ED ENERGETICA DEL SETTORE RESIDENZIALE	13
4.1	Norma edilizia	13
	CILA Superbonus 110%	20
4.2	Norma in ambito Energetico	20
4.2.1	Requisiti minimi e la certificazione energetica	20
4.2.2	Bilancio energetico e calcolo della potenza termica per riscaldamento	25
	UNI EN 12831	28
4.2.3	Calcolo dei carichi termici estivi	31
4.2.4	UNI TS 11300-1 Procedura di Calcolo del fabbisogno termico	33
	Parametri di trasmissione termica	33
	Caratterizzazione termica dei componenti	33
	Ambienti non riscaldati e flussi verso il terreno	35
	Ventilazione - Portate minime di aria esterna e portate di riferimento	36
	Equazioni generali di fabbisogno energetico	37
	Calcolo degli apporti solari	41
	Apporti interni	42
	Extra flusso verso la volta celeste	43

4.2.5	UNI TS 11300-2 Procedura di Calcolo del fabbisogno termico in termini di energia primaria	44
5	IL CASO STUDIO	48
5.1	Descrizione dell'area urbana	48
5.2	Descrizione dello stato dei luoghi	49
5.3	Sopralluogo e analisi Preliminare	51
5.4	Progetto energetico	52
5.4.1	Progetto preliminare e stato di fatto	52
	Parametri Climatici Della Località	52
	Dati Tecnici E Costruttivi Dell'edificio	53
	Spazi e zone termiche	53
	Componenti Strutturali Del Fabbricato	54
	Ventilazione	60
	Potenza Termica Per Riscaldamento	60
	Potenza termica per raffrescamento	62
	Fabbisogno termico	64
	Calcolo degli scambi di energia termica per trasmissione	65
	Apporti di energia interna	66
	Apporti interni latenti	67
	Apporti solari attraverso componenti trasparenti	68
	Riepilogo del fabbisogno termico di riscaldamento e raffrescamento	69
	Impianto termico	71
5.4.2	Interventi migliorativi	73
	Coibentazione e sostituzione infissi	73
	Requisiti tecnici dei nuovi componenti edilizi	73
	Modellazione FEM dei ponti termici	78
	Nuova potenza termica per riscaldamento	83
	Nuova potenza termica per raffrescamento	84
	Impianto fotovoltaico	84
	Impianto termico	90
5.4.3	Autonomia	94
5.4.4	Verifica requisiti SuperBonus e schema di centrale	95
5.4.5	Sistema di emissione	96
	Dimensionamento impianto radiante	100
	Dimensionamento impianto a ventil convettori	110
5.5	Iter amministrativo e progettuale	113
5.6	Descrizione dell'intervento definitivo	115

CONCLUSIONE 117

BIBLIOGRAFIA 121

1 ABSTRACT

Questo elaborato vuole fornire una guida operativa per la realizzazione di opere di riqualificazioni energetiche di edifici ad uso civile. Lo studio è sviluppato analizzando l'intero processo ingegneristico e amministrativo necessario ad un intervento d'efficientamento energetico di una civile abitazione, inoltre, sempre in questo trattato è integrata la procedura di accesso agli incentivi statali introdotti dal D.L. "Rilancio" 19 maggio 2020, n. 34 c.d. SuperBonus 110%.

Il capitolo introduttivo approfondisce gli aspetti storici, politici ed economici al fine di comprendere il contesto e le motivazioni che hanno portato all'emanazione del suddetto decreto.

Nel terzo capitolo, dopo un breve inquadramento normativo, vi è un resoconto dettagliato degli articoli più salienti della legge, nello specifico art.119-121.

Il quarto capitolo approfondisce la norma edilizia ed energetica, al fine di permettere una migliore comprensione di tutte le fasi interessano i progetti di efficientamento energetico in ambito residenziale.

Dal quinto capitolo è descritto l'iter di lavoro svolto per la realizzazione di un intervento di efficientamento energetico e delle pratiche necessarie per accedere all'incentivo statale:

- vengono ripercorse e analizzate tutte le tappe che hanno permesso la realizzazione di un intervento di riqualificazione energetica di una villetta monofamiliare sita in provincia di Taranto;
- segue la trattazione degli interventi migliorativi realizzati e i risultati ottenuti in termini di risparmio di energia primaria non rinnovabile.
- Successivamente sono presentati in dettaglio tutti i documenti prodotti durante la fase di progettazione dell'opera e quelli relativi all'incentivo statale previsto dal S.B.110.

2 INTRODUZIONE

2.1 PANORAMA DEL PATRIMONIO EDILIZIO ITALIANO E RELATIVI PROBLEMI: ENERGETICI, STATICI, ANTISISMICI

Nel 2011 l'ISTAT ha censito 12,2 milioni di edifici residenziali di questi, 7,2 milioni (il 60%) sono stati costruiti prima del 1980 e 5,2 milioni (42,5%) hanno più di 50 anni. Questi dati permettono di affermare che il patrimonio immobiliare italiano sia datato e obsoleto.

Vi sono due aspetti connessi alla vetustà del patrimonio immobiliare nazionale, ovvero quello della performance energetica degli edifici e quello della sicurezza statica correlata alla sismicità del territorio nazionale.

Il settore edile, a partire dai primi anni duemila ha subito un brusco rallentamento. Il calo demografico e i sempre minori investimenti nelle opere pubbliche hanno causato una drastica riduzione della domanda, inoltre, la situazione è peggiorata ulteriormente con la crisi economica del 2008. Come si può evincere dal testo sottocitato:

Nel decennio 2008-2017, l'occupazione nel settore delle costruzioni, in Europa, si è ridotta di 3,4 milioni. Nello stesso periodo, in Italia, la riduzione è stata pari a 539.000 posti di lavoro (-28%). Si è passati da 1,9 milioni di addetti a 1,4 milioni. In particolare, sono stati persi 355.000 posti nel comparto delle costruzioni dei privati e delle aziende; 43.000 addetti nel comparto delle opere pubbliche; 105.000 lavoratori specializzati. [...] A livello territoriale, il 44% dell'occupazione si è persa nel Nord, il 40% nel Mezzogiorno e il 16% nel Centro¹.

Nel grafico 1, viene mostrato il brusco calo delle nuove costruzioni che hanno caratterizzato l'inizio del nuovo millennio, ad oggi si assiste ad un lieve aumento se pur non confrontabile con gli standard prima della crisi.

¹ (Il settore delle costruzioni in Italia).

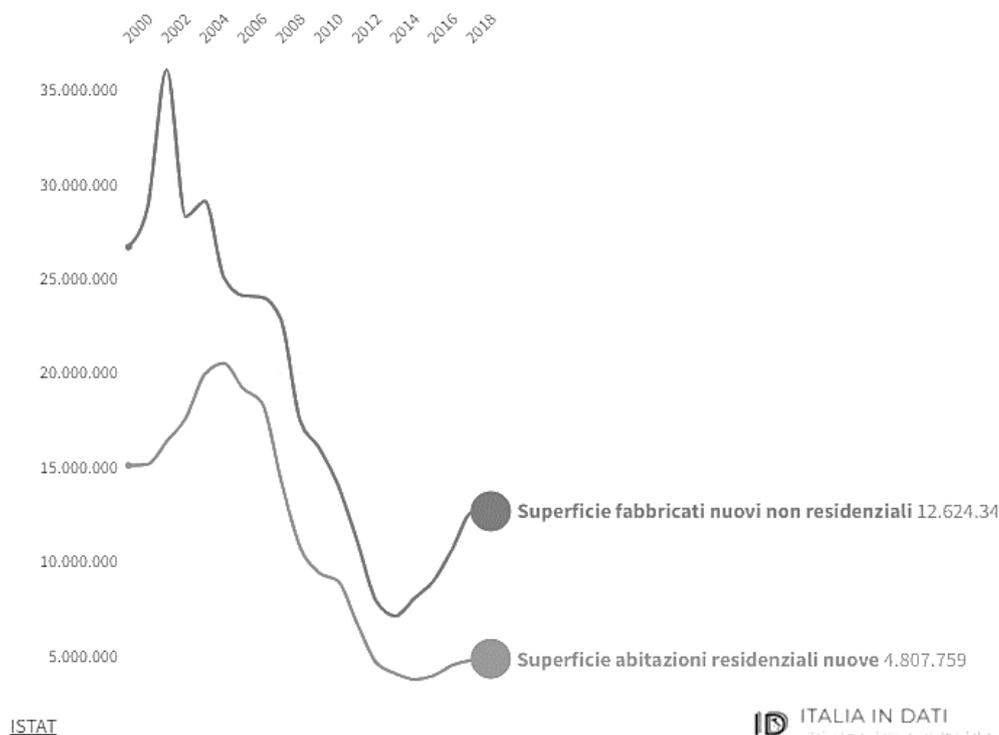


grafico 1 nuove costruzioni residenziali e non residenziali 2000-2018 fonte ISTAT

A partire dal 2007 il Governo italiano ha stanziato sempre più miliardi a sostegno del settore. Nuove detrazioni fiscali sono state introdotte per investimenti sugli immobili dalla finanziaria del 2007, e sono passate dai 9.4 miliardi del 2008 a 28.1 miliardi del 2017, quasi il +200% (Il settore delle costruzioni in Italia). È bene sottolineare il fatto che il panorama immobiliare nazionale, essendo molto datato, presenta importanti criticità sia dal punto di vista costruttivo, sia da quello regolamentare. Queste due motivazioni hanno portato il governo a sviluppare degli incentivi nell'ambito della ristrutturazione edilizia piuttosto che nelle nuove costruzioni, con due obiettivi: il risanamento dal punto di vista urbanistico catastale e l'adeguamento ai nuovi standard in termini energetici e di sicurezza strutturale.

Come afferma **Stefano Vasarri** nel suo articolo:

Nel 2007 infatti, sono entrate in vigore le norme volte ad agevolare distintamente gli interventi effettuati per l'efficientamento energetico degli edifici (c.d. risparmio energetico)...La legge finanziaria 2007 infatti, (legge n. 296 del 2006) ha introdotto per la prima volta tale tipologia di detrazione distintamente dagli altri interventi (strutturali o meno) effettuati sugli immobili.[...] Fin dall'inizio dell'applicazione, comunque, appare evidente l'intenzione del legislatore, di favorire le tipologie di interventi volti, in questo caso a realizzare un vero e proprio piano di investimento sulla casa in vista di adeguati

risparmi in termini di consumi energetici e ricorso ad energie alternative (pannelli fotovoltaici)².

Di fatto gli interventi incentivati dal SuperBonus sono finalizzati proprio a questo, essi infatti possono essere visti come un aumento della detrazione al 110% di due precedenti tipologie di agevolazioni introdotte dal SismaBonus (D.L. n. 63 del 2013) e dall'Ecobonus (D.M. Del 19/02/2007).

2.2 IMPATTO DELLA PANDEMIA SUL SETTORE EDILE

L'anno duemila venti è stato disastroso per il settore edile: in base ai dati Istat, si è avuto un calo degli investimenti nelle costruzioni dell'8,2%, con picchi tra marzo (-35,7%) e aprile (-69,7%). Il blocco dovuto alla pandemia da Coronavirus ha determinato un crollo degli investimenti del 10%, azzerando di fatto la lieve ripresa a cui si era assistito a partire dal 2017.

Il SuperBonus 110 per cento nasce in risposta a questa ulteriore crisi che riguarda il settore delle costruzioni, il Decreto-legge del 19/05/2020 n. 34 - *Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19*. – ha trainato il recupero dell'edilizia ed ha permesso di chiudere l'anno 2021 con un segno positivo e una crescita della produzione del 30.3% in più rispetto l'anno precedente.³

² (Vasari)

³ (Latour, 2021)

3 SUPERBONUS 110%

Il Superbonus 110% è una misura di incentivazione introdotta dal D.L. “Rilancio” 19 maggio 2020, n. 34, che punta a rendere più efficienti e più sicure le nostre abitazioni. Il meccanismo prevede che gli interventi possano essere svolti anche a costo zero per il cittadino!⁴

L'incentivo consiste in una detrazione del 110% che si applica sulle spese sostenute dal 1° luglio 2020 al 30 giugno 2022 da ripartire in cinque quote annuali e, per la parte di spesa sostenuta nell'anno 2022, in quattro quote annuali di pari importo.

3.1 STRUTTURA DELL'INCENTIVO

3.1.1 Requisiti d'accesso

L'accesso all' incentivo è rivolto a

- condomini,
- abitazioni monofamiliari,
- persone fisiche al di fuori dell'attività di impresa,
- Istituti autonomi case popolari (IACP),
- cooperative di abitazione a proprietà indivisa,
- organizzazioni non lucrative di utilità sociale,
- organizzazioni di volontariato,
- associazioni di promozione sociali,
- associazioni e società sportive dilettantistiche,
- persone fisiche che risiedono in edifici composti da due a quattro unità immobiliari distintamente accatastate possedute da un unico proprietario o in comproprietà da più persone fisiche.

nota: uno dei requisiti per beneficiare dell'incentivo è che l'unità immobiliare sia "funzionalmente indipendente" ovvero, che sia dotata di **almeno tre** delle seguenti installazioni o manufatti di **proprietà esclusiva**:

- impianti per l'approvvigionamento idrico,
- impianti per il gas,
- impianti per l'energia elettrica,
- impianto di climatizzazione invernale.

⁴ (Governo.it, 2022)

Inoltre, l'unità immobiliare deve possedere un "accesso autonomo" ovvero un ingresso indipendente non comune ad altre unità immobiliari, chiuso da cancello o portone di ingresso che consenta l'accesso dalla strada o da cortile o giardino, anche di proprietà non esclusiva.

3.1.2 Tipologie di interventi art.119

L'Articolo 119 del Decreto Rilancio (DL 19/05/2020, n° 34, convertito, con modificazioni, dalla legge 17/09/2020, n°77) definisce nel comma 1 gli interventi trainanti, ovvero quegli interventi senza i quali non è possibile accedere all' incentivo, di seguito è riportato uno stralcio dell'articolo;

Art. 119

Incentivi per l'efficienza energetica, sisma bonus, fotovoltaico e colonnine di ricarica di veicoli elettrici

1. La detrazione di cui all'articolo 14 del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, convertito, con modificazioni, dalla legge 3 agosto 2013, n. 90, si applica nella misura del 110 per cento [...] nei seguenti casi:

a) interventi di isolamento termico delle superfici opache verticali, orizzontali e inclinate che interessano l'involucro dell'edificio con un'incidenza superiore al 25 per cento della superficie disperdente lorda dell'edificio o dell'unità immobiliare situata all'interno di edifici plurifamiliari che sia funzionalmente indipendente e disponga di uno o più accessi autonomi dall'esterno. [...] I materiali isolanti utilizzati devono rispettare i criteri ambientali minimi di cui al decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 11 ottobre 2017, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 259 del 6 novembre 2017;

b-c) interventi sulle parti comuni degli edifici, edifici unifamiliari o sulle singole unità immobiliari per la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti centralizzati per il riscaldamento, il raffrescamento o la fornitura di acqua calda sanitaria. [...]

Ricapitolando per accedere all'incentivo è necessario realizzare almeno una tra le due tipologie d'interventi **trainati** ovvero:

- Isolamento termico della superficie opaca disperdente. In riferimento al decreto legislativo 192/2005, se la superficie interessata dall'intervento è di almeno il 25% la casistica è definita come ristrutturazione edilizia importate di II livello, mentre se supera il 50% si tratta di ristrutturazione edilizia importate di I livello.

- Sostituzione dell'impianto di climatizzazione (per accedere al SB con questa tipologia d'intervento, trattandosi di una **sostituzione** e non di nuova installazione, l'impianto termico ante intervento deve essere correttamente censito).

Il comma 2 del 'sì detto articolo definisce **trainati** gli interventi di efficienza energetica che possono essere realizzati in aggiunta all'intervento trainante e i cui costi sono agevolati allo stesso modo al centodieci per cento. Tra questi vi sono:

- Sostituzione infissi
- Ristrutturazione impianto di emissione
- Installazione di impianti a fonti rinnovabili come solare termico e fotovoltaico
- Installazione di schermature solari e oscuranti solari
- Installazioni di sistemi di building automation
- Sostituzione del generatore di calore esistente

Nel comma 3 è indicata un'altra condizione necessaria all'accesso alla detrazione, ovvero il miglioramento di almeno due classi energetiche dell'edificio o delle unità immobiliari.

3.1.3 Il credito d'imposta

Il credito d'imposta è un credito verso lo Stato che viene sottratto dall'ammontare di debiti o imposte dovute. L'articolo 120 del DL 34/2020 riconosce al fornitore dell'intervento sotto forma di credito d'imposta un valore pari al 110% della fattura.

3.1.4 Aspetti economici rif. Art.121 comma 1 del DL 34/2020

Questo elaborato prescinde da una descrizione puntuale dei parametri tecnico-economici, tuttavia, si ritiene opportuna una digressione su di un che stato oggetto di particolare attenzione: regolamentato dall' articolo 121 comma 1 del DL 34/2020, il meccanismo di sconto in fattura e cessione del credito, si è rivelato essere uno degli anelli deboli del Bonus. Questo meccanismo finanziario, per quanto virtuoso, ha permesso frodi per più di quattro milioni di euro. Per porre fine alle truffe il governo italiano attraverso il decreto del gennaio 2022 ha limitato ad un solo passaggio la cessione del credito. Questo provvedimento ha generato di fatto un blocco, in quanto i grossi enti che acquistavano il credito hanno bloccato l'attività lasciando molte aziende del settore impossibilitate a convertire le ingenti quantità di credito in soldi.

Come riassunto nel grafico sottostante, il beneficiario dell'incentivo può decidere di esercitare l'opzione dello sconto in fattura. In questo caso, l'impresa o le imprese che hanno effettuato i



lavori applicano uno sconto fino al 100% del valore della fattura e il cliente effettua così i lavori senza alcun esborso. All'impresa o alle imprese interessate viene riconosciuto un credito d'imposta pari al 110% dell'ammontare dello sconto applicato. A questo punto, il credito ottenuto può essere ceduto a terzi (compresi istituti di credito e altri intermediari finanziari), per non più di un solo passaggio a partire dal febbraio 2022.

In alternativa il cliente finale può sostenere la spesa dell'intervento remunerando economicamente l'impresa e ricevendo il 110% dell'importo sempre sotto forma di credito d'imposta che provvederà egli stesso a gestire.

grafico 2 Meccanismo Cessione del Credito

4 NORMATIVA EDILIZIA ED ENERGETICA DEL SETTORE RESIDENZIALE

La fase di valutazione preliminare consiste nella determinazione della fattibilità dell'intervento, i fattori che concorrono all'accettazione o meno della commessa sono:

- tempistiche e complessità dell'opera,
 - tipologia d'intervento: riqualificazione energetica, ristrutturazione importante di primo o di secondo livello
 - disponibilità delle forniture e dei materiali
 - possibilità di accesso ai mezzi pesanti
- documentazione e aspetti burocratici
 - È già presente un certificato di agibilità?
 - L'abitazione è correttamente censita al catasto?
 - Lo stato di fatto dell'immobile è corrispondente con i documenti?
 - L'impianto termico presente è stato correttamente registrato?

Un tecnico professionista non può prescindere dalla conoscenza approfondita degli aspetti amministrativi e delle norme tecniche, per questo motivo nei seguenti paragrafi si riportano i riferimenti legislativi riguardo le attività di ristrutturazione edilizia ed efficientamento energetico.

4.1 NORMA EDILIZIA

Per quanto riguarda la tipologia d'interventi in riferimento al testo unico delle disposizioni legislative e reg. in materia edilizia del 6 giugno 2001, n° 380, D.P.R. viene definita nell'Art.3 la seguente classificazione:

a) "interventi di manutenzione ordinaria", gli interventi edilizi che riguardano le opere di riparazione, rinnovamento e sostituzione delle finiture degli edifici e quelle necessarie ad integrare o mantenere in efficienza gli impianti tecnologici esistenti;

b) "interventi di manutenzione straordinaria", le opere e le modifiche necessarie per rinnovare e sostituire parti anche strutturali degli edifici, nonché per realizzare ed integrare i servizi igienico-sanitari e tecnologici, sempre che non alterino la volumetria complessiva degli edifici e non comportino mutamenti urbanisticamente rilevanti delle destinazioni d'uso implicanti incremento del carico urbanistico.

Nell'ambito degli interventi di manutenzione straordinaria sono ricompresi anche quelli consistenti nel frazionamento o accorpamento delle unità immobiliari con esecuzione di opere anche se comportanti la variazione delle superfici delle singole unità immobiliari nonché del carico urbanistico purché non sia modificata la volumetria complessiva degli edifici e si mantenga l'originaria destinazione d'uso.

Nell'ambito degli interventi di manutenzione straordinaria sono comprese anche le modifiche ai prospetti degli edifici legittima-mente realizzati necessarie per mantenere o acquisire l'agibilità

dell'edificio ovvero per l'accesso allo stesso, che non pregiudichino il decoro architettonico dell'edificio, purché l'intervento risulti conforme alla vigente disciplina urbanistica ed edilizia e non abbia ad oggetto immobili sottoposti a tutela ai sensi del Codice dei beni culturali e del paesaggio di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42. [...]

d) "interventi di ristrutturazione edilizia", gli interventi rivolti a trasformare gli organismi edilizi mediante un insieme sistematico di opere che possono portare ad un organismo edilizio in tutto o in parte diverso dal precedente. Tali interventi comprendono il ripristino o la sostituzione di alcuni elementi costitutivi dell'edificio, l'eliminazione, la modifica e l'inserimento di nuovi elementi ed impianti; Nell'ambito degli interventi di ristrutturazione edilizia sono ricompresi altresì gli interventi di demolizione e ricostruzione di edifici esistenti con diversa sagoma, prospetti, sedime e caratteristiche planivolumetriche e tipologiche, con le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica, per l'applicazione della normativa sull'accessibilità, per l'installazione di impianti tecnologici e per l'efficientamento energetico. L'intervento può prevedere altresì, nei soli casi espressamente previsti dalla legislazione vigente o dagli strumenti urbanistici comunali, incrementi di volumetria anche per promuovere interventi di rigenerazione urbana. [...]

e) "interventi di nuova costruzione", quelli di trasformazione edilizia e urbanistica del territorio non rientranti nelle categorie definite alle lettere precedenti. Sono comunque da considerarsi tali:

e.1) la costruzione di manufatti edilizi fuori terra o interrati, ovvero l'ampliamento di quelli esistenti all'esterno della sagoma esistente, fermo restando, per gli interventi pertinenziali, quanto previsto alla lettera e.6);

e.2) gli interventi di urbanizzazione primaria e secondaria realizzati da soggetti diversi dal comune;

e.3) la realizzazione di infrastrutture e di impianti, anche per pubblici servizi, che comporti la trasformazione in via permanente di suolo inedito;

e.4) l'installazione di torri e tralci per impianti radio ricetrasmittenti e di ripetitori per i servizi di telecomunicazione;

e.5) l'installazione di manufatti leggeri, anche prefabbricati, e di strutture di qualsiasi genere, quali roulotte, camper, case mobili, imbarcazioni, che siano utilizzati come abitazioni, ambienti di lavoro, oppure come depositi, magazzini e simili, ad eccezione di quelli che siano diretti a soddisfare esigenze meramente temporanee o delle tende e delle unità abitative mobili con meccanismi di rotazione in funzione, e loro pertinenze e accessori, che siano collocate, anche in via continuativa, in strutture ricettive all'aperto per la sosta e il soggiorno dei turisti previamente autorizzate sotto il profilo urbanistico, edilizio e, ove previsto, paesaggistico, che non posseggano alcun collegamento di natura permanente al terreno e presentino le caratteristiche dimensionali e tecnico-costruttive previste dalle normative regionali di settore ove esistenti.

e.6) gli interventi pertinenziali che le norme tecniche degli strumenti urbanistici, in relazione alla zonizzazione e al pregio ambientale e paesaggistico delle aree, qualificano come interventi di nuova costruzione, ovvero che comportino la realizzazione di un volume superiore al 20% del volume dell'edificio principale;

e.7) la realizzazione di depositi di merci o di materiali, la realizzazione di impianti per attività produttive all'aperto ove comportino l'esecuzione di lavori cui consegua la trasformazione permanente del suolo inedito;

f) gli "interventi di ristrutturazione urbanistica", quelli rivolti a sostituire l'esistente tessuto urbanistico-edilizio con altro diverso, mediante un insieme sistematico di interventi edilizi, anche con la modificazione del disegno dei lotti, degli isolati e della rete stradale.

Lo stesso decreto nell'art. n.5 obbliga le amministrazioni comunali a costituire un ufficio denominato sportello unico per l'edilizia "S.U.E". attraverso il quale il privato comunica con

l'amministrazione l'intervento edilizio oggetto della richiesta di permesso o di segnalazione certificata di inizio attività. L'ufficio ha infatti i seguenti compiti:

- a) ricezione delle denunce di inizio attività e delle domande per il rilascio di permessi di costruire e di ogni altro atto di assenso comunque denominato in materia di attività edilizia, ivi compreso il certificato di agibilità, nonché dei progetti approvati dalla Soprintendenza ai sensi e per gli effetti degli articoli 36, 38 e 46 del decreto legislativo 29 ottobre 1999, n. 490; [..]
- d) rilascio dei permessi di costruire, nonché delle certificazioni attestanti le prescrizioni normative e le determinazioni provvedimenti a carattere urbanistico, paesaggistico-ambientale, edilizio, idrogeologico e di qualsiasi altro tipo comunque rilevanti ai fini degli interventi di trasformazione edilizia del territorio;

Un altro passo importante del decreto è l'art. n.6, esso infatti definisce gli interventi di edilizia libera, ovvero, tutte le opere per le quali non è necessario alcun titolo abilitativo. Di seguito si riportano le voci più significative ai fini della trattazione:

- a) gli interventi di manutenzione ordinaria di cui all'articolo 3, comma 1, lettera a);
- a bis) gli interventi di installazione delle pompe di calore aria-aria di potenza termica utile nominale inferiore a 12 kW;
- e-quater) i pannelli solari, fotovoltaici, a servizio degli edifici, da realizzare al di fuori della zona A⁵ di cui al decreto del Ministro per i lavori pubblici 2 aprile 1968, n. 1444;

tra i titoli abilitativi è possibile distinguere:

- Permesso di Costruire
- Segnalazione certificata di inizio lavori (SCIA)
- Certificazione asseverata di inizio lavori (CILA)

⁵ centri storici e siti sotto vincolo paesaggistico (le parti del territorio interessate da agglomerati urbani che rivestano carattere storico, artistico e di particolare pregio ambientale o da porzioni di essi, comprese le aree circostanti, che possono considerarsi parte integrante, per tali caratteristiche, degli agglomerati stessi; rif. Art.2 Decreto interministeriale 2 aprile 1968, n. 1444).

Lo schema sottostante raggruppa gli interventi edilizi in funzione del titolo autorizzativo subordinato.

Permesso di costruire

interventi di nuova costruzione;
interventi di ristrutturazione urbanistica;
interventi di ristrutturazione edilizia che comportano una variazione di forma, sagoma e volumetria dell'edificio.

Segnalazione certificata di inizio lavori SCIA

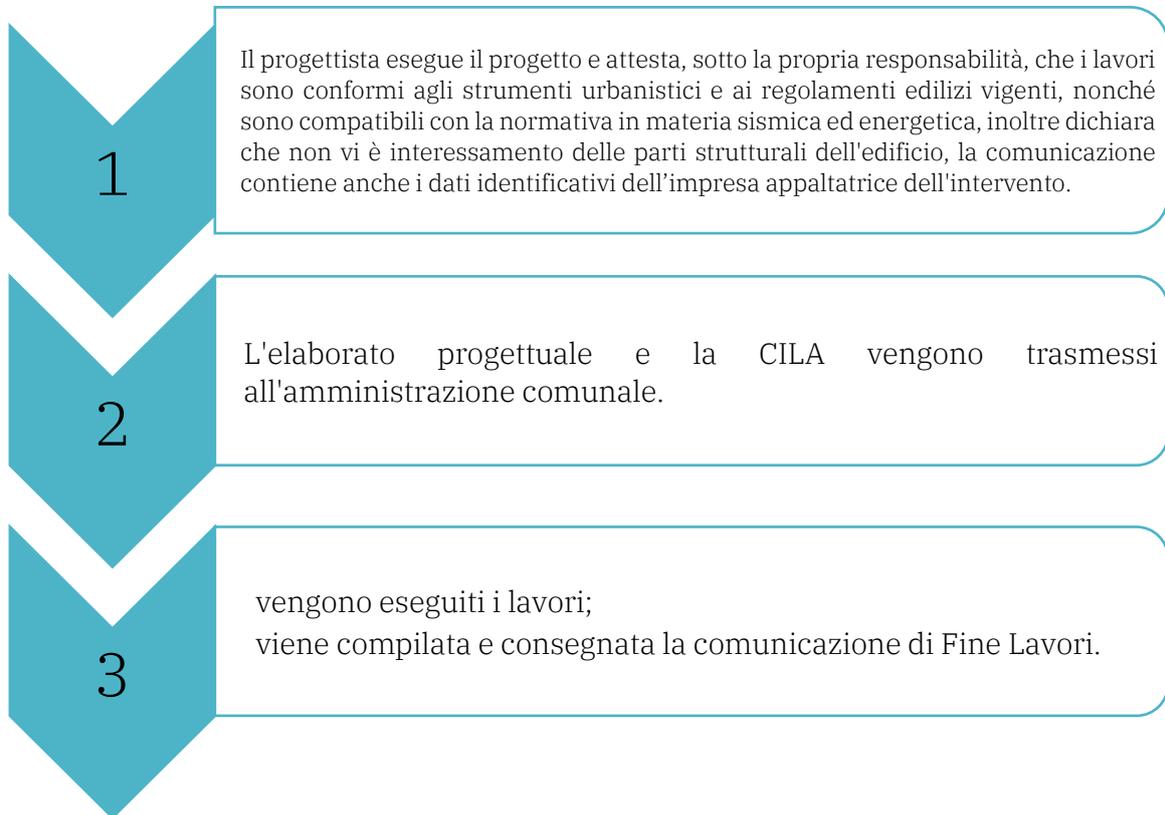
interventi di manutenzione straordinaria qualora riguardino le parti strutturali dell'edificio o i prospetti;
gli interventi di restauro e risanamento conservativo;
gli interventi di ristrutturazione edilizia che non necessitano del Permesso di Costruire.

Certificazione asseverata di inizio lavori CILA

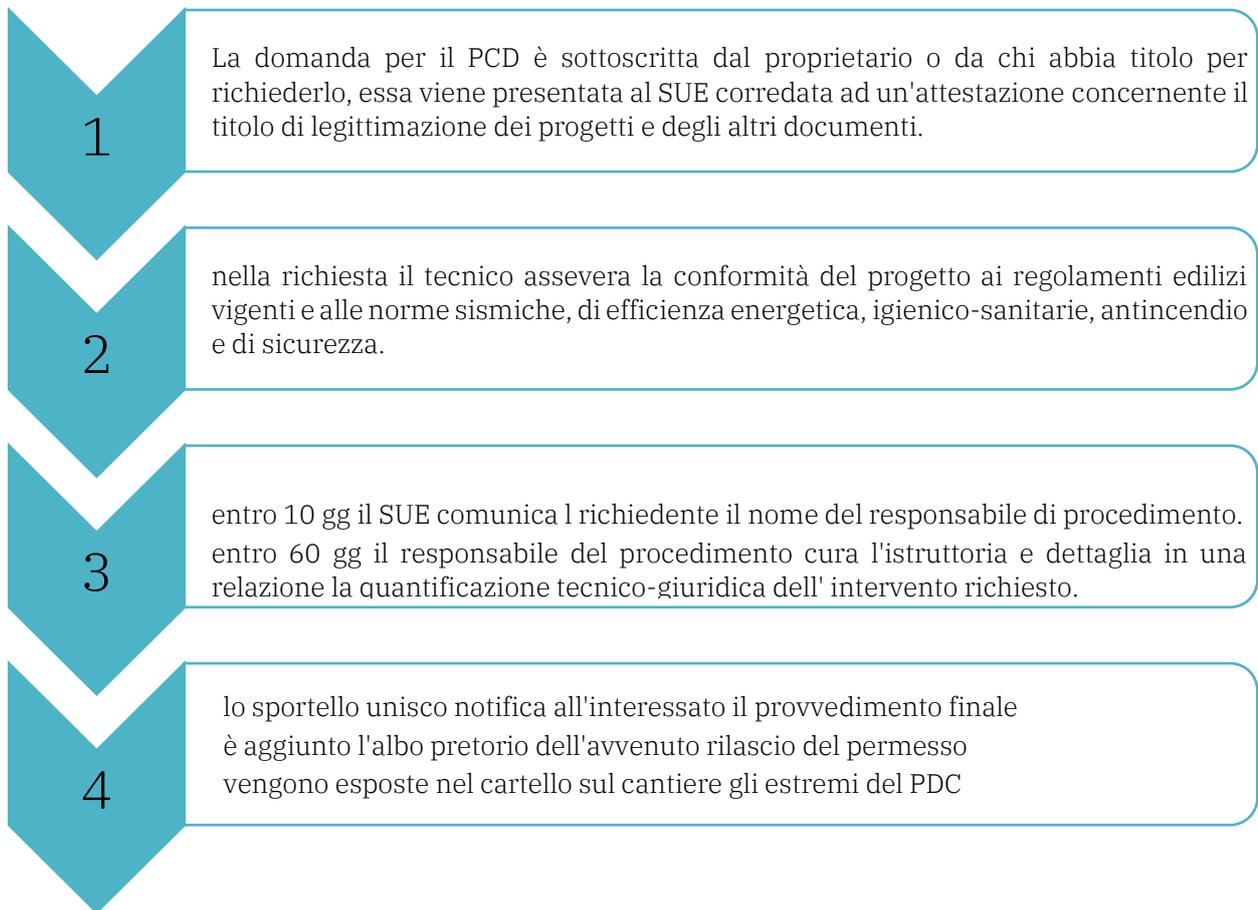
tutti gli interventi indicati dall'art. 3 fatto salvo per quelli riconducibili all'edilizia libera e di quelli già citati nelle precedenti voci;
generalmente la CILA si usa quando si fanno interventi su parti non strutturali di un immobile: rifacimento di fognature esistenti con modifiche del percorso o nuovi allacciamenti opere interne come spostamento di tramezzi o divisori non portanti, controsoffitti in cartongesso, il frazionamento o accorpamento di unità immobiliari, l'importante è che non venga modificata la volumetria degli edifici e venga mantenuta la destinazione d'uso.

grafico 3 Titoli edilizi

Procedura per il rilascio CILA:



Procedura per rilascio PDC



Procedura per SCILA

1

Il proprietario dell'immobile o chi abbia titolo per presentare la segnalazione certificata di inizio attività, almeno trenta giorni prima dell'effettivo inizio dei lavori, presenta allo sportello unico la segnalazione, accompagnata da una relazione a firma di un progettista abilitato e dagli opportuni elaborati progettuali, che asseveri la conformità delle opere da realizzare agli strumenti urbanistici approvati e non in contrasto con quelli adottati ed ai regolamenti edilizi vigenti, nonché il rispetto delle norme di sicurezza e di quelle igienico-sanitarie. La segnalazione certificata di inizio attività è corredata dall'indicazione dell'impresa cui si intende affidare i lavori ed è sottoposta al termine massimo di efficacia pari a tre anni.

2

Il titolo è validato con la copia della segnalazione certificata di inizio attività da cui risulti la data di ricevimento della segnalazione, l'elenco di quanto presentato a corredo del progetto, l'attestazione del professionista abilitato, e gli atti di assenso eventualmente necessari.

3

Ultimato l'intervento, il progettista o un tecnico abilitato rilascia un certificato di collaudo finale, che va presentato allo sportello unico, con il quale si attesta la conformità dell'opera al progetto presentato con la segnalazione certificata di inizio attività. Contestualmente presenta ricevuta dell'avvenuta presentazione della variazione catastale con seguente alle opere realizzate ovvero dichiarazione che le stesse non hanno comportato modificazioni del classamento.

CILA Superbonus 110%

Gli interventi agevolati dal Superbonus 110% necessiterebbero della CILA - *Comunicazione di Inizio Lavori Asseverata*, essa, come descritto in precedenza, è un titolo abilitativo normato dal DPR 380 del 2021 ed è necessaria per diversi interventi edilizi, tra cui nuove costruzioni, ristrutturazioni, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, cambio di destinazione d'uso. Tuttavia, con il decreto semplificazioni del luglio 2020, è stato introdotto un nuovo titolo abilitativo: la CILAS. La sua introduzione è finalizzata a semplificare le pratiche burocratiche relative ai lavori oggetto di Superbonus 100%; pur essendo una vera e propria procedura amministrativa che richiede l'intervento di un tecnico abilitato, rispetto alla CILA tradizionale presenta le seguenti differenze:

- È necessario indicare se gli interventi sono agevolati dal Superbonus 110%;
- bisogna indicare se gli interventi sono finalizzati alla riqualificazione energetica o/e al miglioramento sismico;
- non occorre attestare lo stato legittimo dell'immobile;
- è richiesta una descrizione sintetica degli interventi;
- l'integrazione di elaborati grafici è facoltativa.

4.2 NORMA IN AMBITO ENERGETICO

4.2.1 Requisiti minimi e la certificazione energetica

L'Attestazione di Performance Energetica A.P.E. è un certificato attestante le prestazioni energetiche ed alcuni parametri caratteristici di un edificio. È un documento di tipo dichiarativo ed è basato su indicatori prestazionali che permettono la comparazione tra edifici e la ripartizione di questi in base alla Classe Energetica.

Le certificazioni energetiche sono state introdotte dalla Direttiva Europea 2002/91/CE “on the Energy Performance of Buildings – EPBD”, recepita in Italia a partire dal 2005 con il D.lgs. 192/2005 e s.m.i., sino all’ emanazione nel 2015 del Decreto Requisiti Minimi del 26/05/2015.

Per gli edifici di nuova costruzione o per gli interventi sul sistema edificio-impianto di costruzioni esistenti, ai fini della presentazione della richiesta di titolo autorizzativo (CILA, PDC, SCIA, ecc.),

è necessario allegare agli elaborati grafici architettonici, il progetto energetico attraverso la Relazione Legge 10. Sempre in questa fase, si comunica il nome del Certificatore Energetico incaricato del progetto. Una volta che l'intervento è stato eseguito, con il fine lavori il direttore dei lavori assevera la corrispondenza tra le opere realizzate e il progetto, solamente a questo punto, viene redatta l'A.P.E. definitiva dell'immobile. Il Comune può effettuare un sopralluogo di controllo nei cinque anni successivi alla data in cui viene consegnata la dichiarazione di fine lavori; è pertanto opportuno conservare tutti i documenti necessari a dimostrare quanto dichiarato.

Il decreto Requisiti Minimi del 26/05/2015 definisce la relazione tecnica – Relazione Legge 10. I modelli di relazione tecnica sono differenziati in funzione dell'ambito di intervento: è possibile suddividere tre diversi schemi:

- Nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti di primo livello, edifici ad energia quasi zero.
- Riqualificazione energetica e ristrutturazioni importanti di II livello.
- Riqualificazione degli impianti tecnici.

Il primo passaggio della procedura per la determinazione delle verifiche da rispettare è quello di individuare gli "Ambiti di applicazione" e la "classificazione dell'edificio" (DPR 412/93).

In riferimento al DM 26/06/2015 si riportano gli Ambiti di Applicazione

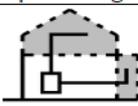
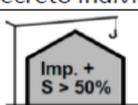
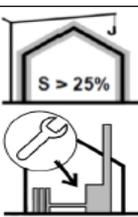
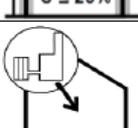
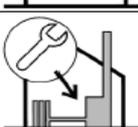
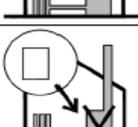
	<p>Nuova costruzione (All.1 Art.1.3) Per edificio di nuova costruzione si intende l'edificio il cui titolo abilitativo sia stato richiesto dopo l'entrata in vigore del DM 26/6/15 (<i>ndr, ovvero dal 1° ottobre 2015</i>)</p>
<p>Sono assimilati a edifici di nuova costruzione:</p>	
	<p>Demolizione e ricostruzione (All. 1, Art. 1.3) Rientrano in questa categoria gli edifici sottoposti a demolizione e ricostruzione, qualunque sia il titolo abilitativo necessario.</p>
	<p>Ampliamento di edifici esistenti con nuovo impianto (All. 1 Art. 1.3 e Art. 6.1) ⁽¹⁾ Ampliamento di edifici esistenti (dotati di nuovi impianti tecnici) per il quale valga almeno una delle seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • nuovo volume lordo climatizzato > 15% volume lordo climatizzato esistente ⁽⁶⁾ • nuovo volume lordo climatizzato > 500 m³ <p>La parte ampliata di fatto è trattata come una porzione di nuova costruzione.</p>
<p>Per quanto riguarda gli ampliamenti, il decreto individua di fatto un'ulteriore casistica:</p>	
	<p>Ampliamento di edifici esistenti con estensione di impianto (All. 1 Art. 1.3 e Art. 6.1) ⁽¹⁾ Ampliamento di edifici esistenti (collegati all'impianto tecnico esistente) per il quale valga almeno una delle seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • nuovo volume lordo climatizzato > 15% volume lordo climatizzato esistente ⁽⁶⁾ • nuovo volume lordo climatizzato > 500 m³
<p>Il decreto individua la categoria delle "Ristrutturazioni importanti" come segue:</p>	
	<p>Ristrutturazioni importanti di primo livello (All. 1 Art. 1.4.1) La ristrutturazione prevede contemporaneamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • un intervento che interessa l'involucro edilizio con un'incidenza > 50 % della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio ⁽²⁾; • la ristrutturazione dell'impianto termico ⁽³⁾ per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio. <p>In tal caso i requisiti di prestazione energetica si applicano all'intero edificio e si riferiscono alla sua prestazione energetica relativa al servizio o servizi interessati.</p>
	<p>Ristrutturazioni importanti di secondo livello (All. 1 Art. 1.4.1) L'intervento interessa l'involucro edilizio con un'incidenza > 25 % della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio ⁽²⁾ e può interessare l'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva.</p> <p><i>(Le verifiche previste per questa casistica riguardano quindi il controllo di prestazioni sull'involucro e/o sugli impianti in base all'intervento previsto. Per facilitare la lettura della nostra guida, si è deciso di scindere la casistica in due parti riconducendo le verifiche separatamente all'involucro e/o agli impianti se previsto).</i></p>
	<p>Riqualificazione energetica dell'involucro (All. 1 Art. 1.4.2) ⁽⁵⁾ Interventi sull'involucro che coinvolgono una superficie ≤ 25 % della superficie disperdente lorda complessiva dell'edifici ⁽²⁾.</p>
	<p>Nuova installazione di impianto (All. 1 Art. 1.4.2 e Art. 6.1) ⁽⁴⁾ Gli interventi di nuova installazione di impianto termico asservito all'edificio per i servizi di riscaldamento, di raffrescamento e produzione di ACS .</p>
	<p>Ristrutturazione di impianto (All. 1 Art. 1.4.2 e Art. 6.1) ⁽⁴⁾ Gli interventi di ristrutturazione di impianto termico asservito all'edificio ⁽³⁾ per i servizi di riscaldamento, di raffrescamento e produzione di ACS.</p>
	<p>Sostituzione del generatore (All. 1 Art. 1.4.2 e Art. 6.1) ⁽⁴⁾ Gli interventi di sostituzione del solo generatore e installazione di generatori e/o altri impianti tecnici per il soddisfacimento dei servizi dell'edificio.</p>

Figura 1 DM 26/06/2015 - Ambiti di Applicazione

:

Per quanto riguarda invece, la classificazione degli edifici si fa riferimento al DPR 421/93 secondo al quale gli edifici sono categorizzati in base alla loro destinazione d'uso nelle seguenti categorie:

- E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili:
 - E.1 (1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme;
 - E.1 (2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili;
 - E.1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari;
- E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché' siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell'isolamento termico;
- E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché' le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici;
- E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili:
 - E.4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi;
 - E.4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto;
 - E.4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo;
- E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni;
- E.6 Edifici adibiti ad attività sportive:
 - E.6 (1) piscine, saune e assimilabili;
 - E.6 (2) palestre e assimilabili;
 - E.6 (3) servizi di supporto alle attività sportive;
- E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;
- E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.

Stabilita la tipologia di intervento e la categoria di edificio, è necessario assicurare il rispetto delle verifiche. Nella maggior parte dei casi si esegue un confronto tra i parametri rappresentativi dell'edificio, calcolati in riferimento alle norme tecniche UNI TS 11300 e gli stessi valutati per un edificio di riferimento, ovvero un edificio identico a quello in esame in termini di:

- Geometria
 - Sagoma
 - Volumi
 - Superficie calpestabile
- Orientamento
- Ubicazione
- Destinazione d'uso
- Condizioni al contorno

La normativa tecnica UNI/TS 11300 classifica tre diverse metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici. Come mostrato nella tab.1, la prima tipologia viene utilizzata per i progetti non ancora realizzati, essa è chiamata **Valutazione Di Progetto** “*design rating*” e prevede un utilizzo standard dell’immobile e delle condizioni climatiche. L’edificio considerato, non essendo ancora edificato, è l’edificio di progetto. La seconda metodologia è definita **Standard** “*asset rating*”, a differenza della prima, questa tipologia di valutazione si basa su parametri reali dell’edificio che devono essere ricavati mediante un rilievo. L’ultima modalità di calcolo permette una modellazione di dettaglio, è definita **Adattata all’utenza** “*tailored rating*”, infatti tutti i parametri sono modellati sulla base di dati reali che riguardano l’edificio e sono rappresentativi delle sue caratteristiche geo metriche, termofisiche, profili d’utilizzo e condizioni climatiche.

Tipo di valutazione	Determinazione della prestazione	Dati di ingresso			Campo d’applicazione
		uso	clima	edificio	
Progetto	calcolata	progetto	progetto	progetto	PdC, certificazione energetica
Standard	calcolata	progetto	progetto	reale	APE, requisiti di legge
Adattata	calcolata	reale	reale	reale	Diagnosi energetica / progetti di riqualificazione
D’esercizio	misurata	reale	reale	reale	Firma energetica / progetti di riqualificazione

Tabella 1 criteri di calcolo prestazioni energetiche UNI/TS 11300

Sempre in riferimento alla tab.1 l'ultimo criterio prevede la misurazione dei consumi, questo tema è sempre più attuale in quanto, grazie allo sviluppo della tecnologia e nello specifico della digitalizzazione degli impianti, è sempre più facile ed economico misurarli. Questo porta l'utente finale ad avere una maggiore consapevolezza e la possibilità di gestire in maniera ottimizzata i propri consumi anche in relazione della disponibilità di energia proveniente da fonti rinnovabili grazie a impianti fotovoltaici o a pompe di calore.

In generale la prestazione energetica di un edificio viene valutata tenendo in considerazione i seguenti aspetti:

1. Fabbisogno energetico annuale globale di energia primaria per il riscaldamento, il raffrescamento, per la ventilazione, per la produzione di acqua calda sanitaria e, nel settore non residenziale, per l'illuminazione, gli impianti ascensori e scale mobili.
2. Energia primaria per singolo servizio energetico con intervalli di calcolo mensile.
3. Compensazione tra i fabbisogni energetici e l'energia da fonte rinnovabile prodotta e utilizzata; nota: l'eccedenza di energia prodotta in situ e che viene esportata non concorre alla prestazione energetica dell'edificio e non può essere computata a copertura del fabbisogno nei mesi nei quali la produzione sia insufficiente.

Per valutare quanto consumano gli edifici si utilizza l'indicatore EP "energy performance" ovvero indice di prestazione energetica dell'edificio in [kWh/m²/a] anche detto fabbisogno di energia primaria annuale globale per unità di superficie utile.

L'indice EP viene utilizzato per:

1. Le verifiche progettuali del rispetto dei requisiti minimi., confronto con i valori limiti dell'edificio di riferimento.
2. La classificazione energetica degli edifici (basata sul fabbisogno di energia globale non rinnovabile).
3. Lo studio delle coperture energetiche da fonti rinnovabili secondo il D.Lgs 28/2011.

4.2.2 Bilancio energetico e calcolo della potenza termica per riscaldamento

Il calcolo dei carichi termici negli edifici è il primo passo per il dimensionamento degli impianti di climatizzazione. Il carico termico è **il flusso di energia che occorre immettere e/o sottrarre da uno spazio confinato per mantenere al suo interno le condizioni ambientali desiderate (con particolare riferimento a temperatura e umidità relativa)** (Perino). In generale il flusso è funzione del tempo e dello spazio, poiché dipende da numerose condizioni al contorno esterne ed interne

la cui variabilità presenta spesso una criticità dovuta alla natura stocastica di queste. La classificazione più solita dei carichi termici è di seguito riportata

- carichi termici per trasmissione: avvengono attraverso l'involucro dell'edificio (ad esempio attraverso le pareti perimetrali, le facciate, le coperture, le finestre e le partizioni verticale ed orizzontali in genere, ..);
- carichi termici per infiltrazione: sono legati ai flussi entalpici delle portate di aria connesse alle infiltrazioni incontrollate attraverso l'involucro edilizio;
- carichi termici per ventilazione: sono legati ai flussi entalpici connessi alle portate di aria di ventilazione (generate da impianti meccanici o sistemi per la ventilazione naturale ed ibrida);
- carichi esogeni: sono originati dalla differenza fra condizioni ambientali interne ed esterne (principalmente differenze di temperatura fra l'aria outdoor ed indoor) o dovuti a sorgenti termiche esterne (radiazione solare);
- carichi endogeni: sono generati dalla presenza di sorgenti termiche all'interno dello spazio confinato (persone, carichi elettrici, ...).

È bene far presente che la natura del carico può essere sensibile o latente:

- carichi termici sensibili: flussi di energia a cui sono associate delle variazioni di temperatura dell'aria (equazione di conservazione dell'energia)
- carichi termici latenti: flussi di energia connessi a passaggi di stato condensazione/evaporazione del vapore d'acqua (equazione di conservazione della massa).

La zona termica è una porzione d'edificio costituita da uno o più ambienti termicamente omogenei tra loro, serviti dal medesimo sistema di riscaldamento e/o climatizzazione, nei quali le variazioni del carico termico (latente e/o sensibile) sono simili.

L'aria contenuta all'interno dell'ambiente è racchiusa dall'involucro edilizio, che costituisce il volume di controllo rispetto cui si scrivono le equazioni di bilancio. Le pareti e le partizioni dell'involucro edilizio, gli arredi e gli oggetti presenti nell'ambiente **non** sono quindi parte del sistema termodinamico se pur scambiano energia con esso. Il sistema termodinamico può essere considerato aperto, ovvero: scambia energia e massa con l'ambiente esterno e con gli occupanti e oggetti presenti all'interno.

Partendo dal primo principio della termodinamica, assumendo pari a zero il lavoro interno, assente il carico latente e che le variazioni di energia cinetica e potenziale delle portate di fluido (aria) in ingresso e uscita siano trascurabili così come la variazione del calore specifico e della densità dell'aria; è possibile ricavare l'equazione di bilancio di energia sensibile per l'ambiente e l'edificio:

$$\phi_p + \phi_e + \phi_a + \phi_c = \rho V c_v \frac{dT}{dt}$$

Dove:

ϕ_c flusso termico scambiato per convezione fra l'aria e le superfici interne delle pareti e dei divisori,

ϕ_e flusso termico dovuto ai carichi endogeni convettivi (è dato dalla sola quota scambiata per convezione dai carichi endogeni),

ϕ_p flusso termico emesso dai terminali dell'impianto di climatizzazione,

ϕ_a l'opposto della differenza fra i flussi di entalpia uscenti ed entranti correlati alle portate di aria di ventilazione ed infiltrazione,

V volume di aria,

ρ densità,

c_v calore specifico a volume costante,

$\frac{dT}{dt}$ variazione infinitesima nel tempo di temperatura.

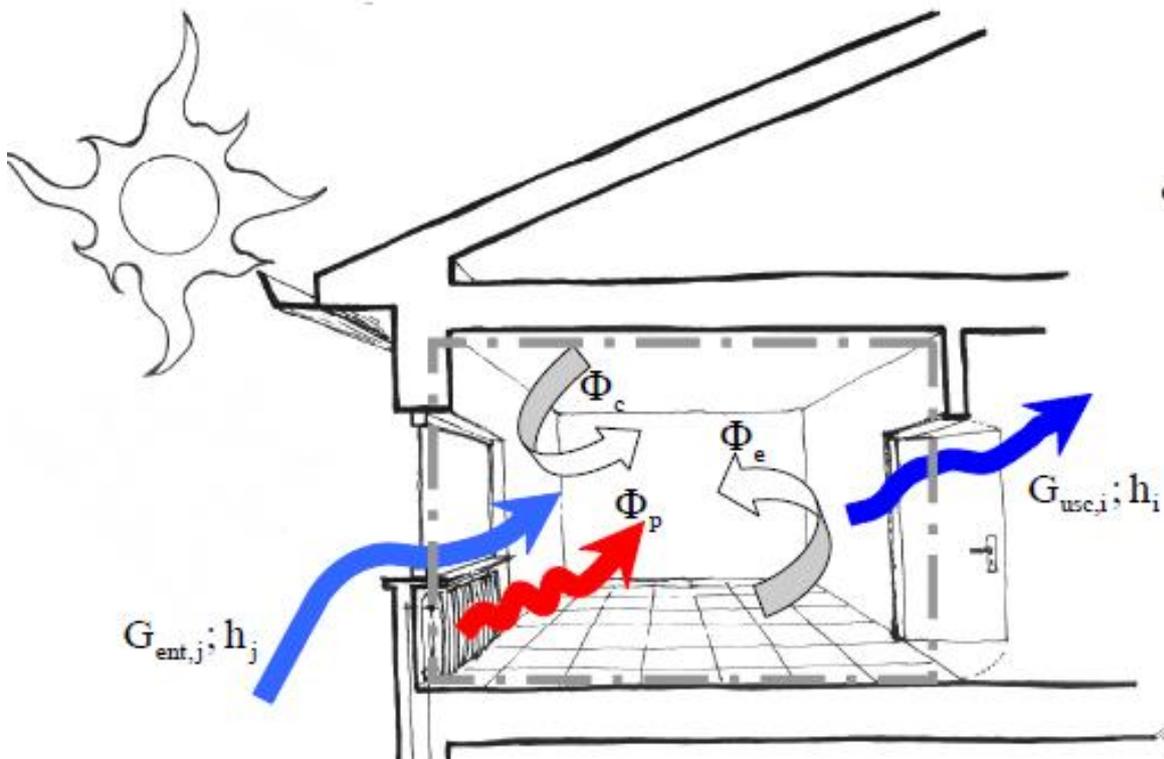


Figura 2 bilancio energia sensibile

Come mostrato in figura 2, il carico termico sensibile ϕ_p è definito come quel flusso di energia che occorre immettere o sottrarre da un ambiente al fine di mantenere al suo interno il valore desiderato di temperatura pari al valore di set-point prescelto, indipendentemente dalla variazione delle condizioni al contorno.

Nel regime stazionario tutte le grandezze (temperature, flussi termici, ecc...) sono costanti nel tempo:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{d\phi_p}{dt} = 0$$
$$\phi_p + \phi_e + \phi_a + \phi_c = 0$$

E che quindi $\phi_p = cost.$

il carico termico sensibile di progetto è la potenza termica necessaria a mantenere all'interno dell'ambiente una temperatura dell'aria costante e pari al valore di progetto, T_i , anche nelle condizioni al contorno relative al caso ragionevolmente peggiore (condizioni esterne di progetto).

Infatti, al fine della determinazione dei carichi termici e frigoriferi in condizione di progetto è necessario individuare la zona termica in cui è costruito l'immobile. In riferimento all'allegato della norma prEN 12831, si considera la zona climatica C, la quale prevede come temperatura esterna di progetto invernale $-2\text{ }^\circ\text{C}$.

UNI EN 12831

La norma tecnica Uni En 12831 definisce una procedura semplificata per la valutazione della potenza termica di riscaldamento. Il metodo di calcolo si fonda sulle seguenti ipotesi:

- distribuzione uniforme della temperatura (temperatura dell'aria e temperatura di progetto);
- dispersioni termiche calcolate in condizioni di regime permanente, presupponendo proprietà costanti, come valori di temperatura, caratteristiche degli elementi dell'edificio, ecc.

la norma considera due componenti di dispersione termica per il progetto di uno spazio riscaldato:

- dispersione termica per trasmissione, ovvero la dispersione termica verso l'esterno che si determina per mezzo della conduzione termica attraverso le superfici che dividono gli spazi riscaldati, da quelli non riscaldati, riscaldati a temperature diverse o dall'ambiente esterno.
- dispersione termica per ventilazione, ovvero la dispersione termica verso l'esterno dovuta alla portata d'aria di ventilazione o infiltrazione.

Nota: i carichi gratuiti dovuti all'irraggiamento solare e dagli apporti termici endogeni, pur concorrendo al bilancio energetico, non sono considerati in un'ottica più cautelativa. Questi apporti gratuiti saranno invece opportunamente valutati per il calcolo dei fabbisogni energetici.

L'equazione di riferimento è la seguente:

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i}$$

dove:

$\phi_{T,i}$ dispersione termica di progetto per trasmissione per lo spazio riscaldato (i);

$\phi_{V,i}$ dispersione termica di progetto per ventilazione per lo spazio riscaldato (i).

Il flusso trasmesso per dispersione si ricava dalla seguente formula

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) * (\theta_{int,i} - \theta_{e,i}) [W]$$

dove:

$H_{T,ie}$ coefficiente di dispersione termica per trasmissione dallo spazio riscaldato (i) verso l'esterno (e) attraverso l'involucro dell'edificio, in Watt per Kelvin (W/K);

$H_{T,iue}$ coefficiente di dispersione termica per trasmissione dallo spazio riscaldato (i) verso l'esterno (e) attraverso lo spazio non riscaldato (u), in Watt per Kelvin (W/K);

$H_{T,ig}$ coefficiente di dispersione termica per trasmissione verso il terreno, in condizioni di regime permanente, dallo spazio riscaldato (i) verso il terreno (g), in Watt per Kelvin (W/K);

$H_{T,ij}$ coefficiente di dispersione termica per trasmissione dallo spazio riscaldato (i) a uno spazio adiacente (j) riscaldato ad una temperatura significativamente diversa, in Watt per Kelvin (W/K);

$\theta_{int,i}$ temperatura interna di progetto dello spazio riscaldato (i) in gradi centigradi (°C);

$\theta_{e,i}$ temperatura esterna di progetto in gradi centigradi (°C).

La dispersione termica di progetto per ventilazione $\phi_{V,i}$, per uno spazio riscaldato (i) è calcolata come segue:

$$\phi_{V,i} = H_{v,i} * (\theta_{int,i} - \theta_{e,i}) [W] \text{ con } H_{v,i} = 0.34 * \dot{V}_i \quad [W/K]$$

dove:

$H_{v,i}$ coefficiente di dispersione termica di progetto per ventilazione in Watt per Kelvin (W/K):

$\theta_{int,i}$ temperatura interna di progetto dello spazio riscaldato (i) in gradi centigradi (°C);

$\theta_{e,i}$ temperatura esterna di progetto in gradi centigradi (°C);

\dot{V}_i portata d'aria (m³/h).

Valutati i flussi termici dispersi, al fine della determinazione del carico termico di progetto $\phi_{HL,i}$, è opportuno aggiungere a questi un extra flusso $\phi_{RH,i}$ in modo tale da sopperire all'attenuazione notturna della temperatura dovuta allo spegnimento dell'impianto termico.

Si rimanda ai capitoli seguenti la trattazione dettagliata su tutti i parametri che concorrono alla definizione dei carichi termici di riscaldamento.

4.2.3 Calcolo dei carichi termici estivi

Partendo dall'equazione di bilancio, si può sviluppare il calcolo del carico termico di progetto per la climatizzazione estiva, ponendo la temperatura interna su un valore costante di set-point. Tuttavia, a differenza del regime invernale, vi sono delle differenze sulle ipotesi semplificative e sulle assunzioni che occorre effettuare in relazione alle condizioni al contorno.

Per il regime termico estivo è opportuno considerare che

- la temperatura dell'aria esterna è fortemente variabile nell'arco delle 24 ore. Durante una giornata estiva, può accadere che, a seconda del momento, la temperatura esterna sia alternativamente più bassa e più alta di quella all'interno dello spazio climatizzato;
- la radiazione solare entra attraverso le superfici trasparenti ed è in parte assorbita e riemessa all'interno dalle superfici opache dell'involucro edilizio. Inoltre, così come i carichi endogeni, l'apporto solare rappresenta un addendo positivo del bilancio energetico e dunque grava sul carico termico estivo; bisogna infine considerare che la radiazione solare ed i carichi endogeni presentano notevoli variazioni temporali e, in particolare gli ultimi, variano in maniera stocastica;
- conseguenza diretta dei primi due punti, è che gli effetti di accumulo termico e l'inerzia dell'edificio non possono essere trascurati.

Come nel caso invernale, per risolvere l'equazione di bilancio gli unici flussi termici che devono essere considerati sono quelli di natura convettiva. I contributi di natura radiativa intervengono sul bilancio di energia in modo "ritardato" e frazionato. Come mostrato nella figura n°3, il flusso emesso da una lampada viene in parte assorbito e in parte riflesso dalle superfici opache. La quota assorbita viene successivamente riemessa dall'elemento strutturale opaco in parte all'esterno e in parte nell'ambiente climatizzato sotto forma di flusso convettivo, è solo quest'ultimo termine che entra a far parte del bilancio energetico, per tanto, l'effetto termico dovuto all'accensione di una lampadina influenzerà il carico termico ma con un certo grado di attenuazione e dopo un determinato ritardo temporale.

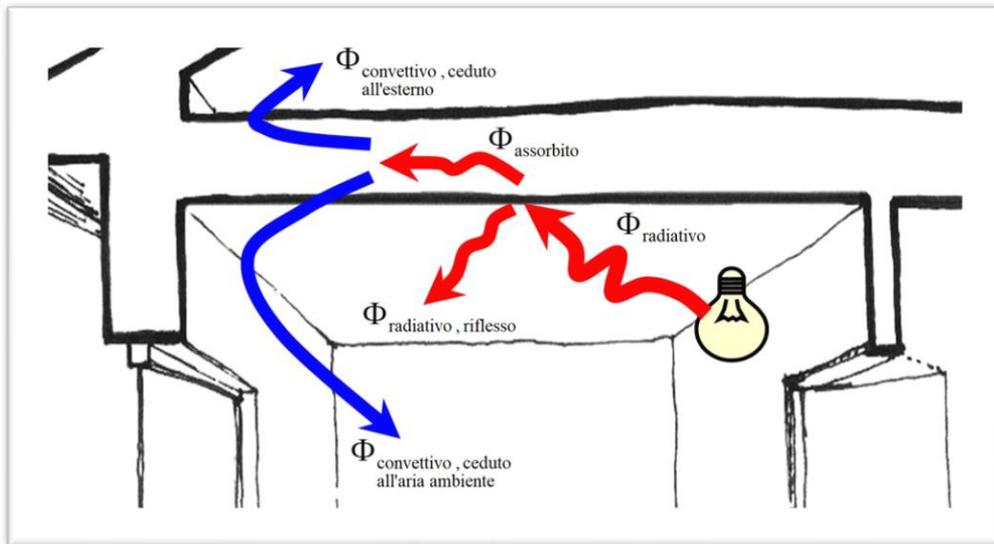


Figura 3 bilancio energetico estivo

Questi flussi termici che entrano in ambiente o che sono generati al suo interno ad un certo istante di tempo sono detti *heat gain* “guadagno o apporto termico”

Gli *heat gains* sono classificati sulla base della causa che li genera:

- la radiazione solare entrante attraverso le superfici di involucro trasparenti;
- il flusso termico scambiato attraverso le superfici di involucro (partizioni orizzontali e verticali);
- i carichi termici endogeni;
- i flussi entalpici connessi con le portate di aria di ventilazione/infiltrazione.

Gli *heat gains* possono essere dunque sia di natura convettiva che radiativa (o mista).

Con il termine *cooling loads*, “carico termico ambiente”, si indica invece il flusso termico da sottrarre all’ambiente per mantenerlo ad una temperatura interna costante e pari al valore di set-point per un dato istante di tempo.

È opportuno notare che la somma di tutti gli *heat gains* non coincide per ogni istante di tempo con il *cooling load* dell’ambiente inquanto, gli effetti di smorzamento e sfasamento causano grosse differenze fra il carico termico immesso e sottratto dall’impianto di climatizzazione.

Al fine di questo elaborato si è scelto di non dettagliare ulteriormente la procedura per il calcolo del carico termico estivo, in quanto questo richiederebbe uno sforzo computazionale non indifferente e pertanto si è scelto di riportare esclusivamente i risultati estratti dal software di calcolo nei paragrafi che seguono.

4.2.4 UNI TS 11300-1 Procedura di Calcolo del fabbisogno termico

Il seguente paragrafo approfondisce la procedura di calcolo del fabbisogno energetico secondo la norma tecnica di riferimento. Questa metodologia permette di stimare i consumi energetici di un'abitazione e di ricavarne gli indici energetici.

Parametri di trasmissione termica

Per mezzo del gradiente di temperatura tra interno ed esterno, esistono flussi termici trasmessi attraverso le strutture che compongono l'involucro edilizio. In questo paragrafo vengono definiti i diversi tipi di flusso e la procedura per il calcolo standard degli stessi.

Caratterizzazione termica dei componenti

Per quanto riguarda gli elementi opachi in osservanza della norma EN ISO 6946, rifacendosi alle schede tecniche in allegato (Appendice A) è stata valutata la trasmittanza termica U espressa in W/m^2K .

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s_j}{\lambda_j} + \sum R_j + \frac{1}{h_e}}$$

Dove h_i e h_e sono i coefficienti di scambio termico liminare interno ed esterno R_j la resistenza del j -esimo elemento, s lo spessore e λ_j la conducibilità termica. [UNI EN 6946 -10355].

I coefficienti di scambio termico liminare sono stati valutati come l'inverso delle Resistenze estrapolate dalla seguente tabella a seconda della direzione del flusso di calore.

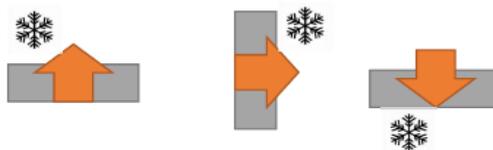


Table 1 — Conventional surface resistances

Surface resistance m^2K/W	Direction of heat flow		
	Upwards	Horizontal	Downwards
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

NOTE 1 The values given are design values. For the purposes of declaration of the thermal transmittance of components and other cases where values independent of heat flow direction are required, or when the heat flow direction is liable to vary, it is advisable that the values for horizontal heat flow be used.

NOTE 2 The surface resistances apply to surfaces in contact with air. No surface resistance applies to surfaces in contact with another material.

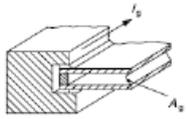
Tabella 2 Resistenze liminari

La modellazione dei componenti trasparenti segue quella dettata dalla norma UNI EN ISO 10077-1:2007.

Per ogni finestra è stata valutata la trasmittanza termica come:

per finestra singola

U_g [W/(m²K)] = trasmittanza termica del componente trasparente
 A_g [m²] = area del componente trasparente
 U_f [W/(m²K)] = trasmittanza termica del telaio
 A_f [m²] = area del telaio
 l_g [m] = perimetro totale della vetrata
 Ψ_g [W/(mK)] = trasmittanza termica lineare (da considerare solo in caso di vetrata multistrato, dovuta alla presenza del distanziatore posto tra i due vetri in corrispondenza del telaio)



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

nel caso di presenza di chiusure oscuranti, la norma considera l'aumento della resistenza termica durante l'orario notturno, dovuto all'utilizzo dell'oscurante. Questo effetto è valutato mediante una frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura, calcolata mediante l'equazione:

$$U_{w,corr} = U_{w+shut} \times f_{shut} + U_w \times (1 - f_{shut})$$

dove:

U_w è la trasmittanza termica del componente trasparente senza chiusura oscurante, espressa in W/(m² × K);

$U_{w,corr}$ è la trasmittanza termica ridotta del componente trasparente e della chiusura oscurante, espressa in W/(m² × K);

U_{w+shut} è la trasmittanza termica del componente trasparente e della chiusura oscurante insieme, espressa in W/(m² × K);

f_{shut} è la frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura, derivante dal profilo orario di utilizzo della chiusura oscurante e dal profilo orario della differenza tra temperatura interna ed esterna.

Per quanto riguarda i ponti termici a livello progettuale esistono tre diverse tipologie:

- ponte termico di forma o geometrico: struttura composta dallo stesso materiale ma con una variazione di forma che genera disomogeneità e aumento del flusso termico (collegamento tra pareti, angolo, collegamento parete-serramento etc);
- ponte termico strutturale: generato da elementi in contatto con diverse conduttività (ad esempio un pilastro in una parete perimetrale);
- ponte termico misto: coesistenza dei due ponti termici precedenti (ad esempio angolo tra due pareti perimetrali con pilastro).

Per il calcolo dei ponti termici occorre far riferimento alla norma UNI TS 11300-1:2014 dal titolo Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. Il testo prevede due tipologie di approcci per la valutazione:

- calcolo con il metodo agli elementi finiti secondo la UNI EN ISO 10211;
- abachi precalcolati conformi UNI EN ISO 14683 (da escludersi sempre l'allegato A della suddetta norma).

Il metodo agli elementi finiti risulta più accurato e può essere utilizzato per tutte le tipologie di ponte termico al contrario della valutazione tramite abaco precalcolato. L'approccio FEM ha infatti il vantaggio di consentire al tecnico una progettazione senza limitazioni geometriche e di effettuare un vero e proprio calcolo (coefficiente di accoppiamento termico, flusso termico, trasmittanza termica lineica ad esempio) restituendo i risultati numerici e grafici.

Inoltre, il calcolo agli elementi finiti risulta indispensabile nel caso di progettazione (ex. Legge 10) in quanto è necessario effettuare la verifica di formazione di muffa su tutti i componenti del progetto (compresi i ponti termici) infatti, Il d.m. 26 giugno 2015 riporta all'allegato 1 art. 2.3 comma 2 le seguenti prescrizioni: nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788), alla verifica dell'assenza:

- di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;
- di condensazioni interstiziali.

Ambienti non riscaldati e flussi verso il terreno

Al fine di rendere più veloce la computazione dei fabbisogni energetici la norma tecnica UNI TS 11300-1 prevede l'utilizzo di coefficienti tabulati (indicati con la lettera -b) per modellare lo scambio termico tra componenti dell'edificio che non sono direttamente esposti all'ambiente esterno e che quindi hanno la condizione a contorno di temperatura diversa da quella esterna. Esistono tre diverse possibili situazioni:

- strutture di confine tra un ambiente riscaldato e uno non riscaldato, ad esempio una parte divisoria tra un vano dell'abitazione e il garage
- strutture di confine tra un ambiente riscaldato e uno riscaldato ma ad una temperatura differente
- strutture a diretto contatto con il terreno ad esempio il pavimento.

In tutti questi casi viene valutato il coefficiente di scambio termico globale "H" e poi corretto con il coefficiente di aggiustamento "b". L'utilizzo di questo coefficiente permette di ricavare il flusso termico moltiplicando semplicemente per la differenza di temperatura tra interno ed esterno.

Ventilazione - Portate minime di aria esterna e portate di riferimento

Come indicato nella norma tecnica UNI TS 11300-1, le norme UNI 10339 e UNI EN 13779, e il CEN/TR 14788 forniscono una metodologia per la modellazione delle diverse tipologie dei sistemi di ventilazione.

Nelle valutazioni di progetto ed in quelle standard, si distingue tra:

- calcolo della prestazione termica del fabbricato;
- calcolo della prestazione energetica dell'edificio.

Nel primo caso, indipendentemente dalla eventuale presenza di un impianto di ventilazione meccanica, si fa convenzionalmente riferimento alla semplice aerazione naturale in condizioni standard (ventilazione di "riferimento").

Nel secondo caso si considera la ventilazione effettiva e l'eventuale presenza dell'impianto di ventilazione meccanica (ventilazione "effettiva").

Nel caso in esame non è presente alcun impianto di ventilazione; pertanto, la ventilazione "effettiva" coincide con quella di "riferimento".

Nelle condizioni reali, cioè quando si prende in considerazione la modalità di ventilazione effettivamente esistente o definita nel progetto, la portata deve essere mediata sul tempo; si definisce pertanto il flusso d'aria *k*-esimo nelle condizioni effettive, $q_{ve,k,m}$

Nelle condizioni di riferimento, la portata media giornaliera media mensile, $q_{ve,k,mn}$, si calcola con la seguente equazione:

$$q_{ve,k,mn} = q_{ve,0,k} * f_{ve,t,k}$$

Dove:

$q_{ve,0,k}$ è la portata minima di progetto di aria esterna, espressa in m³/s.

Per le abitazioni civili (E.1) la portata minima di progetto di aria esterna, $q_{ve,0,k}$, si calcola

assumendo un tasso di ricambio d'aria di progetto pari a $0,5 \text{ h}^{-1}$, così come riportato al punto D.5.1 della UNI EN 12831:2006.

$f_{ve,t,k}$ è il fattore di correzione che rappresenta la frazione di tempo in cui si attua il flusso d'aria k-esimo e che tiene conto dell'effettivo profilo di utilizzo e delle infiltrazioni che si hanno quando non si opera l'areazione.

Equazioni generali di fabbisogno energetico

La norma tecnica UNI-TS 11300-1 definisce la procedura standard per il calcolo del fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e raffrescamento ($Q_{C,nd}$):

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

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

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.

L'energia termica trasmessa per ogni zona termica dell'edificio e per ogni mese o frazione di mese, si calcola con la seguente equazione:

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} * (\theta_{int,set} - \theta_e) * t + \sum F_{r,k} * \phi_{r,mn,k} * t + \sum (1 - b_{tr,l}) * F_{r,k} * \phi_{r,mn,u,l} * t - Q_{sol,op}$$

dove:

- $H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno, espresso in W/K;
- θ_{int} è la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento o raffrescamento della zona considerata, espressa in °C;
- θ_e è la temperatura esterna media del mese considerato;
- $F_{r,k}$ è il fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste;
- $F_{r,l}$ è il fattore di forma tra il componente edilizio l-esimo dell'ambiente non climatizzato e la volta celeste;
- $\phi_{r,mn,k}$ è l'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k-esimo, mediato sul tempo, espresso in W;
- $\phi_{r,mn,u,k}$ è l'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio l-esimo dell'ambiente non climatizzato, mediato sul tempo, espresso in W;
- $b_{tr,l}$ è il fattore di riduzione delle dispersioni per l'ambiente non climatizzato avente il componente l-esimo soggetto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste;
- t è la durata del mese considerato o della frazione di mese, espressa in Ms;
- $Q_{sol,op}$ sono gli apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti opachi, espressi Mj.

Il coefficiente globale di scambio termico si ricava come:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$$

Dove:

- H_D è il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno, espresso in W/K;
- H_g è il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno, espresso in W/K;
- H_U è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati, espresso in W/K;
- H_A è il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone climatizzate a temperatura diversa, espresso in W/K; in genere si considera solo lo scambio di energia termica verso zone climatizzate di altri edifici e non verso le zone termiche dell'edificio stesso (calcolo con zone termiche non accoppiate);

L'effetto in termini di fabbisogno energetico della ventilazione è valutabile attraverso la seguente equazione:

$$Q_{H,ve} = H_{ve,adj} * (\theta_{int,set} - \theta_e) * t \text{ [MJ]}$$

$H_{ve,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, espresso in W/K. Esso è corretto con il coefficiente $b_{ve,k}$ per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno:

$$H_{ve,adj} = \rho_a * c_a * \sum_k b_{ve,k} * q_{ve,k,mn}$$

$q_{ve,k,mn}$ è la portata mediata sul tempo del flusso d'aria k-esimo, espressa in m³/s;

$b_{ve,k}$ è il fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k-esimo in ventilazione naturale (diverso da uno se la temperatura di mandata non è uguale alla temperatura dell'ambiente esterno, come nel caso di pre-riscaldamento o pre-raffrescamento dell'aria di ventilazione che attraversa ambienti non climatizzati).

In riferimento alle equazioni generali di bilancio energetico, i fattori $\eta_{H,gn}$ (fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica) e $\eta_{c,ls}$ (fattore di utilizzazione delle dispersioni di energia termica), sono due termini introdotti per stimare la sola quota di energia gratuita che viene utilizzata a vantaggio del sistema di climatizzazione. Ad esempio, nelle giornate primaverili, durante le ore più calde della giornata, gli apporti solari potrebbero superare il fabbisogno di potenza termica richiesta al mantenimento della temperatura di set-point, in questa evenienza si assisterebbe ad un surriscaldamento dell'ambiente e persino alla necessità di raffrescarlo; pertanto, è opportuno valutare solo la percentuale dell'apporto gratuito che concorre alla diminuzione del carico termico. Nella determinazione dei fattori interviene l'inerzia termica ovvero l'effetto combinato di accumulo termico e resistenza termica della struttura.

Il fattore di utilizzazione per il riscaldamento si calcola a partire da due parametri:

$$\gamma_H = \frac{Q_{gn}}{Q_{H,ht}} \quad \text{e} \quad \tau = \frac{C_m}{(H_{tr,adj} + H_{ve,adj}) \cdot 3600}$$

il primo rappresenta il rapporto tra guadagni e dispersioni termiche, mentre il secondo rappresenta la costante di tempo, espressa in ore, e calcolata come il rapporto fra la capacità termica interna (C_m) della zona e la somma dei coefficienti di scambio termico di trasmissione e ventilazione.

$$\text{se } \gamma_H > 0 \text{ e } \gamma_H \neq 1: \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

$$\text{se } \gamma_H = 1: \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1}$$

dove:

$$\gamma_H = \frac{Q_{gn}}{Q_{H,ht}}$$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$$

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si può assumere $a_{H,0} = 1$ e $\tau_{H,0} = 15$ h.

La stessa struttura di calcolo si estende anche alla determinazione del fattore di utilizzazione delle dispersioni di energia termica. Anche qui, un piccolo estratto dalla norma UNI TS 11300-1 in cui è possibile evincere le formule per la valutazione di $\eta_{C,ls}$.

$$\text{se } \gamma_C > 0 \text{ e } \gamma_C \neq 1: \eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}}$$

$$\text{se } \gamma_C = 1: \eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1}$$

$$\text{se } \gamma_C < 0: \eta_{C,ls} = 1$$

dove:

$$\gamma_C = \frac{Q_{gn}}{Q_{C,ht}}$$

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} - k \frac{A_w}{A_f}$$

Dove:

A_w è l'area finestrata, espressa in m²;

A_f è l'area climatizzata, espressa in m².

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si può assumere $a_{C,0} = 8,1$, $\tau_{C,0} = 17$ [h] e $k = 13$.

Calcolo degli apporti solari

Per ogni zona termica e per ogni mese o frazione di mese, gli apporti termici si calcolano con le seguenti equazioni:

$$Q_{sol,w} = \sum \phi_{sol,w,mn} * t + \sum \phi_{sd,w}$$

$$Q_{sol,op} = \sum \phi_{sol,op,mn} * t + \sum (1 - b_{tr}) * \phi_{sol,mn,u} * t + \sum (\phi_{sd,op} + Q_{si}).$$

$\Phi_{sol,mn}$ è il flusso termico k-esimo di origine solare, mediato sul tempo, espresso in W;

$\Phi_{sol,mn,u}$ è il flusso termico l-esimo di origine solare nell'ambiente non climatizzato adiacente u, mediato sul tempo, espresso in W;

$Q_{sd,w}$ sono gli apporti di energia termica diretti attraverso le partizioni trasparenti, dovuti alla radiazione solare entranti nella zona climatizzata dalla serra j-esima, espressi in MJ, calcolati secondo quanto riportato al punto E.2.3.3 della UNI EN ISO 13790:2008;

$Q_{sd,op,j}$ sono gli apporti di energia termica diretti attraverso le partizioni opache, dovuti alla radiazione solare entranti nella zona climatizzata dalla serra j-esima, espressi in MJ, calcolati secondo quanto riportato al punto E.2.3.3 della UNI EN ISO 13790:2008;

$Q_{si,j}$ sono gli apporti di energia termica indiretti dovuti alla radiazione solare entranti nella zona climatizzata dalla serra j-esima, espressi in MJ, calcolati secondo quanto riportato al punto E.2.3.3 della UNI EN ISO 13790:2008.

Il flusso termico k-esimo di origine solare, $\Phi_{sol,k}$, si calcola con la seguente equazione:

$$\Phi_{sol,w/op,k} = F_{sh,ob,k} \times A_{sol,w/op,k} \times I_{sol,k}$$

Dove:

$F_{sh,ob,k}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima;

$A_{sol,w,k}$ è l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato, espressa in m², determinata con l'equazione:

$$A_{sol,w} = F_{sh,gl} \times g_{gl} \times (1 - F_F) \times A_{w,p}$$

dove:

$F_{sh,gl}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili;

g_{gl} è la trasmittanza di energia solare della parte trasparente del componente;

F_F è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;

$A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato (l'area del vano finestra).

$A_{sol,op,k}$ è l'area di captazione solare effettiva della superficie opaca k-esima con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato, espressa in m², determinata con l'equazione;

$$A_{sol,op} = \alpha_{sol,c} \times R_{se} \times U_{c,eq} \times A$$

dove:

$\alpha_{sol,c}$ è il fattore di assorbimento solare del componente opaco;

R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna del componente opaco, determinato secondo la UNI EN ISO 6946, espressa in m² × K/W;

A_c è l'area proiettata del componente opaco, espressa in m²;

$U_{c,eq}$ è la trasmittanza termica equivalente del componente opaco, espressa in W/(m² × K).

$I_{sol,k}$ è l'irradianza solare media del mese considerato o della frazione di mese, sulla superficie k-esima, con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, espressa in W/m².

Apporti interni

$$Q_{int} = \sum \phi_{int,mn} * t + \sum (1 - b_{tr}) * \phi_{int,mn,u}$$

Dove:

b_{tr} è il fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente la sorgente di calore interna l-esima oppure il flusso termico l-esimo di origine solare;

$\phi_{int,mn}$ è il flusso termico prodotto dalla k-esima sorgente di calore interna, mediato sul tempo, espresso in W;

$\phi_{int,mn,u}$ è il flusso termico prodotto dalla l-esima sorgente di calore interna nell'ambiente non climatizzato adiacente u, mediato sul tempo, espresso in W;

Extra flusso verso la volta celeste

La minore temperatura apparente della volta celeste rispetto l'ambiente limitrofo genera un extraflusso di natura radiativa (ϕ_r) che coinvolge tutti i componenti dell'edificio. La valutazione di questo si ottiene andando a considerare la seguente equazione:

$$\phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}$$

dove:

R_{se} resistenza superficiale esterna del componente [m^2K/W];

U_c trasmittanza termica del componente [W/m^2K];

A_c area proiettata del componente [m^2];

h_r coefficiente di scambio termico esterno per irraggiamento [W/m^2K];

$\Delta\theta_{er}$ differenza tra la temperatura dell'ara esterna e la temperatura apparente del cielo

Il calcolo è effettuato adottando le seguenti ipotesi:

- La differenza di temperatura dell'aria esterna e la temperatura apparente del cielo vale:

$$\Delta\theta_{er} = \theta_e - \theta_{sky}$$

$$\theta_{sky} = 18 - 51,6 \cdot e^{-p_{v,e}/1000}$$

$p_{v,e}$ pressione parziale del vapore d'acqua media del mese considerato [Pa];

- Il coefficiente di scambio termico esterno per irraggiamento [W/m^2K] è determinato con l'equazione di legge di Stefan-Boltzmann.

$$h_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \frac{(\theta_e + 273)^4 - (\theta_{sky} + 273)^4}{\theta_e - \theta_{sky}}$$

dove:

ε emissività della superficie esterna del componente;

σ costante di Stefan-Boltzmann ($=5,67 \cdot 10^{-8}$) [W/m^2K^4];

θ_{sky} temperatura equivalente di corpo nero della volta celeste [$^{\circ}C$];

4.2.5 UNI TS 11300-2 Procedura di Calcolo del fabbisogno termico in termini di energia primaria

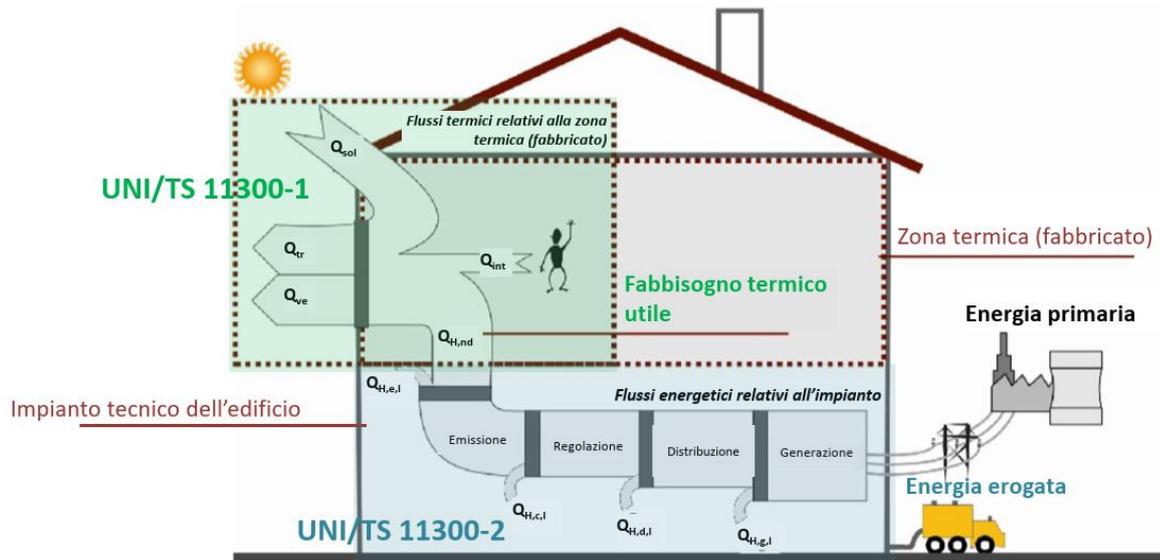


Figura 4 campi d'applicazione UNI TS 11330 parte 1 e 2

La norma tecnica UNI TS 11300-2 stabilisce la procedura per la determinazione del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria. Come si può evincere dalla figura 4, partendo dal fabbisogno termico o energia utile (calcolato attraverso la UNI TS 11300-1), si risale al valore di energia primaria andando a stabilire i rendimenti, e quindi le perdite, dei vari sottosistemi che compongono l'impianto termico: emissione, regolazione, distribuzione, generazione.

È utile osservare che per il calcolo del fabbisogno effettivo dell'edificio, ovvero della quantità di energia termica utile che deve essere immessa negli ambienti riscaldati, si deve tenere conto di altri fattori. La norma considera infatti:

- maggiori perdite verso l'esterno dovute ad una distribuzione non uniforme di temperatura dell'aria all'interno degli ambienti riscaldati dovuta alla stratificazione;
- maggiori perdite verso l'esterno dovute alla presenza di corpi scaldanti annegati nelle strutture;
- maggiori perdite dovute ad una imperfetta regolazione dell'emissione del calore.
- eventuale mancato sfruttamento di apporti gratuiti conteggiati nel calcolo del fabbisogno termico, che si traducono in maggiori temperature ambiente anziché riduzioni dell'emissione di calore;

Per il fabbisogno di acqua calda sanitaria, la norma UNI TS 13000-2 prevede come primo passo la stima del volume giornaliero di ACS richiesto (V_w) valutato come:

$$V_w = a \times N_u \text{ [l/G]}$$

dove:

a è il fabbisogno giornaliero specifico [l/G m²];

N_u è il parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio, nel caso di abitazioni è il valore della superficie utile, espresso in metri quadrati.

Il valore di “a” si ricava dal seguente prospetto, nel quale sono indicati anche i fabbisogni di energia termica utile basati sulla differenza di temperatura convenzionale tra erogazione ed acqua fredda di ingresso di 25 °C.

Fabbisogni	Calcolo in base al valore di S_u per unità immobiliare [m ²]			Valore medio riferito a $S_u=80\text{m}^2$
	≤50	51-200	>200	
a	1,8	$4,514 \times S_u^{-0,2356}$	1,3	1,6
Fabbisogno equivalente di energia termica utile [Wh/Gm ²]	52,3	$131,22 \times S_u^{-0,2356}$	37,7	46,7
Fabbisogno equivalente di energia termica utile [kWh/m ² anno]	19,09	$47,9 \times S_u^{-0,2356}$	13,8	17,05

L'energia termica $Q_{h,w}$ richiesta per la produzione di una certa quantità di acqua alla temperatura θ_{er} è:

$$Q_{h,w} = \rho \times c \times V_w \times (\theta_{er} - \theta_o) \times G \text{ [Wh]}$$

Dove:

ρ è la densità dell'acqua [kg/m³];

c è il calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [Wh/kg °C];

V_w è il volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo [m³/G];

θ_{er} è la temperatura di erogazione [°C];

θ_o è la temperatura di ingresso dell'acqua fredda [°C];

G è il numero dei giorni del periodo di calcolo [G].

Gli impianti termici

Gli impianti termici di climatizzazione invernale e per la produzione di ACS sono suddivisi in due parti:

- parte «utilizzo», dal punto di consegna alla rete di distribuzione al punto di emissione dell'energia termica,
- parte «generazione», dal punto di consegna dell'energia al confine dell'edificio al punto di consegna dell'energia termica utile alla rete di distribuzione dell'edificio.

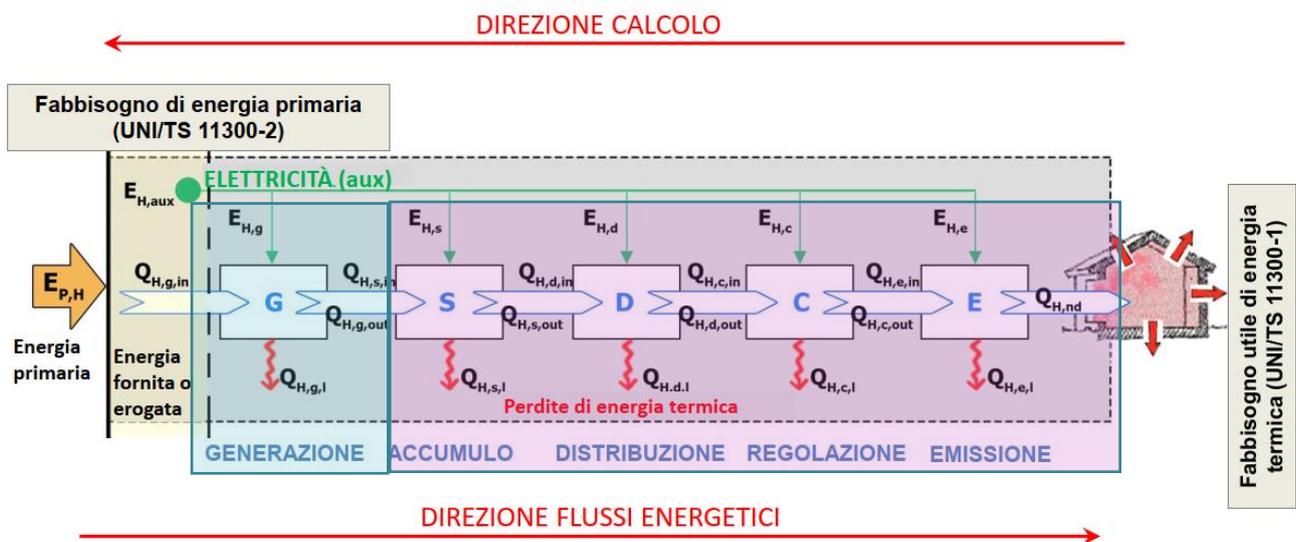


Figura 5 Sottosistemi impianto di riscaldamento

La determinazione del rendimento medio stagionale e del fabbisogno di energia primaria deve essere effettuata in base ai rendimenti (o alle perdite) dei sottosistemi che lo compongono. Nella figura 5 è mostrata la suddivisione sopracitata in riferimento alla norma tecnica.

Per ciascun sottosistema, si determina:

- il fabbisogno di energia richiesto in ingresso del sottosistema $Q_{in,x}$;
- l'energia ausiliaria totale richiesta $Q_{aux,x}$;
- le perdite $Q_{l,x}$;
- le perdite recuperate $Q_{lrh,x}$.

Per ogni sottosistema, identificato con il pedice x , vale il seguente bilancio termico:

$$Q_{in,x} = Q_{out,x} + (Q_{l,x} - Q_{lrh,x}) - Q_{aux,lrh,x} \text{ [Wh]}$$

In cui il termine $(Q_{l,x} - Q_{lrh,x})$ è il valore delle perdite al netto delle perdite recuperate:

mentre, $Q_{aux,lrh,x}$ è energia termica recuperata dagli ausiliari elettrici.

Da notare che in questo bilancio non si devono impiegare fattori di conversione in energia primaria, inquanto è un bilancio di tipo termico.

Definiti i rendimenti in funzione dei prospetti indicati nella UNI TS 11300-2 è possibile risalire al fabbisogno di energia termica all' ingresso del sistema di generazione. Infine, con questo valore, moltiplicando con opportuni fattori di conversione si ricava il fabbisogno globale di energia primaria per quel determinato servizio energetico come:

$$Q_{p,H,W} = \sum Q_{H,c,i} \times f_{p,i} + \sum Q_{W,c,j} \times f_{p,j} + (Q_{H,aux} + Q_{W,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) \times f_{p,el} \quad [Wh]$$

Dove:

$Q_{H,c,i}$ è il fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto da ciascun vettore energetico i (combustibili, energia elettrica, ecc.). Nel caso di combustibili è dato dalla quantità utilizzata per il potere calorifico inferiore, nel caso di energia elettrica dalla quantità utilizzata;

$f_{p,i}$ è il fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico i ;

$Q_{W,c,j}$ è il fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria ottenuto da ciascun vettore energetico j (combustibili, energia elettrica, ecc.). Nel caso di combustibili è dato dalla quantità utilizzata per il potere calorifico inferiore, nel caso di energia elettrica dalla quantità utilizzata;

$Q_{H,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di riscaldamento;

$Q_{W,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari degli impianti di produzione acqua calda sanitaria;

$Q_{INT,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari di eventuali sistemi che utilizzano energie rinnovabili e di cogenerazione;

$Q_{el,exp}$ è l'energia elettrica esportata dal sistema (da solare fotovoltaico, cogenerazione);

$f_{p,el}$ è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia ausiliaria elettrica.

Il calcolo degli indici di prestazione EP (energy performance) si ottengono dividendo l'energia primaria ottenuta per la superficie utile dell'edificio:

$$EP = \frac{\sum Q_{fornita} * f_p}{S_{utile}} \frac{kWh}{m^2}$$

Normalizzando l'energia primaria per la superficie utile dell'edificio si ottiene un parametro che è svincolato dalle dimensioni, per tanto è possibile utilizzare questo indice per confrontare gli immobili in funzione dell'efficienza energetica. La norma tecnica, inoltre, assegna la classe energetica riferendosi alla sola quota parte del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile. A livello pratico questo si traduce nella possibilità di aumentare la classe energetica di un edificio andando ad agire solo sui sistemi di generazione. Questo meccanismo è favorevole allo sviluppo delle tecnologie che sfruttano energia rinnovabile, tuttavia, non incentiva l'abbattimento dei consumi energetici.

5 IL CASO STUDIO

In questo capitolo si articola la progettazione relativa all'intervento di efficientamento energetico.

5.1 DESCRIZIONE DELL'AREA URBANA

Il fabbricato oggetto di intervento è collocato in una zona semiperiferica dell'abitato cittadino, comunque, non distante da strutture pubbliche, aree commerciali e luoghi ristoro. Tale ambito secondo le previsioni del Regolamento Edilizio vigente del Comune di Crispiano, approvato con D.P. n. 10222/37 urb. del 26/04/1971 e successive varianti, ricade in zona C3 – Zona di espansione estensiva – che contempla la categoria d'intervento prevista.⁶



Figura 6 Pdf Tavola di piano Crispiano

⁶ https://pugliacon.regione.puglia.it/services/web/sit-puglia/pubblica/paesaggio-urbanistica/destinazione-urbanistica?p_p_id=DatiUrbaPortlet_WAR_DatiUrbanistica&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_DatiUrbaPortlet_WAR_DatiUrbanistica_ricerca_piano=1&_DatiUrbaPortlet_WAR_DatiUrbanistica_ricerca_idente=104&_DatiUrbaPortlet_WAR_DatiUrbanistica_azionelink=dettaglioComune

L'edificio è stato sanato in virtù del Permesso di Costruire 18/2021, rilasciata in data 31/03/2021 prot. SUE n.36647, che ha assentito alla sanatoria delle difformità urbanistiche dell'abitazione ai sensi dell'art. 37 D.P.R. 6 giugno 2001, n.380.

Il fabbricato è costituito da una muratura portante in tufo, con solaio piano di copertura in laterocemento, intonaco civile per i paramenti interni ed esterni. Attiguo all'abitazione vi è un vano deposito, comunicante con la struttura principale ma risultante area non climatizzata; il quale diversamente dal resto della costruzione presenta un'altezza inferiore e una copertura a falda inclinata a circa 5°.

5.2 DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI

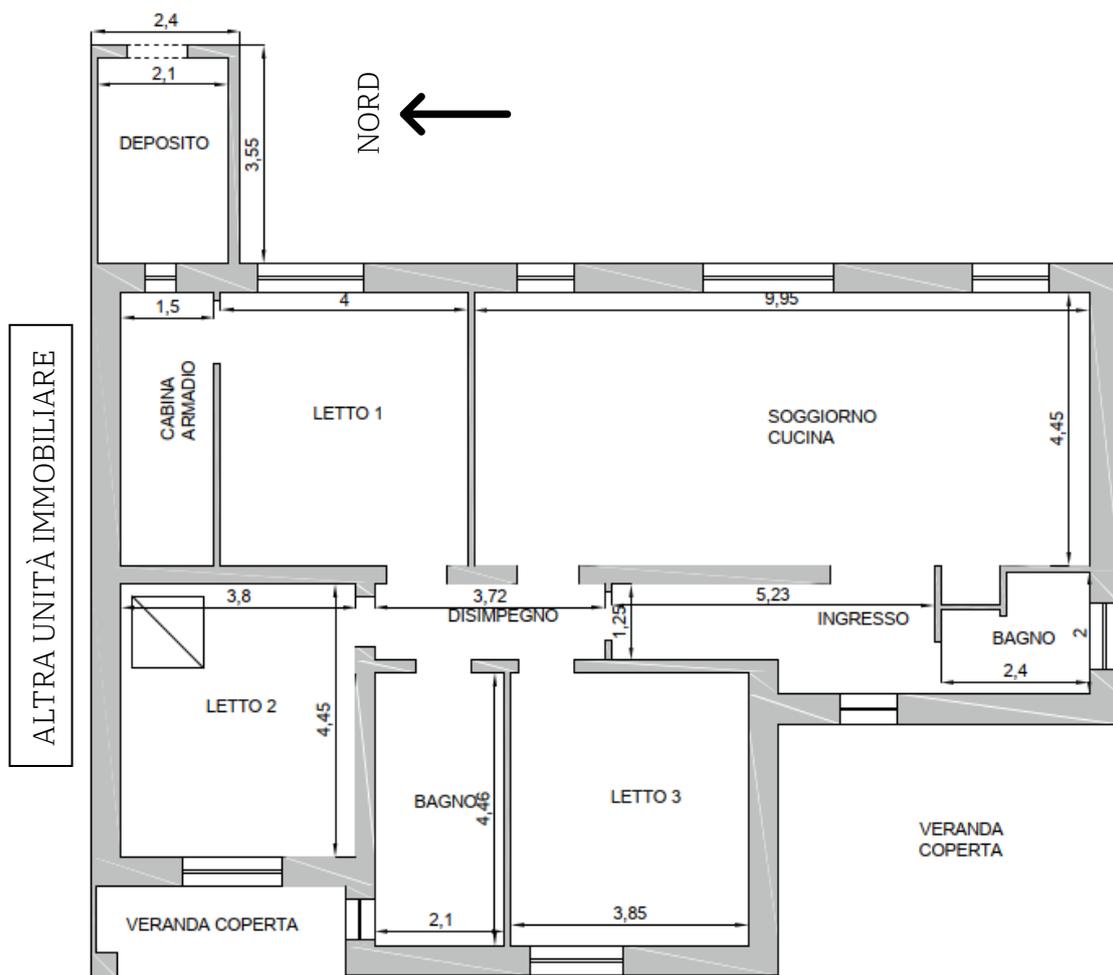
L'abitato ha superficie catastale (al lordo dei muri) pari a 179 m² ed altezza interna netta di 3,45 m (ad esclusione della zona deposito di altezza interna pari a circa 2,25 m).

L'unità immobiliare in questione si sviluppa su un unico piano; entrando dalla porta di ingresso, posta sul lato ovest dell'edificio, occorre attraversare un disimpegno per avere l'accesso alla totalità degli ambienti climatizzati. All'entrata si affaccia subito il bagno 1 e la sala soggiorno/cucina, proseguendo per il disimpegno si trovano la camera da letto 3, il bagno 2, la camera da letto 2 e la camera da letto 1. Unico vano non comunicante al resto è quello ad uso cabina armadio, connesso esclusivamente alla camera da letto 1.

Allo stato attuale, risultano installati impianti termici, idrico-sanitari di tipo tradizionale: radiatori e caldaia murarie di vecchia tecnologia.

L'impianto elettrico sottotraccia è costituito da cavi in rame a sezione piena rivestito passanti in tubi corrugati in plastica non autoestinguenti. Soffitti e pareti sono tinteggiati con tempera lavabile a colori chiari.

Figura 7 Planimetria del Piano Terra



5.3 SOPRALLUOGO E ANALISI PRELIMINARE

Il primo step è stato quello di svolgere un sopralluogo preliminare durante il quale si è proceduto a stabilire lo stato di fatto dell'immobile e la corrispondenza urbanistico catastale. In questa fase, in base ai dati forniti dal cliente e di quelli ricavati dalle analisi in loco, sono stati assegnati i parametri tecnici utili alla modellazione tramite software di calcolo per la redazione del certificato APE:

- la stratigrafia delle pareti opache verticali è così composta: intonaco esterno, blocco di tufo di spessore pari a 30, intonaco interno.
- la stratigrafia delle pareti esterni orizzontali è così composta: pavimento esterno in cemento alleggerito 3 cm, massetto di pendenza dello spessore di 6 cm, soletta composta da blocchi in laterizio e travetti in calcestruzzo armato 33 cm, intonaco interno 1 cm.
- la stratigrafia del pavimento contro terra è così composta: pavimento interno 1,5 cm, malta 2 cm, massetto 15 cm, cemento armato 20 cm.
- gli infissi presenti hanno telaio in alluminio senza taglio termico e come superficie trasparente doppio vetro senza trattamento basso emissivo
- l'impianto termico presente è composto da caldaia a combustibile fossile a camera stagna, che fornisce a radiatori in acciaio il fluido termovettore caldo attraverso un sistema di distribuzione a collettori. L'impianto è autonomo ed è regolato da un unico termostato di zona a banda proporzionale di 2°C.

A partire da questi dati, attraverso un Software di calcolo, è stato modellato l'edificio nel suo stato di fatto. Questa analisi è indispensabile in quanto, come accennato in precedenza, al fine dell'ottenimento dell'incentivo statale, è obbligatorio dimostrare il doppio salto di classe energetica e dunque attestare attraverso un'APE lo stato energetico di partenza. Una volta raggiunto l'accordo con il cliente sugli interventi migliorativi da realizzare è iniziata la fase di progettazione. Nello specifico sono stati creati tre diversi modelli:

Il primo metodo utilizzato è quello analitico. Il vantaggio di questa tipologia di modellazione è la "trasparenza" del calcolo, infatti, tutti i parametri vengono valutati dal progettista attraverso le formule ricavate dalle norme tecniche di riferimento, questo rende possibile il controllo completo su tutti i fattori che vanno a determinare il carico termico. I limiti riguardano invece un livello di approssimazione elevato, l'impossibilità di utilizzare questo metodo per attestazione di prestazione energetica (APE) e infine un maggior tempo di calcolo.

Il secondo metodo (di cui si allegano i risultati ottenuti) si basa sull'utilizzo di diversi software EnergyPlus, OpenStudio, Sketchup. In questo caso si inizia con un disegno 3D dell'edificio a cui vengono associate le caratteristiche termo-fisiche degli elementi geometrici che lo compongono, successivamente, sono assegnati i profili d'occupazione dell'immobile e le *schedules* per il calcolo

degli apporti interni derivanti da apparecchi elettrici. Il calcolo viene eseguito basandosi su dati climatici reali forniti dalle stazioni di controllo meteorologico installate in prossimità dell'immobile. Questo metodo permette un livello d'accuratezza molto più elevato, in quanto si esegue di fatto una simulazione di calcolo dinamico e questo permette di valutare anche i carichi termici estivi e gli apporti solari reali. Si può affermare che in questo caso la metodologia di calcolo è quella definita “*tailored raing*” Tuttavia, questo modello può essere definito un modello black box ovvero il cui funzionamento interno è non visibile o ignoto, inoltre i tempi di computazione sono considerevoli.

Il terzo metodo utilizza un Software di Calcolo certificato, anche in questo caso è possibile modellare l'edificio in termini di componenti e strutture, profili d'utilizzo ecc. Il grande vantaggio che si ha nell'utilizzo di questo software è la verifica automatica di tutti i parametri da rispettare in termini di legge per quanto riguarda i requisiti minimi e accesso al SuperBonus 110.

5.4 PROGETTO ENERGETICO

5.4.1 Progetto preliminare e stato di fatto

Attraverso i dati in ingresso rivelati e misurati, con il supporto del software di calcolo è stato modellato l'edificio rispetto lo stato di fatto, di seguito si riportano i principali risultati di calcolo:

Parametri Climatici Della Località

Gradi giorno della zona d'insediamento, determinati in base al DPR 412/93	1386	GG
Temperatura minima di progetto dell'aria esterna	272	°K
Temperatura massima estiva di progetto dell'aria esterna	305	°K
Zona Climatica	C	-
Velocità del vento	5,1	m/s
Zona di vento	2	-
Temperatura media	16,2	°C
Irradiazione solare massima estiva su superficie orizzontale	26,5	MJ/m ²

Dati invernali

Temperatura minima di progetto dell'aria esterna	-1,6	°C
Periodo di riscaldamento	137	giorni

Dati Tecnici E Costruttivi Dell'edificio

Climatizzazione	invernale	estiva	u.m.
Volume lordo climatizzato dell'edificio (V)	624	624	m ³
Superficie esterna che delimita il volume climatizzato (S)	493	493	m ²
Rapporto S/V	0,79	0,79	-
Superficie utile energetica dell'edificio	164	164	m ²
Valore di progetto della temperatura interna	20	26	°C
Valore di progetto dell'umidità relativa interna	50	50	%

Spazi e zone termiche

Al fine di determinare le prestazioni energetiche dell'involucro, lo stesso è stato suddiviso nei seguenti spazi elementari:

SPAZIO	Descrizione unità minima di suddivisione	A [m ²]	h [m]	Vn [m ³]
1	LETTO 2	24	3,45	83
2	BAGNO	12	3,45	41
3	LETTO 3	22	3,45	77
4	DISIMPEGNO INGRESSO	14	3,45	48
5	BAGNO 2	7	3,45	24
6	SOGGIORNO CUCINA	55	3,45	189
7	LETTO 1	30	3,45	105

Componenti Strutturali Del Fabbricato

Componenti opachi

L'involucro oggetto della presente relazione è delimitato dalle seguenti tipologie di componenti opachi di cui si riportano i valori di trasmittanza termica e le capacità termiche areiche interne utilizzate nei calcoli.

#	Codice e Descrizione del componente opaco	U [W/m ² K]	Ci [KJ/m ² K]
1	Muratura in blocchi squadrati di tufo (34 cm)	1,3	480
2	Copertura piana praticabile con pavimentazione esterna in klinker (34 cm)	1,5	698
3	Pavimento su terreno	2.1	623
4	Porta esterna tamburata con guarnizione di tenuta.	2,2	75

Per quanto riguarda il pavimento contro terra bisogna fare riferimento alla norma tecnica UNI EN ISO 13370 e valutare secondo le specifiche dettata da questa la trasmittanza corretta:

Componente Contro Terra: PAVE5B-1-0002 - 5B - Pavimento su terreno da 35 cm

Componente su terreno: PAVE5B-1-0002 - 5B - Pavimento su terreno da 35 cm

Superficie del pavimento [m²]: 164,0

Perimetro del pavimento [m]: 56,0

Spessore medio pareti perimetrali [m]: 0,30

Tipo terreno: Roccia

Conducibilità termica del terreno [W/mK]: 3,5000

Trasmittanza equivalente nota

Trasmittanza equivalente U [W/m²K]: 0,7995

Dati potenza invernale

fg1: 1,45

Gw: Distanza tra la falda e soletta del pavimento > 1 metro Valore: 1,00

#		U [W/m ² K]	Superficie [m ²]	Perimetro [m]	Conducibilità termica del terreno [W/mK]	B' [m]	d _t [m]	U,corr [W/m ² K]
	PAVE5B-1-0002 - 5B - Pavimento su terreno da 35 cm	2,1	164	56	3,50	4,88	1,99	0,8

Nella sezione seguente si riportano le schede tecniche degli elementi opachi allo stato di fatto:

Tipologia: Parete Esterna

Confine: Esterno

Codice: MPI03-01

Descrizione: Muratura in blocchi squadrati di tufo (34 cm)

Dettaglio componente

N.	Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	s [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	μ [-]	R [m ² K/W]
	Resistenza superficiale interna						0,13
1	Intonaco di calce e gesso (interno)	0,02	0,70	1400	840	11	0,03
2	Tufo (1600 kg/m ³)	0,30	0,55	1600	1000	10000	0,55
3	Malta di calce o di calce e cemento	0,02	0,90	1800	840	27	0,02
	Resistenza superficiale esterna						0,04
	TOTALE	0,34					0,77

Legenda

s Spessore dello strato

ρ Massa volumica

λ Conducibilità termica del materiale

μ Fattore di resistenza alla diffusione del vapore

c Calore specifico del materiale

R Resistenza termica degli strati

Parametri termici			
Spessore	s	34	cm
Trasmittanza termica	U	1,31	W/m ² K
Resistenza termica	R	0,76	m ² K/W
Massa superficiale	M	544,0	Kg/m ²
Capacità termica	C	533,7	kJ/m ² K
Trasmittanza termica periodica	Y _{IE}	0,23	W/m ² K
Capacità termica areica interna	k ₁	60,9	kJ/m ² K
Capacità termica areica esterna	k ₂	96,1	kJ/m ² K
Fattore di attenuazione	f _d	0,18	-
Sfasamento	φ	12,2	h
Ammettenza termica interna	Y _{ii}	4,2	W/m ² K
Ammettenza termica esterna	Y _{ee}	6,8	W/m ² K
Massa superficiale (esclusi intonaci)	M _S	480	kg/m ²

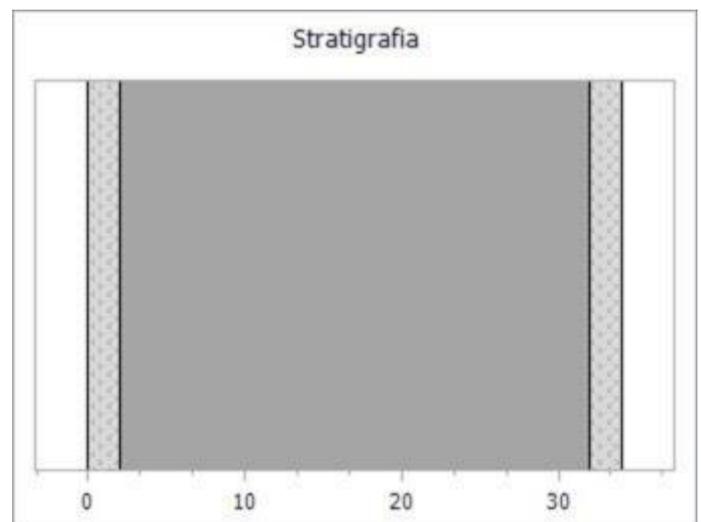


Tabella 3 stratigrafia parete verticale

Tipologia: Pavimento Esterno

Confine: Controtterra

Codice: PAVE5B-1-0002

Descrizione: 5B - Pavimento su terreno

Dettaglio componente

N.	Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	s [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	μ [-]	R [m ² K/W]
	Resistenza superficiale interna						0,170
1	Piastrelle in ceramica	0,010	1,300	2300,00	840,00	200	0,008
2	Calcestruzzo	0,050	1,150	1800,00	1000,00	100	0,043
3	Impermeabilizzazione con bitume	0,010	0,170	1200,00	920,00	50000	0,059
4	Calcestruzzo armato (getto)	0,150	1,910	2400,00	1000,00	130	0,079
5	Ghiaia grossa senza argilla (um. 5%)	0,100	1,200	1700,00	840,00	5	0,083
	Resistenza superficiale esterna						0,040
	TOTALE	0,320					0,482

Legenda

s Spessore dello strato

λ Conducibilità termica del materiale

c Calore specifico del materiale

ρ Massa volumica

μ Fattore di resistenza alla diffusione del vapore

R Resistenza termica degli strati

Parametri termici

Spessore	s	32	cm
Trasmittanza termica	U	2,075	W/m ² K
Resistenza termica	R	0,482	m ² K/W
Massa superficiale	M	655,00	Kg/m ²
Capacità termica	C	623,16	kJ/m ² K
Trasmittanza termica periodica	Y_{IE}	0,509	W/m ² K
Capacità termica areica interna	k_1	62,20	kJ/m ² K
Capacità termica areica esterna	k_2	123,00	kJ/m ² K
Fattore di attenuazione	f_d	0,245	-
Sfasamento	φ	9,14	h
Ammettenza termica interna	Y_{ii}	4,065	W/m ² K
Ammettenza termica esterna	Y_{ee}	8,458	W/m ² K
Massa superficiale (esclusi intonaci)	M_s	632,00	kg/m ²



Tabella 4 stratigrafia solaio controterra

Tipologia: Solaio Esterno

Confine: Esterno

Codice: COP04-02

Descrizione: Copertura piana praticabile con pavimentazione esterna in klinker (34 cm)

Dettaglio componente

N.	Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	s [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	μ [-]	R [m ² K/W]
	Resistenza superficiale interna						0,100
1	Intonaco di calce e gesso (interno)	0,020	0,700	1400,00	840,00	11	0,029
2	Malta di cemento + Calcestruzzo armato + Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) (22 cm)	0,220	-	2400,00	1000,00	100	0,330
3	Calcestruzzo in genere (1900 kg/m ³)	0,060	1,060	1900,00	1000,00	100	0,057
4	Impermeabilizzazione con bitume	0,010	0,170	1200,00	920,00	50000	0,059
5	Pavimentazione esterna - Klinker	0,030	0,700	1500,00	1000,00	300	0,043
	Resistenza superficiale esterna						0,040
	TOTALE	0,340					0,657

Legenda

s Spessore dello strato
 ρ Massa volumica

λ Conducibilità termica del materiale
 μ Fattore di resistenza alla diffusione del vapore

c Calore specifico del materiale
R Resistenza termica degli strati

Parametri termici			
Spessore	s	34	cm
Trasmittanza termica	U	1,522	W/m ² K
Resistenza termica	R	0,657	m ² K/W
Massa superficiale	M	727,00	Kg/m ²
Capacità termica	C	721,56	kJ/m ² K
Trasmittanza termica periodica	Y_{IE}	0,190	W/m ² K
Capacità termica areica interna	k_1	74,39	kJ/m ² K
Capacità termica areica esterna	k_2	86,46	kJ/m ² K
Fattore di attenuazione	f_d	0,125	-
Sfasamento	φ	13,16	h
Ammettenza termica interna	Y_{ii}	5,259	W/m ² K
Ammettenza termica esterna	Y_{ee}	6,159	W/m ² K
Massa superficiale (esclusi intonaci)	M_s	699,00	kg/m ²

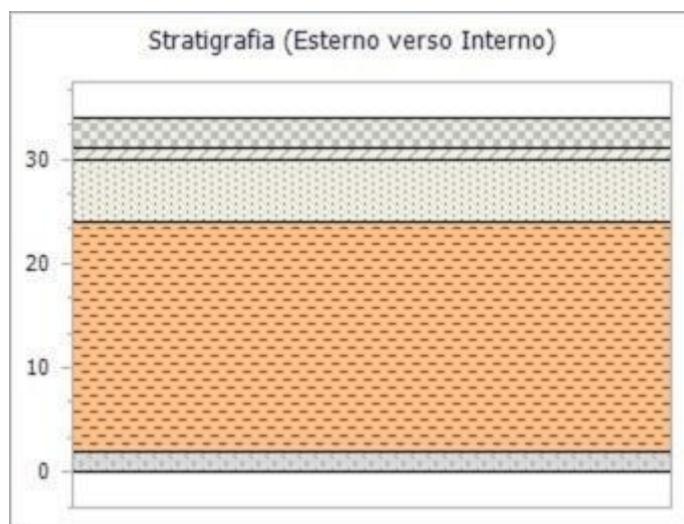


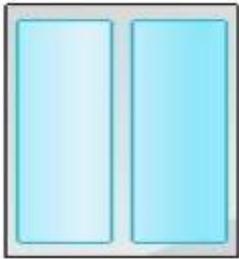
Tabella 5 stratigrafia solaio di copertura

Componenti trasparenti:

Di seguito sono riportati i risultati del calcolo della trasmittanza termica corretta per le tipologie di componenti trasparenti presenti nell'involucro.

CARATTERISTICHE TERMICHE COMPONENTI FINESTRATI

Cod.	Tipologia serramento	Descrizione
FE07-01	Singolo	5B - Infisso con telaio metallo con taglio termico e doppi vetri normali (4-8-4 Aria)
Dati vetro		
Tipo	Vetrata doppia Vetro normale Gas:Aria	
Trasmittanza (U_g)	3,1W/m ² K	
Emissività (ϵ)	0,89	
Trasmittanza di energia solare ($g_{gl,n}$)	0,75	
Distanziatore	Metallo	
Trasm. term. lineare distanziatore (Ψ_g)	0,08 W/K	
Area (A_g)	2,52 m ²	
Perimetro (l_g)	10,8 m	
Dati telaio		
Tipo	Metallo con taglio termico - dimensioni sezione: 60-70 mm, lunghezza barrette taglio termico: 22-28 mm	
Trasmittanza (U_f)	2,4 W/m ² K	
Area (A_f)	1,1 m ²	
Dati infisso		
Trasmittanza (U_w)	3,1 W/m ² K	
Area (A_w)	3,6 m ²	
Perimetro (l_w)	7,8 m	
Fattore di telaio (F_f)	0,29	
Classe di permeabilità all'aria	Senza classificazione	



Larghezza finestra	1,5 m
Altezza finestra	2,4 m
Numero ante	2
Spessore telai laterali	0,075 m
Spessore telai centrali	0,15 m
Spessore telai superiore	0,15 m
Spessore telai inferiore	0,15 m
Numero ante orizzontali	1

Tabella 6 infissi

Infisso con telaio metallo con taglio termico e doppi vetri normali (4-8-4 Aria) finestrato	L vano	H vano	Ag	Af	Ug	Uf	Uw	ΔR	Uw+shut	Fshut	U,corr
	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[m ² K/W]	[W/m ² K]		[W/m ² K]
1	1,5	2,4	2,7	1,1	3,1	2,4	3,1	0,0	3,1	0,6	3,1
2	1,5	2,4	0,1	0,2	3,1	2,4	3,0	0,0	3,0	0,6	3,0
3	1,5	2,4	0,8	0,7	3,1	2,4	3,1	0,0	3,1	0,6	3,1
4	1,5	2,4	1,0	0,7	3,1	2,4	3,1	0,0	3,1	0,6	3,1
5	1,5	2,4	1,2	0,8	3,1	2,4	3,1	0,0	3,1	0,6	3,1
6	1,5	2,4	3,8	1,3	3,1	2,4	3,1	0,0	3,1	0,6	3,1
7	1,5	2,4	1,0	0,5	3,1	2,4	3,1	0,0	3,1	0,6	3,1
8	1,5	2,4	2,5	1,1	3,1	2,4	3,1	0,0	3,1	0,6	3,1
9	1,5	2,4	0,1	0,2	3,1	2,4	3,0	0,0	3,0	0,6	3,0

Tabella 7 dettagli infissi

Dettagli installativi dei componenti trasparenti presenti:

# FE07-01 - 5B - Infisso con telaio metallo con taglio termico e doppi vetri normali (4-8-4 Aria) (ombreggiata)Descrizione componente finestrato		Confinante con	b tr,x [-]	Aw [m ²]	Ag [m ²]	Esposizione [-]	F sh,ob,d [-]
	1	Esterno	1	3,8	2,7	OVEST	0,79
	2	Esterno	1	0,3	0,1	NORD	1,00
	3	Esterno	1	1,5	0,8	OVEST	1,00
	4	Esterno	1	1,6	0,9	SUD	1,00
	5	Esterno	1	2,0	1,2	EST	0,35
	6	Esterno	1	5,4	3,7	EST	0,35
	7	Esterno	1	1,4	0,9	EST	0,35
	8	Esterno	1	3,6	2,5	EST	0,35
	9	Esterno	1	0,3	0,1	EST	1,00

Tabella 8 dettagli installativi infissi

Ventilazione

Nella tabella sottostante è mostrato il dettaglio delle portate minime di aria esterna e delle portate di riferimento utilizzate per il calcolo del fabbisogno di energia termica utile ideale di riferimento di ciascun ambiente.

#	Descrizione	A [m ²]	Vn [m ³]	q,ve0 [m ³ /s]	q,ve0 [m ³ /h]	q,ve0 [Vol/h]	f ve,t	q,ve,mn [m ³ /s]	q,ve,mn [m ³ /h]	q,ve,mn [Vol/h]
1	LETTO 2	23,9	82,6	0,011	41,3	0,5	0,6	0,007	24,8	0,3
2	BAGNO	12,0	41,4	0,006	20,7	0,5	0,6	0,003	12,4	0,3
3	LETTO 3	22,2	76,8	0,011	38,4	0,5	0,6	0,006	23,0	0,3
4	DISIMPEGNO INGRESSO	13,8	47,9	0,007	23,9	0,5	0,6	0,004	14,4	0,3
5	BAGNO 2	7,0	24,2	0,003	12,1	0,5	0,6	0,002	7,3	0,3
6	SOGGIORNO CUCINA	54,8	189,2	0,026	94,6	0,5	0,6	0,016	56,8	0,3
7	LETTO 1	30,4	105,0	0,015	52,5	0,5	0,6	0,009	31,5	0,3

Tabella 9 portate d'aria

Potenza Termica Per Riscaldamento

Nelle seguenti tabelle sono riportate le potenze di picco disperse per trasmissione (P_t) e per ventilazione (P_V).

$$P_t = A \cdot U \cdot \Delta t + \psi \cdot l \cdot \Delta t \cdot c$$

$$P_V = 0,34 \cdot V \cdot \Delta t \cdot n$$

con $\Delta t = T_p - T_i$

dove:

T_p	Temperatura di progetto [°C]	V	Volume netto [m ³]	l	Lunghezza del ponte termico [m]
T_i	Temperatura interna [°C]	A	Superficie dell'elemento [m ²]	ψ	Trasmittanza termica lineica del ponte termico [W/mK]
n	Ricambi orari [h ⁻¹]	U	Trasmittanza termica dell'elemento [W/m ² K]	c	Coefficiente di attribuzione del ponte termico

Classe

E.1.1 - Abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo

Superficie esterna disperdente (S)	494,6	m²	Superficie riscaldata netta	164,4	m²
Volume lordo riscaldato (V)	624,7	m³	Volume riscaldato netto	567,2	m³
Rapporto di forma (S/V)	0,79	m²/m³			

Locale	T _i [°C]	P _t [W]	P _v [W]	P [W]
LETTO 2	20	1901	297	2199
BAGNO	20	1423	149	1572
LETTO 3	20	2330	276	2606
DISIMPEGNO INGRESSO	20	1233	172	1406
BAGNO 2	20	1115	87	1202
SOGGIORNO CUCINA	20	4851	681	5532
LETTO 1	20	2391	378	2769
TOTALE ZONA:		15247	2042	17289

Tabella 10 potenza termica invernale pre

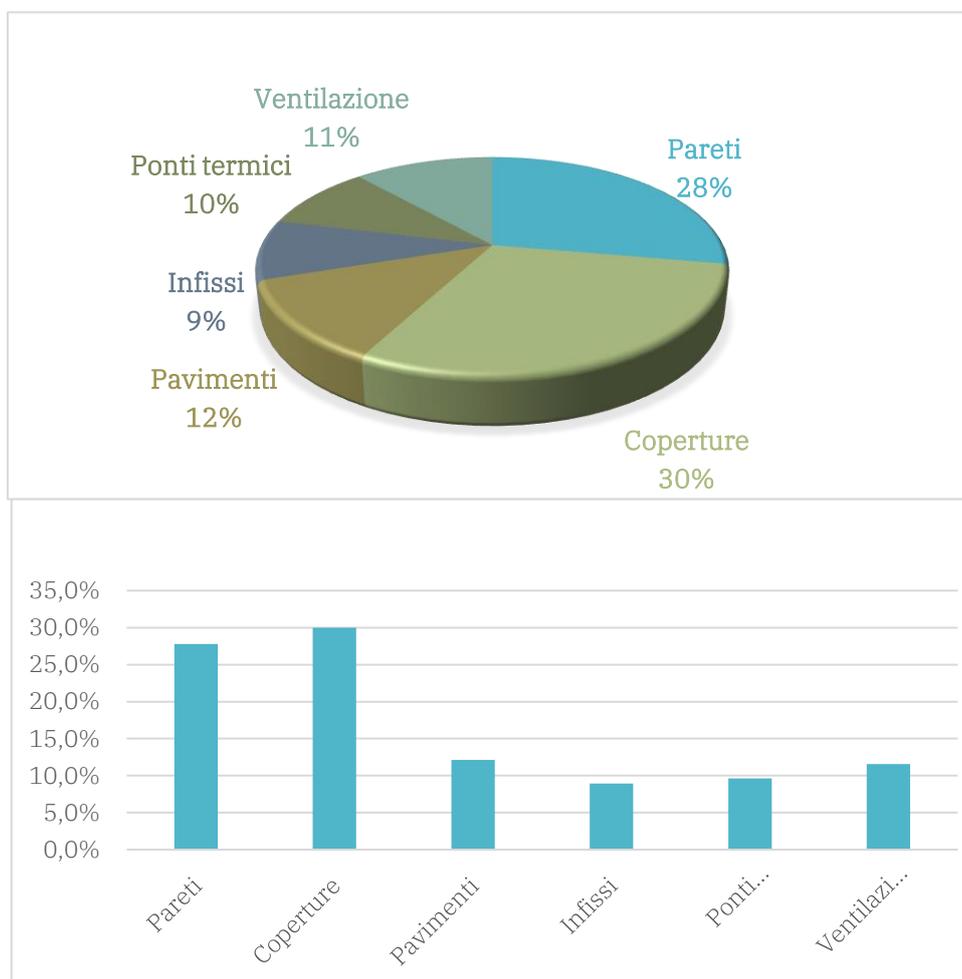


grafico 4 risultati di calcolo dispersioni e ventilazione allo stato di fatto

Il grafico 4 mostra la suddivisione del flusso disperso per trasmissione e ventilazione in funzione della tipologia di elemento disperdente. I componenti che hanno una maggiore superficie esposta all'esterno, come le pareti verticali e la copertura del lastrico solare pesano di più nella composizione del flusso termico disperso. Come è plausibile aspettarsi, nella progettazione di riqualificazione energetica si provvederà a ridurre il contributo di tali elementi attraverso il capotto termico.

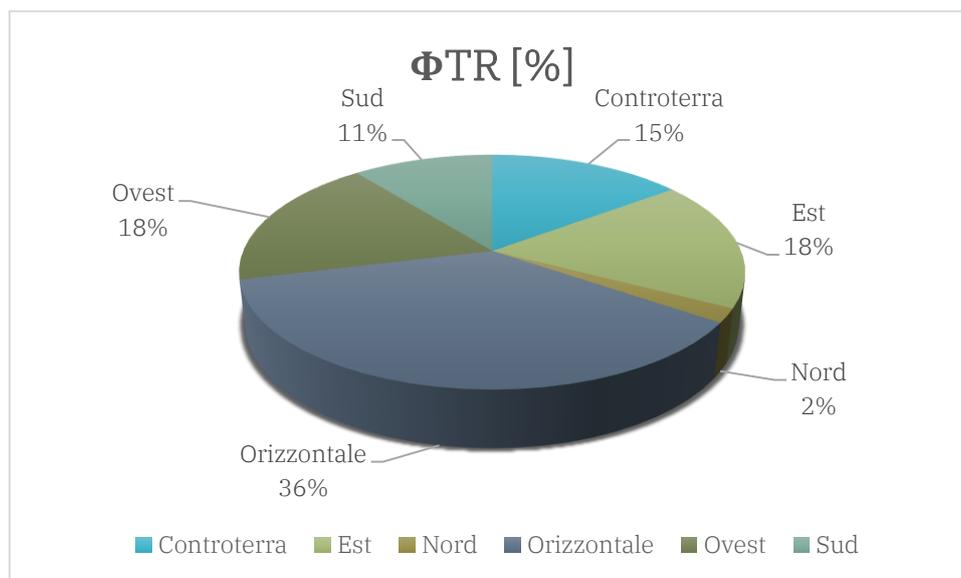


grafico 5 dispersioni termiche in funzione del confine

Il grafico 5 mostra le percentuali di flusso termico disperso in funzione del confine e dell'orientamento degli elementi disperdenti. Anche da questo diagramma si evince che i componenti orizzontali confinati con l'ambiente esterno (soffitto del lastrico solare) contribuiscono maggiormente alla determinazione del carico termico. Analizzando in funzione dell'orientamento, a Nord vi è un basso valore percentuale, questo è dovuto al fatto che lì l'immobile è adiacente ad un'altra abitazione e pertanto le superfici verticali sono state considerate adiabatiche.

Aggregando i risultati ottenuti la potenza termica trasmessa è di circa 15 kW, mentre quella per ventilazione è di circa 2 kW, per un totale di 17 kW.

Potenza termica per raffrescamento

Il calcolo del carico termico estivo è stato effettuato andando a considerare il giorno più caldo della stagione. A differenza del caso invernale, come accennato nel paragrafo descrittivo della

norma tecnica, non è possibile assumere le condizioni stazionarie, e pertanto è stato utile eseguire il calcolo dinamico attraverso il software.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i carichi della zona termica evidenziando l'ora di massimo carico.

Carichi termici [W]

<i>MASSIMO CARICO NEL MESE DI AGOSTO ALLE ORE 17:00</i>									
<i>Ora del giorno</i>	Qtr	QIrr	Qv,s	Qv,l	Qp,s	Qp,l	Qgl,s	Qgl,l	Qgl
08:00:00	-42	3431	-249	679	263	287	3403	966	4369
09:00:00	80	3484	-96	728	263	287	3732	1015	4747
10:00:00	279	3444	57	711	263	287	4044	998	5042
11:00:00	742	3258	268	708	263	287	4531	995	5526
12:00:00	1134	2945	459	728	263	287	4801	1015	5816
13:00:00	1811	2722	708	689	263	287	5504	976	6479
14:00:00	2415	2669	937	591	263	287	6285	878	7163
15:00:00	2830	2719	1033	483	263	287	6846	770	7616
16:00:00	3074	2642	937	591	263	287	6917	878	7795
17:00:00	3319	2630	880	500	263	287	7092	787	7879
18:00:00	3447	2565	823	332	263	287	7097	619	7716

Tabella 11 carico termico estivo

Legenda simboli:

Qtr	Carico dovuto alla trasmissione
QIrr	Carico dovuto all'irraggiamento
Qv,s	Carico sensibile dovuto alla ventilazione.
Qp,s	Carico sensibile dovuto alla presenza di persone
Qv,l	Carico latente dovuto alla ventilazione
Qp,l	Carico latente dovuto alla presenza di persone
Qgl,l	Carico latente globale
Qgl,s	Carico sensibile globale
Qgl	Carico globale



grafico 6 carico termico estivo

Dal grafico 6 è possibile evincere che il picco di potenza da sottrarre all'ambiente interno è di circa 8 kW e si raggiunge alle ore 17:00 nel mese di agosto (dato estrapolato dal Software). L'effetto di sfasamento e attenuazione è possibile visualizzarlo graficamente andando a confrontare i termini relativi all'irraggiamento solare e quelli relativi ai flussi trasmessi. Infatti, questi sono per la maggior parte generati dal rilascio in ambiente di quota parte di energia solare assorbita dalle strutture opache dell'edificio. È interessante notare come l'irraggiamento solare (Q_{irr}) a partire dalle ore diurne sia molto elevato e che raggiunge il picco intorno le ore 12, mentre l'effetto legato alla trasmissione termica (Q_{tr}) aumenta il suo peso con un certo ritardo temporale e continua a crescere fino al raggiungimento del picco che si ottiene dopo circa tre ore da quello legato all'irraggiamento solare andando a determinare la condizione di massima *cooling load*

Fabbisogno termico

Di seguito si ripotata un resoconto dei valori estratti dal software per il calcolo del fabbisogno energetico dell'unità immobiliare nelle condizioni esistenti. Come descritto nel quarto capitolo, al fine della determinazione dei consumi annuali di energia per la climatizzazione è necessario valutare per ogni mese, in base ai dati climatici medi, i vari contributi che compongono il bilancio energetico ovvero:

- Energia per il riscaldamento
- Energia per il raffrescamento
- Energia per l'AcS
- Apporti solari
- Extra flusso verso la volta celeste

- Apporti interni di energia

Calcolo degli scambi di energia termica per trasmissione

Per quanto riguarda il flusso trasmesso attraverso l'involucro edilizio si riportano in tabella i risultati dei termini che compongono il coefficiente globale di scambio termico:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$$

Dove:

H_D è il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno, espresso in W/K;

H_g è il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno, espresso in W/K;

H_U è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati, espresso in W/K;

H_A è il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone climatizzate a temperatura diversa, espresso in W/K; in genere si considera solo lo scambio di energia termica verso zone climatizzate di altri edifici e non verso le zone termiche dell'edificio stesso (calcolo con zone termiche non accoppiate);

Ambiente	HD [W/K]	HG [W/K]	HU [W/K]	HA [W/K]	HTR [W/K]
LETTO 2	76,67	5,32	0	0	81,99
BAGNO	50,66	2,45	0	0	53,1
LETTO 3	99,01	5,04	0	0	104,04
DISIMPEGNO INGRESSO	51,03	1,97	0	0	53
BAGNO 2	50,94	2,03	0	0	52,97
SOGGIORNO CUCINA	203,95	10,05	0	0	214,01
LETTO 1	78,25	6,37	11,92	0	96,54
	610,51	33,23	11,92	0	655,65

Tabella 12 coefficienti di scambio termico

Per risalire all'energia termica trasmessa per ogni zona termica dell'edificio e per ogni mese o frazione di mese, in riferimento equazione indicata dalla norma 11300-1, è necessario il calcolo degli apporti solari attraverso i componenti opachi e dell'extra flusso verso la volta celeste.

Apporti di energia interna

Per ogni zona termica dell'edificio e per ogni mese, gli apporti interni si calcolano secondo la seguente equazione:

$$Q_{int} = \left\{ \sum_k \phi_{int,mn,k} \right\} \cdot t + \left\{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \phi_{int,mn,u,l} \right\} \cdot t$$

In assenza d'informazioni che ne dimostrino la rilevanza, è lecito trascurare l'effetto degli apporti termici prodotti all'interno di ambienti non climatizzati (secondo termine dell'espressione).

Per superficie utile di pavimento maggiore di 120 m² il valore di Φ_{int} è pari a 450 W.

Zona termica	Destinazione d'uso	Superficie netta [m ²]	Φ_{int} [W]
Zona Termica	E.1.1	164,420	450,000

Tabella 13 apporti interni

Apporti interni latenti

Di seguito si riporta la portata massima di vapore acqueo dovuta alla presenza di persone e di apparecchiature per unità di superficie utile di pavimento $(G_{wv, Oc} + G_{wv, A})/A$; per le abitazioni di categoria E.1 (1) e E.1 (2), $(G_{wv, Oc} + G_{wv, A})$ è pari a 250 g/h.

sempre in riferimento alla prima parte una della norma UNI TS 11300, l'apporto latente dovuto al vapore d'acqua prodotto dagli occupanti, da processi e sorgenti varie (cotture, lavaggi, ecc.) nella zona termica si calcola, sia per il periodo di riscaldamento sia per quello di raffrescamento, come:

$$Q_{wv, int} = h_{wv} * (G_{wv, Oc} + G_{wv, A}) * t / 3600$$

dove:

$G_{wv, Oc}$ è la portata massica di vapore d'acqua dovuta alla presenza di persone, mediata sul tempo, espressa in g/h.

$G_{wv, A}$ è la portata massica di vapore d'acqua dovuta alla presenza di apparecchiature, mediata sul tempo, espressa in g/h.

h_{wv} è l'entalpia specifica del vapore di acqua, convenzionalmente posta pari a 2544 J/g;

t è la durata del mese considerato, espressa in Ms.

Zona termica	Destinazione d'uso	Superficie netta [m ²]	$(G_{wv, Oc} + G_{wv, A})/A$ [g/h]
Zona Termica	E.1.1	164,420	250,000

Tabella 14 apporti interni latenti

Apporti solari attraverso componenti trasparenti

Per ogni zona termica dell'edificio e per ogni mese o frazione di mese, gli apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti vetrati si calcolano secondo le seguenti equazioni:

In assenza d'informazioni che ne dimostrino la rilevanza, è lecito trascurare l'effetto degli apporti termici prodotti all'interno di ambienti non climatizzati (secondo termine dell'espressione).

Mese	$\Phi_{sol,w,mn}$ [MJ]	$\Phi_{sol,w,mn,u}$ [MJ]	$\Phi_{sol,w}$ [MJ]
Gennaio	22,582	0,000	22,582
Febbraio	24,147	0,000	24,147
Marzo	38,026	0,000	38,026
Aprile	52,072	0,000	52,072
Maggio	59,835	0,000	59,835
Giugno	65,924	0,000	65,924
Luglio	65,729	0,000	65,729
Agosto	62,957	0,000	62,957
Settembre	44,973	0,000	44,973
Ottobre	32,037	0,000	32,037
Novembre	19,355	0,000	19,355
Dicembre	14,034	0,000	14,034
Totale:	562,863	0,000	562,863

Tabella 15 apporti solari attraverso superfici trasparenti

Riepilogo del fabbisogno termico di riscaldamento e raffrescamento

In ottemperanza del prospetto 6 della norma 11300-1, la durata della stagione di riscaldamento per la zona climatica C va dal 15 novembre al 31 marzo.

Per quanto riguarda la stagione di raffrescamento, il primo e l'ultimo giorno del periodo sono calcolati, come i giorni in cui il rapporto adimensionale dispersioni – apporti, $1/\gamma C$, è uguale al suo valore limite.

La stagione di raffrescamento è estesa a tutti i giorni per i quali risulta

$$1/\gamma C, \text{day} < (1/\gamma C)_{\text{lim}} .$$

Le seguenti tabelle e grafici riepilogano i vari termini che entrano a far parte nell'equazione di bilancio per la determinazione dei fabbisogni di energia.

<i>Descrizione</i> <i>Stagione invernale</i>	<i>mese</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dic.</i>	<i>Gen.</i>	<i>Feb.</i>	<i>Mar.</i>
<i>Tempo di attivazione riscaldamento</i>	gg	16	31	31	28	31
<i>Tempo di attivazione riscaldamento</i>	ore	384	744	744	672	744
<i>Apporti interni</i>	kWh	173	335	335	302	335
<i>Apporti solari W</i>	kWh	82	121	194	188	327
TOTALE GUADAGNI	kWh	255	456	529	490	662
<i>Trasmissioni</i>	kWh	2128	5383	5423	5253	4246
<i>Extraflusso</i>	kWh	229	485	533	477	572
<i>Ventilazione</i>	kWh	191	464	481	465	418
TOTALE DISPERSIONI	kWh	2548	6332	6437	6195	5236
<i>Gamma H</i>	-	0	0	0	0	0
<i>Eta,h</i>	-	0,990	0,990	0,990	0,990	0,980
<i>Fabbisogno di energia termica utile effettiva</i>	kWh	2296	5881	5963	5710	4587
<i>Fabbisogno di energia termica utile effettiva</i>	kWh/giorno	143	190	207	204	148

Tabella 16 fabbisogno energetico di riscaldamento

Descrizione stagione estiva	U.M.	Giu.	Lug.	Ago.
Tempo Di Attivazione Raffrescamento	gg	20	31	22
Tempo Di Attivazione Raffrescamento	ore	480	744	528
Apporti Interni	kWh	216	335	238
Apporti Solari W	kWh	365	566	386
Totale Guadagni	kWh	581	901	624
Trasmissioni	kWh	-387	-1847	-1276
Extraflusso	kWh	497	831	769
Ventilazione	kWh	57	-13	-15
Totale Dispersioni	kWh	167	-1029	-522
Gamma C	-	3	-1	-1
Eta,C	-	100%	100%	100%
Fabbisogno Di Energia Termica Utile Effettiva	kWh	414	1930	1146
Fabbisogno Di Energia Termica Utile Effettiva	kWh/giorno	21	62	52

Tabella 17 fabbisogno energ. di raffrescamento

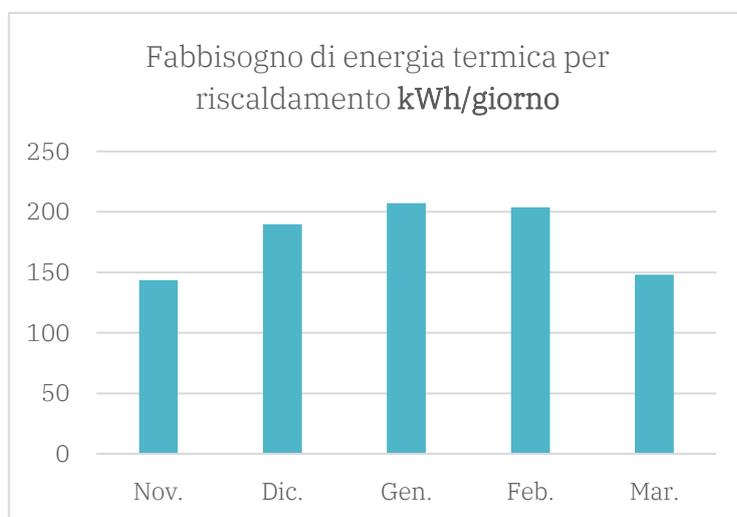


grafico 7 fabbisogno termico di riscaldamento

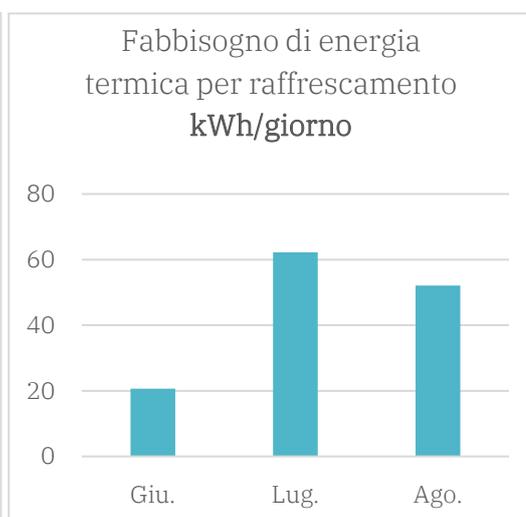


grafico 8 fabbisogno termico di raffrescamento

I due grafici (7-8) mostrano il fabbisogno energetico giornaliero medio sia per il periodo di riscaldamento che per quello di raffrescamento. In ambe due i casi l'andamento è di tipo parabolico con concavità verso il basso e il picco si raggiunge per i mesi centrali delle stagioni invernali ed estiva.

Impianto termico

Allo stato di fatto l'immobile è dotato di un impianto termico autonomo per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. Il generatore è una vecchia caldaia a metano di tipologia C installata all'esterno su di una parete perimetrale dell'abitazione. La rete di distribuzione primaria si limita al breve tratto di circa un metro che collega il generatore ai collettori installati poco al di sotto. Da questi si diramano le tubazioni che collegano i terminali di emissione a radiatori. La regolazione è effettuata attraverso un cronotermostato a banda proporzionale di 2°C.

Per quanto riguarda i vari sottosistemi dell'impianto, il calcolo analitico del rendimento e delle perdite è stato eseguito secondo le Appendice della UNI/TS 11300-2. Si riportano di seguito a scopo illustrativo le schermate attraverso cui il software di calcolo richiede la compilazione dei dati fig. 8,9:

The screenshot shows a software interface for entering boiler data. The fields are as follows:

Marca	FEERROLI		
Modello	DOMINA OASI C 30 E		
Descrizione	Caldaia Standard		
Note	Caldaia murale a gas elettronica per riscaldamento domestico e produzione di acqua calda 34kW, camera aperta tiraggio naturale, GN.		
Codice catasto impianti		Anno di installazione	1990
Combustibile	Gas naturale (Metano)		
<input type="radio"/> Rendimenti precalcolati	<input type="radio"/> Direttiva 92/42 CEE	<input checked="" type="radio"/> Metodo analitico	
Tipologia generatore	Generatore di Tipo C (tiraggio forzato)		
	<input type="checkbox"/> Con chiusura aria comburente	<input type="checkbox"/> Altezza camino maggiore di 10 m	
	<input type="checkbox"/> Circolazione permanente di acqua in caldaia	<input type="checkbox"/> Pompa circolazione primaria assente	
	<input type="checkbox"/> Multistadio modulante	<input type="checkbox"/> Generatore a condensazione	
Isolamento mantello	Generatore vecchio, isolamento scadente		
Ubicazione	All'esterno		
Massa specifica (Mgn) [kg/kW]	Generatore a parete, in alluminio - Massa specifica: 0-1		
Potenza nominale [kW]	23,6		
Potenza al focolare nominale [kW]	25,9		
Potenza al focolare minima [kW]	7,1		
Rendimento termico utile al 100% [%]	92,9		
Rendimento termico utile al 30% [%]	88,2		
Perdite camino bruciatore acceso (P'ch,on) [%]	10,0000	Perdite al mantello (P'gn,env) [%]	1,4053
Perdite camino bruciatore spento (P'ch,off) [%]	0,2000	Fattore di riduzione delle perdite (kgn,env)	1,0000
<input type="checkbox"/> Generatori a condensazione			
<input checked="" type="checkbox"/> Modulazione di aria e gas			

Figura 8 imputazione dati generatore UNI TS 11300-2

E' presente un impianto di riscaldamento

Emissione

Altezza media locali: Fino a 4 metri

Tipologia terminale: Radiatori su parete esterna isolata

Temperatura di mandata acqua (°C): 70,0

Rendimento emissione: 0,970

Dati per il calcolo delle temperature del fluido termovettore

Potenza termica progetto unità terminali (W): 20.180

Esponente n della curva caratteristica dei terminali: 1,3

Tipo regolazione: Regolazione On-Off

Temperatura di ritorno di progetto (°C): 55,0

Portata d'acqua [kg/h]: 946,7

Regolazione

Tipo regolazione: Solo di zona

Caratteristica: P banda prop. 2 °C

Rendimento regolazione: 0,9400

Distribuzione

Tipo fluido termovettore: Acqua

Distribuzione acqua

Metodologia di calcolo: Analitica

Tratti tubazioni

Nuovo Copia da raffrescamento Modifica Elimina Vista Stampa

Descrizione	Lung. Eq. (m)	Tipo	Ubicazione
▼			
▶ Descrizione tratto...			

1 / 1

Pompa di distribuzione

Potenza della pompa (W): 100 Sempre in funzione

Figura 9 imputazione dati impianto di distribuzione UNI TS 11300-2

5.4.2 Interventi migliorativi

La progettazione energetica è stata eseguita tendo in considerazione due elementi cardine:

- riduzione dei consumi energetici, ottenuta mediante la coibentazione delle strutture opache e la sostituzione degli infissi, ma anche attraverso la restaurazione del sistema di emissione e distribuzione.
- Installazione di impianti tecnologici e di generazione che utilizzano fonti rinnovabili quali pompe di calore, pannelli fotovoltaici e collettori solari per la produzione di ACS.

Coibentazione e sostituzione infissi

Le superfici opache da coibentare sono state selezionate in seguito ai sopralluoghi, agli accordi con il cliente e soprattutto nel rispetto dei massimali previsti dal SuperBonus110. In prima analisi, si è scelto di installare un pavimento flottante isolato sul solaio del lastrico solare, questa proposta è stata effettuata basandosi sui risultati ottenuti dall'analisi preliminare in cui si evidenziava che la copertura era l'elemento disperdente che contribuiva maggiormente al carico termico invernale.

Successivamente, è stato proposto l'intervento di isolamento termico anche per le pareti esposte ad Est, la scelta di queste, a differenza della prima, è stata effettuata per una ragione di maggiore facilità realizzativa dell'opera e di economicità del lavoro: considerando la pianta dell'edificio è possibile verificare che la parte dell'immobile esposta ad est è del tutto lineare a differenza di quella esposta ad ovest che segue presenta rientri e sporgenze. Dal punto di vista energetico, questa scelta non è preferibile in quanto, come è ben noto, la presenza di variazioni di forma genera in modo inevitabile delle corsie preferenziali per la trasmissione del calore e per tanto sarebbe opportuno andare ad eliminare tali ponti termici.

Al fine del miglioramento delle caratteristiche termiche dell'edificio, si è scelto di sostituire gli infissi presenti con nuovi più performanti compresi di schermature solari per la mitigazione del carico estivo dovuto alla radiazione solare.

Requisiti tecnici dei nuovi componenti edilizi

Gli spessori dei pannelli isolanti e le caratteristiche degli infissi sono stati valutati nel rispetto dell'allegato E del D.Lgs. del 06/08/2020, in cui sono elencati i requisiti degli interventi dell'isolamento termico, i valori di trasmittanza massimi consentiti per l'accesso alle detrazioni sono riportati nella seguente tabella:

Tipologia di intervento	Requisiti tecnici di soglia per la tipologia di intervento (Zona climatica C)	
Strutture opache orizzontali	$U \leq 0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$	UNI EN ISO 6946*
Strutture opache verticali	$U \leq 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$	UNI EN ISO 6946*
Sostituzione finestre e infissi	$U \leq 1.75 \text{ W/m}^2\text{K}$	UNI EN ISO 10077-1

*Ai sensi della UNI EN ISO 6946, il calcolo della trasmittanza delle strutture opache non include il contributo dei ponti termici, tuttavia, ai fini della relazione Ex-legge 10 è necessario che i ponti termici interessati dagli interventi rispettino la verifica per la formazione di muffa. Inoltre, trattandosi di ristrutturazione edilizia di secondo livello è obbligatorio verificare che il Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione - H'_{T} sia inferiore al valore limite. Questo coefficiente è calcolato con la UNITS 11300-1 (W/K) e, a differenza del coefficiente di trasmissione globale - $H_{tr,adj}$, è comprensivo di tutti i ponti termici. Esso è determinato per l'intero involucro in caso di edificio di nuova costruzione, mentre, nel caso di ristrutturazione, per l'intera porzione dell'involucro oggetto dell'intervento (parete verticale, copertura, solaio, serramenti, ecc.), comprensiva di tutti i componenti su cui si è intervenuti. $H'_{T, limite}$ è il limite di legge del coefficiente medio globale di scambio termico così come riportato alla Tabella 10, dell'Appendice A, del Decreto Ministeriale 26 giugno 2015) e ss.mm.ii., in funzione del rapporto S/V dell'edificio [W/m²K].

Inoltre, il DM 26/06/2015, All.1 Art. 2.3 comma 2 prescrive quanto segue:

*“Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788), alla **verifica dell'assenza**:*

- *di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;*
- ***di condensazioni interstiziali.***

Le condizioni interne di utilizzazione sono quelle previste nell'appendice alla norma sopra citata, secondo il metodo delle classi di concentrazione. Le medesime verifiche possono essere effettuate con riferimento a condizioni diverse, qualora esista un sistema di controllo dell'umidità interna e se ne tenga conto nella determinazione dei fabbisogni di energia primaria per riscaldamento e raffrescamento.”

Nello specifico “assenza di condensa” non significa che l'elemento edilizio deve essere asciutto in ogni momento, ma si applica il concetto di “quantità massima ammissibile” come definito dall'appendice nazionale della norma UNI EN ISO 13788, ovvero:

- la condensa non deve mai superare i 500g/m²
- tutta la condensa deve rivaporare nell'arco dell'anno.

Per la verifica della formazione della muffa è necessario conoscere la temperatura superficiale.

Quando i valori di umidità relativa superficiale (φ_{sict}) sono maggiori di 0,8, si ha il rischio di formazione di muffe. Tuttavia, come detto in precedenza la crescita di muffe è condizionata da altri tre parametri:

- la “qualità termica” dell’elemento dell’involucro edilizio, è una misura che raggruppa diversi aspetti e parametri come resistenza termica, ponti termici, geometria e resistenza termica superficiale interna. La qualità termica può essere valutata attraverso il **fattore di temperatura sulla superficie interna**, f_{Rsi} . Esso si ottiene dalla differenza tra la temperatura della superficie interna e dell’aria esterna, diviso per la differenza tra la temperatura dell’aria interna e dell’aria esterna calcolata con una resistenza superficiale interna R_{si} :

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$$

- produzione interna di vapore acqueo (carico/apporto latente)
- temperatura dell’aria interna e sistema di riscaldamento θ_i

Per determinare il rischio di formazione di muffe e condense, occorre eseguire i seguenti passi per ciascun mese dell’anno:

- definire la temperatura e umidità dell’aria esterna θ_e, p_e
- definire la temperatura e umidità interna θ_i, p_i
- assumere il valore massimo accettabile di umidità relativa in corrispondenza della superficie ($\varphi_{si} = 0,8$) e calcolare il valore della pressione di saturazione, P_{sat} :

$$P_{sat}(\theta_{si}) = p_i / 0,8 \text{ (legge di Dalton)}$$

- determinare la **temperatura superficiale minima** accettabile, $\theta_{si,min}$.

Si definisce **mese critico** quello con il più alto valore richiesto di $f_{Rsi,min}$,

$$f_{Rsi,min} = (\theta_{si,min} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e).$$

Il **fattore di temperatura** del mese più critico è indicato con $f_{Rsi,max}$. Il componente edilizio deve essere progettato in modo tale da avere un fattore f_{Rsi} sempre maggiore di $f_{Rsi,max}$; ovvero $f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$.

Si riporta di seguito a titolo illustrativo qualche immagine estratta dal software di calcolo, riguardante l’esito della verifica termoigrometrica delle pareti verticali dopo la coibentazione.

Diagrammi delle pressioni e delle temperature

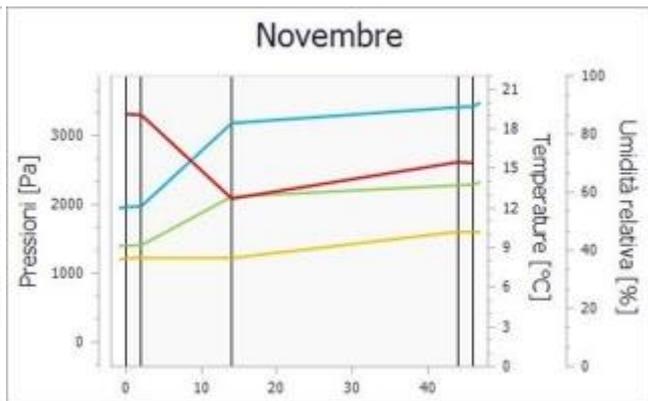
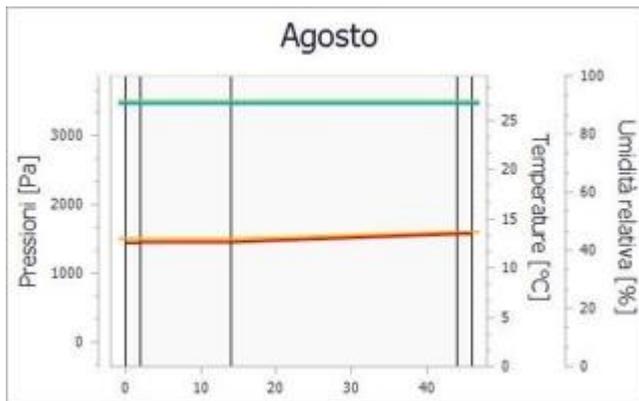
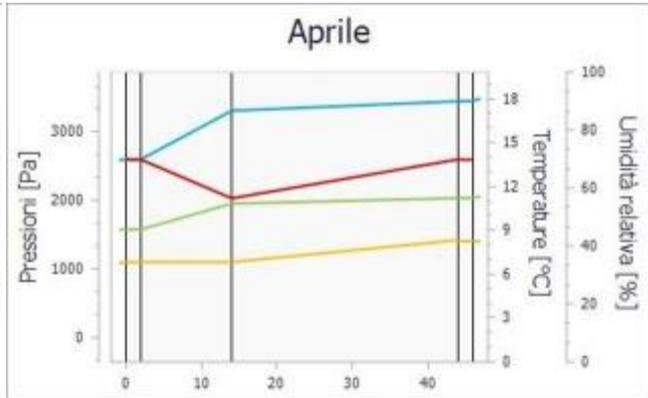
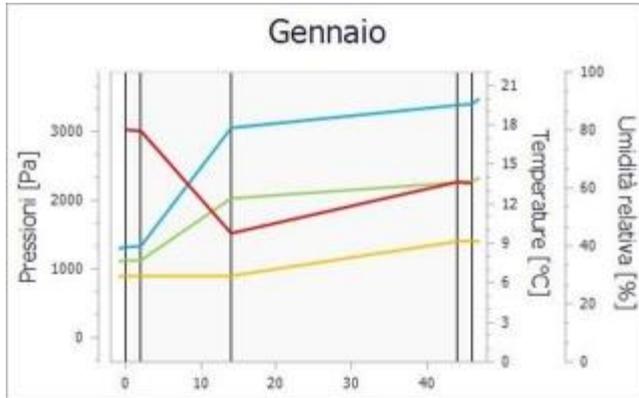
Legenda

/ Temperatura

/ Pressione di vapore

/ Pressione di saturazione

/ Umidità



Condizioni a contorno

Mese	θ_e [°C]	φ_e [%]	$P_{vap,e}$ [Pa]	$P_{sat,e}$ [Pa]	θ_j [°C]	φ_j [%]	$P_{vap,i}$ [Pa]	$P_{sat,i}$ [Pa]
Gennaio	6,60	80,68	786	974	20,00	58,27	1362	2337
Febbraio	5,80	81,71	753	922	20,00	58,08	1357	2337
Marzo	8,10	76,09	821	1080	20,00	57,51	1344	2337
Aprile	11,80	70,01	969	1383	18,00	65,91	1360	2063
Maggio	17,00	62,99	1220	1937	18,00	69,15	1426	2063
Giugno	21,40	60,37	1538	2547	21,40	64,30	1638	2547
Luglio	24,30	58,82	1786	3036	24,30	62,11	1886	3036
Agosto	24,80	42,80	1339	3128	24,80	46,00	1439	3128
Settembre	19,40	69,95	1575	2252	19,40	75,34	1696	2252
Ottobre	14,40	80,30	1317	1640	18,00	78,31	1615	2063
Novembre	10,00	87,31	1072	1227	20,00	65,32	1527	2337
Dicembre	7,00	85,23	853	1001	20,00	60,55	1415	2337

Verifica Muffa

		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
$P_{sat}(\theta_{si})$	Pa	1702	1697	1680	1700	1783	2047	2357	1799	2120	2019	1908	1769
$\theta_{si,min}$	°C	14,98	14,93	14,77	14,96	15,70	17,88	20,14	15,84	18,44	17,66	16,77	15,58
$f_{R,si,min}$	[-]	0,625	0,643	0,561	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,677	0,660

Legenda

$P_{sat}(\theta_{si})$ Pressione di saturazione minima accettabile sulla superficie

$\theta_{si,min}$ Temperatura superficiale minima accettabile

$f_{R,si,min}$ Fattore di temperatura minimo accettabile sulla superficie

Mese critico:

Novembre

Fattore di temperatura del mese critico:

$f_{R,si,max}$

0,677

Fattore di temperatura del componente:

$f_{R,si}$

0,973

Verifica muffa:

$(f_{R,si,max} \leq f_{R,si})$

Verificato

Verifica Condensa Superficiale

		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
$P_{sat}(\theta_{si})$	Pa	1362	1357	1344	1360	1426	1638	1886	1439	1696	1615	1527	1415
$\theta_{si,min}$	°C	11,56	11,51	11,36	11,54	12,26	14,38	16,58	12,40	14,93	14,17	13,30	12,14
$f_{R,si,min}$	[-]	0,370	0,402	0,274	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,330	0,396

Legenda

$P_{sat}(\theta_{si})$ Pressione di saturazione minima accettabile sulla superficie

$\theta_{si,min}$ Temperatura superficiale minima accettabile

$f_{R,si,min}$ Fattore di temperatura minimo accettabile sulla superficie

Mese critico:

Febbraio

Fattore di temperatura del mese critico:

$f_{R,si,max}$

0,402

Fattore di temperatura del componente:

$f_{R,si}$

0,973

Verifica condensa superficiale:

$(f_{R,si,max} \leq f_{R,si})$

Verificato

Modellazione FEM dei ponti termici

Come ben noto i ponti termici sono generalmente localizzati in corrispondenza delle giunzioni tra gli elementi edilizi o dove la composizione della struttura edilizia si modifica. Essi producono due effetti rispetto a quelle prive di ponti:

- una modifica della portata termica;
- una modifica della temperatura interna superficiale.

Per la modellazione dei ponti termici oggetto di intervento è stata effettuata una simulazione numerica agli elementi finiti; in particolare vengono riportati i flussi termici di ciascun elemento e totale, le temperature interne e superficiali, il coefficiente di accoppiamento termico (L2D) e la trasmittanza termica lineica (Ψ) del ponte termico.

Inoltre, è stato valutato il rischio di formazione di muffa superficiale, evidenziando la minima temperatura superficiale sulla faccia interna, la temperatura critica, il fattore di temperatura critico ($fr_{Si, max}$) e il mese critico.

Il metodo di calcolo agli elementi finiti è effettuato secondo la *UNI EN ISO 10211*, la norma definisce le caratteristiche di un modello geometrico tridimensionale e bidimensionale di un ponte termico per il calcolo numerico di:

- flussi termici, per valutare le dispersioni termiche totali di un edificio o di una sua parte;
- temperature minime superficiali per valutare il rischio di formazione di muffe (valutato secondo la *UNI EN ISO 13788*).

La norma si basa sui seguenti presupposti:

- tutte le proprietà fisiche sono indipendenti dalla temperatura;
- non ci sono sorgenti di calore all'interno dell'elemento edilizio.

Di seguito a scopo illustrativo si riporta la modellazione riguardante il ponte termico dovuto alla presenza di un angolo sporgente formato dalle pareti rispettivamente esposte ad Est e Sud.

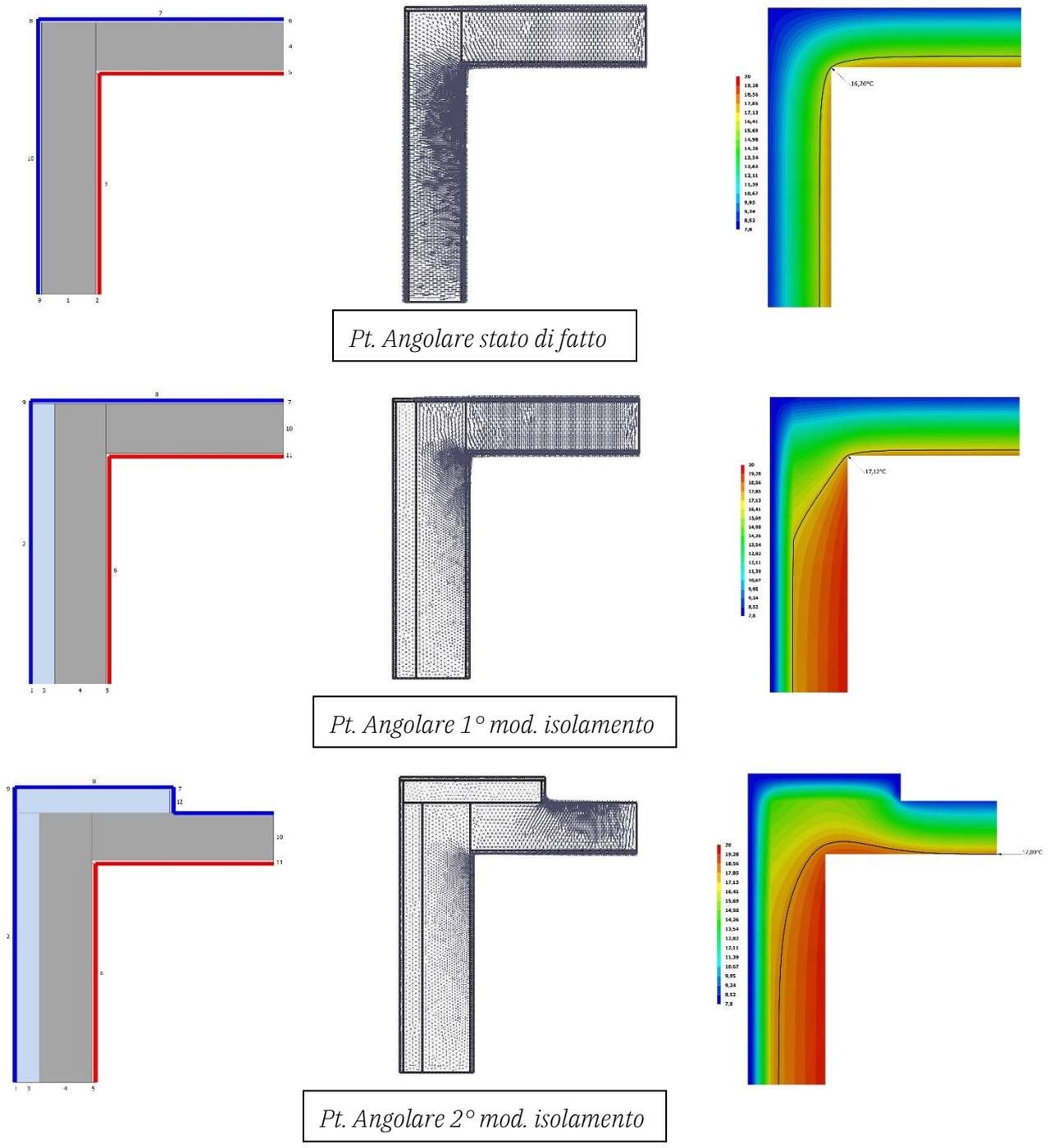


Figura 10 ponti termici modellazione FEM UNI TS 11300-2

Di seguito sono riportati i principali risultati di calcolo relativi al ponte termico:

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Mod 1	Mod 2
Flusso termico totale	ϕ	W/m	40,3	24,3	18,8
Trasmittanza termica lineica interna	Ψ_{int}	W/mK	0,199	0,282	-0,402
Trasmittanza termica lineica esterna	Ψ_{est}	W/mK	-0,834	-0,412	-1,201
Coefficiente di accoppiamento	L_{2D}	W/mK	3,31	1,99	1,55
Temperatura minima	T_{min}	°C	16,2	17,1	17,8
Temperatura minima formazione muffa	T	°C	17,6		
Formazione muffa			si	si	no

Tabella 18 risultati eliminazione ponte termico

Come è possibile evincere dai risultati ottenuti entrambe le modalità di posa dell'isolante danno luogo ad una riduzione del flusso termico ma, solamente la seconda riesce ad evitare la formazione della muffa e per tanto, è la soluzione che dovrà essere realizzata per adempiere alla norma. Anche in questo caso emerge un aspetto non trascurabile, se da una parte l'opera è facilmente realizzabile, dall'altra si va incontro ad una questione di estetica architettonica perché, viene meno la continuità della facciata esposta a Sud; ciò è causato dalla formazione di un gradino dovuto alla presenza del pannello di EPS. Come progettisti è necessario curare anche gli aspetti che esulano dall'ambito prettamente ingegneristico; pertanto, come soluzione è stata proposta la realizzazione di un rivestimento in pietra naturale. La soluzione, congeniale al committente e affine alla regola dell'arte, è stata tuttavia finanziata economicamente dallo stesso in quanto i costi per la realizzazione dell'opera superava il tetto massimo previsto dall'allegato I del Decreto Asseverazioni del 6 agosto 2020.

I seguenti grafici mostrano la ripartizione del flusso trasmesso attraverso l'involucro edilizio a seconda dei componenti dipendenti, evidenziando le differenze tra post-intervento e stato di fatto.

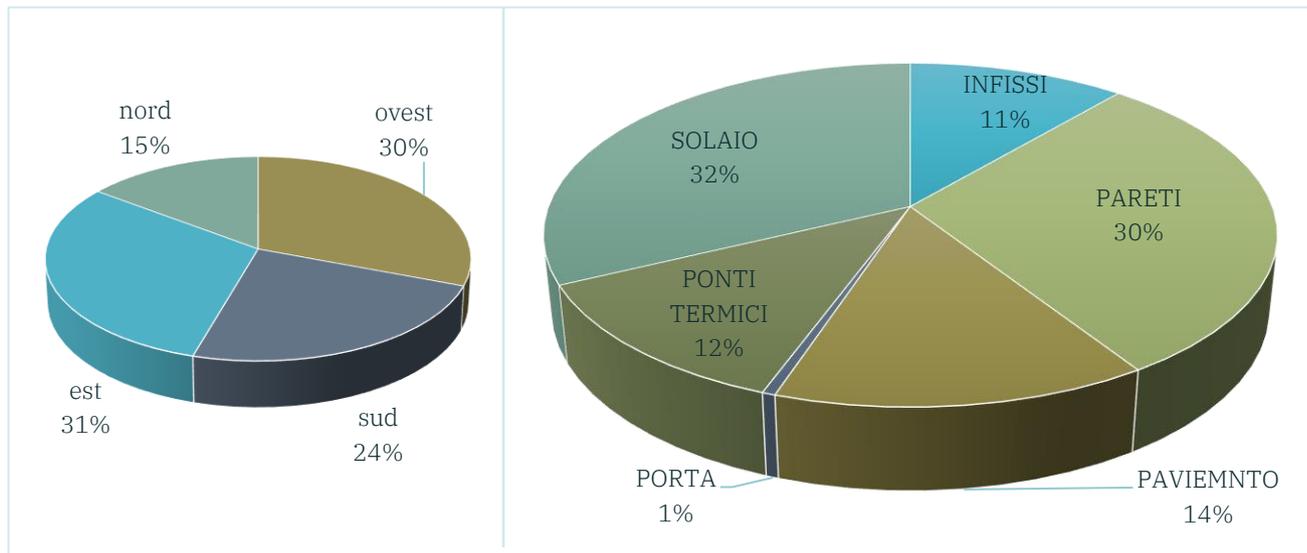


grafico 9 ripartizione flusso trasmesso stato di fatto

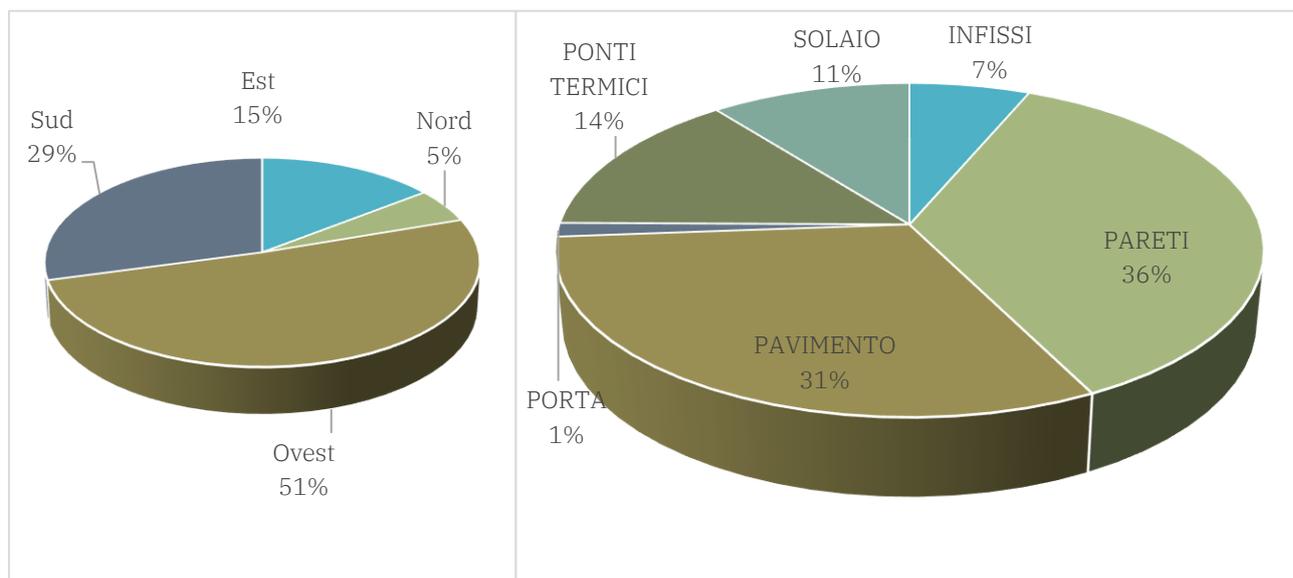


grafico 10 ripartizione flusso trasmesso post-intervento

Dai diagrammi riportanti la suddivisione percentuale del flusso trasmesso a seconda dell'elemento disperdente, è possibile evincere che il contributo relativo alla copertura diminuisce più del 20%, così come per infissi che passano dal 11% al 7%. L'effetto della coibentazione della parete esposta ad est è visualizzabile nei grafici che riportano le frazioni percentuali in funzione dell'orientamento delle strutture verticali opache. È opportuno

sottolineare che i ponti termici aumentano il loro contributo solo in termini relativi. Come verrà descritto nell'apposito paragrafo l'eliminazione dei ponti termici è una delle sfide più ardue da realizzare quando si attua una riqualificazione energetica su di un edificio esistente, si pensi ad esempio al caso in cui si voglia coibentare una parte verticale ed eliminare il ponte termico che si genera a contatto con il terreno: l'unica soluzione possibile sarebbe quella di prolungare l'isolamento anche in direzione ortogonale alla parte andando a realizzare una sorta di "L". Questo porterebbe ad un'opera edilizia d'entità non indifferente, inquanto sarebbe necessario demolire il pavimento esterno prossimo al perimetro dell'abitazione come conseguenza di questo si avrebbe l'aumento dei costi e la complicazione del cantiere per un benefit energetico che potrebbe essere prossimo ad un punto percentuale. Molte volte nel mondo del lavoro si deve scegliere la strada più pratica andando a valutare benefici e svantaggi per ogni aspetto tecnico ed economico, inoltre, bisogna sempre tener conto delle esigenze dei clienti ed alla fattibilità delle opere.

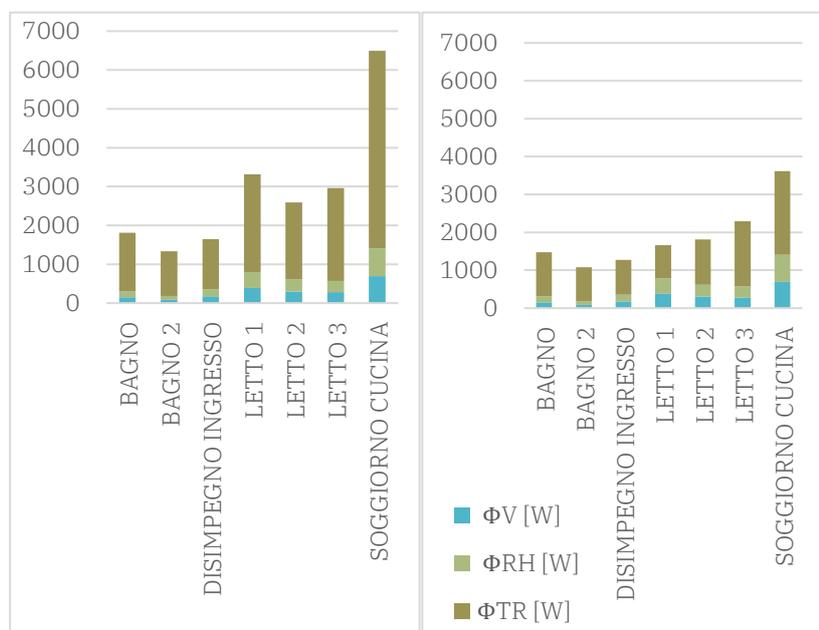


grafico 11 confronto potenze termiche pre e post isolamento termico e sostituzione infissi

Il grafico 11 confronta il carico termico invernale (somma del flusso per trasmissione e ventilazione) per ogni singolo ambiente, anche qui è possibile evincere gli effetti delle scelte effettuate durante la progettazione: infatti, per tutti i locali si ha una riduzione del flusso trasmesso per mezzo della coibentazione del lastrico solare, ma per gli ambienti esposti ad est tale diminuzione è più significativa.

Nuova potenza termica per riscaldamento

Come mostrato nei due grafici sottostanti, la nuova potenza termica per il riscaldamento al lordo dell'incremento dovuto all'attenuazione notturna è pari a circa 13.00 kW con una riduzione di 4.00 kW rispetto lo stato di fatto dell'immobile.

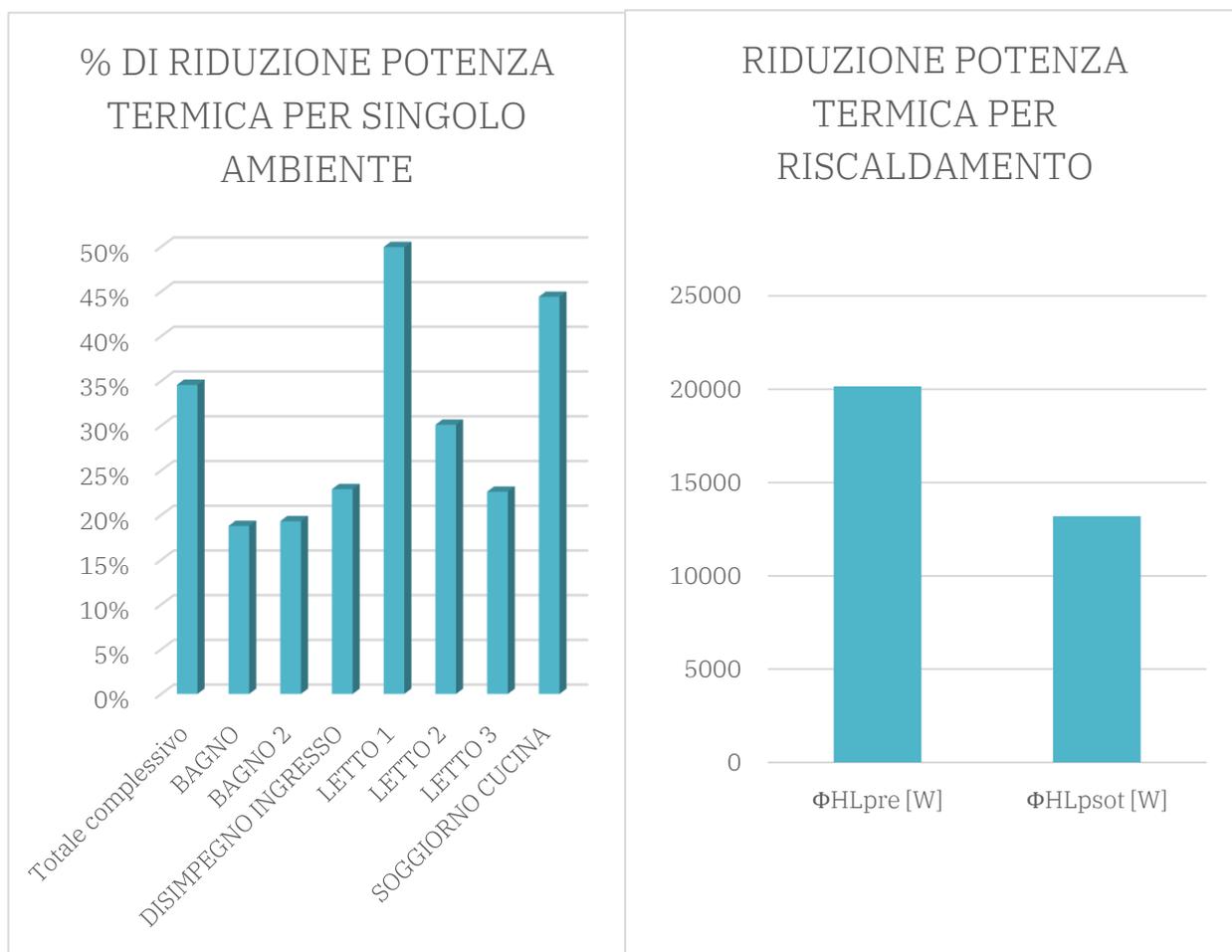


grafico 12 nuova potenza per riscaldamento

Nuova potenza termica per raffrescamento

Di seguito si riporta l'andamento del nuovo carico termico estivo valutato attraverso il software di calcolo: come è possibile evincere dalla figura 11 la nuova potenza termica per la climatizzazione estiva è pari a 5.8 kW.

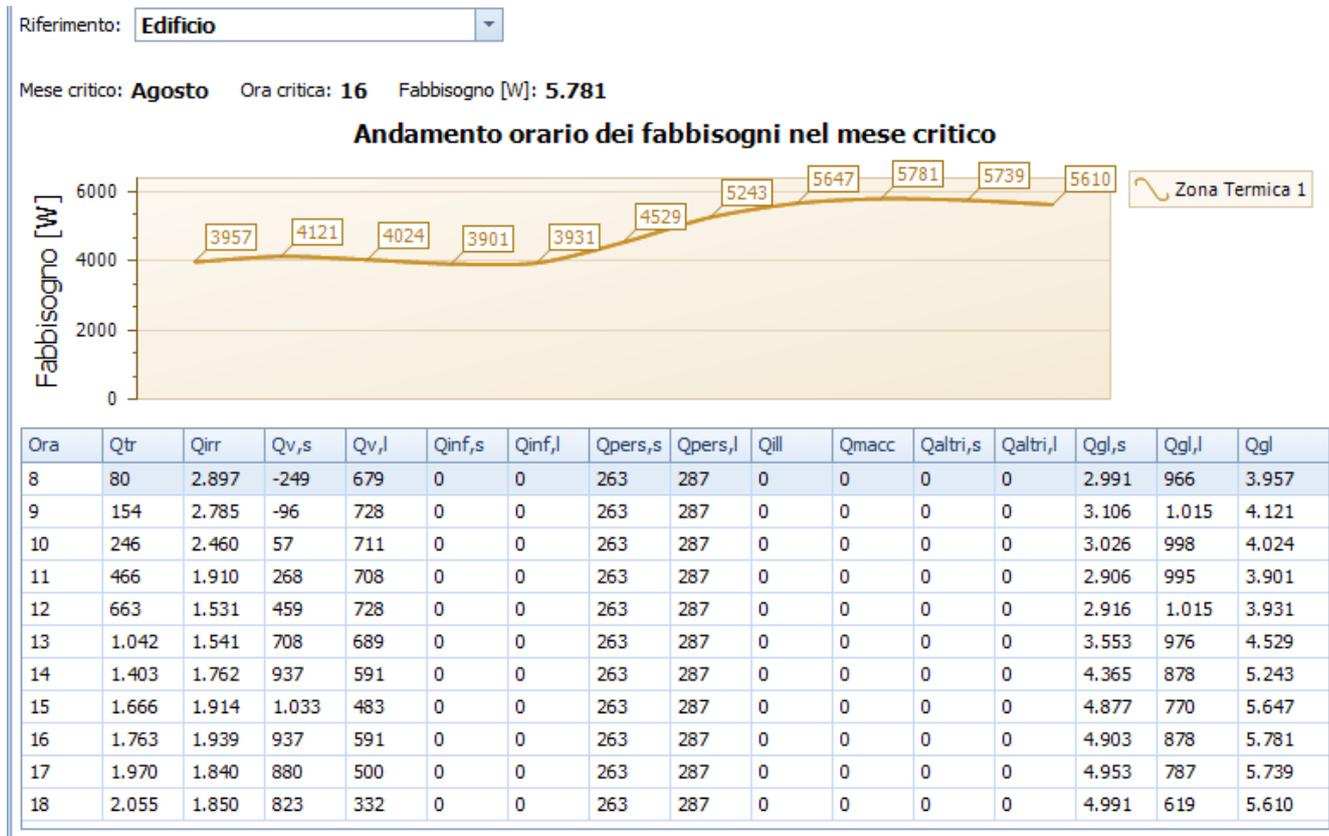


Figura 11 nuovo carico termico estivo di progetto

Impianto fotovoltaico

Nel caso in esame, si è scelto d'installare un impianto fotovoltaico con sistema d'accumulo a batterie di litio. Per la progettazione e il dimensionamento dello stesso bisogna tenere in considerazione due aspetti fondamentali:

- la disponibilità di superficie;
- il profilo d'utilizzo giornaliero dei carichi elettrici.

Tuttavia, allo stato di fatto, l'abitazione è occupata in modo saltuario e non essendoci ancora gli impianti termici alimentati a fonte elettrica sarebbe sbagliato basarsi sui consumi attuali di energia elettrica leggibili attraverso le bollette. Pertanto, si è scelto di dimensionare l'impianto in base alla disponibilità di spazio utilizzabile e una stima dei consumi futuri.

Il layout dell'impianto deve essere sviluppato tenendo conto delle ombreggiature dovute alla presenza di ostacoli quali alberi, pareti, edifici limitrofi, altri moduli fotovoltaici. Nello specifico dell'immobile in esame, la posizione del lastrico solare era piuttosto favorevole nel senso che, tolta la zona perimetrale compresa tra il parapetto e 1.5 volte l'altezza di questo (zona d'ombra del parapetto), non vi sono altri oggetti limitrofi che possano ombreggiare i moduli solari, inibendo in questo modo la produzione di energia elettrica. I pannelli fotovoltaici saranno installati su strutture zavorrate inclinate di 5° con azimut prossimo a zero secondo il layout mostrato in figura 12.

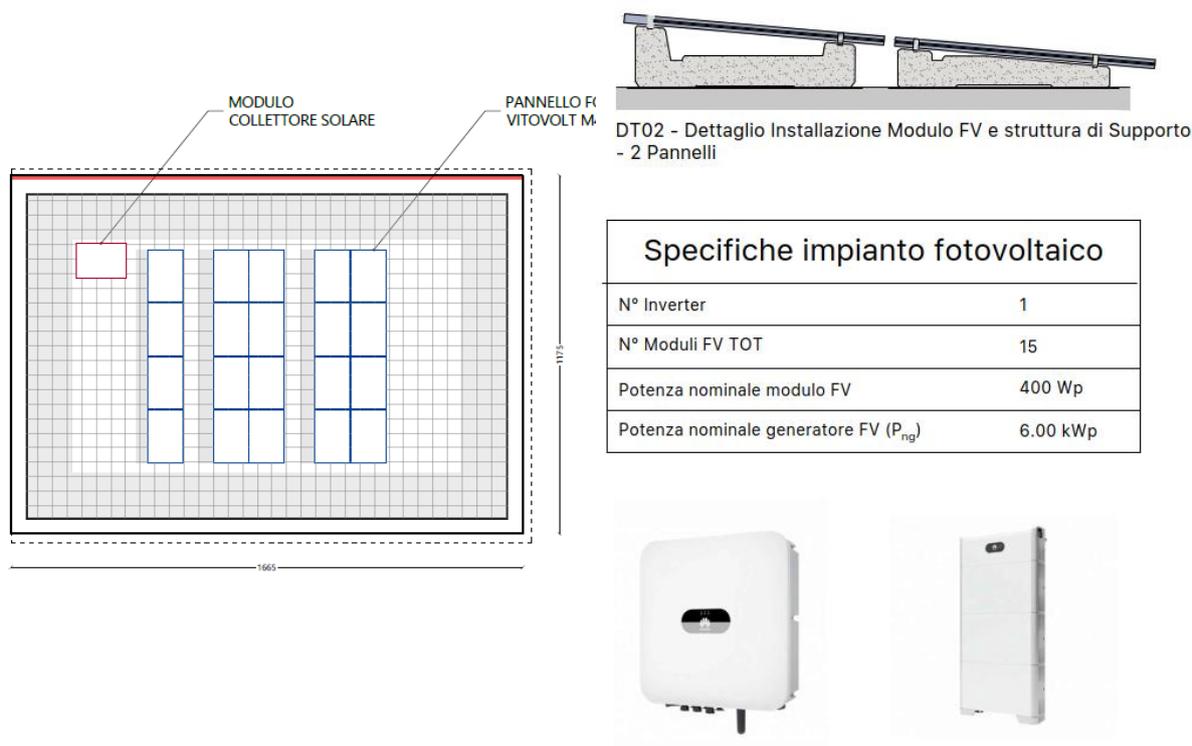


Figura 12 impianto fotovoltaico

Dimensionamento elettrico:

Gli impianti fotovoltaici residenziali sono costituiti dalle seguenti sezioni:

Campo fotovoltaico: insieme di moduli connessi in serie o in parallelo a costituire una stringa

Quadro di campo o di continua: ivi installati scaricatori di sovratensione, fusibili e quanto necessario per l'installazione a regola d'arte

Inverter ed eventuale sistema d'accumulo : l'inverter è il dispositivo che permette la conversione da corrente continua ad alternata. Per quanto riguarda il sistema di accumulo, ne esistono di diverse tipologie che possono essere connesse al lato a corrente continua, quindi a monte

dell'inverter o al lato in alternata ovvero a valle dello stesso. Ad oggi la tecnologia più diffusa è costituita da batterie al litio alimentante da corrente continua.

Sistema di Protezione d'Interfaccia (SPI) e Dispositivo d'Interfaccia (DDI): La connessione alla rete di distribuzione presuppone il rispetto dei requisiti della normativa vigente, la quale prevede che i gruppi di generazione devono essere separati dalla rete quando i valori di tensione e frequenza sono esterni agli intervalli prescritti. Lo sgancio del generatore viene attuato tramite il SPI; tale sistema controlla in modo continuo che la potenza elettrica immessa rientri nel range di frequenza e tensione consentito dalla norma. In caso contrario è trasmesso un segnale al DDI che apre il circuito. Per gli impianti residenziali di piccola taglia questo sistema è spesso integrato nell'inverter.

Contatore di produzione: fornito dal distributore di energia, permette la contabilizzazione dell'energia prodotta dall'impianto.

Quadro di alternata: quadro in cui sono installati gli interruttori di protezione per la rete in alternata.

Dispositivo di protezione e-distribuzione: il distributore obbliga l'utente ad installare entro 3 metri dal contatore di scambio un interruttore magnetotermico differenziale con un potere d'interruzione almeno pari a 6 kVA (per impianti fino a 6.00 kW).

Per la corretta composizione delle stringhe è necessario verificare due parametri che vengono indicati nelle schede tecniche degli inverter ovvero la massima corrente di cortocircuito e la tensione d'avvio alla stringa. Collegando in serie due moduli fotovoltaici si ha che la loro tensione a vuoto si somma, mentre la corrente di cortocircuito rimane inalterata, situazione opposta accade nel collegamento in parallelo.

La corrente di corto circuito dei moduli FV è dello stesso ordine di grandezza di quella del normale funzionamento, circa 15% in più; perciò, i fusibili disposti su ogni stringa del generatore FV servono per proteggere una stringa da correnti di corto circuito provenienti dalle altre stringhe (se le stringhe in parallelo sono N, la corrente di corto circuito totale vale (N-1) volte quella di una stringa) queste sono dovute, ad esempio, ad un guasto verso terra di entrambi i poli del generatore.(fig.13)

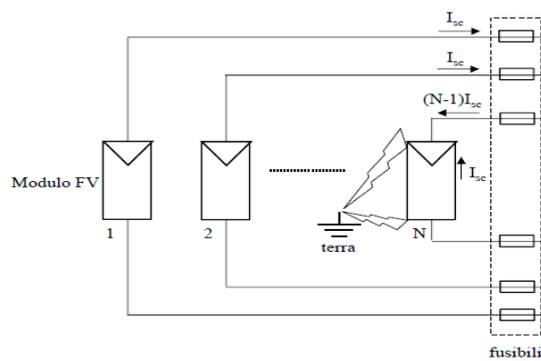


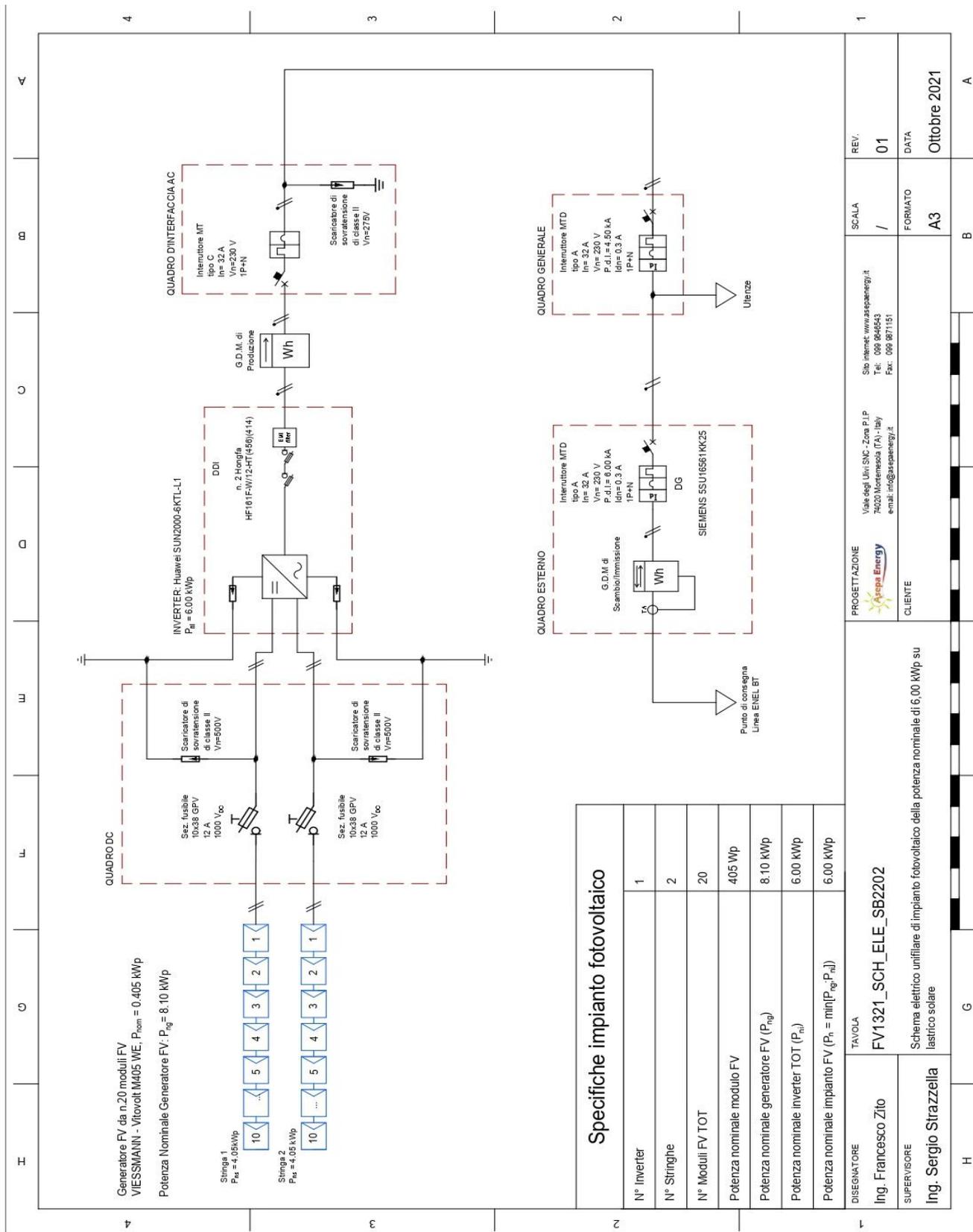
Figura 13 Guasto a terra di entrambi i poli di un modulo FV.

Il dimensionamento degli interruttori magnetotermici e magnetotermici differenziali viene effettuato considerando una corrente d' interruzione leggermente superiore a quella nominale dell'impianto.

Nello specifico la tensione è pari a 230 V mentre la potenza nominale (min tra potenza di generazione 8.10 kW e quella nominale dell'inverter di 6.00 kW) è pari a 6.00 kW, pertanto la corrente nominale dell' impianto è pari a:

$$I = \frac{P_{nom}}{V} = \frac{6000 [W]}{230 [V]} = 26 [A]$$

Lo schema elettrico unifilare è un documento obbligatorio da produrre e allegare alla domanda di connessione dell'impianto fotovoltaico. Su di esso sono riportati le connessioni elettriche e tutti dispositivi con le specifiche tecniche. Di seguito si riporta l'immagine dello schema elettrico sviluppato per il caso studio.



Specifiche impianto fotovoltaico

N° Inverter	1
N° Stringhe	2
N° Moduli FV TOT	20
Potenza nominale modulo FV	405 Wp
Potenza nominale generatore FV (P_{ng})	8,10 kWp
Potenza nominale inverter TOT (P_{ni})	6,00 kWp
Potenza nominale impianto FV ($P_n = \min\{P_{ng}; P_{ni}\}$)	6,00 kWp

PROGETTAZIONE	Viale degli Ulivi SNC - Zona P.P. 74020 Minervino (TA) - Italy email: info@aspenergy.it	SCALA	/	REV.	01
CLIENTE		FORMATO	A3	DATA	Ottobre 2021
DISEGNATORE	Ing. Francesco Zito	TAVOLA	FV1321_SCH_ELE_SB2202		
SUPERVISORE	Ing. Sergio Strazzella	Schema elettrico unifilare di impianto fotovoltaico della potenza nominale di 6,00 kWp su lastrico solare			
H	G	B	A		

Figura 14 schema elettrico unifilare

Selezionati i prodotti commerciali che andranno a comporre l'impianto, mediante il software Smart Design, è stato possibile verificare la compatibilità tra il layout scelto, i moduli fotovoltaici, l'inverter e il sistema d'accumulo, in base a quanto sopra descritto.

Si riportano i principali risultati ottenuti:

Input MPPT A : CAMPO FOTOVOLTAICO				
10 × Viessmann Vitovolt 300 M405 WE, Azimuth : 0°, Tilt : 5°				
Input MPPT B : CAMPO FOTOVOLTAICO				
10 × Viessmann Vitovolt 300 M405 WE, Azimuth : 0°, Tilt : 5°				
	MPPT A		MPPT B	
Numero di stringhe FV:	1		1	
Moduli FV per stringa:	10		10	
Picco di potenza della stringa FV (ingresso):	4,05kWp		4,05kWp	
Tensione normale della stringa FV:	384,0V		384,0V	
Tensione di avvio della stringa FV:	✓ 100,0V		✓ 100,0V	
Tensione di avvio dell'inverter:	100,0V		100,0V	
Tensione massima della stringa FV:	✓ 504,8V		✓ 504,8V	
Tensione CC massima:	600,0V		600,0V	
Corrente massima della stringa FV:	✓ 10,55A		✓ 10,55A	
Corrente CC massima dell'inverter:	12,5A		12,5A	

	Numero di inverter FV	Potenza nominale CA inverter FV	Numero totale di moduli FV	Picco di potenza
SB2202 - FASULO	1	6,0 kW	20	8,1 kWp
Unità di produzione di energia	1	6,0 kW	20	8,1 kWp
INVERTER	1	6,0 kW	20	8,1 kWp

	✓ Cavo di alimentazione CC	✓ Cavo di alimentazione CA	Totale
Perdita di potenza in condizioni nominali	19,48W	15,78W	35,26W
Perdita di potenza relativa alla tensione nominale	0,24 %	0,26 %	0,5 %
Sezione del cavo/Lunghezza	4mm ² /20,0 m	5.5mm ² /10,0 m	

Tabella 19 verifica componenti elettrici d'impianto FV

Sistema di accumulo:

L'accumulo di energia garantisce una maggiore continuità di servizio per i periodi di irraggiamento basso o nullo. L'immagazzinamento di energia è effettuato prevalentemente con accumulatori elettrochimici. In questa tipologia di accumulatore l'energia elettrica è immagazzinata per mezzo di reazioni chimiche reversibili.

Di seguito si riportano le caratteristiche principali

Tensione nominale U_{nom} : tensione alla quale l'energia immagazzinata è normalmente erogata.

Tensione massima di carica U_{max} e minima di scarica U_{min} oltre le quali si riduce la reversibilità delle reazioni.

Capacità: quantità di carica espressa in amperora [Ah] che può erogare alla temperatura nominale di 20 °C, in un tempo di scarica normalmente di 10 h. La capacità diminuisce al diminuire del tempo di scarica e della temperatura. Il tempo di scarica pone un limite alla potenza erogabile.

Massima profondità di scarica DOD ("Depth Of Discharge"): capacità prelevabile, espressa in percentuali, senza compromettere la vita dell'accumulatore.

Durata espressa in numero di cicli di carica e scarica riferiti a una data DOD, spesso del 50%.

Tasso di aut scarica: rapporto in per cento tra la carica perduta a vuoto e la capacità nominale.

Densità di energia (elettrica) accumulabile in [Wh/l] o [Wh/kg] che è circa 60 volte inferiore alle analoghe densità di energia (termica) immagazzinata nei combustibili liquidi. (Spertino, 2019)

Impianto termico

Per quanto riguarda il sistema di generazione, è stato optato per la sostituzione della caldaia a combustibile fossile preesistente con una pompa di calore aria-acqua per la climatizzazione estiva, invernale e la produzione di ACS. Per tanto, la pompa di calore è stata dimensionata per coprire il carico termico di progetto senza alcuna integrazione termica.

Come ben noto, le performance delle pompe di calore ad aria dipendono in modo marcato dalla temperatura esterna. L'efficienza di una pompa di calore è data dal rapporto tra la potenza termica prodotta e l'energia elettrica assorbita. In riferimento al funzionamento invernale, l'efficienza è misurata dal coefficiente di prestazione **COP** - *Coefficient Of Performance*, che è il rapporto tra l'energia termica generata dalla PdC e l'energia elettrica fornita in ingresso.

Nel funzionamento estivo, l'efficienza della pompa è misurata dall'indice **EER** - *Energy Efficiency Ratio*. La sua formulazione è analoga al COP con l'unica differenza che l'EER, riferendosi ai cicli frigoriferi, viene calcolato considerando come effetto utile il calore asportato dalla sorgente fredda.

In riferimento alla nuova etichettatura energetica sono stati introdotti altri due indici di efficienza: il Coefficiente di Prestazione stagionale (SCOP) e l'Indice di Efficienza Energetica Stagionale (SEER). A differenza dei primi due indici, questi indicano l'efficienza di riscaldamento e raffrescamento riferiti alle condizioni climatiche medie del luogo in cui l'apparecchio è installato.

Per effettuare il calcolo della prestazione energetica, ma anche per ottenere la detrazione fiscale prevista dal Superbonus 110, occorre riferirsi ai valori di COP ed EER e non ai corrispondenti indici stagionali.

Il COP di una pompa di calore aria-acqua è molto variabile in base alla differenza tra temperatura interna ed esterna. Generalmente il COP è elevato quando l'ambiente esterno è a temperature miti 10-15°C, tuttavia in queste condizioni la quantità di calore richiesta è inferiore, se viceversa la temperatura scende di diversi gradi sotto lo zero, il COP diventa molto più basso, e in molti di questi casi la pompa di calore da sola non riesce a soddisfare il fabbisogno termico e per tanto si rende necessaria l'integrazione di un generatore ausiliario o di resistenze elettriche ad effetto Joule.

Per la produzione di acqua calda sanitaria e potenza termica di riscaldamento di ambienti si deve tener conto dei seguenti parametri:

- le temperature **$\theta_{W,off}$** e **$\theta_{H,off}$** alla quale la pompa di calore viene disattivata dal dispositivo di controllo di temperatura ("termostato off").
- La temperatura limite di funzionamento (sorgente fredda) definita TOL è un dato impostato dal fabbricante e non modificabile quale il limite di temperatura per il blocco della pompa di calore per temperatura minima della sorgente fredda.
- La temperatura **$\theta_{H,cut-off,min}$** è un parametro progettuale in base al quale, ai fini di ottimizzazione energetica, si può decidere di disattivare la pompa di calore al di sotto di una determinata temperatura di sorgente fredda.

Il fattore di carico della pompa di calore **CR** - *capacity ratio* è il rapporto tra la potenza termica richiesta alla pompa di calore nelle specifiche condizioni di esercizio e la potenza termica che la macchina produce alla stessa temperatura di esercizio.

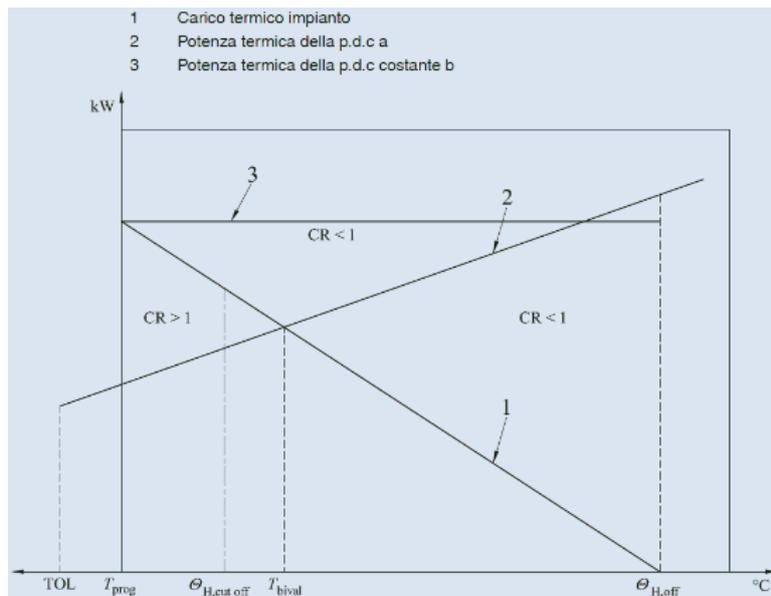


Figura 15 CR pompa di calore

Nella figura 15 è riportata una generica firma energetica rappresentata dalla linea (1). La linea (2) si riferisce alla pompa di calore aria/acqua e rappresenta la potenza massima della pompa di calore in base alla temperatura dell'aria esterna. Il punto di funzionamento tra il carico impianto e la potenza termica massima della pompa di calore rappresenta la temperatura definita bivalente ossia la temperatura alla quale il fattore di carico della pompa di calore (CR) è pari a 1.

Di seguito sono esposti le diverse modalità di funzionamento in base al fattore di carico:

1. La temperatura di sorgente fredda (amb. esterno) è $\leq \theta_{H,cut-off,min}$ o della temperatura **TOL**. In questo caso la pompa di calore viene disattivata, tutta l'energia termica utile deve essere fornita dal sottosistema di integrazione.
2. La temperatura di sorgente fredda è maggiore della temperatura $\theta_{H,cut-off,min}$, in questo caso il fattore di carico CR è maggiore di 1, ovvero: la macchina funziona a pieno carico ma non è in grado di fornire la potenza richiesta e deve intervenire l'eventuale sistema di integrazione.
3. Il fattore di carico CR è pari ad 1. In questo caso la pompa di calore funziona a pieno carico e il COP o il GUE è quello corrispondente a pieno carico (punto bivalente).
4. Il fattore di carico CR è minore di 1, in questo caso la pompa di calore è in grado di fornire tutta l'energia termica richiesta, ma il COP o il GUE deve essere corretto in quanto la macchina lavora in modo parzializzato.

Il grafico 13 è stato ricavato attraverso tool offerto dal fornitore delle macchine termiche acquistate per la commessa. Il carico termico dell'immobile è indicato in funzione della temperatura dell'aria esterna con la linea rossa, la linea gialla si riferisce alla massima potenza termica generabile dalla pompa di calore sempre in base alla temperatura dell'aria esterna.

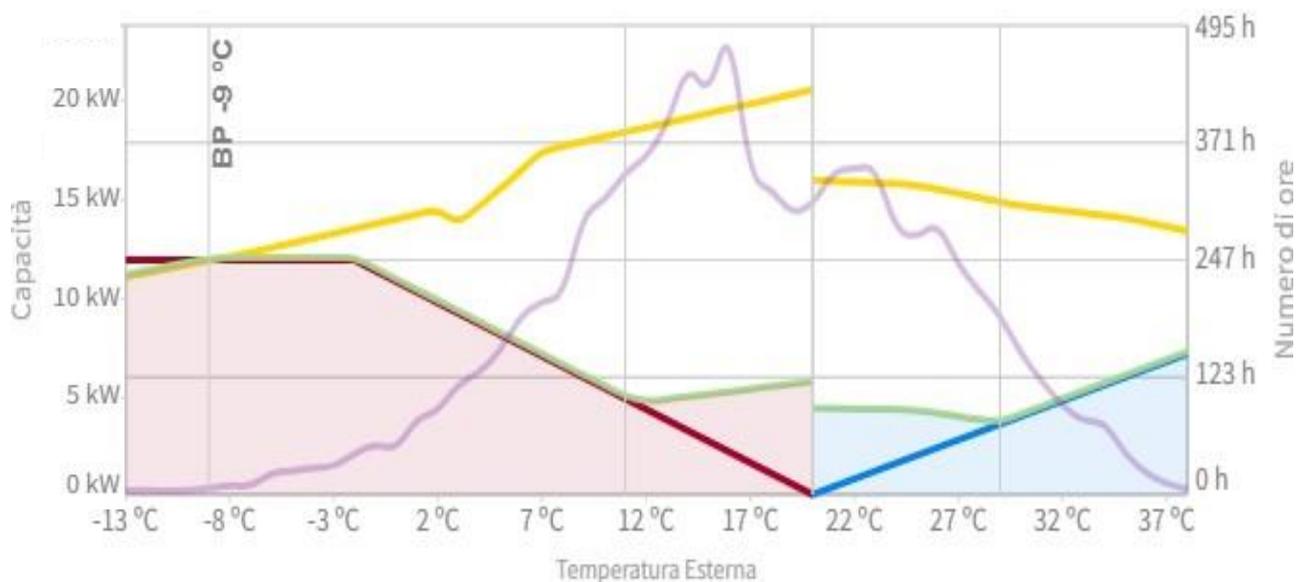


grafico 13 dimensionamento pompa di calore

- Riscaldamento:**
- Capacità richiesta
 - Funzionamento in riscaldamento
- Raffreddamento:**
- Capacità richiesta
 - Funzionamento in raffreddamento
- Sistema:**
- Capacità massima dell'unità
 - Regolazione di capacità dell'unità
- Clima:**
- Ore

Capacità massima nel punto di progettazione (Riscaldamento): **13.03 kW**

Capacità massima nel punto di progettazione (Raffreddamento): **8.00 kW**

Quello che si evince dal grafico è che la pompa di calore scelta è stata dimensionata in modo opportuno in quanto riesce a soddisfare in modo ottimale il carico termico richiesto, anche nelle condizioni di progetto (-1.6°C) inoltre, essendo la macchina dotata di inverter, la potenza generata è adatta al carico per un ampio range di temperatura. Si tenga in considerazione che si avrebbe CR>1 solamente nel caso in cui la temperatura esterna raggiungesse valori minori di -8°C. Questo vuol dire che la potenza termica necessaria al mantenimento del set-point interno è superiore di quella erogabile dalla macchina. Per quanto questo aspetto possa sembrare critico, è sufficiente considerare che il numero di ore in cui la temperatura nel sito d'installazione è minore di -8°C è prossimo allo zero.

5.4.3 Autonomia

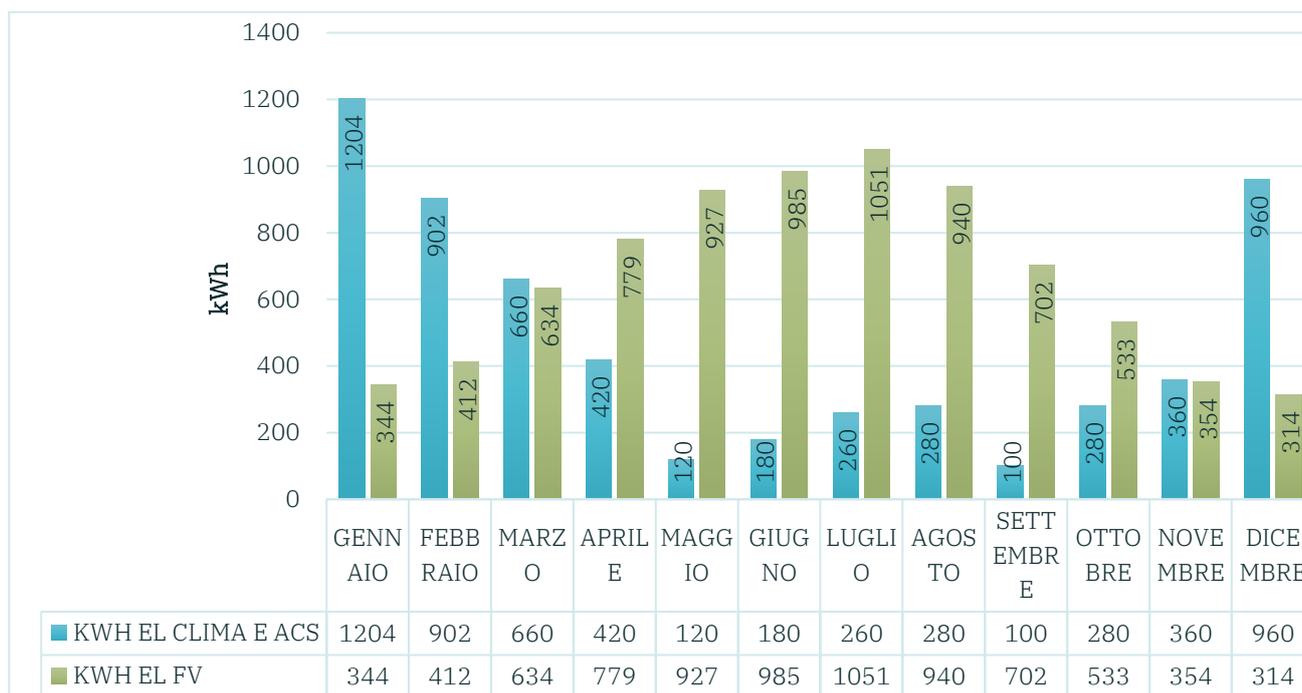


grafico 14 stime di autonomia elettrica

Il grafico 14 mette a confronto il consumo elettrico della pompa di calore con le stime mensili di produzione fotovoltaica. L'andamento del consumo elettrico rispecchia quello del fabbisogno energetico, infatti, è possibile riconoscere due picchi, uno per il mese di gennaio ed uno per il mese di agosto. Nei mesi estivi e primaverili, come in quelli autunnali, l'impianto fotovoltaico riesce a garantire il 100% del carico richiesto, sotto l'ipotesi che l'accumulo elettrico abbia capacità infinita e che il carico elettrico sia limitato al solo consumo della pompa di calore. Questo è dovuto principalmente alla maggiore disponibilità di radiazione solare ed al fatto che, generalmente, il carico termico estivo è minore di quello invernale. Inoltre, una maggiore domanda di freddo è correlata in molti casi ad alti valori di irraggiamento solare quindi ad elevati valori di producibilità da parte dell'impianto fotovoltaico, per questo motivo si può dire che la domanda e la produzione di energia elettrica nel periodo di raffrescamento sono allineate. La situazione inversa si verifica nella stagione di riscaldamento: nei mesi molto freddi la

disponibilità di radiazione solare è minore, il carico termico è elevato, il COP della pompa di calore è più basso e pertanto, il consumo elettrico risulta essere significativo, tutte queste condizioni fanno sì che il tasso di autonomia scenda anche sotto valori del 25%. In termini pratici, questo vuol dire che l'impianto fotovoltaico riuscirà a produrre solo il 25% dell'energia elettrica necessaria alla pompa di calore per riscaldare l'immobile.

5.4.4 Verifica requisiti SuperBonus e schema di centrale

Ai fini dell'accesso alla detrazione fiscale per l'acquisto del nuovo generatore a pompa di calore è necessario rispettare e certificare le seguenti caratteristiche: (allegato F decreto 6/8/2020)

Tipo di pompa di calore	Ambiente esterno [°C]	Ambiente interno [°C]	COP	EER
Aria/acqua Pn<35kW	Bulbo secco 7 Bulbo umido 6	Bulbo secco 20 Bulbo umido 15	4.1	3.8

Tabella 20 requisiti tecnici PDC

Nello specifico è stata selezionata una pompa di calore aria acqua della potenza nominale di 16.00 kW, dotata di certificazione attestante la compatibilità con quanto indicato in precedenza.

Di seguito si riporta lo schema di centrale:

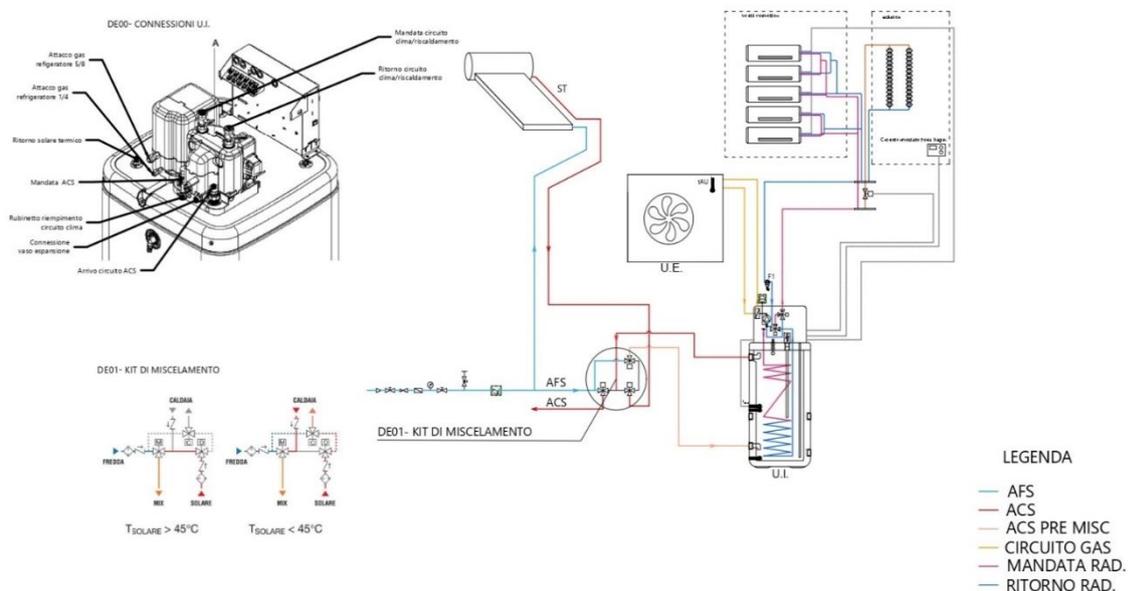


Figura 16 schema di centrale

L'unità esterna della pompa di calore è connessa a quella interna mediante tubi di rame adatti al trasporto del gas refrigerante. L'unità interna è composta principalmente da due componenti: un accumulatore per la produzione di ACS e uno scambiatore di calore gas/acqua che funge da condensatore ed evaporatore a seconda del funzionamento della macchina e la direzione del ciclo frigorifero. Attraverso la logica di controllo sono comandate alcune valvole motorizzate che permettono la produzione di ACS, potenza termica per il riscaldamento e raffrescamento. Nell'accumulatore termico è prevista una serpentina per il collegamento del solare termico. Nel caso in esame si utilizzerà un collettore solare a circolazione naturale.

5.4.5 Sistema di emissione

Il sistema di emissione esistente è composto da radiatori in ghisa, pertanto, non compatibili con le temperature di funzionamento delle pompe di calore. Nel caso studio analizzato è stato per tanto prevista la sua sostituzione. Durante le fasi di progettazione sono state valutate due possibili soluzioni:

- Ventilconvettori idronici;
- Pavimento radiante.

Nei due paragrafi successivi verrà dettagliata la procedura utilizzata per il dimensionamento degli stessi, in questo paragrafo invece, si vuole fornire un breve confronto tra i due diversi sistemi di emissione al fine di comprendere le scelte che hanno portato alla realizzazione dell'uno piuttosto che dell'altro.

I principali vantaggi che gli impianti a pannelli radiante offrono riguardano:

1. maggiore benessere termico:

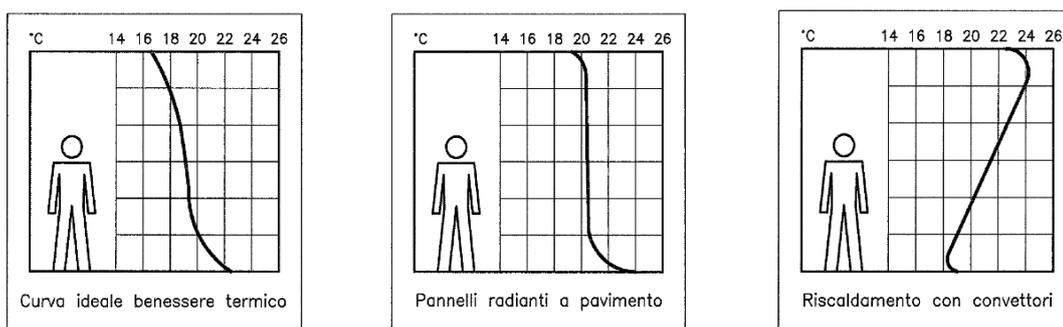


Figura 17 distribuzione temperatura dell'aria a seconda della tipologia di terminali di emissione

Come è possibile evincere dalla figura 10, la curva ideale delle condizioni di benessere termico prevede temperature leggermente più calde a pavimento e

più fredde a soffitto, inquanto avere una temperatura più elevata in prossimità del capo genera una sensazione di oppressione.

Gli impianti a pavimento radiante si prestano a offrire tali condizioni per i seguenti motivi:

- la bassa posizione (cioè a pavimento) dell'elemento scaldante;
- scambio termico prevalente per irraggiamento, questo fa sì che non ci siano correnti convettive d'aria tra soffitto e pavimento (fig. 11):

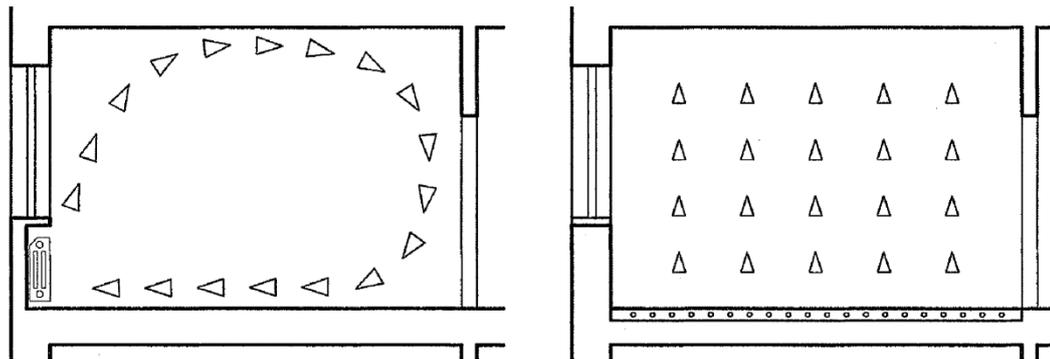


Figura 18 confronto tra impianti di emissione

2. migliore qualità dell'aria e condizioni igieniche:

- Non si ha la combustione del pulviscolo atmosferico (tipica negli impianti a radiatori ad alta temperatura), che può causare irritazione alla gola;
- Grazie all'assenza dei moti convettivi tra soffitto e pavimento si ha minore circolazione di polvere, che (specie nei locali poco puliti) può essere causa di allergie e difficoltà respiratorie.
- Un impianto a pannelli radianti evita la formazione di zone umide a pavimento, preservandolo dalla proliferazione di acari e batteri e muffe;

3. possibilità di utilizzare calore a bassa temperatura:

Grazie all'elevata superficie disperdente, gli impianti a pannelli funzionano in modo ottimale a basse temperature del fluido termovettore. Questa caratteristica è un vantaggio per i nuovi generatori di calore come pompe di calore e caldaie a condensazione: la prestazione

di tali sorgenti di calore, infatti, aumenta al diminuire della temperatura di mandata richiesta.

4. risparmio energetico:

- La minor temperatura operante consente (a pari temperatura ambiente di set-point) risparmi medi variabili dal 5 al 10%⁷;
- Migliore uniformità di distribuzione del calore per mezzo della riduzione di stratificazione dell'aria;
- Si hanno minori dispersioni lungo le tubazioni per l'uso di basse temperature;
- L'assenza delle dispersioni attraverso le pareti esterne generate dal surriscaldamento delle stessa da parte dei radiatori ivi installati;
- Mancanza di moti convettivi d'aria calda sulle superfici vetrate.

I principali svantaggi degli impianti a pannelli radiante riguardano essenzialmente aspetti connessi:

1. Al limite sulla temperatura superficiale del pavimento:

Per evitare condizioni di malessere fisiologico, la temperatura superficiale del pavimento deve essere inferiore ai valori compresi tra i 29°C e 35°C a seconda della tipologia di zona del pavimento (area di permanenza, bagni, aree perimetrali). Il rispetto di tali vincoli comporta un limite alla potenza termica cedibile da un pannello:

In particolare, assumendo temperatura ambientale di 20°C, è possibile valutare la massima potenza specifica cedibile da un pannello attraverso la seguente formula sperimentale:

$$q_{max} = 8.92 * (T_{sup,max} - T_{amb})^{1.1} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

- $q_{max} = 8,92 \cdot (29 - 20)^{1,1} = 100 \text{ W/m}^2$ in ambienti dove ci si sofferma in permanenza.
- $q_{max} = 8,92 \cdot (33 - 20)^{1,1} = 150 \text{ W/m}^2$ per locali quali bagno, docce e piscine.
- $q_{max} = 8,92 \cdot (35 - 20)^{1,1} = 175 \text{ W/m}^2$ in zone perimetrali.

⁷ Mario Doninelli - Gli impianti a pannelli radianti – quaderni Caleffi

2. All'elevata inerzia termica dell'impianto:

I pavimenti radianti sono impianti termici ad elevata inerzia termica, in quanto la trasmissione del calore avviene attraverso il riscaldamento delle strutture opache, in queste è annegata la serpentina dentro cui scorre il fluido termovettore. Per gli ambienti riscaldati con continuità non si hanno criticità in quanto le piccole oscillazioni, dovute alla variazione della temperatura esterna, riescono ad essere opportunamente gestite. Per contro, l'elevata inerzia termica comporta un notevole ritardo tra i tempi di avviamento e quelli di effettivo utilizzo, per questo motivo, in ambienti riscaldati solo per brevi periodi o che abbiano un profilo di occupazione molto variabile nel tempo conviene ricorrere ad altri sistemi di riscaldamento.

3. Presenza di difficoltà d'ordine progettuale:

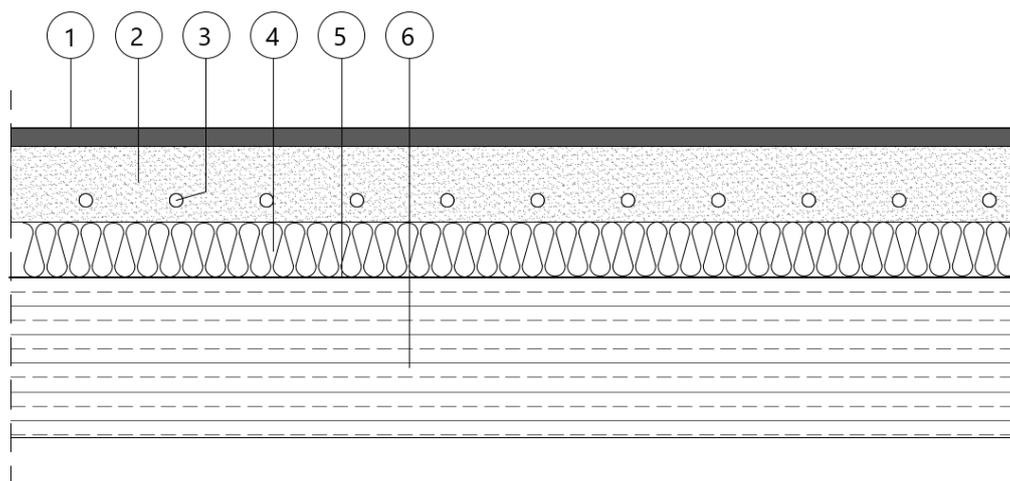
Come sarà dettagliato nell'apposito paragrafo, a differenza degli impianti a radiatori o a ventilconvettori, quelli a pavimento richiedono molti più parametri di progetto, infatti, è necessaria anche la conoscenza dettagliata di tutti gli elementi costruttivi che riguardano i pavimenti e le solette. In aggiunta, è più difficile realizzare varianti in corso d'opera o ad impianto ultimato, in quanto non è possibile togliere o aggiungere porzioni di pannello senza rompere il pavimento.

4. Limiti per la climatizzazione estiva:

Gli impianti a pannelli consentono anche il raffrescamento dei locali. Tuttavia, la resa frigorifera è limitata dall'impossibilità di raffreddare il pavimento sotto la temperatura di saturazione, in caso contrario, verrebbero a generarsi fenomeni di condensa superficiale. Per questo motivo risulta difficile ottenere potenze frigorifere superiori a 40-50 W/m². Inoltre, l'impossibilità di deumidificare rende necessario l'utilizzo di dispositivi ausiliari per il controllo dell'umidità in ambiente che comportano costi ed ingombri non sempre accettabili.

Dimensionamento impianto radiante

Per il dimensionamento del pavimento radiante è stato utilizzato il metodo di calcolo derivato dalle norme europee EN 1264. La figura 12 mostra gli elementi principali che costituiscono tale sistema di riscaldamento.



Riferimento	Componente
1	Pavimentazione interna
2	Massetto
3	Tubazione
4	Pannello isolante
5	Strato protettivo
6	Solaio preesistente

Figura 19 stratigrafia del pavimento radiante

Il flusso di calore verso l'alto emesso da un pannello è stato valutato con la formula:

$$Q = S * \Delta T_{ln} * B * F_P * F_I * F_M * F_D [W]$$

dove:

Q = flusso di calore verso l'alto emesso dal pannello, W

S = superficie coperta dal pannello, m²

ΔT_{ln} = media logaritmica fra la temperatura del fluido e la temperatura ambiente, °C

B = fattore relativo alle caratteristiche del tubo, W/m^2K

F_p = fattore relativo alla resistenza termica del pavimento, -

F_l = fattore relativo all'interasse dei tubi, -

F_M = fattore relativo allo spessore del massetto sopra i tubi, -

F_D = fattore relativo al diametro esterno del tubo, -.

I vari termini e fattori dell'equazione sono stati ricavati stabilendo i seguenti parametri:

1. parametri relativi alle condizioni al contorno:

- t_a temperatura ambiente, °C

- t_s temperatura del locale o del terreno sottostante, °C

2. parametri relativi alla configurazione dei pannelli:

- S superficie coperta dal pannello, m^2

- I interasse di posa dei tubi, m

3. parametri relativi al tipo di tubo:

- D_e diametro esterno del tubo, m

- D_i diametro interno del tubo, m

- λ_t conducibilità termica del tubo, W/mK

4. parametri relativi alla struttura di contenimento dei pannelli:

- R_p resistenza termica del pavimento, m^2K/W

- s_m spessore del massetto sopra i tubi, m

- λ_m conducibilità termica del massetto, W/mK

- R_s resistenza termica sotto pannello, m^2K/W

5. parametri relativi alla temperatura del fluido termovettore:

- t_e temperatura di entrata del fluido termovettore, °C

Assegnati i parametri e i vari coefficienti estrapolati dalle tabelle della guida Caleffi⁸, è stato possibile risalire al flusso termico emesso dal pannello verso l'ambiente da riscaldare; attraverso l'utilizzo di un foglio di calcolo, dividendo il flusso termico di progetto per la superficie del pavimento si ottiene il calore per unità di area che deve essere immesso nell' i -esimo ambiente. Per ogni vano, si effettua un calcolo iterativo: variando il valore dell'interasse, e dei coefficienti ad esso connessi, si cerca la convergenza tra il flusso richiesto da progetto e quello calcolato, in questo modo si estrapolano la temperatura di ritorno, la temperatura superficiale del pavimento e la portata d'acqua. Di seguito un'immagine rappresentativa di tale procedura:

⁸ Quaderni Caleffi - Mario Doninelli - Gli Impianti A Pannelli Radianti

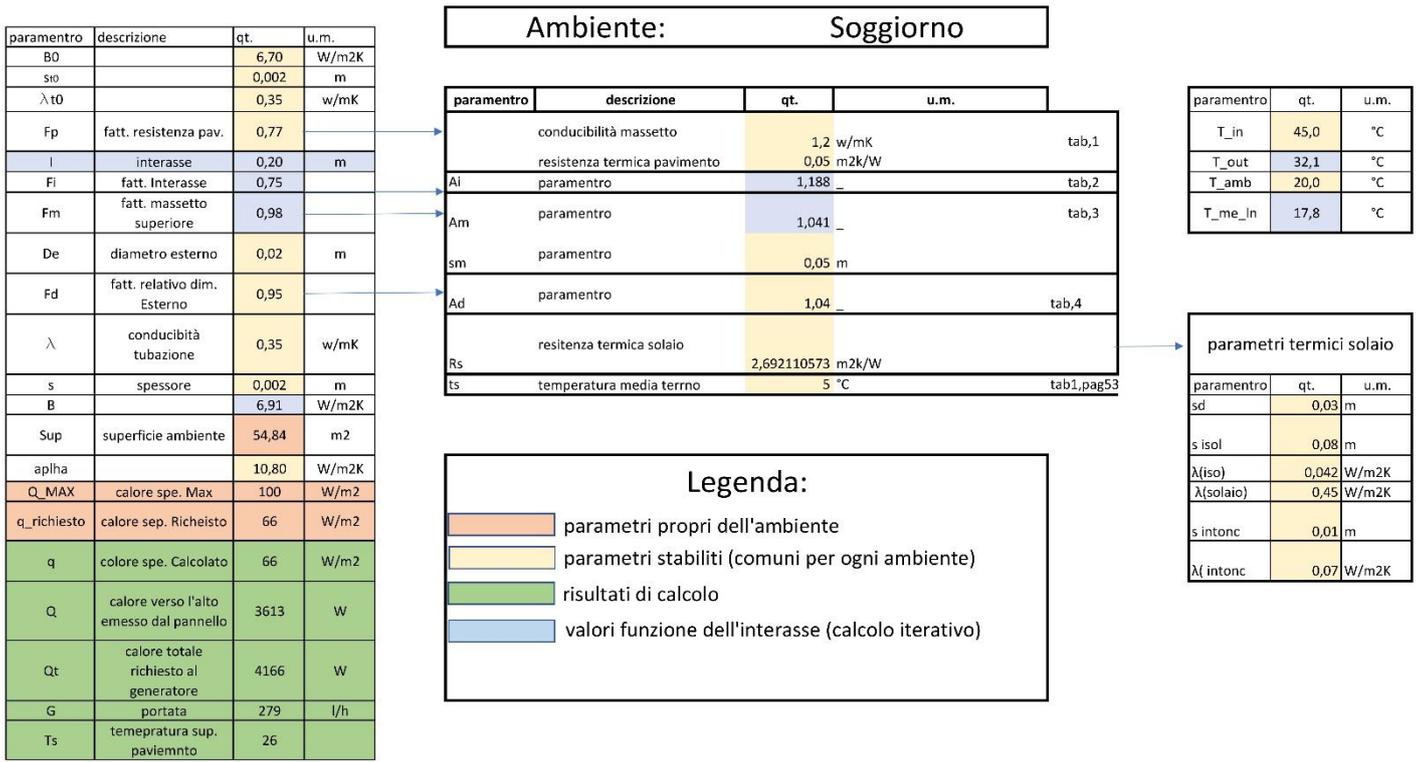
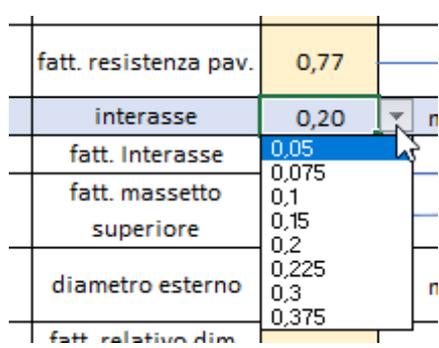


Figura 20 foglio di calcolo pavimento radiante



attraverso un menù a tendina si seleziona il valore di interasse, in modo automatico vengono modificati paramentri da esso dipendenti.

Successivamente si procede ad effettuare una ricerca obbiettivo impostando la convergenza tra flusso calcolato e flusso richiesto:

I	interasse	0,30	m
Fi	fatt. interasse	0,60	
Fm	fatt. massetto superiore	0,98	
De	diametro esterno	0,02	m
Fd	fatt. relativo dim. Esterno	0,94	
λ	conducibilità tubazione	0,35	w/mK
s	spessore	0,002	m
B		6,94	W/m2K
Sup	superficie ambiente	54,84	m2
alpha		10,80	W/m2K
Q_MAX	calore spe. Max	100	W/m2
q_richiesto	calore sep. Richeisto	66	W/m2
q	calore spe. Calcolato	52	W/m2

resistenza termica pavimento	0,05	m2k/W	
Ai	parametro	1,188	tab,2
Am	parametro	1,031	tab,3
sm	parametro	0,05	m
Ad	parametro	1,049	tab
Rs	resist		m2k/W
ts	tem		tab1, pag53

T_out	32,1	°C
T_amb	20,0	°C
T_in	17,8	°C

parametro	qt.	u.m.
sd	0,03	m
s isol	0,08	m
λ(iso)	0,042	W/m2K
λ(solaio)	0,45	W/m2K
s intonc	0,01	m
λ intonc	0,07	W/m2K

parametri propri dell'ambiente
parametri stabiliti (comuni per ogni ambiente)

A questo punto si verifica che il valore di temperatura del pavimento non sia superiore ai valori limite consentiti per il benessere fisiologico e che tutti gli altri valori come la temperatura di uscita e la portata siano accettabili.

Di seguito una tabella riepilogativa dei risultati ottenuti:

Locale	Sup [mq]	ΦHL [W]	[W/m2]	q max [W/m2]	t in [°C]	t out [°C]	ts [°C]	G[l/h]	I [m]
DISIMPEGNO	14	1270	91	150	45	32	28,3	92	0,050
LETTO 1	30	1658	54	100	45	28	29,2	97	0,075
LETTO 2	24	1812	76	100	45	36	27,0	210	0,200
LETTO 3	22	2290	103	100	45	37	29,2	280	0,075
SOGGIORNO	55	3613	66	100	45	32	26,2	279	0,200

Tabella 21 risultati di calcolo pavimento radiante

Perdite di carico:

Le perdite di carico totali del pannello si calcolano considerando le perdite di carico continue e localizzate

- le perdite di carico continue sono valutate moltiplicando la lunghezza del pannello per le perdite di carico unitarie;

Locale	Sup [mq]	G[l/h]	I [m]	L adduzione	L tot	n serpentine	L serpentina [m]
DISIMPEGNO	14	224	0,15	2	97	1,0	97
LETTO 1	30	32	0,10	2	328	3,0	109
				2			109
				2			109
LETTO 2	24	210	0,20	2	124	1,0	124
LETTO 3	22	197	0,10	2	231	2,0	115
				2			115
SOGGIORNO	55	140	0,20	2	282	2,0	141
				2			141

Tabella 22 dettaglio serpentine

La lunghezza del pannello si calcola con la relazione:

$$L = L_a + S/I$$

dove:

L = lunghezza del pannello, m

L_a = lunghezza di adduzione (andata e ritorno) fra il collettore e il pannello, m

S = superficie coperta dal pannello, m^2

I = interasse del pannello, m

Le perdite distribuite sono state valutate in maniera convenzionale attraverso equazioni sperimentali. La lunghezza delle serpentine è stata limitata a 150 m, pertanto, per alcuni vani sono stati previsti più circuiti a servizio dello stesso ambiente. Di seguito il layout semplificato di impianto:

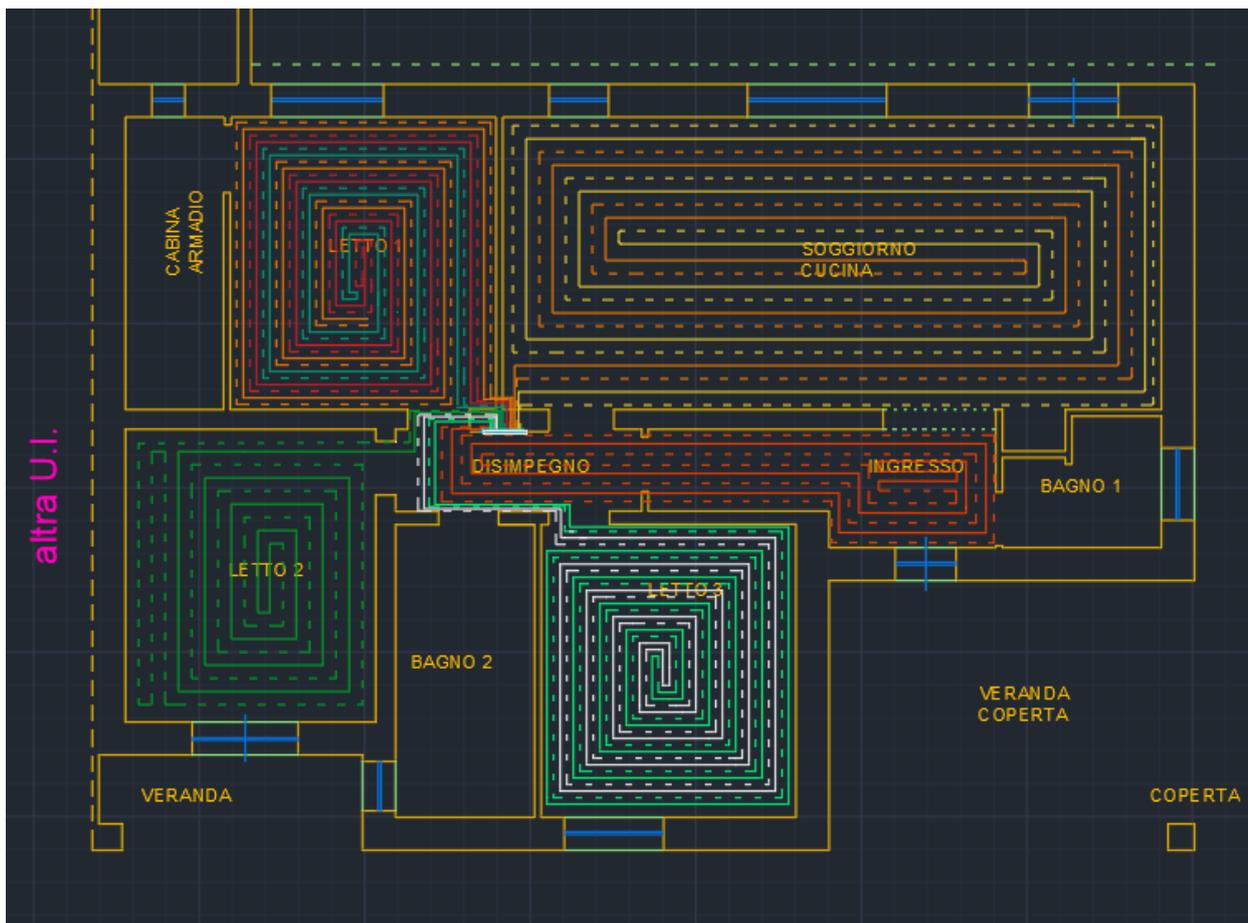


Figura 21 layout impianto radiante

Locale	Di [m]	velocità [m/s]	Re	Fa	[Pa/m]	[Pa/m] +30%	perdita [kPA]	COD.
DISIMPEGNO	0,013	0,47	1,02E+04	3,87E-02	326	391	37,8	SP_DIS_01
LETTO 1	0,013	0,07	1,48E+03	4,98E-02	9	11	1,2	SP_LE1_01
							1,2	SP_LE1_02
							1,2	SP_LE1_03
LETTO 2	0,013	0,44	9,60E+03	3,90E-02	290	348	43,0	SP_LE2_01
LETTO 3	0,013	0,41	9,02E+03	3,94E-02	258	309	35,7	SP_LE3_01
							35,7	SP_LE3_02
SOGGIORNO	0,013	0,29	6,39E+03	4,12E-02	135	163	22,9	SP_SOG_01
							22,9	SP_SOG_02

Tabella 23 perdite di carico anelli pavimento radiante

- le perdite di carico localizzate sono dovute:

- alla presenza di collettori e valvole di regolazione/ intercettazione
- alle curve dell'anello (valutate aumentando del 30% le perdite distribuite)⁹.

L'utilizzo i collettori di distribuzione per impianti a pannelli radianti permette di ottimizzare la distribuzione del fluido termovettore nei circuiti degli impianti a pavimento, al fine di migliorare il controllo dell'emissione termica dei pannelli.

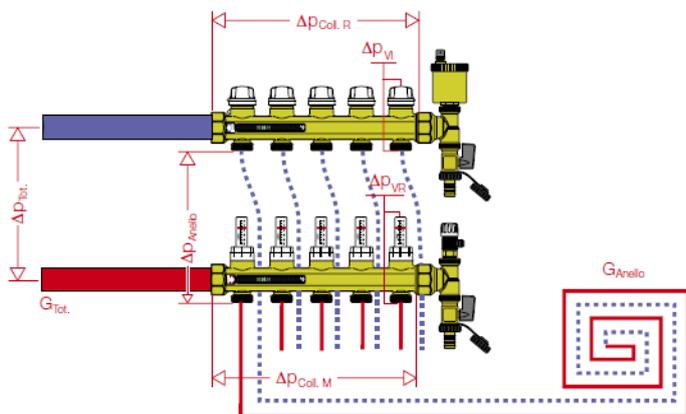
Nello specifico si è scelto l'utilizzo di un sistema di distribuzione così composto:

- collettore di mandata, completo di flussometri e valvole di regolazione incorporate.
- collettore di ritorno, completo di valvole di intercettazione predisposte per comando elettrotermico al fine della regolazione di ogni singolo ambiente mediante termostato;
- gruppi di testa completi di valvola automatica e valvola manuale di sfogo aria con rubinetti di carico/scarico;

⁹ (mediamente comprese fra il 20 e il 30% delle perdite di carico continue) – fonte: Quaderno 4 – Caleffi.

La valutazione delle perdite di carico concentrate è stata effettuata considerando il seguente schema:

Figura 22 schema collettori



Legenda:

- ΔP_{COLLM} = perdita al collettore di mandata
- ΔP_{VR} = perdita valvola di regolazione flusso
- ΔP_{anello} = perdita del circuito
- ΔP_{VI} = perdita valvola d'incertezza
- ΔP_{COLLR} = perdita al collettore di ritorno

	Kv	Kv _{0,01}
Valvola di regolazione portata tutta aperta (VR)	1,10	110
Valvola d'intercezione circuito a pannelli (VI)	4,10	410
Collettore di mandata 8÷13 partenze	6,90*	690*
Collettore di ritorno 8÷13 partenze	10,40*	1040*

*Valore medio

$$\Delta P_i = \frac{G_i^2 [l/h]}{Kv_{i0.01}^2} [kPa]$$

$$\Delta P_{TOT} = \Delta P_{COLLM} + \Delta P_{VR} + \Delta P_{anello} + \Delta P_{VI} + \Delta P_{COLLR}$$

perdite concentrate								
	portata	col mand	VR - OPEN	circ.	VI	col. Rit	tot	bilancio
	l/h	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
DISIMPEGNO	223,5	3,0	4,1	37,8	0,3	1,3	46,6	4,7
LETTO 1	32,3		0,1	1,2	0,0		5,6	45,7
	32,3		0,1	1,2	0,0		5,6	45,7
	32,3		0,1	1,2	0,0		5,6	45,7
LETTO 2	209,8		3,6	43,0	0,3		51,3	0,0
LETTO 3	197,1		3,2	35,7	0,2		43,5	7,8
	197,1		3,2	35,7	0,2		43,5	7,8
SOGGIORNO	139,7		1,6	22,9	0,1		29,1	22,3
	139,7		1,6	22,9	0,1		29,1	22,3
	tot							
	1203,9						51,32	

Tabella 24 perdite concertate

Il tronco di distribuzione principale oltre che ai collettori, alimenta due scalda salviette per il riscaldamento dei bagni.

Per i radiatori dei servizi si assume un delta T valutato secondo la norma **EN 442 pari** a 30 °C ($T_m = 55^\circ\text{C}$, $T_r = 45^\circ\text{C}$, $T_{amb} = 20^\circ\text{C}$). Determinato il numero di elementi per ogni dispositivo, si ricava da schede tecniche il valore della perdita di carico per ogni corpo scaldante (si assume fattore di perdita pari a 3).

Inoltre, dato che il progetto dei pannelli radiante prevede una temperatura di mandata pari a 45°C è stata prevista l'installazione di una valvola miscelatrice a 3 vie tra mandata e ingresso e uscita del collettore.

Al fine del dimensionamento del circolatore bisogna considerare la portata aggiuntiva per l'alimentazione dei due radiatori e individuare il circuito più sfavorito in termini delle perdite di carico.

In riferimento al layout riportato in fig.23 si procede a determinare le cadute di pressione per ogni tratto della rete (risultati in tab. 12):

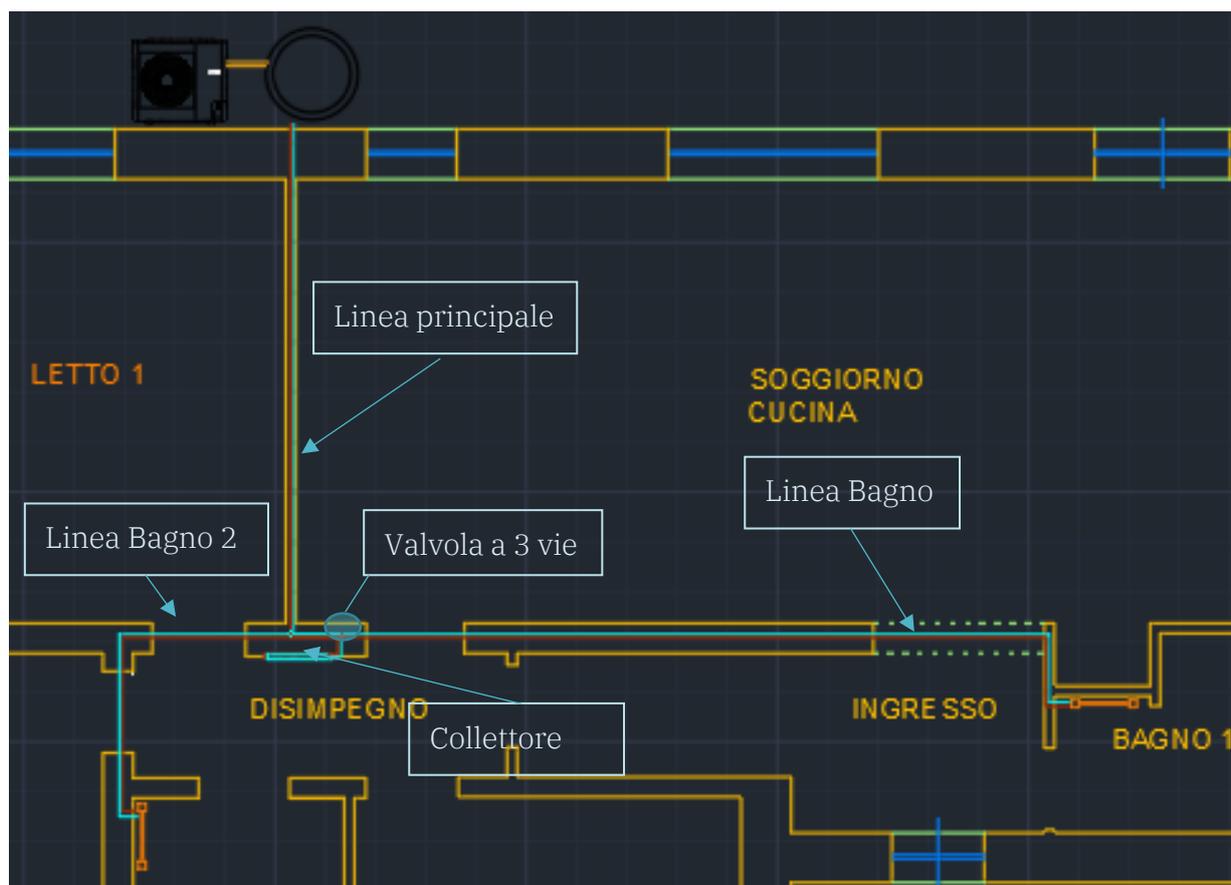


Figura 23 rete di distribuzione

LINEA PRINCIPALE

PORTATA L/H	l/s	m3/s	velocità m/s	Di	Re	f
1423,5	0,4	0,00040	0,6	0,030	2,82E+04	3,02E-02
	qt	L	e	kPA		
RACCORDO A PDC RESTINGIMENTO	1		0,5	0,1		
LUNGHEZZA MANDATA	1	6		0,9		
CURVE	2		1,5	0,5		
T	2		1	0,3		
LUNGHEZZA RITORNO	1	6		0,9		
CURVE	2		1,5	0,5		
T	2		3	0,9		
ROCCORDO A PDC ALLARGAMENTO	1		1	0,2		
VAL INTERCET	2		8	2,5		
TOT				6,8		
VALVOLA MISCELATRICE A TRE VIE						
PORTATA L/H	l/s	m3/s	velocità m/s	Di	Re	f
1204	0,33	0,000334	0,68	0,025	2,86E+04	3,09E-02
	qt	L	e	kPA		
VALVOLA MISCELATRICE A 3 VIE	2		8	3,7		
TOT				3,7		
RADIATORE BAGNO						
PORTATA L/H	l/s	m3/s	velocità m/s	Di	Re	f
127	0,04	3,53E-05	0,31	0,012	6,29E+03	4,17E-02
	qt	L	e	kPA		
LUNGHEZZA MANDATA	1	4		0,7		
CURVE	2		1,5	0,1		
LUNGHEZZA RITORNO	1	4		0,7		
CURVE	2		1,5	0,1		
RADIATORE	1		3	0,1		
TOT				1,8		
RADIATORE BAGNO 2						
PORTATA L/H	l/s	m3/s	velocità m/s	Di	Re	f
93	0,03	2,57E-05	0,23	0,012	4,59E+03	4,34E-02
	qt	L	e	kPA		
LUNGHEZZA MANDATA	1	8		0,8		
N CURVE	2		8	0,8		
LUNGHEZZA RITORNO	1	8		0,8		
N CURVE	2		8	0,8		
RADIATORE	1		3	0,1		
TOT				3,2		

CIRCUITI:	PERDITA DI CARICO	PORTATA
	kPa	l/h
SP_DIS_01	61,9	224
SP_LE1_01	61,9	32
SP_LE1_02	61,9	32
SP_LE1_03	61,9	32
SP_LE2_01	61,9	210
SP_LE3_01	61,9	197
SP_LE3_02	61,9	197
SP_SOG_01	61,9	140
SP_SOG_02	61,9	140
TER_BA	8,6	127
TER_BA_2	10,0	93

Tabella 25 perdite di carico nella rete di distribuzione

Pertanto, i due parametri con cui è stato selezionato il circolatore sono:

Prevalenza	61,9	kPa
Portata	1423	l/h

EVOPLUS 80/180 XM

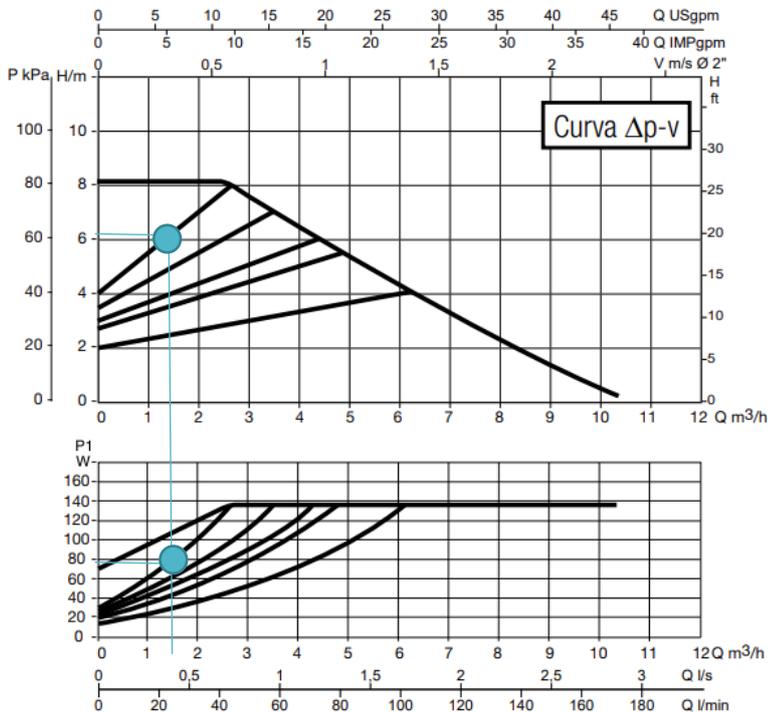


Figura 24 punto di funzionamento circolatore

Nota:

Ai fini della regolazione per singolo ambiente, si prevede l'installazione di valvole motorizzate a monte di ogni circuito, queste sono controllate in base ai valori di temperatura letti da termostati collocati nei singoli vani. La variabilità della curva di carico è dunque una conseguenza diretta di questo tipo di regolazione, e pertanto bisogna prevedere l'installazione di un circolatore dotato di tecnologia inverter per permettere alla pompa di variare il punto di funzionamento adattandosi alle condizioni richieste.

Dimensionamento impianto a ventil convettori

Per la climatizzazione estiva si è scelto di installare ventil convettori idronici su pareti verticali alimentati da un'apposita linea.

Come è possibile evincere dal layout mostrato in fig.25, questa tipologia d'impianto è molto più semplice rispetto quella a pavimento radiante. La linea di distribuzione è stata sviluppata in modo ramificato, la sua progettazione si limita alla scelta dei terminali e al valutare le perdite di carico concentrate e distribuite dei pochi elementi che la costituiscono. Particolare attenzione va invece posta nel considerare la posizione d'installazione dei ventilconvettori, inquanto si deve assicurare una pendenza del 2% del condotto di scarico delle condense, si è scelto perciò di utilizzare le pareti perimetrali e di evitare percorsi che intersecassero porte interne e tratti del circuito elettrico.

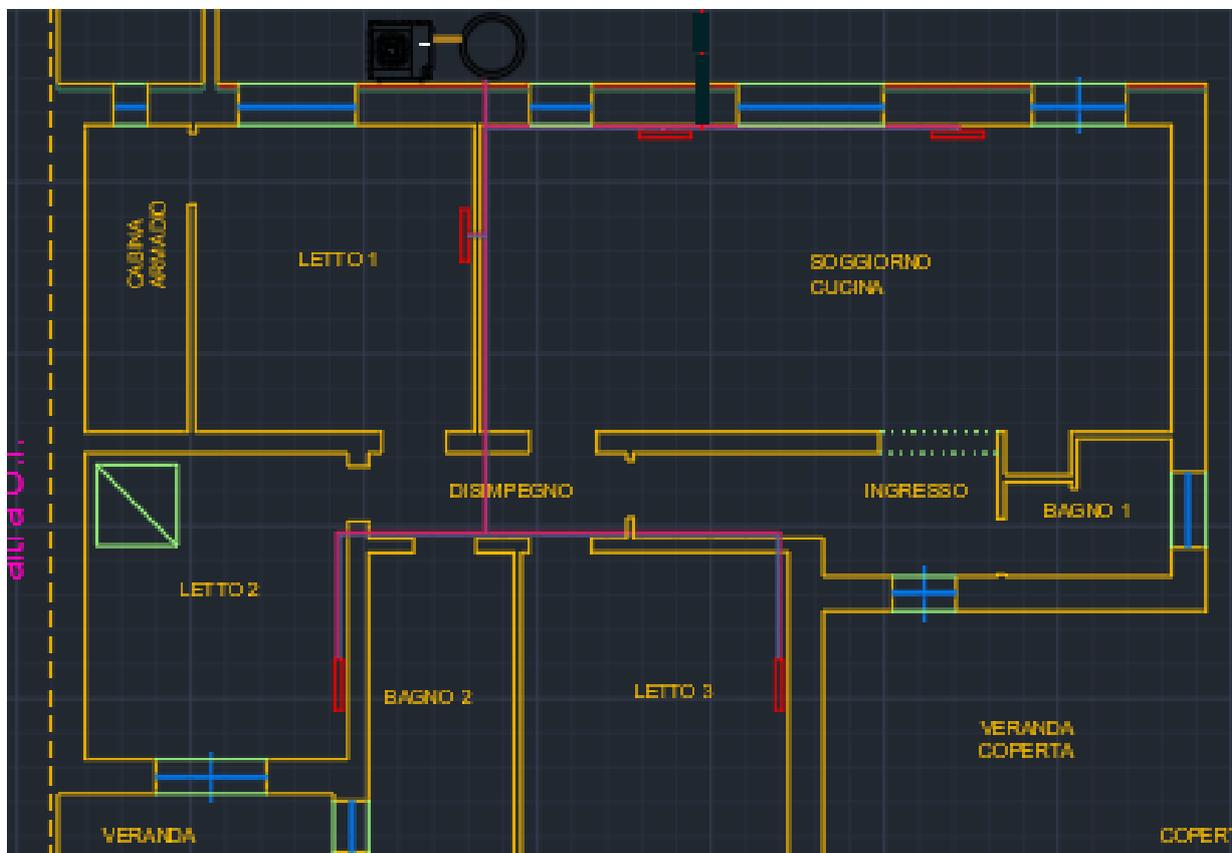


Figura 25 layout impianto a ventil convettori

Solare termico

Per questo caso studio è stata prevista l'installazione di un collettore solare per la produzione di acqua calda sanitaria. Ai fini dell'accesso ad ogni forma di incentivo fiscale è obbligatorio che l'impianto solare abbia la certificazione Solar Keymark. Il Solar Keymark è un marchio di certificazione per i prodotti solari termici, e dimostra agli utenti finali conformità agli standard europei.

Per quanto riguarda le caratteristiche impianto, stabilita la tipologia costruttiva del collettore solare è possibile la determinazione dei valori dei coefficienti di perdita a_1 e a_2 , del rendimento a perdite nulle η_0 e del fattore angolare IAM:

Inclinazione orizzontale pannelli (β) [°] 35,00

Tipo di riflessione ambientale Coefficiente di riflessione standar... Coefficiente di riflessione (δ) 0,2000

Ostruzioni Assente

Irradianza [kWh/m²]

Irradianze mensili

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
88,21	71,82	120,82	142,18	167,94	171,85	179,24	171,43	134,81	107,47	67,36	57,01

Irradianza totale 1.480,16

Caratteristiche Impianto

Tipo di collettore Collettori piani vetrati

η_0 0,780 IAM 0,870

a_1 4,960 a_2 0,001

Efficienza circuito (η_{loop}) 0,580 Potenza ausiliari elettrici [W] 59,9

Superficie captante [m²] 1,97

Figura 26 imputazione dati solare termico

η_0 : è l'efficienza del collettore solare. Tale parametro rappresenta l'efficienza di conversione del collettore e indica la quantità di energia assorbita quando l'irradiazione solare è perpendicolare alla superficie del pannello solare.

a_1 : è il coefficiente di perdita lineare del collettore (W/m²K). Tale valore rappresenta la quantità di calore che viene ceduta dal collettore all'ambiente circostante per metro quadrato di superficie e per grado di differenza di temperatura tra la temperatura media del collettore e l'ambiente.

a_2 : è il coefficiente di perdita quadratica del collettore (W/m²K²). Tale valore rappresenta la quantità di calore che viene ceduta dal collettore all'ambiente circostante per metro quadrato di superficie e per grado di differenza di temperatura quadratica tra la temperatura media del collettore e l'ambiente.

IAM: è il fattore di correzione angolare che descrive le dispersioni per riflessione quando i raggi solari non sono perpendicolari al collettore. Esso rappresenta il reale comportamento del collettore, al variare dell'incidenza dei raggi solari che riceve.

Il software di calcolo utilizzato implementa il metodo F-char come indicato nell'allegato C della norma UNI TS 11300-4; Il metodo si applica a sistemi solari termici per sola produzione di acqua calda sanitaria, per solo riscaldamento o combinati. La procedura di calcolo di calcolo basata sul metodo F-Chart e comprende i seguenti passi:

- 1) Fabbisogno applicato all'impianto solare termico e calcolo dei rapporti P
- 2) Calcolo del fattore adimensionale X
- 3) Calcolo del fattore adimensionale Y
- 4) Calcolo dell'energia solare prodotta mensilmente per riscaldamento di ambienti e/o per acqua calda sanitaria
- 5) Calcolo del fabbisogno di energia degli ausiliari
- 6) Calcolo delle perdite termiche
- 7) Calcolo delle perdite recuperabili.

Per quanto riguarda l'accumulo il parametro di dimensionamento più importante il K_{bol}, tale coefficiente di dispersione può essere calcolato in funzione dei seguenti parametri:

- Superficie esterna (m²) dell'accumulo;
- Spessore isolamento (mm): indicare lo spessore dello strato isolante;
- Conduttività isolamento (W/mK): indicare la conduttività dello strato isolante.

Dati accumulo

Servizio	Accumulo ad acqua
Capacità nominale del serbatoio di accumulo	80
Volume solare (V _{sol})	80
Volume a carico dell'integrazione (V _{bu})	0
Coeff. di correlazione della capacità di accumulo (fst)	0
Coefficiente K _{bol}	0,667
Ubicazione serbatoio	In ambiente climatizzato
Temperatura media del locale di installazione	23,5
Temperatura media dell'acqua nel serbatoio	60
Integrazione	Permanente

5.5 ITER AMMINISTRATIVO E PROGETTUALE

L'iter di lavoro che è stato eseguito per la realizzazione di quest'opera di efficientamento energetico è di seguito riportato:

Livello Progettuale – Definitivo



Livello Esecutivo



Le prime tre fasi riguardano la parte di progettazione e di avvio della pratica, oltre alla mera progettazione ingegneristica l'accesso all'incentivo fiscale richiede una notevole abilità in campo

amministrativo e commerciale, infatti, per lo sviluppo dell'offerta economica è necessario tenere in considerazione i seguenti aspetti:

- Rispetto dei massimali economici previsti dal decreto-legge
- Rispetto dei requisiti tecnici dei prodotti scelti e del progetto sviluppato
- Accordi economici con enti terzi per eventuali opere di fornitura e posa in opera
- Rispetto del margine di guadagno aziendale

La procedura per il riconoscimento della detrazione fiscale si basa sull'utilizzo dei prezziari ufficiali riconosciuti dallo Stato: consultando tali documenti si procede a computare il costo di ogni singola attività che dovrà essere svolta in cantiere dettagliando le specifiche tecniche, il costo dei materiali e la mano d'opera. Si aggiunge a queste il corrispettivo del professionista e le tasse.

Una volta stabilito l'importo economico, nel caso specifico è stato chiesto ad un istituto l'acquisto del credito, parallelamente è stata inoltrata la pratica edilizia all'ufficio comunale di competenza. Firmati i preventivi con i fornitori selezionati, si è proceduto alla compilazione dei documenti relativi alla sicurezza del cantiere, nello specifico: Il Piano Operativo di Sicurezza **POS** elaborato da ogni azienda appaltatrice per le attività da essa svolte e il Piano di Sicurezza e Coordinamento **PSC** compilato dal coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione (CSP) che descrive le fasi operative dei lavori e individua le situazioni di rischio, specificando le azioni necessarie per l'eliminazione o la riduzione dei pericoli e la messa in sicurezza del cantiere. Dopo aver comunicato l'inizio lavori e dopo aver completato almeno il 30% dei lavori è stata compilata la comunemente detta "Pratica ENEA", è con questo documento che lo Stato riconosce il credito d'imposta. Nello specifico l'asseverazione è costituita dalle seguenti sezioni:

- Anagrafica
- Relazione tecnica
- Intervento trainante di isolamento termico o sostituzione impianti
- Eventuali interventi trainati
- Unità immobiliari
- Spese complessive
- Dichiarazioni in merito al risparmio energetico ottenuto

5.6 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DEFINITIVO

Nel rispetto delle richieste del committente, si è proceduto all'efficientamento energetico dell'appartamento (escluso zona deposito) al fine di usufruire delle detrazioni fiscali (in misura del 110%) ai sensi dell'art. 119 D.L. 77/2020, attraverso i seguenti interventi:

- Intervento di coibentazione per l'isolamento termico del lastrico solare e della superficie verticale opaca che interessano l'involucro dell'edificio con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda dell'unità immobiliare, ai sensi dell'art. 119 comma 1 lettera a del D.L. 77/2020 (INTERVENTO TRAINANTE):

PV) Pareti verticali

N°	Sup. [m ²]	Trasm. ante [W/m ² K]	Trasm. post [W/m ² K]	YIE [W/m ² K]	Confine	Coibentazione
1	27,848	1,31	0,28	0,013	Esterno	Esterna
2	17,954	1,31	0,28	0,013	Esterno	Esterna

PO) Coperture

N°	Sup. [m ²]	Trasm. ante [W/m ² K]	Trasm. post [W/m ² K]	YIE [W/m ² K]	Confine	Coibentazione
1	23,953	1,52	0,27	0,017	Esterno	Esterna
2	12,007	1,52	0,27	0,017	Esterno	Esterna
3	22,256	1,52	0,27	0,017	Esterno	Esterna
4	13,891	1,52	0,27	0,017	Esterno	Esterna
5	7,03	1,52	0,27	0,017	Esterno	Esterna
6	54,837	1,52	0,27	0,017	Esterno	Esterna
7	30,44	1,52	0,27	0,017	Esterno	Esterna

- Nuova installazione dell'impianto di climatizzazione inverno/estate per il riscaldamento e raffrescamento dell'abitazione e di impianto per la produzione di acqua calda sanitaria, ai sensi dell'art. 119 comma 1 lettera c del D.L. 77/2020 (INTERVENTO TRAINATO);

PC) Pompe di calore a compressione di vapore elettriche anche sonde geotermiche

1	Tipo sostituito:		P.nom sostituito:	30,00 [kW]
	Tipo di PDC:	Con compressore elettrico	Tipo Roof Top:	No
	P.nom:	14,00 [kW]	P. Elettrica assorbita:	[kW]
	Inverter:	Sì	COP:	4,71

E' reversibile:	<u>No</u>	EER:	<u>0,00</u>
Sonde geotermiche:	<u>No</u>	Sup. riscaldata dalla PDC:	<u>164,42</u> [m ²]

- Nuova installazione di impianto solare fotovoltaico connesso alla rete elettrica posato su lastrico solare, ai sensi dell'art. 119 comma 5 del D.L. 77/2020 (INTERVENTO TRAINATO);

FV) Fotovoltaico

Codice POD:

Potenza di picco: 6,00 [kW]

Costo complessivo di progetto: 19.170,00 euro

AC) Sistema di accumulo

Capacità accumulo: 15,00 [kWh]

Costo complessivo di progetto: 12.251,00 euro

- Installazione contestuale di sistema di accumulo integrato nell'impianto fotovoltaico di cui sopra, ai sensi dell'art. 119 comma 6 del D.L. 77/2020 (INTERVENTO TRAINATO);

ST) Collettori solari

1	Superficie lorda Ag di un singolo modulo:	<u>1,97</u> [m ²]	Numero di moduli:	<u>1</u>
	Tipo di collettori:	<u>Piani vetrati</u>	Tipo installazione:	<u>Tetto piano</u>
	Inclinazione:	<u>70,02</u> [%]	Orientamento:	<u>Sud</u>
	Impianto factory made:	<u>No</u>	Qcol / Qsol:	<u>1.600,00</u> [kWh]
	QL:	<u>0,00</u> [MJ]	Accumulo in litri:	<u>80,00</u> [l]
	Destinazione del calore:	<u>Produzione di acqua calda sanitaria ACS</u>	Tipo di impianto integrato o sostituito:	<u>Caldaia standard</u>
	Certificazione Solar Keymark:	<u>Si</u>		

- Sostituzione di serramenti, infissi esterni e schermature solari esistenti con nuovi in materiale PVC, con riferimento alla circolare n.24 del 8 agosto 2020 indicati nell'articolo 14 del decreto-legge n. 63 del 2013, finalizzati congiuntamente anche alla riduzione del rischio sismico (ecobonus), nonché gli interventi di Efficienza Energetica che danno diritto al Superbonus (INTERVENTO TRAINATO).

IN) Sostituzione infissi

N°	Telaio prima	Vetro prima	Trasm. ante [W/m ² K]	Sup. [m ²]	Telaio dopo	Vetro dopo	Trasm. post [W/m ² K]	Chiusura oscurante
1	Metallo, no taglio termico	Doppio	3,13	3,84	PVC	Doppio	1,25	<input type="checkbox"/>
...

✓ SS) Schermature solari e chiusure oscuranti

1	Tipo di scherm./chiusura oscurante:	<u>Persiana</u>	Installazione:	<u>Esterna</u>
	Sup. scherm /chiusura oscurante:	<u>1,50 [m²]</u>	Sup. finestrata protetta:	<u>1,50</u>
	Resistenza termica supplementare:	<u>0,08 [m²K/W]</u>	Orientamento	<u>Ovest</u>
	Tipo di calcolo:	<u>Da tabella Chiusure Oscuranti</u>	gtot	<u>0,14</u>
	Meccanismo di regolazione:	<u>Manuale</u>	Materiale schermatura:	<u>Metallo</u>
...

CONCLUSIONE

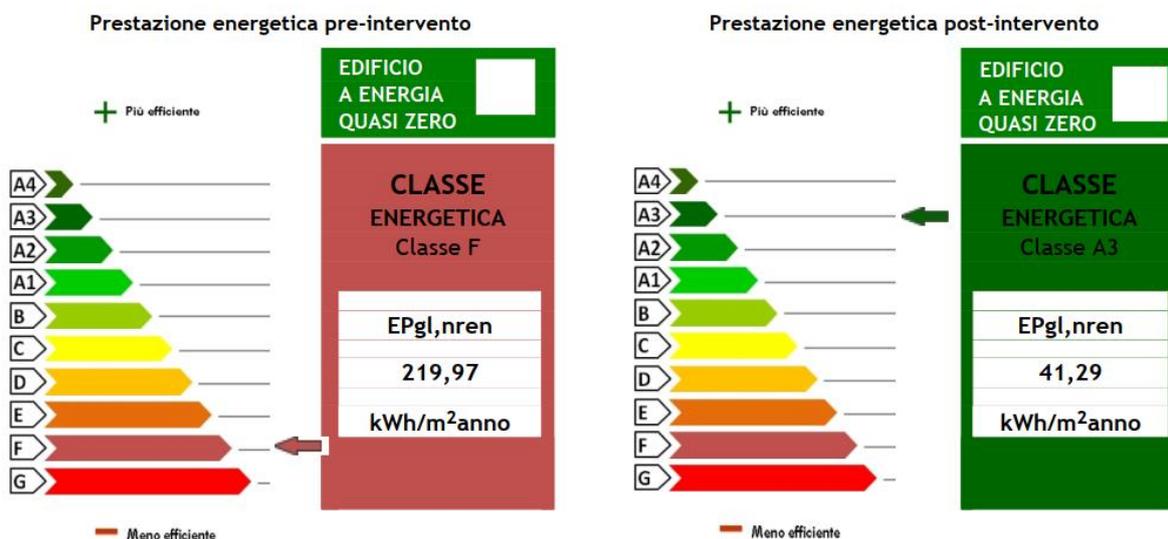


Figura 27 classe energetica pre e post-intervento

Attraverso questo progetto di riqualificazione energetica, l'unità immobiliare è passata dalla classe energetica F alla A3 con un salto di 6 classi. Gli interventi migliorativi hanno permesso un risparmio di energia primaria non rinnovabile pari a più di 29.000,00 kWh/anno.

L'iter procedurale è stato avviato a gennaio 2021 mentre, la realizzazione dell'opera ha avuto nel corso dei mesi diverse difficoltà legate alle vicende che hanno interessato il Superbonus: le conseguenze della pandemia e lo scoppio della guerra tra Russia e Ucraina hanno causato un blocco parziale del commercio e un aumento vertiginoso dei prezzi dei prodotti. In risposta a questo, il governo ha aumentato del 20% i massimali previsti a partire da aprile 2022. Inoltre, è opportuno considerare che vi è una problematica di natura economica insita nella struttura

stessa del Bonus, infatti, la misura è completamente a carico dello Stato e pertanto chi usufruisce della detrazione fiscale non ha alcun interesse a trattare sul prezzo con l'impresa che realizzerà i lavori, permettendo così a molte aziende e fornitori di aumentare ulteriormente i costi.

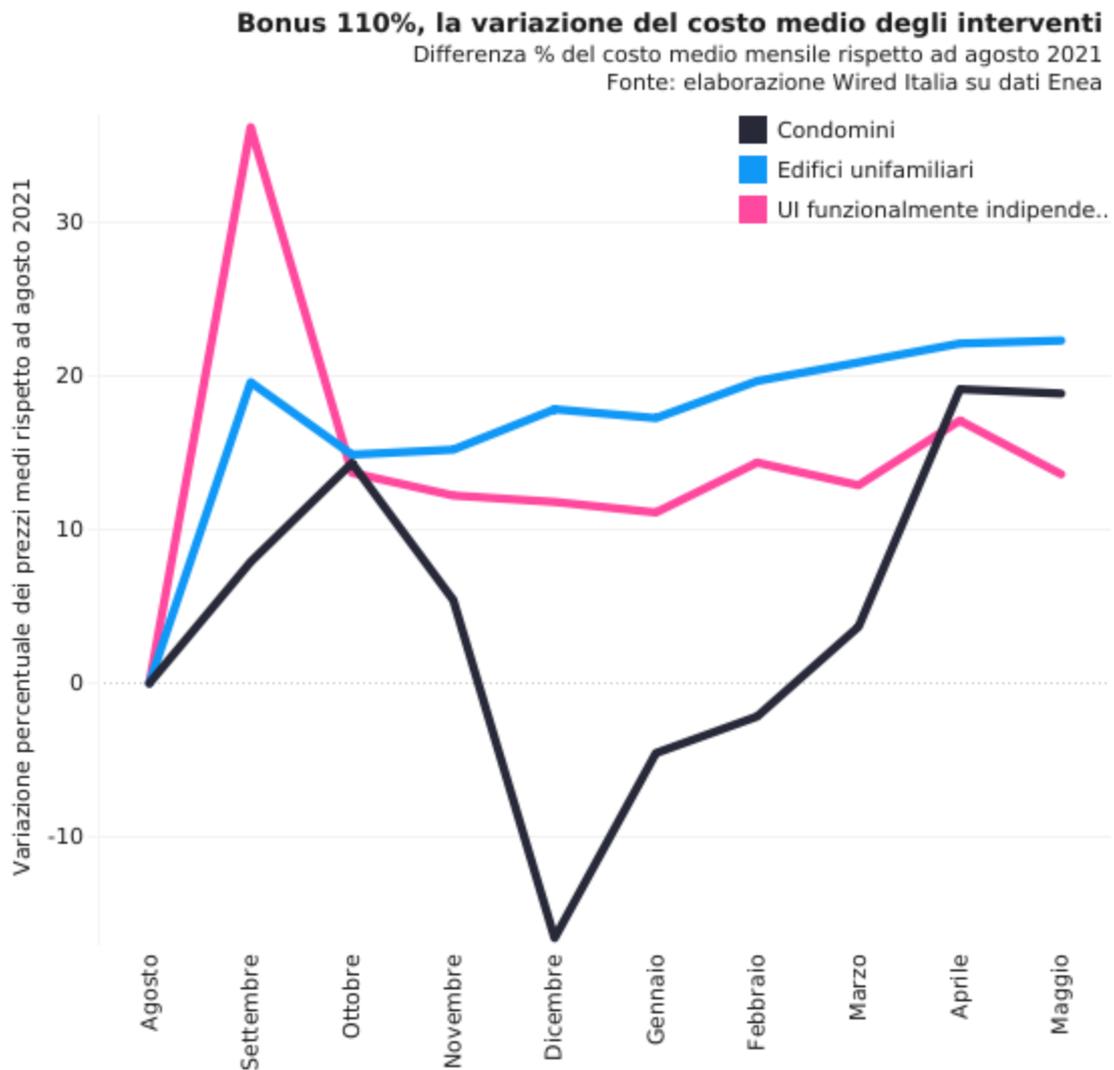


grafico 15 variazione del costo medio degli interventi

Il grafico 15 mostra la variazione percentuale dei prezzi medi delle asseverazioni rispetto al valore registrato da ENEA ad agosto 2021. Quello che si può evincere è che per tutte le categorie di edificio si ha un aumento del costo medio compreso tra il 15% e 22 %. (WIRED.IT, s.d.)

Super Ecobonus 110%		31 agosto 2021
		Investimento medio
Condomini		547.191,22 €
Edifici unifamiliari		98.264,01 €
U.I. funzionalmente indipendenti		87.833,11 €
Super Ecobonus 110%		31 maggio 2022
		Investimento medio
Condomini		562.115,06 €
Edifici unifamiliari		113.134,52 €
U.I. funzionalmente indipendenti		97.780,48 €

Nello specifico, nel caso di edifici unifamiliari il costo medio d'intervento aumenta di circa 15.000,00 € con un incremento del 15%.

Come accennato nel capitolo introduttivo, i dati aggiornati a Maggio 2022 riportano che sono stati sequestrati dalla guardia di finanza 2.5 miliardi relative ad opere fraudolente di accesso ai bonus edilizi, mentre 4.4 miliardi di credito sono in fase di verifica da parte della magistratura. Se i dati fossero confermati si assisterebbe ad una delle più grandi truffe della storia della Repubblica Italiana.

Dall'esperienza in situ nei cantieri oggetto di attività di riqualificazione energetica, è emerso che la committenza prediligesse attività di ristrutturazione edilizia come rifacimento facciate, bagni, pavimentazioni ecc. senza tener conto delle opere che permettessero un miglioramento delle prestazioni energetiche dell'immobile. Ad esempio, in molti casi è accaduto che i clienti volessero coibentare anche le pareti di ambienti non riscaldati come garage, vani scale ecc. al fine di avere la continuità delle facciate, senza considerare che questo non avrebbe portato a nessun significativo miglioramento energetico dell'unità immobiliare; la legge a tal proposito limita l'accesso alle detrazioni esclusivamente agli interventi d'isolamento termico dei componenti opachi che delimitano un ambiente riscaldato, pertanto, l'eventuale coibentazione di una parete prospiciente ad un area non climatizzata, seppur funzionale all'estetica dell'immobile, sarebbe una spesa totalmente a carico del cliente.

Ciò nonostante, la misura del Superbonus ha invogliato molti cittadini a sanare in termini di legge i propri immobili, contrastando in questo modo le pratiche di abuso edilizio. Inoltre, ha spinto le aziende produttrici del settore allo sviluppo di nuove tecnologie e prodotti con prestazioni e specifiche tecniche sempre più avanzate in un'ottica di riduzione del consumo energetico e di

un uso più razionale dell'energia. La transizione ecologica è un'impresa difficile da realizzare ed ha un costo che i cittadini non sono sempre disposti a pagare, le misure come quella del Superbonus possono dare il corretto impulso all'avvio di tale processo divenuto più che mai necessario al fine del contrasto ai cambiamenti climatici.

BIBLIOGRAFIA

Governo.it. (2022, 02 18). Tratto da

<https://www.governo.it/it/articolo/superbonus-110-case-pi-efficienti-e-sicure-costo-zero/15948>

Il settore delle costruzioni in Italia. (s.d.). Tratto da ITALIA IN DATI:

[https://italiaindati.com/edilizia-e-costruzioni-in-italia/#:~:text=Nel%20decennio%202008%2D2017%2C%20,di%20lavoro%20\(%2D28%25\).&text=Sul%20lato%20dell'et%C3%A0%20si,i%2015%20e%20i%2034%20anni.](https://italiaindati.com/edilizia-e-costruzioni-in-italia/#:~:text=Nel%20decennio%202008%2D2017%2C%20,di%20lavoro%20(%2D28%25).&text=Sul%20lato%20dell'et%C3%A0%20si,i%2015%20e%20i%2034%20anni.)

Latour, G. (2021, 11 21). ilsole24ore. Tratto da ilsole24ore.:

https://www.ilsole24ore.com/art/dopo-pesante-crisi-2020-l-edilizia-riparte-superbonus-AEtpKju?refresh_ce=1

Vasarri, S. (s.d.). Tratto da CED SYSTEM S.R.L.:

<https://www.cedssystem.com/superbonus-110-genesi-e-storia/>

ANIT. (2019, gennaio). *EFFICIENZA E CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI. GUIDA ANIT DI APPROFONDIMENTO TECNICO.*

Certificazione energetica (Parte 2): il decreto requisiti minimi Tratto da:

<https://biblus.acca.it/focus/certificazione-energetica-decreto-requisiti-minimi/#:~:text=Le%20ristrutturazioni%20importanti%20di%20primo,climatizzazione%20invernale%20e%20fo%20estiva.>

ANIT. (2019, gennaio). *EFFICIENZA E CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI. GUIDA ANIT DI APPROFONDIMENTO TECNICO.*

Perino, P. M. (s.d.). *DISPENSE CORSO 2020-2021.*

Spertino, F. (2019). *CONVERSIONE FOTOVOLTAICA DELL'ENERGIA.*

WIRED.IT. (s.d.). Tratto da:

<https://www.wired.it/article/superbonus-110-costo-edilizia-draghi>

Mario, D. (s.d.). *Le reti di distribuzione. Quaderni Caleffi, 146.*

Mario, D. (s.d.). Gli impianti a pavimento radiante. Quaderni Caleffi, 154.

Report Enea:

https://www.energiaenergetica.enea.it/images/detrazioni/Avvisi/Report_dati_mensili_31_05_22.pdf

Indice delle figure:

grafico 1 nuove costruzioni residenziali e non residenziali 2000-2018 fonte ISTAT	7
grafico 2 Meccanismo Cessione del Credito.....	12
grafico 3 Titoli edilizi.....	16
grafico 4 risultati di calcolo dispersioni e ventilazione allo stato di fatto.....	61
grafico 5 dispersioni termiche in funzione del confine	62
grafico 6 carico termico estivo	64
grafico 7 fabbisogno termico di raffrescamento	70
grafico 8 fabbisogno termico di riscaldamento.....	70
grafico 9 ripartizione flusso trasmesso post-intervento.....	81
grafico 10 ripartizione flusso trasmesso stato di fatto	81
grafico 11 confronto potenze termiche pre e post isolamento termico e sostituzione infissi	82
grafico 12 nuova potenza per riscaldamento.....	83
grafico 13 dimensionamento pompa di calore.....	93
grafico 14 stime di autonomia elettrica	94
grafico 15 variazione del costo medio degli interventi	118
Tabella 1 criteri di calcolo prestazioni energetiche UNI/TS 11300.....	24
Tabella 2 Resistenze liminari.....	33
Tabella 3 stratigrafia parete verticale.....	55
Tabella 4 stratigrafia solaio controterra.....	56
Tabella 5 stratigrafia solaio di copertura	57
Tabella 6 infissi	58
Tabella 7 dettagli infissi	59
Tabella 8 dettagli installativi infissi	59
Tabella 9 portate d'aria.....	60
Tabella 10 potenza termica invernale pre.....	61
Tabella 11 carico termico estivo.....	63
Tabella 12 coefficienti di scambio termico	65
Tabella 13 apporti interni	66
Tabella 14 apporti interni latenti.....	67

Tabella 15 apporti solari attraverso superfici trasparenti.....	68
Tabella 16 fabbisogno energetico di riscaldamento.....	69
Tabella 17 fabbisogno energ. di raffrescamento.....	70
Tabella 18 risultati eliminazione ponte termico	80
Tabella 19 verifica componenti elettrici d'impianto FV	89
Tabella 20 requisiti tecnici PDC.....	95
Tabella 21 risultati di calcolo pavimento radiante.....	103
Tabella 22 dettaglio sperpentine.....	103
Tabella 23 perdite di carico anelli pavimento radiante	105
Tabella 24 perdite concertate	106
Tabella 25 perdite di carico nella rete di distribuzione	109
Figura 1 DM 26/06/2015 - Ambiti di Applicazione.....	22
Figura 2 bilancio energia sensibile	27
Figura 3 bilancio energetico estivo	32
Figura 4 campi d'applicazione UNI TS 11330 parte 1 e 2.....	44
Figura 5 Sottosistemi impianto di riscaldamento.....	46
Figura 6 Pdf Tavola di piano Crispiano	48
Figura 7 Planimetria del Piano Terra	50
Figura 8 imputazione dati generatore UNI TS 11300-2	71
Figura 9 imputazione dati impianto di distribuzione UNI TS 11300-2.....	72
Figura 10 ponti termici modellazione FEM UNI TS 11300-2	79
Figura 11 nuovo carico termico estivo di progetto	84
Figura 12 impianto fotovoltaico.....	85
Figura 13 Guasto a terra di entrambi i poli di un modulo FV.....	87
Figura 14 schema elettrico unifilare.....	88
Figura 15 CR pompa di calore.....	92
Figura 16 schema di centrale.....	95
Figura 17 distribuzione temperatura dell'aria a seconda della tipologia di terminali di emissione	96
Figura 18 confronto tra impianti di emissione.....	97
Figura 19 stratigrafia del pavimento radiante.....	100
Figura 20 foglio di calcolo pavimento radiante	102
Figura 21 layout impianto radiante	104
Figura 22 schema collettori.....	106
Figura 23 rete di distribuzione.....	107
Figura 24 punto di funzionamento circolatore.....	109

Figura 25 layout impianto a ventil convettori.....	110
Figura 26 imputazione dati solare termico	111
Figura 27 classe energetica pre e post-intervento.....	117