POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in *Ingegneria energetica e nucleare*

Tesi di Laurea Magistrale

Termofisica dell'edificio con analisi del complesso R-8 in San Sicario alto. AUDIT energetico e fattibilità Superbonus 110%.

Relatore: Professore Marco Carlo Masoero (DENERG)

Candidato: Sgnaolin Edoardo

Anno Accademico 2020/2021

Indice

INTRODUZIONE *4*

ANALISI TERMOFISICA *6*

1.1 L'involucro edilizio **6**

1.1.1 Involucro opaco 10

1.1.2 Involucro trasparente 15

1.2 L'inerzia termica **18**

1.3 L'isolamento e gli isolanti termici **22**

1.4 Normativa tecnica **29**

1.5 Flussi scambiati **33**

1.6 Bilancio **41**

STATO DI FATTO DEL COMPLESSO *49*

2.1 Struttura e zona climatica **49**

2.2 Il sopralluogo **51**

2.3 Impianto di riscaldamento e layout **54**

LA DIAGNOSI ENERGETICA *57*

3.1 Il software: Edilclima **57**

3.2 Zonizzazione, piante e CAD **59**

3.3 Stratigrafia **61**

3.4 Risultati fabbricato ed energia primaria **63**

3.5 Attestato di prestazione energetica **66**

SUPERBONUS 110% *71*

4.1 Come usufruirne e di cosa si tratta **71**

4.2 Scenari proposti **74**

4.3 Studio di fattibilità ed analisi economica generale **75**

IMPIANTI DA INSTALLARE E VALUTAZIONI *78*

5.1 L'energia solare **78**

5.2 Impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria **82**

5.3 Ipotesi sperimentale di sistema ibrido e risultati **92**

CONCLUSIONI *109*

ALLEGATI SCENARI PROPOSTI *114*

Bibliografia *120*

Ringraziamenti *122*

INTRODUZIONE

Durante il secondo anno del mio percorso di Ingegneria magistrale in Ingegneria energetica e nucleare ho avuto modo di svolgere un tirocinio curricolare, presso lo studio di Ingegneria NOSMET, con a capo l'Ingegner Aiassa, nel quale ho avuto la possibilità di apprendere diverse cose sia in ambito didattico che lavorativo. Proprio durante questo periodo si è presentata un'opportunità che mi ha indotto alla scelta della seguente tesi magistrale: è stata infatti presentata allo studio NOSMET una richiesta per un AUDIT energetico di un intero complesso residenziale e la cosiddetta legge 10/91 (nata col proposito di regolamentare il settore termotecnico, stabilendo i limiti per i consumi di energia termica ed elettrica degli edifici, sia in caso di nuova costruzione che in caso di interventi su edifici esistenti) per stabilire l'eventuale fattibilità del Superbonus 110%.
In questa tesi, quindi, saranno esposti i contenuti, le valutazioni, le possibilità e le relative conclusioni energetiche ed economiche che sono emerse dall'AUDIT energetico svolto e inoltre gli scenari che saranno proposti all'amministratore e, chi di dovere, per poter eventualmente usufruire delle agevolazioni fiscali del superbonus del 110%. Nel corso della stessa sarà anche dato risalto al superbonus, cos'è, come si può ottenere, quali sono i requisiti e molto altro ancora. L'emergenza sanitaria causata dalla pandemia globale del Covid 19 ha fatto si che le forti misure di incentivi energetici, già messe in atto da Unione europea e comunque dall'Italia, fossero ulteriormente rafforzate, andando incontro allo stesso tempo alle imprese edili e non già fortemente colpite, ai privati e alla necessità di una riqualificazione energetica di un settore che è sempre più incidente in quanto a consumi, nell'era moderna.
Il complesso residenziale che prende il nome di R-8 (a cui faremo riferimento per semplicità nel corso della tesi) è situato nella frazione di San Sicario alto (comune di Cesana Torinese) ed è composto da tre blocchi (A, B, C) ognuno dei quali occupati da appartamenti di tipo residenziale seppur con abitazione saltuaria, in quanto quasi nessuno dei condomini è residente in loco (San Sicario alto conta poche decine di abitanti) ma negli svariati periodi dell'anno questi appartamenti sono abitati. Il fatto di essere un'abitazione saltuaria va comunque presa in considerazione per i carichi energetici e molto altro come sarà spiegato nel corpo della tesi.
Il complesso è teleriscaldato ad opera dalla società Metan Alpi Sestriere che si occupa appunto del teleriscaldamento di vari territori montani del Torinese e San Sicario alto in particolare è servito dall'impianto di teleriscaldamento e cogenerazione di San Sicario che ha una lunghezza di rete di 4 km circa.
La contabilizzazione del calore, tra le altre, è stata fatta anni fa sempre dallo stesso studio, essa era infatti diventata obbligatoria in seguito al decreto legislativo numero 102/2014 su direttiva europea circa l'efficienza energetica che impone l'adozione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore individuale che imponeva a tutti gli utenti di mettersi in regola entro il primo gennaio 2017.
Ci occuperemo sostanzialmente circa una possibile riqualificazione del complesso dal punto di vista meramente termico, né illuminotecnico né acustico ecc.
Per svolgere questo lavoro ci serviremo di *Edilclima,* un software all'avanguardia per la progettazione degli impianti e dell'isolamento termico degli edifici, di uso quindi termotecnico e impiantistico, per la valutazione e per la verifica dell'osservanza dei vincoli di legge.
Eseguiremo uno scrupoloso lavoro di progettazione e inserimento di tutti i parametri richiesti dal software quali composizione dell'involucro, stratigrafie, presenza di aggetti e conseguenti ombreggiamenti, superfici lorde, nette, volumi e quanto altro, coadiuvati da un architetto dello studio NOSMET. Infine, *Edilclima* ci restituirà l'APE (ossia l'attestato di prestazione energetica dell'intero edificio o dalle varie unità immobiliare) con la classe energetica del complesso. Potremo finalmente valutare come fare il salto di due classi richiesto per usufruire del superbonus. Sarà comunque data nel corso della tesi una spiegazione più dettagliate del software e del suo uso.
Nell'ultima parte della tesi (sperimentale) saranno analizzate eventuali proposte di sostituzione dell'impianto di riscaldamento attuale con un sistema ibrido a pompe di calore con caldaie a condensazione e, magari, un solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria, ricordando però che ci troviamo in una località montana quindi molto fredda e questo può comportare numerose difficoltà come vedremo in seguito.

Valutazioni energetiche su edifici di datata costruzione e messa in atto di migliorie e riqualificazioni sono sempre più, attività del giorno, poichè, come ben noto, dagli ultimi anni del XX secolo ad oggi si sta finalmente iniziando a dare importanze a tematiche di inquinamento ambientale, surriscaldamento globale e altri effetti negativi della pressione dell'uomo sulla natura che hanno portano al cosiddetto *Climate Change*, fonte oggi, anche discordante, di molti dibattiti internazionali; molti accordi sono stati presi a livello internazionale su questi temi quali i vari protocolli di Kyoto, Montreal, gli accordi di Parigi e altri che impongono vincoli da rispettare a tutte le nazioni partecipanti su svariati tipi di emissioni. Le emissioni sono letteralmente esplose a partire dalla seconda metà del XX secolo e l'incremento della concentrazione di CO_2 in atmosfera, il principale tra i gas climalteranti, ha un notevole impatto sull'andamento delle temperature. Proprio per venire incontro a questo problema da diversi anni, in Europa e in Italia nel nostro caso, sono state adottate politiche di forte incentivazione all'installazione e quindi all'uso di fonti rinnovabili (vedi conto energia per produzione di energia elettrica) o a riqualificazioni energetiche dove lo stato incentivava (e sta tutt'ora incentivando) a sostituire vecchi impianti con altri più moderni con rendimenti molto superiori e "più green", quali ad esempio caldaie a condensazione o pompe di calore; la detrazione fiscale è stata innalzata per molti interventi di riqualificazione nel 2013 fino al 65% della spesa (attuale superbonus a parte). Solo l'1% circa del parco edilizio attuale consiste in nuove costruzioni e sono più del 50% delle attuali le unità immobiliare costruite prima di tutte le riforme energetiche, da qui le sempre più crescenti e rinnovate riforme per far si che le abitazioni vengano modernizzate dal punto di vista energetico al fine di risultare meno impattanti.

Un aspetto direttamente collegato a questo e che sarà centrale nel corso della tesi, è la riduzione delle dispersioni della struttura mediante coibentazioni di coperture, strutture opache e un'eventuale sostituzione di serramenti e infissi. Tutte queste attività porteranno ad una riqualificazione energetica globale del complesso da cui deriveranno due conseguenze di prima importanza: un miglioramento ecologico, rendendo meno impattante la struttura che consumerà meno e meglio ed un risparmio importante dal punto di vista economico con un ritorno d'investimento che andremo ad analizzare.

Circa un terzo dei consumi finali di energia in Italia riguarda usi civili e il 70% circa riguarda usi termici che a sua volta comprende un 60% per il riscaldamento e un 10% per produzione di acqua calda sanitaria, quindi il contributo del riscaldamento e del comfort termico più in generale è molto impattante sul libretto energetico italiano.
La diagnosi energetica è una componente chiave all'interno di un programma di efficienza energetica e la sua importanza nasce dal fatto che viene utilizzato per stabilire dei parametri per le misurazioni da effettuare; è quindi un lavoro che può essere fatto solo da specialisti, i cosiddetti certificatori energetici, ed è normata UNI CEI EN ISO 50001:2011 "*Sistemi di gestione dell'energia - Requisiti e linee guida per l'uso*" che è la versione italiana della norma internazionale ISO 50001 quindi resa unificata e uno sbagliato uso o errori possono avere conseguenze penali anche molto gravi.
La norma specifica i requisiti per creare, avviare, mantenere e migliorare un sistema di gestione dell'energia. L'obiettivo di tale sistema è di consentire che un'organizzazione persegua, con un approccio sistematico, il miglioramento continuo della propria prestazione energetica comprendendo in questa l'efficienza energetica nonché il consumo e l'uso dell'energia. L'edizione attualmente in vigore è di settembre 2018.
Nel corso della tesi andremo quindi a spiegare quali siano, in termini energetici, le caratteristiche termofisiche degli edifici, le loro criticità e come si possano superare, giungendo ai risultati che emergono in seguito alle diagnosi energetiche di rito. Dopo una spiegazione generale della termofisica dell'edificio andremo ad analizzare in dettaglio il nostro caso studio, dopo averne presentato lo stato di fatto e, in seguito, riporteremo dettagliatamente le nostre proposte per la riqualificazione traendone le relative conclusioni. Il tutto sarà esposto con uno spirito sia teorico e didattico, rielaborando i concetti studiati e acquisiti al Politecnico che da un costante risvolto pratico e lavorativo in quanto questo incarico è stato proprio svolto dallo studio durante il mio periodo di stage e quindi eseguito con minuzia e professionalità.

CAPITOLO 1

ANALISI TERMOFISICA

1.1 L'involucro edilizio

Il concetto chiave per quanto riguarda l'analisi delle prestazioni energetiche è la termofisica, in un contesto più generale e globale si potrebbe studiare anche ciò che riguarda l'acustica, l'illuminotecnica, la qualità dell'aria e la ventilazione, ma questi aspetti saranno da noi solo minimamente trattati a discapito dei flussi in entrata e uscita, tramite le varie tipologie di dispersione, dell'energia termica. La termofisica è quindi la disciplina che studia gli scambi di energia termica in relazione alle proprietà fisiche dei materiali.
Sappiamo che un corpo caldo trasmette parte della sua energia ad uno freddo finché non si stabilisce un equilibrio termico e quest'energia in transito è chiamata calore, l'obiettivo è quello di evitare che questo flusso termico dissipato sia elevato, al fine di ridurre i consumi dell'edificio.
Quando l'applicazione concerne in particolare gli scambi di energia termica tra un edificio e l'ambiente circostante, si parla di termofisica dell'involucro edilizio, quest'ultimo risulta essere la superficie di controllo delimitante il sistema termodinamico e va ad influire sull'entità e sulla quantità dei flussi di energia scambiati tra edificio ed ambiente esterno. Questo concetto deriva da una rielaborazione della vecchia definizione di "chiusure", che erano considerate differentemente tra di loro e come singole unità: pareti esterne orizzontali, verticali, infissi ecc.
L'involucro assume una parte fondamentale poichè in quest'ottica diventa un'interfaccia dinamica in continua ed attiva interazione con i fattori climatici esterni e su cui si può andare ad agire per rendere la struttura green o quantomeno a basso impatto ambientale.
L'efficienza dell'involucro è data dalla capacità di reagire in maniera flessibile alla variabilità delle condizioni ambientali, minimizzando le dispersioni termiche nel periodo invernale e limitando l'innalzamento della temperatura in quello estivo, con il conseguente miglioramento del comfort abitativo.
Nel processo di ricerca e sperimentazione tecnologico-architettonica l'involucro edilizio si è evoluto da elemento-barriera protettivo a complesso sistema filtro in grado di ottimizzare le interazioni tra microambiente esterno ed interno come vedremo nelle stratigrafie di R-8.

Negli ultimi anni si parla sempre più di involucri passivi, questi ultimi grazie ai soli apporti di calore gratuiti (quali quelli solari o di metabolismo o di apparecchiature) supportati da una corretta esposizione, a seconda della posizione geografica del luogo, vanno a coprire buona parte (se non tutta) del fabbisogno energetico, in particolare termico, di un'abitazione, riducendo il consumo di energia primaria non rinnovabile necessaria per la climatizzazione e quindi abbassando radicalmente l'impatto ecologico della casa. *Passivhaus* (il termine tedesco con cui si è soliti definirle) è uno standard costruttivo internazionale che mira al raggiungimento del massimo benessere abitativo senza l'apporto di fonti energetiche esterne, o utilizzandole in forma veramente minima. Quindi una casa passiva non avrà un impianto di riscaldamento convenzionale con caldaia e termosifoni. Esse garantiranno altissimo risparmio economico, altissima efficienza e, non ultima, altissima qualità della vita; queste abitazioni stanno trovando sempre più riscontro grazie anche al fatto che si riesce a far coincidere interessi ecologici ed economici, il che alletta sempre molto il cittadino.
Detto questo, noi però non ci soffermeremo su questa tipologia, specialmente poichè sarebbe impossibile da applicare al nostro caso cioè la riqualificazione di un complesso che, per di più, si trova in una zona particolare, cioè in fascia climatica F.

Concetti chiave per quanto riguarda la termofisica dell'involucro edilizio sono l'isolamento termico e l'inerzia termica, migliorarli comporterà una riduzione del fabbisogno necessario e quindi dei relativi consumi energetici.
L'isolamento termico ovvero la cosiddetta coibentazione dell'involucro è l'insieme delle operazioni volte a ridurre il flusso termico scambiato tra due zone (in particolare ambiente interno e ambiente esterno o zone non riscaldate) a differenti temperature, il suo scopo è quindi contenere il calore all'interno dell'abitazione durante l'inverno. La normativa fissa delle temperature di set point interne per i casi estivi e invernali e quindi più la temperatura esterna è lontana da questa più il flusso di calore in uscita (o entrata) è elevato, isolando si cerca di mitigare questo effetto.
Si può dire che l'isolamento termico è l'attitudine del componente a ridurre la trasmissione del calore e questo è ovviamente tanto più importante in climi freddi, questo concetto darà luogo a quello di trasmittanza termica.
Si può isolare una struttura tramite le più svariate metodologie che in seguito andremo ad elencare, ma in ogni caso riprenderemo in modo molto più approfondito il tema dell'isolamento termico, centrale nella nostra tesi.
L'inerzia termica invece consiste nell'attitudine di un componente di immagazzinare calore smorzandone l'intensità e sfasandone il rilascio nel tempo, nell'edificio si hanno sollecitazioni esterne (escursioni termiche giornaliere) e interne (apporti interni variabili).
Quanto più alta sarà l'inerzia termica, tanto minori saranno i consumi energetici e migliore sarà il comfort interno, aumentare la massa di un edificio ne aumenta il prezzo ma migliora significativamente l'inerzia termica e quindi il ritardo con cui il calore viene trasmesso; materiali aventi una buona inerzia termica devono essere capaci di rallentare il flusso di calore estivo verso l'interno ossia quando la temperatura dell'aria è molto calda e ad immagazzinare calore nei periodi invernali per poterlo poi rilasciare verso l'interno.

In base a ciò che abbiamo detto l'isolamento è ciò su cui si deve fare uno studio più approfondito per quanto riguarda abitazioni collocate in zone geografiche con climi rigidi ed in ogni caso in riferimento alla stagione invernale, al contrario l'inerzia termica è l'aspetto che la fa da padrone in abitazione site in climi caldi (dove bisogna costruire quindi edifici massivi) e comunque in situazioni estive, mentre in zone temperate bisogna arrivare a un giusto compromesso tra le due per garantire un comfort termico durante tutto l'anno.
Sicuramente tutto ciò è vero ma bisogna sempre e comunque tenere presente tutti e due gli aspetti per una corretta diagnosi, è altresì vero che i software, sempre più sviluppati, su cui si fa affidamento per redimere attestati di prestazioni energetiche e relativi scenari di riqualificazione prendendo sempre in considerazione tutti i fattori e quindi si ha costantemente una visione globale dettagliata del quadro in essere.

In questo paragrafo daremo solo una breve definizione dei parametri che caratterizzano questi due fattori per poi riprenderli più dettagliatamente.

Per quanto riguarda l'isolamento termico l'attenzione è posta sulla conducibilità e trasmittanza termica:

- La conducibilità termica o conduttività (indicata con λ) è la potenza termica (energia termica nell'unità di tempo) che attraversa una parete di spessore unitario, a causa di un gradiente di temperatura unitario tra le due facce, in condizioni di regime stazionario. L'unità di misura nel SI è il W/(mK). Essa rappresenta l'attitudine di una sostanza a farsi attraversare da un flusso termico conduttivo e dipende dalla natura del materiale (e ad esempio la sua porosità che blocca i fononi responsabili della conducibilità), dalla sua temperatura ma non dalla sua forma.
  La norma UNI 1035 fornisce valori di conduttività per materiali da costruzione.
- La resistenza termica è una grandezza (indicata con R) che rappresenta la difficoltà del calore nell'attraversare un determinato materiale, se questo avrà uno spessore elevato la resistenza termica risulterà alta. Il suo valore è ottenibile dal rapporto tra lo spessore del materiale ed il livello di conducibilità termica che esso presenta. L'unità di misura nel SI è K/W.
  Conoscere il valore di resistenza termica dei vari materiali è importante in edilizia, essa è pari alla somma delle singole resistenze termiche dei materiali utilizzati, compresi i rivestimenti interni ed esterni; per esempio, in una parete di casa, si ha la contemporanea presenza di intonaco, aria, mattoni interni e mattoni esterni, e la resistenza termica della parete è data dalla somma delle resistenze di questi 4 strati.

- La trasmittanza (indicata con U) è la grandezza fisica che viene utilizzata per calcolare dispersioni termiche attraverso le superfici dei vari componenti (che siano essi opachi o trasparenti, anche se cambierà la formula di calcolo). La sua unità di misura è il W/(m²K) ed esprime quindi in termini fisici il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari a 1ºC. UNI EN ISO 10077-1:2018 e UNI EN ISO 10077-2:2018 normano le formulazioni della trasmittanza sui vari componenti, vedremo più avanti le rispettive formule di calcolo. Tanto più è bassa, minore sarà la dispersione termica di quel componente; attraverso questo parametro si può avere quindi un'idea complessiva delle dispersioni e conseguentemente dell'isolamento termico di un edificio.

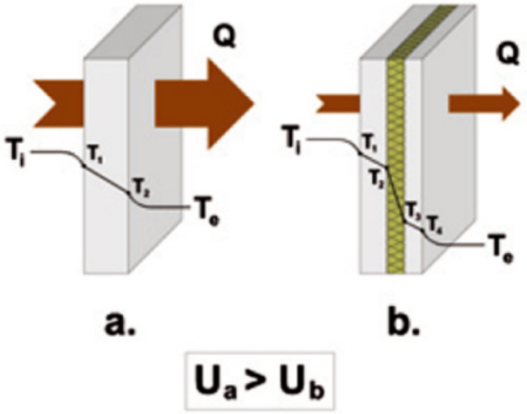


Figura 1-Trasmittanza termica sulla base di due stratigrafie

Parlando di inerzia termica (e quindi relativi al regime non stazionario) di un edificio invece i principali parametri sono:

- La massa termica frontale (o superficiale) è la massa della parete per unità di superficie frontale e la capacità termica frontale è l'energia termica immagazzinata nella parete per ogni grado di aumento della sua temperatura media e riferita alla superficie frontale.
- La diffusività termica, indice del tempo impiegato dal calore per attraversare una struttura, la sua unità è il m²/s. In sostanza, la diffusività è il rapporto tra la conducibilità termica di un materiale e la sua capacità termica volumica, data dal prodotto della sua densità per il calore specifico.
- Il fattore di attenuazione rappresenta il rapporto tra la variazione di temperatura esterna ed il flusso che sarebbe necessario somministrare all'interno per mantenere costante la temperatura interna, detto in maniera più intuitiva è il rapporto tra il valore dell'ampiezza dell'onda termica esterna e quello dell'ampiezza dell'onda termica interna all'ambiente abitativo. Risulta quindi una sorta di indice delle dispersioni termiche o, meglio, dei consumi. Esso delinea quindi la possibilità di ridurre il dimensionamento dell'impianto termico di condizionamento estivo dell'abitazione. Valori buoni del fattore di attenuazione devono essere inferiori a 0,15 e preferibilmente inferiori a 0,06
- Lo sfasamento termico temporale, misurato in ore, è la differenza di tempo fra l'ora in cui si registra la massima temperatura sulla superficie esterna della struttura, e l'ora in cui si registra la massima temperatura sulla superficie interna della stessa (il calore viene pian piano rilasciato alla parete interna); quest'ultimo parametro è di primaria importanza per abitazioni collocate in aree geografiche molto calde e per garantire un comfort termico estivo non deve essere inferiore alle 10 ore per far sì che il calore entri nell'abitazioni quasi esclusivamente nelle ore notturne, durante le quali però è facilmente smaltito con il ricambio d'aria. Soluzioni massive e con un buon isolamento garantiscono alti valori di questo parametro.
- La trasmittanza termica periodica ($Y_{i,e}$) rappresenta la densità di flusso termico ceduto all'ambiente interno per una variazione della temperatura esterna avente ampiezza unitaria, con temperatura interna costante, la sua unità di misura è il W/(m²K). È un parametro che esprime la capacità di un componente edilizio di attenuare e sfasare nel tempo il flusso termico proveniente dall'esterno che lo attraversa nell'arco delle 24 ore e quindi gioca un ruolo importante nei confronti dei carichi termici esterni che attraversano l'involucro. La trasmittanza termica periodica e le altre proprietà termiche in regime dinamico si calcola con la norma tecnica UNI EN ISO 13786. La trasmittanza termica

periodica è stata limitata a 0,10 W/(m^2K) ed è alternativa al limite sulla massa superficiale (230 kg/m^2 per zone in cui la radiazione solare sul piano orizzontale è superiore a 290 W/ m^2 dei componenti edilizi per il contenimento dei consumi estivi). La $Y_{i,e}$ rappresenta quindi un buon parametro di controllo e di mitigazione dei carichi termici provenienti dall'esterno.

- La capacità termica areica interna periodica misurata in kJ/m^2K rappresenta la capacità di un componente edilizio di accumulare i carichi termici provenienti dall'interno e quindi "scaricare" il calore interno prodotto durante la stagione estiva. Più la Cip ha un elevato valore (massa posta verso l'interno), maggiore è l'accumulo termico. L'accumulo dei carichi termici interni da parte di una parete permette di mantenere le temperature superficiali su livelli accettabili, cioè con oscillazioni e valori limitati nell'arco della giornata, a favore di comfort termico e consumi per climatizzazione estiva.

Sostanzialmente per avere alte prestazioni energetiche ed elevato comfort, sarà necessario realizzare e progettare stratigrafie in cui vengano impiegati materiali caratterizzati da una bassa diffusività termica, quindi bassi valori di conduttività termica, alta densità e alto calore specifico e spessori adeguati, per garantire un buon isolamento sia nel periodo invernale che estivo. Tutte le proprietà saranno analizzate in dettaglio nei prossimi paragrafi.

Lo scopo della nostra analisi è quello di rendere l'edificio meno impattante dal punto di vista energetico e allo stesso tempo dare una condizione di comfort termo-igrometrico agli abitanti, cioè quella situazione in cui il soggetto esprime soddisfazione riguardo al microclima interno e ciò avviene quando si raggiunge una neutralità termica ossia quando il calore prodotto dall'organismo per effetto del metabolismo è pari al calore scambiato con l'esterno, senza un eccessivo impegno del sistema di termoregolazione corporea, detta in parole povere, quando l'abitante non ha né caldo né freddo. Incide sulla situazione di comfort anche il tasso di umidità e per questo motivo ci occuperemo anche di soluzioni che lo mantengano entro delimitati livelli, impiegando barriere al vapore o quant'altro, che contengano la diffusione del vapore nella parete; in ogni caso, buona parte dell'umidità in situazioni normali deriva dalle attività domestiche ed è smaltibile mediante un'opportuna ventilazione che sia naturale o meccanica. Per esempio, le costruzioni massive in laterizio garantiscono una buona diffusività del vapore dall'interno verso l'esterno, tale da far diffondere liberamente il vapore all'interno della parete stessa in caso di aumento di umidità nell'ambiente, creando così un effetto di regolazione igrometrica naturale nei confronti dell'umidità interna.

In figura sono mostrate le condizioni entro le quali vi sia comfort termo-igrometrico da parte degli abitanti e dove non vi è.

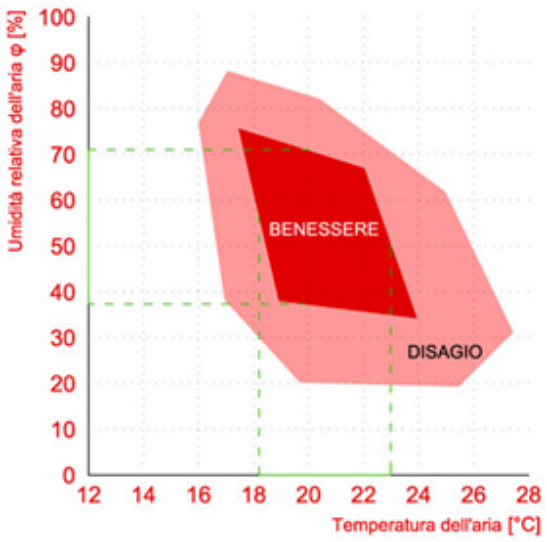


Figura 2-Grafico comfort termo igrometrico microclima ambiente

Tornando all'involucro esso viene distinto in: opaco e trasparente che ora andremo ad analizzare.

1.1.1 Involucro opaco

L'involucro opaco è costituito da tutti quei componenti non trasparenti quali pareti, strutture orizzontali e coperture.
Esso partecipa al bilancio termico poichè è attraversato da flusso termico ed immagazzina e rilascia calore (funzione di accumulo).
La trasmissione del calore è causata dalla differenza di temperatura tra le due estremità della parete: quella interna a contatto con l'aria calda a temperatura ambiente e quella esterna a contatto con l'aria fredda esterna, questo logicamente in un ipotetico caso invernale che sarà la condizione praticamente sempre ipotizzata ai fini del nostro lavoro.
L'accumulo di calore invece deriva dalla variazione nel tempo di sollecitazioni termiche quali radiazione solare e temperatura. Si potrebbe quindi affermare che la trasmissione è un aspetto istantaneo o comunque stazionario dove in un dato istante vi è un delta di temperature e ne consegue un trasferimento di energia termica mentre l'accumulo è visto come la componente termica dinamica visto che le sollecitazioni variano incontrastabilmente e proprio per questo motivo ci si servirà di parametri termici dinamici.
I materiali da costruzione devo essere scelti dati i loro valori di conducibilità termica, densità e calore specifico che sono tabulati e quindi disponibili in ogni momento.

La trasmittanza termica diventa l'elemento principale per quanto riguarda la valutazione del valore di isolamento dei componenti dell'involucro. Il valore di trasmittanza di un componente opaco, che ricordiamo essere l'inverso della resistenza termica come si vede dall'equazione, si calcola come:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \sum_{j=1}^{n1} \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_{i=1}^{n2} R_i}$$

Equazione 1-Trasmittanza termica componenti opachi [W/(m²K)]

Dove:

- h_i e h_e sono i coefficienti di scambio termico liminare interno ed esterno, nel SI W/(m²K), da UNI EN ISO 6946
- R_i è la resistenza termica del i-esimo elemento non omogeneo nel SI (m²K)/W , da UNI 10355 e UNI EN ISO 6946 e/o di intercapedini d'aria
- λ_j è la conducibilità termica del j-simo elemento, nel SI W/(mK) UNI 10351
- d_j è lo spessore del j-simo elemento

Salta subito all'occhio che, sostanzialmente, la trasmittanza dipende dalla conducibilità dei materiali della parete a dagli spessori.

I valori di resistenza termica superficiale interna ed esterna $\frac{1}{h_i}, \frac{1}{h_e}$ non sono altro che resistenze aggiuntive dovute agli strati d'aria aderenti alle superfici e si usano valori standardizzati tabulati in assenza di informazioni sulle condizioni a contorno del sistema e per flussi inclinati fino a ±30° sul piano orizzontale.
Nel caso di pareti multistrato (quindi il caso dell'edilizia con scambi in serie e non in parallelo) si sommano gli inversi dei contributi, come vediamo dall'equazione 1.

TABULATI	DIREZIONE FLUSSO TERMICO		
	ASCENDENTE	ORIZZONTALE	DISCENDENTE
$\frac{1}{h_i}$	0,10	0,13	0,17
$\frac{1}{h_e}$	0,04	0,04	0,04

È consigliabile utilizzare i valori per flusso termico orizzontale ed inoltre si ricorda che esse vanno applicate a superfici a contatto con l'aria, non vanno considerate se le superfici sono a contatto con altri materiali.

Se le per le resistenze di materiali omogenei basta calcolare il rapporto tra spessore e conducibilità (il terzo termine a denominatore nell'equazione), per le resistenze di materiali non omogenei, ovvero con proprietà termiche non uniformi, nei particolari casi dove i valori non siano disponibili, i produttori ne devono fornire la conduttanza da cui ricavare la resistenza R=1/C.

Il discorso della trasmittanza va analizzato più dettagliatamente qualora si presentino intercapedini d'aria. Le intercapedini sono spazi vuoti compresi tra due elementi verticali o orizzontali di un edificio ma non abbastanza grandi per essere abitabili o utilizzabili per scopi strutturali, esse possono essere chiuse se non vi è contatto diretto con l'aria esterna e l'aria ristagna all'interno dello spazio senza mescolarsi con quella esterna o ventilate se c'è un contatto diretto con l'aria esterna.
La loro presenza fa sì che si ha scambio per irraggiamento e convezione oltre che per conduzione, lungo la parete multistrato, e la norma di riferimento per valutarle è la UNI EN ISO 6946; calcolarne la resistenza usando il rapporto spessore su conducibilità comporterebbe quindi una sovrastima della sua resistenza termica. La resistenza termica dell'intercapedine cambia ovviamente con lo spessore di quest'ultima e a seconda che sia:

- Non ventilata, R è tabulato ma dato tipico spessore intercapedine (>=25 mm) attorno a 0.18 m^2K/W
- Fortemente ventilata, sono quelle intercapedini le cui aperture verso l'ambiente esterno sono: > 1500 mm^2 per metro di lunghezza per le intercapedini d'aria verticali o > 1500 mm^2 per metro quadrato di superficie per le intercapedini orizzontali. La resistenza termica totale si ottiene trascurando la resistenza termica dell'intercapedine d'aria e di tutti gli strati che separano l'intercapedine dall'ambiente esterno e includendo una resistenza termica superficiale esterna corrispondente all'aria immobile.
- Leggermente ventilata, quelle intercapedini per cui $500<A_{ventilata}\leq1500$ mm^2 per ogni metro per intercapedini d'aria verticali e $500<A_{ventilata}\leq1500$ mm^2 per ogni metro quadrato per intercapedini d'aria orizzontali. La resistenza termica è data dalla formula

$$R = \frac{1500 - A_v}{1000}\ R_{non\ ventilata} + \frac{A_v - 500}{1000}\ R_{fortemente\ ventilata}$$

Il processo di trasmissione del calore attraverso le intercapedini, si attua per irraggiamento tra le opposte superfici dell'intercapedine e per convezione termica. Si ricorda che mentre lo scambio per irraggiamento non risente dell'orientazione dell'intercapedine ma solo dall'emissività delle due superfici affacciate, lo scambio termico per convezione è invece fortemente condizionato dall'orientamento delle superfici. Ad esempio, nelle intercapedini orizzontali, quando il flusso termico risulta diretto verso il basso, la convezione viene ad essere ostacolata da fenomeni di stratificazione dell'aria, per cui il contributo dell'irraggiamento può essere predominante. Nelle intercapedini verticali, invece può risultare particolarmente significativo il contributo dovuto ai moti convettivi.
Questi moti di rimescolamento possono quindi favorire la trasmissione di calore per convezione.
L'intercapedine può costituire quindi una barriera al passaggio di calore ma è necessario che venga ottimizzata al fine di migliorare la prestazione del componente complessivo.

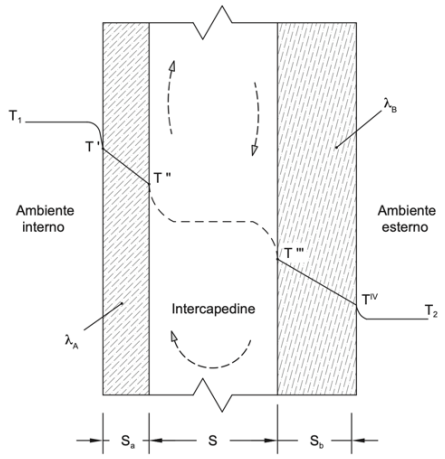


Figura 3-Scenario possibile dell'andamento fisico della temperatura in caso di intercapedine d'aria in parete multistrato

Dopo aver calcolato la trasmittanza termica di un componente (seguendo i procedimenti scritti sopra, a norma di legge) essa va corretta sommandogli un ΔU che tenga conto di vuoti d'aria nello spessore dell'isolante, fissaggi meccanici che attraversano lo strato di isolante e precipitazioni su tetto rovescio. Nel caso (molto sovente) che il ΔU sia inferiore al 3% di U, la correzione può essere trascurata.

In sintesi, la trasmittanza aumenta (e quindi si ha un peggior isolamento dell'involucro) al diminuire dello spessore e all'aumentare della conduttività cioè al diminuire della resistenza termica. Di primaria importanza è quindi la stratigrafia dell'involucro cioè la composizione dei vari strati che vanno a formare le pareti o le coperture, essa va ad influenzare la trasmittanza di un determinato componente. Il compito dell'ingegnere, o di chi per lui, sarà quindi progettare in maniera adeguata le pareti disperdenti per evitare forti dispersioni termiche, ci si riferirà in ogni caso alle varie specifiche tecniche richieste per rientrare nei limiti imposti di legge sui valori di trasmittanze e vari.
Laddove la stratigrafia non sia nota si possono effettuare carotaggi per verificarla, questo è un metodo invasivo che però permette di avere la situazione generale sott'occhio (nel caso del complesso R-8 sono stati effettuati carotaggi per poter fare una diagnosi il più possibile realistica), o utilizzare termoflussimetri che lavorano grazie a sonde di temperatura e piastre poste sulle pareti.

Laddove l'edificio vada a presentare peculiarità si hanno i cosiddetti ponti termici, a causa di essi le dispersioni e quindi le densità di flusso scambiato risultano, nella maggior parte dei casi, maggiori rispetto agli elementi costruttivi adiacenti, generando così punti freddi con diminuzione della temperatura e aumento dell'umidità relativa e avvengono fenomeni quali condensazione superficiale, formazione di muffe, danni al rivestimento e quindi vanno a peggiorare il comfort termico, e non solo, dell'edificio. Essi sono normati secondo UNI EN ISO 10211, che li definisce come parte dell'involucro edilizio dove la resistenza termica, altrove uniforme, cambia in modo significativo.
Ponti termici possono insorgere dove vi sia compenetrazione totale o parziale di materiali con conduttività termica diversa nella sezione dell'edificio, variazioni nello spessore della costruzione, discontinuità geometriche (angoli tra pareti e giunzioni parete pavimento o parete soffitto) o interruzioni dello strato di isolamento.

Un metodo per individuarli è accorrere all'uso di apparecchiature elettroniche, come riportiamo in figura 4 per darne un'idea più evidente. Questa tecnica è chiamata termografia ad infrarossi e ci consente di valutare, in modo istantaneo, il calore (energia termica) emesso per irraggiamento da una superficie.
La termocamera è come una macchina fotografica dotata di particolari sensori in grado di rilevare la temperatura superficiale dei corpi e renderla leggibile in una mappa a falsi colori, esse rilevano radiazioni nel campo dell'infrarosso dello spettro elettromagnetico e compiono misure correlate con le emissioni di queste radiazioni. Vi è quindi una correlazione tra radiazioni nel campo dell'infrarosso e temperatura. Il calore, infatti, può propagarsi in diversi modi, uno di questi è simile alla luce visibile: si chiama radiazione di calore o infrarosso.
Le anomalie nell'emissione delle energie termiche riscontrate tramite la termografia ad infrarossi sono molto

importanti nell'edilizia, soprattutto quando si parla di efficienza energetica, coibentazione e ponti termici. Possono essere utilizzati metodi analitici di calcolo facendo ricordo a software appositi quali ad esempio Edilclima dove ci si serve dell'abaco dei ponti termici oppure li si può modellare per avere riscontri più precisi utilizzando ad esempio l'estensione chiamata Mold simulator. I ponti termici possono causare un aumento dei consumi energetici, dovuti a un aumento delle perdite di trasmissione, che arrivano in alcuni casi fino al 20-30% delle dispersioni totali dell'edificio.

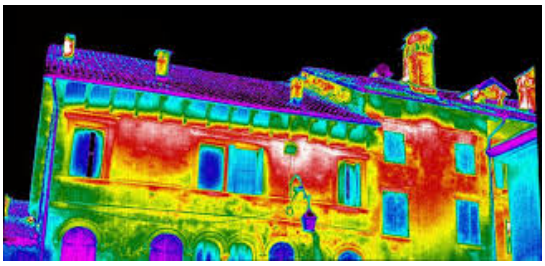


Figura 4-Termografia ad infrarossi su villetta

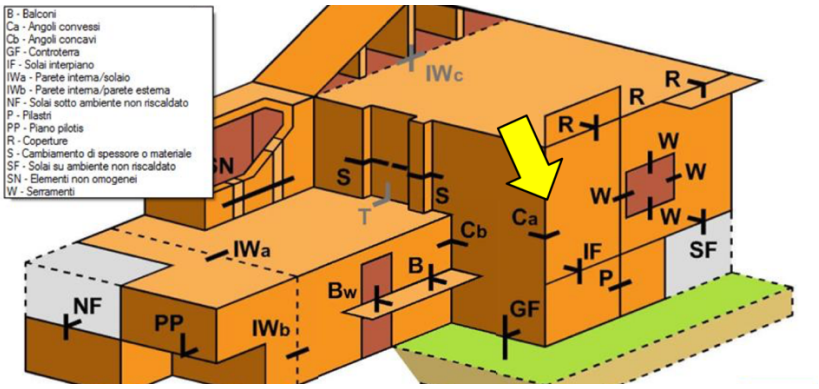


Figura 5-Caratterizzazione grafica ponti termici

Possiamo dividere i ponti termici per tipologia:

- Ponti termici di forma: la deviazione di flusso monodimensionale è dovuta esclusivamente alla geometria
- Ponti termici di struttura: la deviazione di flusso monodimensionale è dovuta alla presenza di un elemento costruttivo di resistenza termica diversa
- Ponti termici di tipo misto: sovrapposizione di un ponte termico di forma con uno di struttura

E per modo di dispersione:

- Trasmittanza termica lineare ψ per la quantificazione delle dispersioni attraverso i ponti termici lineari
- Trasmittanza termica puntuale χ per la quantificazione delle dispersioni attraverso i ponti termici puntuali

Quasi sempre i ponti termici che hanno più rilievo in termine di dispersioni sono quelli lineari (cordoli, travi, pilastri), che hanno una sezione trasversale uniforme in una direzione e sono contraddistinti da un flusso termico monodimensionale, mentre quelli puntuali non presentano sezioni trasversali uniformi in nessuna direzione e sono caratterizzati da un flusso termico tridimensionale sono quasi sempre trascurabili.

L'obiettivo è arrivare ad avere pareti o comunque elementi strutturali a ponte termico corretto come vediamo nell'immagine seguente.

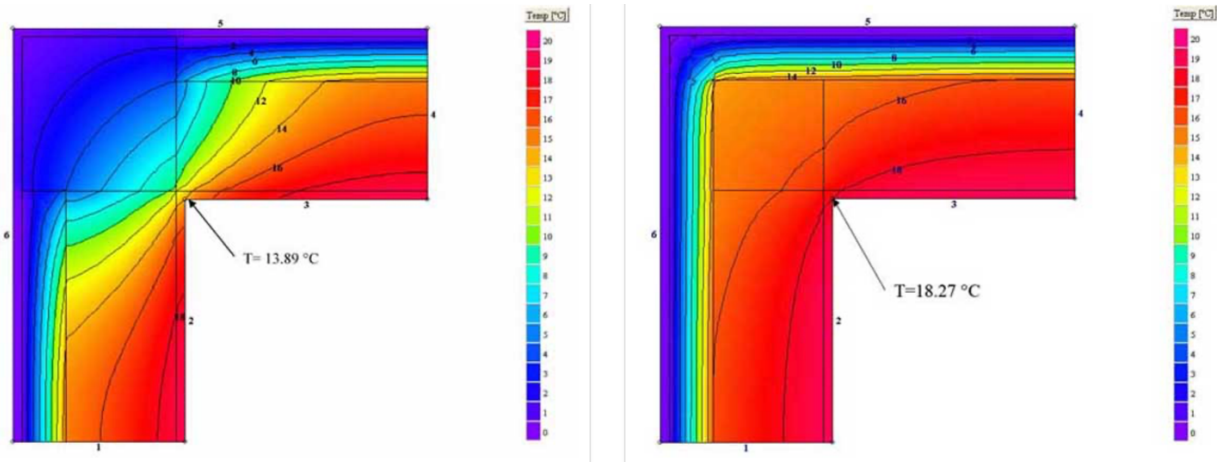


Figura 6-Ponte termico geometrico strutturale non corretto (sx) e corretto (dx)

Per calcolare il flusso disperso a causa del ponte termico si determinano coefficienti di trasmissione lineici che esprimono il flusso termico disperso attraverso le zone singolari per ogni metro di lunghezza e per una differenza di temperatura unitaria. L'incremento di flusso termico rispetto a quello calcolato nell'ipotesi monodimensionale viene concentrato nella singolarità definita da una dimensione lineare. La trasmittanza termica lineare è quindi una grandezza che consente di calcolare il flusso termico addizionale dovuto al ponte termico rispetto al flusso termico monodimensionale calcolato per gli elementi edilizi piani concorrenti e/o costituenti tale ponte termico.

Ψ viene calcolata secondo la norma UNI EN ISO 14683 e si dice che una parete è a ponte termico corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (tratto di parete in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente. In definitiva in figura 7 è illustrato come bisogna comportarsi in caso di ponte termico.

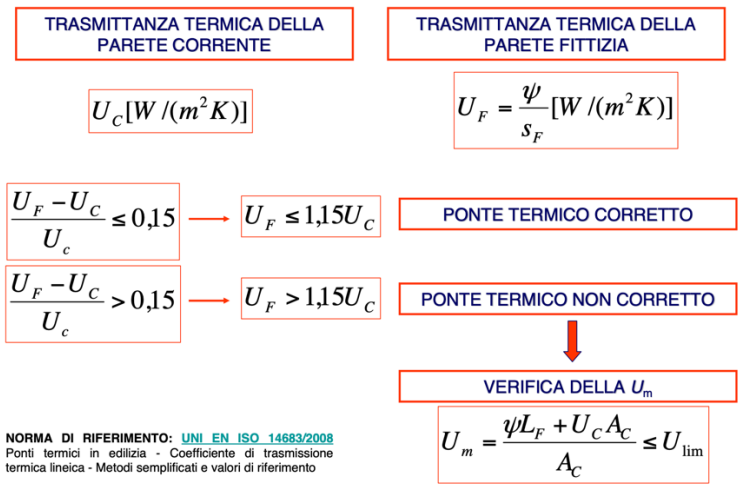


Figura 7-Valutazioni di calcolo sui ponti termici

Per andare a eliminare, o comunque ridurre, gli effetti negativi dei ponti termici e quindi migliorare comfort e ridurre i consumi si deve agire utilizzando, dove necessario, interventi quali la coibentazione ottimale delle parti sporgenti degli edifici e più in particolare vanno eseguiti isolamenti termici a cappotto esterno o

interno, isolamento delle intercapedini o comunque vanno applicati intonaci antimuffa, distanziatori per serramenti.

Particolare attenzione va data alle correzioni dei ponti termici infissi e balconi, punto cruciale spesso sono gli infissi non adeguati, ma possono essere sostituiti da vetri termoisolanti intelaiati in serramenti e strutture con bassa conducibilità termica. Nei balconi la formazione di ponti termici è quasi sempre presente, se il valore del ponte termico risulta troppo elevato conviene demolire la gettata del balcone insieme alla stessa soletta e provvedere a ricostruirla in modo più adeguato.

1.1.2 Involucro trasparente

I componenti trasparenti dell'involucro comprendono finestre e vetrate, le quali sono costituite da molteplici componenti strutturali e sono realizzate con diverse possibilità di materiali tenendo conto della sempre più marcata richiesta di realizzare edifici a basso consumo viste le politiche energetiche. Esse infatti, hanno lo scopo di far interagire l'abitante col mondo esterno permettendogli di vedere la situazione al di fuori dell'edificio, hanno un compito di sicurezza per evitare intrusioni e di piena operabilità da parte dell'utente, ma allo stesso tempo proprio come ogni altro elemento dell'involucro hanno compiti termofisici quali contribuire a garantire un comfort termico e quindi essere di materiali idonei ad isolare termicamente l'ambiente esterno ed allo stesso tempo contribuire alla ventilazione naturale dell'edificio, al controllo della radiazione solare e allo sfruttamento della luce naturale e non per ultima devono garantire un adeguato isolamento acustico. Le vetrate sono, in particolare un elemento architettonico sempre più in voga, anche per permettere di raggiungere le condizioni dei già citati edifici passivi che però non possono fare a caso nostro visto che il complesso studiato si trova in zona climatica F e quindi questa strada non è praticabile, o comunque non lo è solo avvalendosi di componenti finestrati tali da utilizzare al meglio l'energia solare.
Acciaio e vetro sono stati due elementi di fondamentale importanza per edilizia e architettura nel secolo scorso tanto che erano considerati come elemento essenziale per una definizione di bellezza oggettiva dell'edificio ma da quando si sono mossi i primi problemi di livello ambientale si è iniziato a costruire con spirito critico specie per quanto riguarda questioni di impatto ambientali e riduzione, quindi per sprecare meno energia si dovevano trovare nuove soluzioni, fino a venire riutilizzate negli ultimissimi anni, ove le condizioni climatiche lo permettono, per creare complessi edili a impatto ambientale quasi nullo.
I componenti trasparenti logicamente avranno una trasmittanza più elevata di quelli opachi e quindi, isolando meno causeranno una maggior dispersione, essi, inoltre, a differenza delle strutture opache scambiano anche per irraggiamento e inoltre saranno i componenti più preponderanti per quanto riguarda gli apporti solari perciò risultano essere molto importanti ai fini del bilancio energetico e quindi delle prestazioni globali dell'edificio; i metodi di calcolo saranno diversi da quelli per componenti opachi e li riporteremo per capire che influenza avranno i componenti trasparenti sul fabbisogno energetico totale.
Gli interventi di riqualificazione che godono di detrazione fiscale oltre il 50% includevano e includono anche i serramenti che quindi negli ultimi decenni stanno riscontrando una progressiva modernizzazione anche grazie a materiali sempre più innovativi, i componenti trasparenti ricordiamo ancora una volta essere molto importanti perché, se da un lato disperdono calore con più facilità, dall'altro permettono di usufruire degli apporti gratuiti solari e quindi termici e di illuminazione aiutando, se progettate correttamente, a ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio; rientrano anche in detrazione fiscale le schermature solari di determinate unità immobiliare purché solidali all'involucro edilizio, con livelli di prestazione che garantiscano un fattore solare g_{tot}<=0,35 e con orientamenti est-ovest (per chiusure oscuranti invece sono ammessi tutti gli orientamenti).
Se per fattore solare g (o trasmittanza totale di energia solare) s'intende la frazione di energia solare che penetra in un ambiente interno rispetto all'energia solare incidente sulla finestra (fattore solare della vetrata), il g_{tot} è il fattore solare della vetrata in combinazione con la schermatura. Tra i diversi fattori che determinano l'efficienza energetica di una schermatura solare, il g_{tot} è pertanto quello più importante in quanto caratterizza la prestazione globale d'insieme, vetro+schermo.
A livello energetico i componenti trasparenti devono controllare i flussi termici e allo stesso tempo la radiazione solare, come riportato in figura 8.

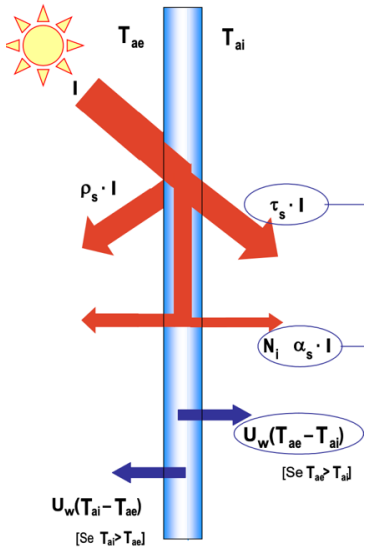


Figura 8- Flussi entranti e/o uscenti dal generico componente trasparente.

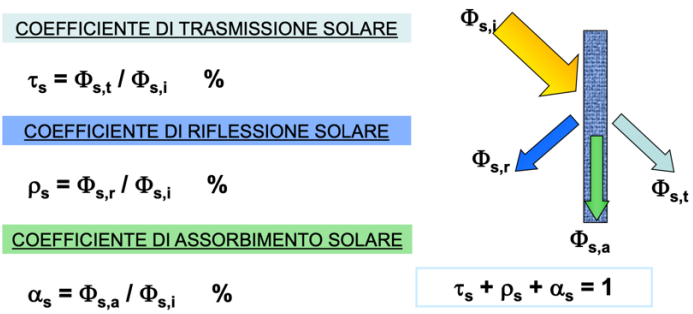


Figura 9- Coefficienti solari

Per quanto riguarda il controllo dei flussi termici dissipati verso l'esterno in regime invernale calcoliamo la trasmittanza termica di finestre, porte e chiusure da UNI EN ISO 10077-1:2007, combinando in parallelo la trasmittanza degli elementi che costituiscono la chiusura, pesandoli rispetto all'area e aggiungendo a questo contributo l'effetto del ponte termico determinato dall'interfaccia vetro-telaio e localizzato in corrispondenza del distanziatore (che viene contabilizzato in presenza di vetri doppi o tripli):

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

Equazione 2-Trassmittanza termica dei componenti trasparenti [W/(m²K)]

Dove:

- U_g è la trasmittanza termica del componente vetrato

$$U_g = \frac{1}{R_{sup,est} + R_{sup,int} + \sum_{i=1}^{n1} \frac{d_i}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^{n2} R_{sup,intercapedine\,j}}$$

le resistenze termiche superficiali sono tabulate a seconda dell'orientamento della finestra e di eventuali trattamenti termici applicati e della loro composizione (doppio vetro ecc.); la resistenza termica delle intercapedini invece aumenta fino ad uno spessore di 15 mm quindi avviene un'inversione di comportamento, infatti, se si superano i 15 mm i moti convettivi nelle

intercapedini della vetrocamera causano un decadimento delle prestazioni a livello di isolamento termico.

- A_g è l'area del componente vetrato
- U_f è la trasmittanza termica del telaio (generalmente tabulata secondo valori standard a seconda della tipologia di telaio), invece analiticamente: $U_f = \frac{1}{R_{sup,est}+R_{sup,int}+R_f}$
- A_f è l'area del telaio
- l_g è il perimetro totale della vetrata
- ψ_g è la 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), valori tabulati a seconda della tipologia (materiale, doppio o triplo vetro ecc.)

Per migliorare l'isolamento dei componenti vetrati si è soliti utilizzare le cosiddette vetrocamere ovvero due o più lastre di vetro separate tra loro da un distanziatore ed ermeticamente sigillate al perimetro, inoltre al loro interno, si può sostituire l'aria, con gas nobili quali argon o krypton caratterizzati da un minore coefficiente di scambio termico rispetto all'aria il che aumenta notevolmente l'isolamento termico.
In tabella riportiamo a scopo indicativo dei tipici valori di trasmittanza termica del componente trasparente dati i valori di quella del telaio, del vetro e data la struttura del serramento.

Tipo di vetrata	U_g [W/(m²×K)]	U_f [W/(m²×K)]												
		0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Singola	5,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	6,0
Doppia o tripla	3,3	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	4,1
	3,2	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	4,0
	3,1	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,9
	3,0	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,9
	2,9	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,8
	2,8	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,1	3,7
	2,7	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,6
	2,6	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,5
	2,5	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0	3,5
	2,4	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,4
	2,3	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	3,3
	2,2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	3,2
	2,1	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	3,1
	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	3,1
	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	3,0
	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,9
	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,8
	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,7
	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,7
	1,3	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6
	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,5
	1,1	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,4
	1,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,3
	0,9	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3
	0,8	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	2,2
	0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	2,1
	0,6	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	2,0
	0,5	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,9

I valori del prospetto possono essere utilizzati per componenti trasparenti aventi:

- **dimensioni 1,2 m x 1,5 m e area del telaio pari al 20% dell'area dell'intera finestra, o dimensioni totali che si discostano da queste di ± 10%;**
- **distanziatori tra i vetri di tipo comune.**

Tabella 1- Valori standard di U_w dati i valori di trasmittanza di vetro e telaio e tipologia di serramento

La trasmittanza termica globale di una finestra considerandola come chiusa (tapparelle o persiane) ovviamente cambia ed è data sempre da UNI EN ISO 10077 si calcola come

$$U_{w,shut} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

Equazione 3-Trasmittanza globale finestra

Dove il ΔR è la resistenza termica addizionale data dall'intercapedine d'aria che si forma tra chiusura e finestra e dalla chiusura stessa. Anche l'effetto notturno, può essere considerato alla stregua di un isolamento per il componente finestrato, come se vi fosse presente una chiusura oscurante, e deve essere tenuto conto mediante la frazione adimensionale (f_{shut}) della differenza cumulata di temperatura derivante dal profilo orario di utilizzo della chiusura oscurante e del profilo orario della differenza tra temperatura interna ed esterna. Solitamente si utilizza un periodo giornaliero di chiusura di 12 ore e, in ogni caso, in mancanza di

dati precisi sulla temperatura si utilizza un f_{shut} di 0,6 come, tra l'altro, abbiamo usato anche noi nella nostra diagnosi energetica.

$$U_{w,corretta} = U_{w,shut} * f_{shut} + U_w * (1 - f_{shut})$$

Equazione 4-Trasmittanza finestra considerando le chiusure

Per il controllo invece della radiazione solare e quindi degli apporti di energia verso l'interno si fa affidamento alla UNI EN 410 ed il parametro da studiare è la trasmittanza di energia solare totale o più semplicemente fattore solare (chiamato g o FS o TSET indifferentemente) che ricordiamo essere la frazione di energia solare che penetra in un ambiente interno rispetto all'energia solare incidente sulla finestra. Esso consiste nel rapporto fra il flusso dovuto alla radiazione solare complessivamente entrante in ambiente (flusso trasmesso direttamente più quello assorbito e riemesso in ambiente per convezione ed irraggiamento) e la radiazione solare incidente.

$$\frac{Q_{sol}}{A} = (\tau_s + \alpha_s * N) * I = g * I$$

Equazione 5-Fattore solare

Spesso è utilizzato nei paesi anglosassoni lo shading coefficient (fattore di ombreggiamento) che è il rapporto tra flusso solare entrante attraverso la vetrata in esame e quello attraverso un vetro di riferimento nelle stesse condizioni climatiche

$$SC = \frac{\dot{q}_s}{\dot{q}_{s,rif}} = \frac{g * I}{g_{rif} * I} = \frac{g}{g_{rif}} = \frac{g}{0{,}87}$$

Equazione 6-Fattore di ombreggiamento

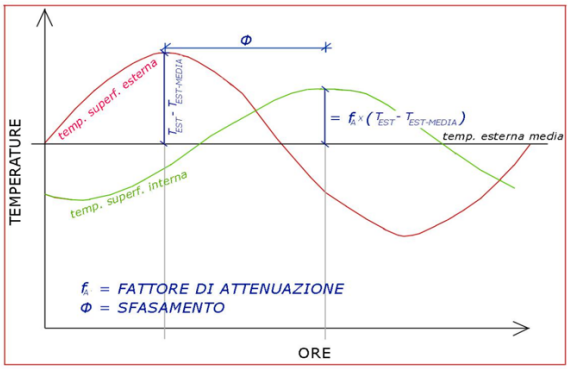
In ogni caso l'analisi più dettagliata dei flussi entranti da componente finestrato è rimandata al capitolo dei flussi scambiati.

Per quanto riguarda invece l'aspetto, come detto a inizio paragrafo, caratterizzante in qualità di abbattimento dei consumi della parte vetrata abbiamo trovato in rete una ricerca condotta che ha portato ad aspetti interessanti.
Lo studio evidenzia l'influenza della percentuale di superficie finestrata e dell'impiego di serre solari addossate, sulle prestazioni energetiche dell'involucro in periodo invernale di un edificio test al variare di tali condizioni. La configurazione ottimale di involucro dipende dalla localizzazione geografica e tale studio è stato fatto per ciascuno degli 8107 comuni italiani.
I risultati hanno evidenziato che nel caso di bassa percentuale di superficie finestrata (f = 10%) la classe energetica dell'edificio risulta essere pressoché uniforme sul territorio, mentre nei casi in cui la percentuale di superficie finestrata f risulti maggiore si evidenzia che in alcuni siti la classificazione tende fortemente verso la classe F (edifici ad alto consumo) , in altri casi tende ad assumere addirittura classi A4 (edifici ad alta efficienza energetica). Ciò dimostra che l'incremento di superficie finestrata, in alcuni siti, costituisce un elemento positivo dal punto di vista energetico ed in particolare nelle zone climatiche calde, in cui probabilmente i contributi gratuiti solari sono maggiori delle dispersioni termiche dovute all'uso delle finestrature. L'esatto opposto succede negli altri siti, in cui quindi conviene impiegare percentuali di superficie finestrate basse.

1.2 L'inerzia termica

L'inerzia termica è una caratteristica dinamica che descrive l'attitudine ad accumulare calore da parte di un componente edilizio sfasandone il rilascio nel tempo, riduce quindi la quantità di calore che si trasmette all'interno dell'abitazione in stagione estiva ritardandone la trasmissione. I suoi principali effetti sono lo sfasamento temporale nella trasmissione del calore e l'attenuazione dell'onda termica. Gli effetti dell'inerzia

termica vanno considerati specialmente per la riduzione dei consumi di raffrescamento a regime estivo ma andremo a vedere che non è solo così, nonostante l'isolamento (che spiegheremo nel prossimo paragrafo) resti ovviamente la colonna portante per quanto riguarda la riduzione dei consumi a regime invernale.
Gli effetti di inerzia sono importanti quasi ed esclusivamente solo per la porzione opaca dell'involucro mentre sono trascurabili per la porzione trasparente.



Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I
12 >= S > 10	0,15 <= Fd < 0,30	buone	II
10 >= S > 8	0,30 <= Fd < 0,40	medie	III
8 >= S > 6	0,40 <= Fd < 0,60	sufficienti	IV
6 >= S	0,60 <= Fd	mediocri	V

Figura 10-Curve di sfasamento e fattore di attenuazione

In fisica lo sfasamento può essere visto come tempo che impiega l'onda termica per fluire dall'esterno (aria esterna calda) all'interno attraverso un materiale edile; un materiale con un elevato calore specifico presenta uno sfasamento maggiore poichè riesce ad assorbire calore cedendolo con lentezza.
Essa misura quindi la capacità di un materiale di opporsi al passaggio del flusso di calore e di accumularne una parte, mantenendo una temperatura dell'ambiente interno omogenea, costante e confortevole, nonostante le temperature esterne vadano su e giù. Risulta quindi essere un parametro dinamico che dipende dalle sollecitazioni variabili che si hanno nel corso di ogni giorno, una parete dotata di buona inerzia termica, quindi, deve saper "ammorbidire" questi shock termici.
Queste sollecitazioni si dividono in:

- Sollecitazione termica esterna: questo requisito è tanto più importante quanto più elevata è l'escursione giornaliera della temperatura (stagione estiva, climi caldi secchi). L'inerzia termica di un componente è legata alla sua capacità di accumulo (massa), ma anche allo stesso isolamento termico.
- Sollecitazione termica interna: questo requisito è tanto più importante quanto più elevata l'escursione giornaliera dei carichi interni (apporti interni variabili, grandi superfici vetrate non schermate). L'inerzia termica di un componente è legata alla capacità di accumulo (massa) dei primi 10 centimetri a contatto con l'aria interna, ma anche alla posizione dello strato di isolamento termico.

Legami funzionali tra calore specifico, densità e conduttività dei vari strati vanno a definire i parametri dinamici che rappresentano i concetti chiave dell'inerzia termica, come già accennati nei capitoli precedenti che ricordiamo essere: la capacità termica areica interna, la trasmittanza termica periodica, il fattore di attenuazione e lo sfasamento termico. I parametri dinamici sono normati da UNI EN ISO 13786.

La stessa conducibilità, che sarà l'elemento portante per l'isolamento influisce indirettamente sulla capacità di accumulo o rilascio dell'energia interna.
Parametro fondamentale è la diffusività termica:

$$\alpha_t = \frac{\lambda}{\rho * c}$$

Equazione 7-Diffusività termica [m^2/s]

Essa è una caratteristica intrinseca del corpo in quanto dipende solo da parametri relativi al materiale di cui è composto e denota la velocità di diffusione del calore nel materiale, una diffusività elevata, cosa che noi vogliamo evitare, è data da conducibilità alte (veloce trasferimento di energia termica) o da un basso prodotto ρc.
Caratteristiche inerziali ottimali sono delineate da bassi valori di diffusività termica, conseguibili grazie ad una certa "massa capacitiva" della parete unita ad una ridotta conduttività termica: in altre parole non si deve eccedere né nel peso frontale trascurando la conduttività, né al contrario ridurre eccessivamente la conduttività trascurando la massa.
Buoni valori di inerzia termica, garantiranno consumi ridotti e migliore comfort interno, poichè si rallenta il flusso di calore estivo verso l'interno ossia quando la temperatura dell'aria è molto calda e si immagazzina calore nei periodi invernali per poterlo poi rilasciare verso l'interno.
In particolare, se vogliamo descrivere l'inerzia termica di una parete prendiamo in considerazione due proprietà termiche della stessa: la trasmittanza termica periodica e la capacità termica areica interna periodica.
La trasmittanza termica periodica per essere compresa a fondo deve essere intesa come un framework per poter meglio valutare come un componente risponde a sollecitazioni periodiche (sinusoidali) di temperatura. Per semplificare si potrebbe affermare che la trasmittanza termica periodica rappresenti l'equivalente estivo della trasmittanza termica U utilizzata d'inverno, nel senso che viene utilizzata come parametro rappresentativo del comportamento di un elemento di involucro nel periodo estivo. Inoltre, è il parametro che permette al progettista la scelta tra agire sull'isolamento o sulla massa.

$$Y_{ie} = U * f$$

Equazione 8-Trasmittanza termica periodica [W/(m²K)]

Dove:

- U trasmittanza termica a regime stazionario (U classica invernale)
- f fattore di attenuazione

Se su di una superficie incide un certo flusso termico dovuto alla radiazione solare, ebbene quel flusso termico farà sentire il suo effetto all'interno dell'ambiente con un certo ritardo temporale (sfasamento) e con una intensità ridotta (attenuazione).
Lo sfasamento ϕ rappresenta il tempo, espresso in ore, che intercorre tra l'istante in cui si ha la massima sollecitazione (temperatura) sul lato esterno del componente e l'istante in cui si ha la massima sollecitazione sul lato interno del componente.
L'attenuazione f (o fattore di decremento), fattore adimensionale compreso tra 0 e 1, è definita come il rapporto fra la trasmittanza termica periodica (dinamica) del componente e la sua trasmittanza termica (stazionaria) U; esso indica il decremento percentuale di flusso termico entrante nell'ambiente interno rispetto a quello che entrerebbe attraverso una parete avente capacità termica nulla.
In sostanza il valore della trasmittanza termica periodica fa evincere come la parete riesca a "controllare" e mitigare la variazione termica che si verifica all'esterno.
La Capacità Termica Areica Interna Periodica (Cip) invece è la capacità di un materiale o di una parete di accumulare calore o freddo che arrivano dall'interno: maggiore è la Cip (massa posta verso l'interno), maggiore è l'accumulo termico, in questo modo si mantengono temperature superficiali su livelli accettabili, con oscillazioni e valori limitati nell'arco della giornata e si spende meno in climatizzazione estiva. Valori di Cip > 40 kJ/m²K, risultano essere buoni e validi per nuove costruzioni secondo i criteri minimi. Buoni valori di Cip si ottengono se si hanno buone densità, discreti spessori e buone capacità termiche specifiche del materiale.

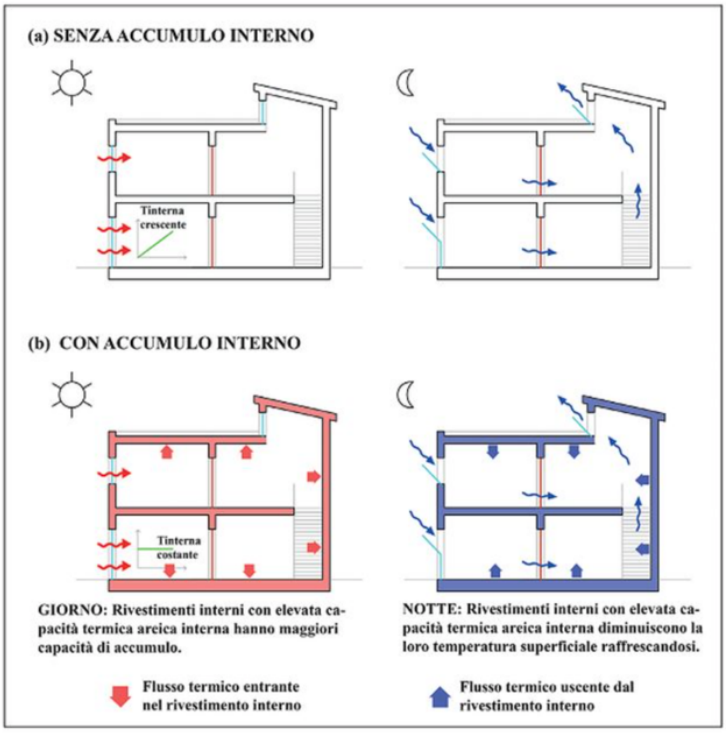


Figura 11-Situazione di un'abitazione in presenza o meno di pareti capacitive

L'inerzia termica di un edificio consiste quindi anche nella sua capacità di trattenere nel tempo il calore all'interno delle proprie murature una volta spento l'impianto di riscaldamento. Elevati valori di inerzia termica significa come già detto bassi consumi energetici, sia quando voglia raffreddare sia quando vogliamo riscaldare i nostri ambienti interni. Molto importante, oltre ai materiali utilizzati, diventa il loro posizionamento nella stratigrafia della parete per quanto riguarda l'aspetto dinamico dell'involucro edilizio. Una buona composizione quanto a inerzia termica sarebbe quella di avere uno strato ad elevata capacità termica all'interno dell'involucro e uno isolante sul lato esterno (come vedremo essere l'isolamento a cappotto esterno) poichè il primo mantiene costante la temperatura interna, il secondo protegge l'ambiente interno dalle variazioni di temperatura, limitando la fuoriuscita del calore prodotto o accumulato all'interno.

L'inerzia termica di un edificio o di una parete singola viene sfruttata quindi come contributo al riscaldamento e al raffrescamento. Nel primo caso basti pensare che un involucro con un'inerzia termica elevata non disperde il calore interno (o lo fa ma in maniera lenta e graduale) e accumula calore durante le ore più calde del giorno che viene riceduto all'interno nelle ore notturne così da non dover usare impianti che scaldino, mentre in caso estivo il calore viene accumulato e poi rilasciato, sfasato, durante la notte in modo tale da poter essere facilmente smaltito mediante ventilazione, così facendo la massa sarà di nuovo relativamente fresca durante il giorno quando il carico esterno diurno sarà molto elevato. Trasmittanza termica periodica e capacità termica areica interna periodica "viaggiano" insieme per poter dare i risultati richiesti dall'inerzia termica dell'edificio.
Il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti, che spiegheremo più avanti, dipende fortemente dall'inerzia termica della casa, in poche parole migliore è l'inerzia e maggiore sarà l'apporto effettivo che otterremo dagli apporti gratuiti solari ed interni.
Le normative sull'efficienza hanno storicamente posto l'attenzione sull'isolamento delle strutture per quanto riguarda l'efficientamento energetico delle strutture dando così un esclusivo riguardo alla riduzione dei consumi in regime invernale, ma nonostante ciò, il parametro dell'inerzia termica e le grandezze che la caratterizzano sono molto importanti per ridurre ulteriormente i consumi, in quanto la climatizzazione estiva sta diventando un bene sempre più richiesto ed indispensabile.
L'iperisolamento dell'involucro edilizio consente sicuramente di contenere gli apporti termici dovuti alla radiazione solare incidente sulle strutture opache ma al contempo impedisce anche lo smaltimento verso l'esterno degli apporti di energia termica dovuti a occupanti, radiazione solare incidente sui componenti

vetrati, apparecchiature elettriche, di illuminazione e di cottura, con conseguenti problemi di surriscaldamento estivo dell'ambiente interno.

Una ricerca molto interessante eseguita dall'università Politecnica delle Marche ha dimostrato che la differenza percentuale tra i fabbisogni invernali di un edificio tipo posto in zona climatica E (intermedia) con struttura leggera e con struttura massiva è risultata del tutto trascurabile (pari al 2%) in caso di metodo di calcolo semi-stazionario UNI-TS 11300 ossia quello richiesto da normativa (funzionamento continuo dell'impianto, carichi interni costanti), ma al contrario, con metodo di calcolo "dinamico" (funzionamento ciclico dell'impianto, carichi interni variabili) l'incremento percentuale dei consumi invernali per l'edificio con struttura leggera rispetto a quello con struttura massiva è quasi del 22%. Si evince dunque l'importanza che l'inerzia termica dell'involucro riveste anche in fase invernale, che si quantifica in un consistente risparmio energetico, qualora si analizzi l'edificio considerando un funzionamento ciclico-intermittente dell'impianto di riscaldamento e la variabilità dei carichi termici interni. Condizioni queste, che si avvicinano molto alla reale modalità di conduzione ed uso degli edifici, rispetto alle condizioni convenzionali imposte nei metodi di calcolo semi stazionari.
L'apporto concreto dell'inerzia termica al risparmio energetico, di per sé già significativo e tutt'altro che trascurabile nelle zone più fredde d'Italia, si accresce ulteriormente nelle zone climatiche meno fredde, come vediamo in figura dove sono esposti i risultati della ricerca di cui sopra, ossia l'incremento percentuale dei consumi per il riscaldamento invernale di edifici con struttura leggera rispetto a quelli con struttura massiva, in funzione delle ore di accensione dell'impianto e dei carichi interni, per l'edificio condominio posto a Palermo, Ancona, Torino.

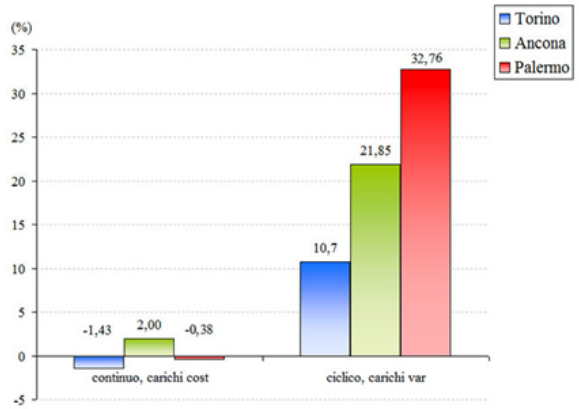


Figura 12- Risultati della ricerca sull'incremento percentuale del fabbisogno di riscaldamento con pareti leggere e non massive

1.3 L'isolamento e gli isolanti termici

Sulla base dei vincoli di legge sulla trasmittanza nei vari paesi europei si riporta in figura lo spessore medio tipico di isolante utilizzato per raggiungere i suddetti valori. Balza all'occhio come nelle zone fredde, l'Europa del nord, si utilizzino spessori medi di isolante molto superiori a quelli utilizzati nelle nazioni mediterranee in quanto sono necessari valori di trasmittanza molto più bassi, a parità di superficie disperdente e temperatura di set point interna, per avere lo stesso flusso disperso, in una giornata tipo, dato appunto il delta di temperature molto più elevato.

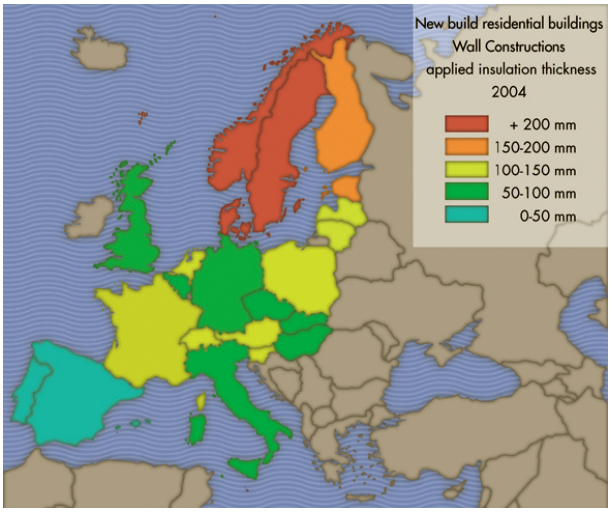


Figura 13-Spessori medio di coibente utilizzato per soddisfare criteri minimi di trasmittanza in Europa

Coibentare un edificio significa isolarlo termicamente e quindi, come abbiamo spiegato nei paragrafi precedenti, ridurne la trasmittanza dei componenti da cui ne consegue un minor flusso termico disperso in ambiente esterno e una migliore efficienza energetica poichè minor fabbisogno, minor energia primaria richiesta per coprirlo e minor impatto ambientale.
Spiegheremo prima le proprietà dei materiali isolanti termicamente che vengono utilizzati nell'edilizia e quali siano i parametri che li rendono appetibili da un punto di vista termofisico per poi andare a trattare la loro posa in opera, descrivendo le diverse tipologie con i pro e i contro.
Un isolante termico è un materiale in grado di opporre resistenza al passaggio di energia termica e vengono quindi catalogati a seconda del loro valore di conduttività termica:

- Materiali isolanti $\lambda < 0.065$ W/mK
- Materiali debolmente isolanti $\lambda = 0.065 \div 0.09$ W/mK
- Materiali non isolanti $\lambda > 0.09$ W/mK

Gli isolanti devono inoltre avere una buona resistenza meccanica e agli agenti atmosferici (possono essere interfacciati sull'ambiente esterno), non devono danneggiare i materiali a contatto poichè sono spesso interposti tra le pareti, devono essere resistenti al fuoco (classe 1), devono garantire un basso assorbimento d'acqua e un'adeguata permeabilità al vapore acqueo e devono, infine, tenere inalterate le loro caratteristiche fisiche nonostante le alterazioni e gli stress termici che subiscono.

A seconda della loro derivazione o eventualmente della loro realizzazione possiamo dividerli in: tradizionali, eco-compatibili e innovativi. Nelle figure successive sono riportati schemi molto intuitivi che permettono una loro identificazione.

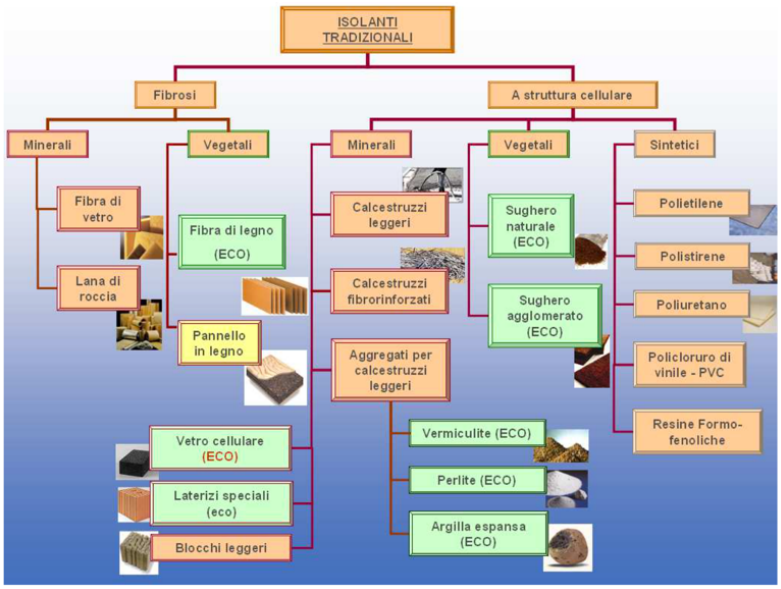


Figura 14-Isolanti tradizionali

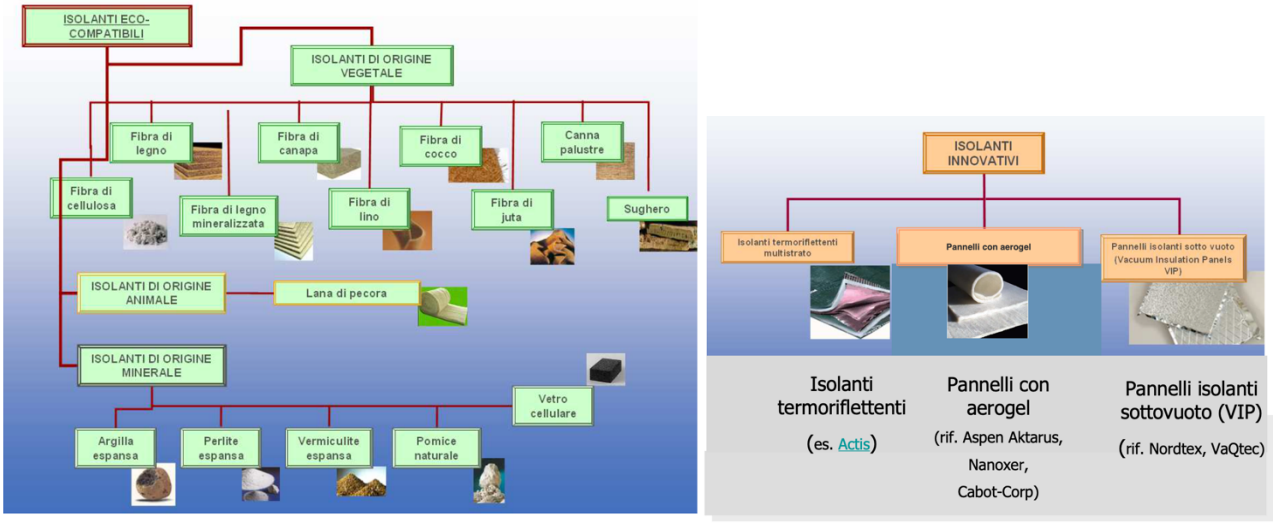


Figura 15-Isolanti eco compatibili (sx) e innovativi (dx)

La scelta dell'isolante più adatto spetterà all'ingegnere, tecnico o chicchessia che dovrà capire dopo una rigorosa analisi la scelta ideale e che vada incontro alle richieste strutturali, termofisiche ed economiche. Genericamente per un buon comportamento estivo sono preferiti isolanti di origine vegetale dotati di elevato calore specifico e massa volumica (densità), mentre per situazioni invernali o di climi freddi quali la nostra si da più importanza a materiali dotati di una bassa conducibilità, come dicemmo nel capitolo precedente quando si era iniziato a distinguere tra inerzia termica e isolamento termico.

Ora andiamo ad analizzare quali sono e come avvengono le tecniche di coibentazione per ogni tipologia di componente disperdente:

1) Pareti verticali:

- Isolamento dall'interno: l'isolante termico viene applicato all'interno delle pareti perimetrali, in uno spessore tale a far raggiungere alla parete il valore di trasmittanza richiesto. Si può effettuare questo

tipo di isolamento mediante una controparete assemblata in opera, posizionando la lastra isolante e una rete metallica sul lato interno della chiusura perimetrale e copertura d'intonaco, o si può ricorrere ad una controparete preaccoppiata, le lastre isolanti sono poste ed incollate sul lato interno delle pareti disperdenti. Questa tecnica prevede un rapido raggiungimento della temperatura interna di comfort, potrebbe quindi essere usato per edifici abitati saltuariamente (come nel nostro caso ma noi progetteremo un cappotto esterno), rapidità e facilità di messa in opera (non servono impalcature ecc. e quindi i costi sono più bassi) riducendo però la superficie abitabile e presentando criticità in termini termoigrometrici con conseguente formazioni di ponti termici e possibile verificarsi di fenomeni di condense e muffe in quanto il vapore presente in ambiente migrando verso l'esterno, nella stagione fredda, condensa quando incontra la muratura fredda; va quindi applicata una barriera al vapore o vanno impiegati materiali igroscopici e fortemente traspiranti; in caso di isolamento interno si preferisce utilizzare isolanti naturali (pannelli in fibra, argilla, calcio silicati ecc.) che hanno buoni comportamenti in condizioni di elevata umidità. Per questa serie di motivi la si sta sempre più accantonando, tolte situazioni dove non si può agire sull'esterno dati vincoli condominiale e/o altre motivazioni. All'incirca il prezzo della posa in opera si aggira sui 35÷90 €/m^2

- Isolamento in intercapedine: lo spazio vuoto tra due muri, che possono essere ad esempio in laterizi o calcestruzzo, è riempito dall'inserimento di lastre o pannelli isolanti. I muri possono anche essere portanti (basta che una delle due facce sia nuova), la superficie esterna va a proteggere lo strato di isolante dalle intemperie preservandone l'effetto, il muro all'interno per tanto accumulerà e manterrà a lungo il calore garantendo un buon comfort termico.
  Le due pareti potranno avere masse diverse per poter scegliere dove riporre la maggior parte dell'inerzia termica (interno massivo quando si deve mantenere la temperatura costante pari ad una temperatura di set point, interno leggero quando si riscalda saltuariamente). L'isolante rimane inaccessibile per tutto il ciclo di vita della costruzione e quindi deve garantire un'elevata durabilità, materiale che trova impiego in questa tipologia di coibentazione termica è il polistirene estruso poiché è traspirante e garantisce un effetto di lunga durata. In caso invece di riqualificazione, gli isolanti (schiuma poliuretanica, lana di roccia molto usati) possono essere usati sfusi e iniettati dall'alto verso il basso attraverso un certo numero di fori applicati sulla muratura ed andando a riempire l'intercapedine che dovrà avere uno spessore minimo di 5 cm per permettere all'isolante di risultare efficace. Un ultimo metodo consiste nell'iniettare materiale inizialmente liquido (schiume, quali resina poliuretanica), all'interno dell'intercapedine, che deve presentare, in questo caso, spessore minimo di circa 3 cm. In Italia è una tecnica costruttiva molto diffusa, in quanto la maggior parte delle attuali abitazioni sono state costruite tra gli anni 70 e i 90 quando andavano in voga le intercapedini, questo tipo di coibentazione garantisce un elevato comfort termico perché mantiene "calde" le pareti interne facendo innalzare la temperatura media radiante, tuttavia non elimina il rischio di formazione di condensa e l'intercapedine va riempita logicamente anche quando sarebbe sufficiente un minore spessore di isolante; l'isolamento in intercapedine risulta idoneo a far rispettare i valori di legge in molte zone del nostro paese ed è anche una buona soluzione di isolamento acustico. Il costo medio di 17 €/m^2, molto minore rispetto ai cappotti termici.

  L'ingegnere, infine, potrà anche optare per intercapedini ventilate, migliorando ulteriormente le prestazioni energetiche della parete, creando cioè una lama d'aria (deve essere sottile perché se no si creano moti convettivi tali da peggiorare la situazione) tra il muro esterno e le lastre isolanti e tra il muro interno e le stesse così che la circolazione dell'aria mantenga una bassa concentrazione di vapore acqueo e protegge nel tempo l'isolante. La ventilazione è permessa da piccole aperture nel muro esterno e attraverso dei distanziatori, posti tra muro esterno e isolante. Le pareti ventilate vanno a ridurre i ponti termici e danno una migliore resa estiva ovviamente grazie alla ventilazione stessa. lo spessore ottimale delle pareti ventilate, che ottimizzano le prestazioni, risulta compresa tra 10 e 15 cm; citiamo le principali, ma fondamentali, considerazioni sulle pareti ventilate tali da ottimizzare il loro scopo: la disposizione ottimale dell'isolante va solitamente sul paramento interno, maggiore è l'esposizione solare della parete ventilata e quindi maggiore il valore dell'irraggiamento solare incidente, maggiori saranno le prestazioni per effetto camino.
  Inoltre, i parametri Y_{ie} e τ risultano decrescere all'aumentare della ventilazione. La significativa

riduzione di Y_{ie} è ovviamente un effetto positivo, mentre la riduzione di τ è da considerarsi un effetto negativo; tuttavia, la riduzione di τ è molto moderata e con una riduzione minore del 6%.

- Isolamento dall'esterno: l'isolante termico viene applicato direttamente sulle superfici esterne delle pareti perimetrali tramite malta adesiva e collanti (per fissare i pannelli di isolante termico al supporto) e ancoraggi meccanici, in uno spessore tale a far raggiungere alla parete il valore di trasmittanza richiesto. Potrebbero presentarsi dispersioni di calore in corrispondenza dei giunti tra i blocchi e quindi si ricorre all'utilizzo di intonaco termoisolante e/o materiali sigillanti sulla superficie esterna creando così uno strato continuo di materiale con una buona resistenza termica. Si possono eventualmente anche utilizzare tasselli per il fissaggio meccanico del pannello isolante alla facciata ove necessario. Vengono infine applicati intonaci di finitura e rivestimenti esterni adatti al cappotto termico. Questa tipologia di isolamento degli edifici è quella che viene utilizzata più frequentemente al giorno d'oggi perché, sebbene sia il metodo più costoso, è quello che garantisce un miglior risultato su tutti infatti si riduce il rischio di condensazione interstiziale e gli effetti negativi dati dai ponti termici sono sensibilmente ridotti, conferisce inoltre un'elevata inerzia termica alla parete (cosa molto utile a impianto spento) e non di ultima importanza, viene migliorato il comportamento estivo della parete. Il cappotto esterno, che è meno invasivo di quello interno in quanto all'interno dell'edificio si può continuare a svolgere una normale abitabilità durante la posa in opera (a differenza di quello interno), risulta più efficace su ambienti riscaldati di continuo e con la sola interruzione notturna e crea le condizioni per un miglior comfort termico degli abitanti poichè si innalza la temperatura media radiante. I materiali isolanti più utilizzati per questa tipologia sono il polistirene espanso, i pannelli in lana di roccia (ottimi comportamento di isolamento acustico e resistenza al fuoco), pannelli in fibra di legno o in sughero autocollato. I problemi che presenta il cappotto esterno stanno nel fatto che sono richieste per la posa in opera impalcature e trabattelli e vi è una difficoltà di posa laddove presenti sporgenze quali balconi, tutto ciò fa aumentare sensibilmente il costo della mano d'opera (esso infatti è il più caro tra i metodi di isolamento delle pareti verticali), inoltre aggiungendo spessori sulla superficie esterna si va ad aumentare la volumetria dell'edificio e questo non sempre è possibile; inoltre l'elevata inerzia termica conferita alla parete fa sì che vi sia un non immediato raggiungimento della temperatura interna ottimale in seguito all'accensione dell'impianto, per questo è preferibile utilizzarlo per edifici costantemente riscaldati.

Figura 16-Possibile stratigrafia cappotto esterno

Abbiamo parlato di intonaci termoisolanti, chiamati più comunemente termointonaci, essi sono sistemi di rivestimento esterno e vengono impiegati in aggiunta ai materiali isolanti tradizionali per arrivare ad avere una trasmittanza globale della parete inferiore, incrementandone così l'isolamento termico. Sono definiti dalla norma UNI EN 998-1 come "malta a prestazione garantita con proprietà isolanti termiche" e sono fissate le proprietà che devono avere per essere conformi al marchio CE sull'imballaggio, devono logicamente avere una bassa conduttività termica:

- Malte T2 $\lambda < 0.2$ W/mK
- Malte T1 $\lambda < 0.1$ W/mK

Per arrivare a questi valori, nel loro impasto, sono aggiunti additivi quali sughero, argilla, perlite, silice, silicati ecc.

2) Coperture:

Isolare adeguatamente le coperture è di fondamentale importanza per migliorare il comfort abitativo, ridurre i consumi e garantire una maggior sicurezza anche in caso di incendio. Le dispersioni a causa delle coperture possono arrivare ad incidere fino al 40% delle dispersioni globali. Come tutti gli altri elementi strutturali disperdenti esse devono garantire un isolamento termico dell'edificio utile sia in inverno, dove vanno limitate le dispersioni, che in estate, dove il flusso termico entrante va ridotto, così da limitare i consumi degli impianti di riscaldamento e climatizzazione. Ovviamente la copertura avrà anche un compito di controllo dell'impermeabilità dell'acqua, esso è infatti l'elemento più sollecitato ad agenti atmosferici.

- Copertura piana: i vantaggi innanzitutto di una copertura piana sono logicamente la sua eventuale percorribilità o comunque fruibilità, infatti i tetti piani possono essere o meno praticabili (la maggior parte lo sono) e fungono ad esempio da tetti a terrazza, a parcheggio o tetti verdi, come nel caso del nostro R-8.
  Isolare a estradosso della copertura significa porre al di sopra della struttura esistente lo strato di isolamento termico, un manto impermeabile e una protezione di quest'ultimo, questa è la tecnica più consigliata ed è adatta ad eliminare ponti termici e relativi rischi di condensa; a seconda della posizione del manto impermeabile si può scegliere tra la realizzazione di un tetto rovescio o un tetto caldo.
  Il tetto rovescio si predispone quando è già presente uno strato di impermeabile in buone condizioni, a quel punto si aggiunge sopra la coibentazione e si appone un ultimo strato di protezione che può essere in ghiaia o in pavimentazione, quest'ultima dovrà essere resistente agli agenti atmosferici e dovrà adempiere anche al compito della barriera al vapore che non sarà così necessaria.
  Il tetto caldo invece consiste nella posa dell'isolante sopra una barriera al vapore ma sotto lo strato di impermeabilizzante, che deve essere realizzato ex novo, quest'ultimo deve essere continuo e al di sopra saranno posti uno strato filtrante ed uno di protezione (ghiaia o pavimentazione).
  Il tetto rovescio è realizzabile più facilmente e con tempi più brevi poichè vi è un minor numero di strati da posare ed inoltre presenta più vantaggi poichè lo strato impermeabilizzante (quello più sensibile) è coperto dall'isolante e non viceversa.

  Nel caso in cui non si possa intervenire all'esterno della copertura o se lo si ritiene più opportuno si può coibentare anche la copertura piana dall'interno: i pannelli isolanti, in genere già finiti e solo da tinteggiare, sono da incollare o fissare meccanicamente all'intradosso della soletta o utilizzando un controsoffitto interno che regga l'isolamento termico a questo punto separato dalla copertura.
  Lo spessore dei pannelli è funzione delle dispersioni termiche della copertura, ma comunque non inferiore a 3 cm.

- Tetto a falda: la copertura può essere isolata termicamente agendo all'estradosso o all'intradosso.
  Le coperture a falda inclinata con isolamento all'estradosso sono a loro volta di due tipi: coperture ventilate e coperture non ventilate.
  Nel caso di isolamento dall'esterno, molto invasivo, il materiale isolante è posto tra la struttura che lo sostiene (in caso di forti pendenze fissaggio meccanico) e il manto della copertura (solitamente tegole), in questo modo, specie nei periodi estivi, si può sfruttare al meglio l'inerzia termica della struttura sottostante. Sono da utilizzare strati impermeabili o comunque dei freni al vapore per evitare delle condense. La copertura non ventilata è realizzata senza l'interposizione dello strato d'aria tra isolante e tegola.
  Se invece si realizza una copertura all'estradosso ventilata si possono ridurre ponti termici di forma e struttura oltre a isolare molto meglio l'abitazione, ciò che le caratterizza è l'intercapedine d'aria al di sotto delle tegole, la corrente d'aria creatasi favorisce lo smaltimento dell'eccesso di vapore acqueo. La ventilazione avviene per causa di due aperture sotto tegola, una in gronda e una in colmo. Viene applicato uno strato continuo di pannelli isolanti e realizzata l'intercapedine ventilata a ridosso dell'isolamento stesso. Lo strato di ventilazione evita la formazione di condensa e, durante la stagione estiva, facilita la formazione di moti convettivi che dissipano il calore delle strutture, contribuendo al raffrescamento passivo degli ambienti sottotetto. Le condizioni ideali per la

ventilazione di una copertura inclinata sono l'inclinazione della falda di 30° e uno spessore dello strato d'aria di 8-10 cm. Con una copertura ventilata si favorisce la cessione all'ambiente esterno dell'eccesso di vapore acqueo che, in situazione di saturazione, provoca fenomeni di condensa e si riduce il carico termico durante il periodo estivo grazie alla continua ventilazione naturale. Il tetto ventilato dunque costituisce la tecnica migliore dal punto di vista energetico per isolare le coperture, essa garantisce un ambiente più salubre e maggior comfort termico e allo stesso tempo un buon risparmio economico data la consistente riduzione dei consumi oltre che la salvaguardia delle strutture in legno

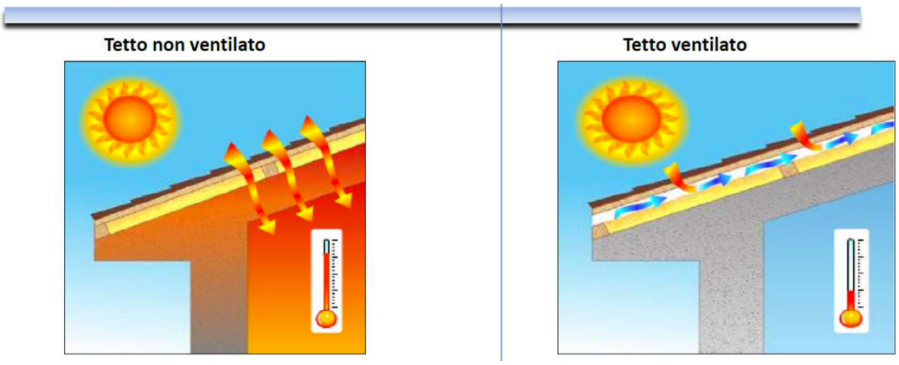


Figura 17-Differenze tra tetto non ventilato e tetto ventilato

Come si può vedere in caso di tetto ventilato l'aria fresca che arriva dalla gronda si riscalda nell'intercapedine per irraggiamento, quindi, diventa più leggera ed esce dal colmo asportando buona parte del calore accumulato dal materiale di copertura, nel tetto non ventilato invece esso giunge all'interno dell'abitazione venendo solo sfasato dalla coibentazione; in inverno invece il flusso d'aria mantiene asciutti gli elementi del manto evitando gradienti termici.
L'isolamento all'intradosso, tuttavia, resta una soluzione molto praticata specialmente laddove gli edifici a falde inclinate siano dotate di sottotetto abitabile. In questo caso si va a porre la coibentazione direttamente sull'interno della struttura, il materiale isolante può essere incollato o fissato meccanicamente all'intradosso o posto tra le travi in caso di tetto in legno, possono anche essere utilizzati elementi che contengono l'isolante ma prefiniti a gesso, in ogni caso se l'ambiente è abitato, viene apposta una finitura interna, ad esempio pannelli in cartongesso, perlinatura, ecc.
Un'alternativa è la realizzazione di una struttura sospesa, fissata al tetto, che regge l'isolamento, distanziato dalla copertura. In questo caso sono da preferire pannelli rigidi, come la fibra di legno o il sughero.
Bisogna ovviamente verificare, prima di iniziare l'eventuale lavoro, che le altezze minime e i volumi dei locali rimangano adeguati alle funzioni degli stessi, specialmente nel caso siano abitabili.
Il materiale coibente deve essere protetto verso l'interno da un'adeguata barriera al vapore per evitare fenomeni di condensa interstiziale ed inoltre, al fine di garantire buone prestazioni anche nei mesi più caldi, si utilizzano materiali coibenti con un'alta inerzia termica (ovvero con un'alta massa volumica e superficiale) in modo da rallentare l'ingresso del calore dall'esterno, essi infine devono garantire un'adeguata resistenza al fuoco. Caso particolare si ha quando si è in presenza di un sottotetto non abitabile, in questo caso se si pone l'isolante esterno alla copertura si crea un volume da riscaldare in realtà inutilizzato, con uno spreco di energia per la climatizzazione però allo stesso tempo isolando dall'interno si pone la massa della struttura verso l'esterno, di cui si perde il beneficio dello sfasamento termico e d'estate si rischia di accumulare calore negli ambienti senza riuscire a smaltirlo adeguatamente a causa dell'isolante stesso, va quindi studiata quale sia la soluzione ideale tra le diverse soluzioni possibili.
Un vantaggio dell'isolamento dall'interno è in ogni caso il ridotto costo della messa in posa.

3) Pavimenti:

Come nel caso di tutte le altre strutture opache anche isolare i pavimenti e i solai risulta molto importante al fine di evitare consumi dovuti a dispersioni di calore riducendo così costi di riscaldamento, un'abitazione

tipica le dispersioni che avvengono a causa del pavimento non coibentato possono arrivare fino a poco meno del 20% delle dispersioni globali cioè un grande contributo, infatti questi componenti che separano un ambiente climatizzato da un ambiente non climatizzato o dall'esterno sono fortemente disperdenti: taverne che si trovano magari sull'esterno dove, in caso di mancata coibentazione, l'umidità risale dal terreno e viene assorbita dal solaio causando macchie di umidità dovuti a condensa superficiale, stesso discorso per eventuali pavimenti soprastanti box o locali non riscaldati. Con un'adeguata coibentazione il livello di umidità si può andare a ridurre fino all'80% circa, a seconda delle situazioni, evitando quindi i problemi relativi alle muffe.
L'obiettivo della coibentazione del pavimento è quello di avere come risultato finale una temperatura minima della sua superficie non oltre a due gradi in meno rispetto alla temperatura dell'aria. L'isolamento termico del solaio può essere posizionato al suo estradosso o interposto tra gli stati dell'elemento tecnico e si possono utilizzare pannelli, tappeti o schiume autoindurenti e il materiale usato dipende logicamente a seconda della zona climatica, dell'umidità e di altri parametri oggetto di studio. La tecnica più utilizzata consiste nella posa di pannelli isolanti sotto la pavimentazione per evitare la risalita d'acqua con conseguente aumento esponenziale di umidità nell'abitazione.
Va ricordato che il solaio deve anche contenere uno spazio per il passaggio delle tubazioni dei vari impianti, anch'essi isolati, che possono venire posizionati ad esempio come primo passaggio e in seguito può venire steso il materiale isolante sfuso a secco.
L'isolamento del solaio posto sopra locali non riscaldati tipo box auto (come nel nostro caso) va effettuato sulla facciata superiore della soletta (quindi superiormente ad essa) e può essere eseguito su qualsiasi tipo di supporto (solai in latrocemento ecc.), esso permette di eliminare anche ponti termici, l'isolante infine va rivestito con un massetto protettivo che risulta essere il piano di posa della pavimentazione.
Quando invece si va ad isolare pavimenti sopra il terreno, come nel caso precedente, si pone sulla soletta un isolante termico con sopra un massetto a protezione dell'isolante stesso e a supporto della soprastante pavimentazione, nei solai controterra però in più si pone uno strato impermeabile al di sotto dell'isolante per far fronte al marcato fenomeno dell'umidità data da acque meteoriche, acque presenti nel terreno sottostante o di condensazione dell'umidità dell'aria dell'ambiente interrato al contatto con le superfici relativamente fredde del pavimento. È possibile anche ricorrere ad un vespaio aerato ovvero un intero strato isolante e drenante tra il terreno e il pavimento.
Caso più complicato e che andrebbe studiato con una più attenta analisi è la coibentazione di un pavimento controterra con sistema radiante.
I materiali più utilizzati per la coibentazione del pavimento sono la perlite, l'argilla o strutture di listelli in legno, inoltre il materiale scelto dovrà essere abbastanza resistente da reggere il peso del massetto in calcestruzzo e quello del pavimento, sono quindi sovente impiegati pannelli in polistirene estruso che hanno elevata resistenza al carico di compressione.
I costi relativi alla coibentazione di pavimenti sono abbastanza contenuti e si aggirano dai 15 ai 50 euro al metro quadro.

1.4 Normativa tecnica

In tabella 2 sono riportati per ogni tipologia di componente opaco i limiti di legge, attualmente in essere, essi sono indicati nel Decreto Ministeriale 26.06.15, per il controllo sulla trasmittanza termica dell'involucro, ogni edificio in via di costruzione deve rispettare questi limiti oppure, eventuali successivi lavori devono per poter rientrare negli incentivi con un'aliquota di detrazione del 65% devono rispettare altri limiti, più rigorosi, anch'essi riportati in figura.

Riportiamo anche i valori limite, logicamente i più stringenti, per usufruire del superbonus, essi sono riportati dall'allegato E dell'Art.5 del Decreto Efficienza Energetica 2020. In ogni caso spiegheremo più approfonditamente il tema dell'Ecobonus 110% in ogni sua sfaccettatura in un capitolo a sé.

VALORI LIMITE U (W/m²K) – STRUTTURE OPACHE						
ZONA CLIMATICA	PARETI		COPERTURE		PAVIMENTI	
	Secondo DM 26/06/2015	Per accedere alla detrazione del 65%	Secondo DM 26/06/2015	Per accedere alla detrazione del 65%	Secondo DM 26/06/2015	Per accedere alla detrazione del 65%
A	0,45	0,54	0,34	0,32	0,48	0,60
B	0,45	0,41	0,34	0,32	0,48	0,46
C	0,40	0,34	0,34	0,32	0,42	0,40
D	0,36	0,29	0,28	0,26	0,36	0,34
E	0,30	0,27	0,26	0,24	0,31	0,30
F	0,28	0,26	0,24	0,23	0,30	0,28

Tabella 2-Valori limite trasmittanza delle varie strutture secondo legge

Zona climatica	Secondo DM 2015	Per accedere alla detrazione del 65%
A	3,2	3,70
B	3,2	2,40
C	2,4	2,10
D	2,1	2,00
E	1,9	1,80
F	1,7	1,60

Zona Climatica	Strutture verticali opache	Coperture	Pavimenti	Serramenti
A	0,38	0,27	0,40	2,60
B	0,38	0,27	0,40	2,60
C	0,30	0,27	0,30	1,75
D	0,26	0,22	0,28	1,67
E	0,23	0,20	0,25	1,30
F	0,22	0,19	0,23	1,00

TAB. 3: Valori limite di trasmittanza in W/mqK per il DEE – Allegato E

Tabella 3-Valori limite trasmittanza post riqualificazione per accedere al superbonus 110%

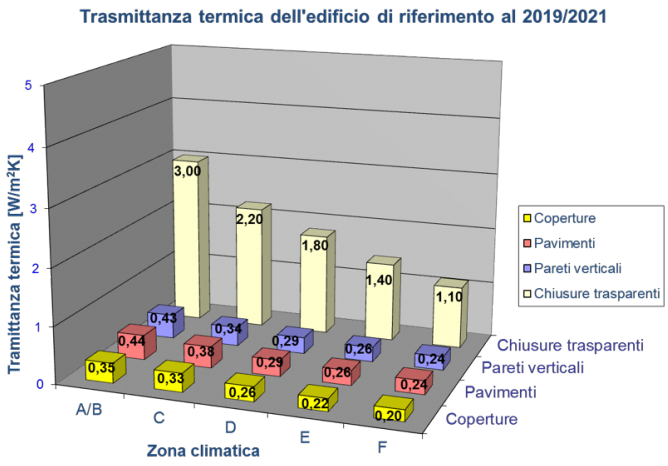


Figura 18- Valori dell'edificio di riferimento cioè un edificio conforme alle normative vigenti ed identico in geometria, ubicazione, destinazione d'uso e situazione al contorno, a quello di studio.

Diamo ora anche uno storico delle normative, ossia delle regole vigenti (e quelle iniziali ora abrogate) che interessano e toccano da più vicino il nostro argomento cercando di trasmettere quello che è lo scopo e l'intento della UE e di ogni stato per sviluppare un settore civile sempre più sostenibile.

Per le caratteristiche dei materiali costituenti le pareti degli edifici la commissione tecnica CTI, cioè il comitato termotecnico italiano, ha pubblicato la norma UNI 10351:2015 "Materiali e prodotti per edilizia-Proprietà termoigrometriche-Procedura per la scelta dei valori di progetto" che ritira e sostituisce la precedente edizione del 1994.
Il documento fornisce il metodo per l'individuazione dei valori di riferimento per conduttività termica, resistenza al passaggio del vapore e calore specifico dei materiali da costruzione in base all'epoca di installazione. Esso integra la UNI EN ISO 10456:2008 con particolare riferimento ai materiali isolanti per

l'edilizia a seconda se siano o meno dotati di marcatura CE.
Nella norma del 1994 i valori delle caratteristiche termoigrometriche dei materiali, frutto di un lavoro complesso e approfondito, non rispecchiavano più i prodotti attuali, anche della stessa tipologia, presenti oggi sul mercato. Parallelamente, nel 2008 è stata pubblicata la UNI EN ISO 10456 (che si affianca e in parte si sovrappone alla UNI 10351:1994), che specifica i metodi per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto per materiali e prodotti per l'edilizia termicamente omogenei, oltre a contenere valori tabulati di alcune caratteristiche termoigrometriche dei materiali da costruzione.

Nelle Norme UNI 8369/1 (1988) e 8369/2 (1987) le pareti sono classificate in base alle funzioni svolte in pareti: opache, trasparenti, portanti, portate, ad intercapedine (o doppie pareti), ventilate, termoisolate, integrate, captatrici; e, in base alla collocazione rispetto alla struttura portante, in pareti: cortina, semicortina, inserita.

La vecchia direttiva Europea 2002/91/CE del 16 dicembre 2002 è stata adottata in Italia con il DL192 ed in seguito abrogata dal primo febbraio 2012, essa tuttavia fu tra le prime a dettare misure volte a promuovere il rendimento energetico degli edifici della Comunità stabilendo i requisiti minimi di efficienza cui dovevano sottostare gli edifici nuovi, indicando le caratteristiche della metodologia di calcolo dei requisiti, prevedendo la presenza di un attestato di certificazione energetica (Ace) e fissando le figure dei certificatori, soggetti abilitati a certificare gli edifici secondo le nuove regole. Vengono fissati dei valori massimi della trasmittanza termica delle strutture di involucro in funzione della zona climatica, al fine di limitare i fabbisogni energetici. Per lo stesso motivo sono state studiate diverse soluzioni per la climatizzazione estiva per contenere la temperatura interna degli ambienti fino ad arrivare alla forma definitiva nel decreto ministeriale del 26 Giugno 2015 che , tra le altre, definisce le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici, permette l'utilizzo di tecniche costruttive e di materiali aventi bassa massa, purché questi permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti, in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare. La massa, infatti, non è l'unico mezzo per garantire il benessere estivo: anche l'elevata resistenza termica o il ricorso a strutture con intercapedini ventilate possono garantire pari o migliori prestazioni rispetto alla massa.
Questa nuova impostazione prevede che, in tutte quelle aree con irradianza maggiore di 290 W/m^2 nel mese di massima insolazione (ad esclusione della zona climatica F), tenendo fermi i limiti di trasmittanza termica nelle varie zone climatiche e i valori di irradianza al suolo, già previsti dal D.Lgs. 192/05, si valutino parametri e prestazioni diverse per le pareti e le coperture:

- Per pareti verticali, non orientate a Nord, Nord/Ovest, Nord/Est, il progettista può scegliere se adottare strutture dotate di massa superficiale superiore ai 230 kg/m^2 o strutture caratterizzate da un valore di trasmittanza termica periodica < 0.10 W/m^2K.
- Per pareti opache orizzontali ed inclinate è invece previsto il solo rispetto del limite della trasmittanza termica periodica < 0.18 W/m^2K.

In sintesi, in tutte quelle zone che non superano il limite di irradianza di 290 W/m^2, si possono costruire strutture pesanti o strutture leggere, senza tenere in alcuna considerazione il correttivo del valore di trasmittanza termica periodica e l'unico valore di cui dovrò tenere conto nel calcolo progettuale è il valore limite 2010 della trasmittanza a seconda del tipo di struttura e della mia zona climatica. Altrimenti, nelle aree con irradianza superiore a 290 W/m^2, se costruisco una parete pesante (cioè con massa superiore a 230 kg/m^2), non devo tenere conto del correttivo del valore di trasmittanza termica periodica, ma solo del valore limite 2010 della trasmittanza termica (U) a seconda del tipo di struttura e della mia zona climatica e viceversa se costruisco una parete leggera (cioè con massa inferiore a 230 kg/m^2), allora devo tenere conto del correttivo della trasmittanza termica periodica, che deve essere < 0.10 W/m2K, oltre a rispettare il valore limite 2010 della trasmittanza termica.
Questo è diventato una pecca in quanto si è sempre data poca importante al comportamento estivo delle abitazioni arrivando così ad avere spesso consumi molto elevati per la climatizzazione estiva.

Fare riferimento solo alla trasmittanza termica periodica però, significa non valutare lo sfasamento e in molti casi sopravvalutare l'inerzia termica di pareti leggere che possono presentare fattori di attenuazione (f_a) inadeguati pur rientrando nel limite di Y_{IE} ($Y_{IE}= U \cdot f_a$) grazie a trasmittanze particolarmente basse. Si può dire

che il decreto requisiti minimi prenda più in considerazione l'analisi stazionaria a regime invernale dell'involucro mentre quella dinamica ed estiva non è del tutto normata al fine di avere un miglioramento effettivo; eventuali soluzioni che possano vantare caratteristiche inerziali migliori, dipenderanno solo dalla volontà e sensibilità del tecnico, non avendo attualmente una ricaduta sul risultato della verifica.
È illogico pensare che proprio in un Paese come l'Italia, nel quale le condizioni climatiche conducono ad un eccessivo e sempre più massiccio ricorso alla climatizzazione estiva, la scelta di soluzioni costruttive inerziali non sia sottoposta a criteri ben precisi e normati e si attendono per il futuro importanti cambiamenti da questo punto di vista che sono già stati in parte avviati quando sono state recepite e rese disponibili, a catalogo UNI, le nuove norme EN a supporto della Direttiva EPBD, che la Commissione Europea ha voluto allo scopo di fornire agli Stati Membri strumenti di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici più aderenti alla realtà in quanto basati sul metodo di calcolo dinamico, sia per il riscaldamento che per il raffrescamento, che andranno a sostituire le attuali UNI/TS 11300, tuttavia i tempi sono ancora lunghi.

Tornando sui nostri passi la direttiva 19 maggio 2010, n. 2010/31/Ue (18 giugno 2010 n. L 153) riprende la normativa in materia di rendimento energetico in edilizia aggiornandola in funzione del progresso tecnico e alla luce del raggiungimento degli obiettivi al 2020.
Non si parla più rendimento ma prestazione: la nuova direttiva fa riferimento alla prestazione energetica degli edifici, come quantità di energia, calcolata o misurata, necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico connesso ad un uso normale dell'edificio, compresa, in particolare, l'energia utilizzata per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione meccanica, la produzione di acqua calda sanitaria, l'illuminazione e i servizi di trasporto (scale mobili o ascensori).
L'allegato I precisa come calcolare questa prestazione energetica dell'edificio che è determinata sulla base della quantità di energia, reale o calcolata, consumata annualmente per soddisfare le varie esigenze.
Sono fissati requisiti minimi di prestazione energetica per gli elementi edilizi che fanno parte dell'involucro i quali hanno ovviamente un impatto significativo sulla prestazione energetica globale in quanto influenzano il fabbisogno di energia primaria a seconda delle dispersioni che fanno conseguire, ciò che spiegato ad inizio paragrafo.
I requisiti minimi in materia di efficienza sono riferiti, oltre che agli edifici e unità immobiliari di nuova costruzione o a ristrutturazione di edifici o unità immobiliari esistenti, anche a: componenti dell'involucro quando vengono rinnovati o sostituiti e sistemi tecnici per l'edilizia quando sono installati, sostituiti o sono oggetto di un intervento di miglioramento.
Si fa anche riferimento ad edifici a energia quasi zero, cioè ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all'allegato I alla direttiva. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze.

Un rilievo particolare è dato dal fatto che non si parla più di "rendimento" ma di "prestazione" energetica. L'attestato non cambia la sua funzione, che è quella di fornire al consumatore le informazioni sulla prestazione energetica dell'edificio e può anche includere altre informazioni come il consumo energetico annuale per gli edifici non residenziali e la percentuale di energia da fonti rinnovabili nel consumo energetico totale. Le raccomandazioni riportate nell'attestato di prestazione energetica devono essere tecnicamente fattibili per l'edificio considerato e possono fornire una stima dei tempi di ritorno o del rapporto costi-benefici rispetto al ciclo di vita economico; l'attestato ha validità di 10 anni.

Gli Stati membri dell'Unione Europea hanno dovuto elaborare dei piani nazionali per l'efficienza energetica indicando le misure adottate e le strategie per arrivare agli edifici a energia quasi a zero e in generale per il raggiungimento degli obiettivi della direttiva.
In Italia per effetto della Legge 10 del 1991 si è incominciato a coibentare gli edifici in modo più serio ma sempre molto distante dalla reale esigenza di ridurre gli sprechi di energia; finché non è intervenuta l'Europa, con le sue direttive, a richiamare i Paesi membri al rispetto delle ferree regole condivise. L'Italia si è adeguata nel 2005, emanando il D. Lgs. n. 192, che ha imposto severi limiti ai consumi e alle emissioni di anidride carbonica in atmosfera. Nel periodo dal 1991 (L. n. 10) al 2005 (D. Lgs. n. 192) variabili quali i ponti termici sono stati in realtà molto trascurati sia in fase di progettazione sia in quella di costruzione causando spesso formazioni di muffe in corrispondenza delle parti più critiche di discontinuità dell'isolamento. Nel 2011 il ponte termico è diventato al centro dell'attenzione, soprattutto per la tendenza a costruire edifici a basso consumo, condizione che lo rende un elemento cruciale ai fini del risparmio

energetico; muffe a parte, esso determina maggiori dispersioni di calore e quindi consumi più elevati, con peggioramento della classe energetica dell'edificio. L'incremento dei sistemi di climatizzazione estiva, inoltre, richiede strategie migliorative delle prestazioni termiche anche in estate per contrastare i picchi di domanda di energia elettrica che sconvolgono i bilanci degli edifici. Un'ottima coibentazione, che significa anche risoluzione dei ponti termici, è efficace non solo per le rigide temperature invernali ma anche per difendersi dal calore estivo. Occorre evidenziare che i progettisti hanno anche il dovere di salvaguardare l'ambiente riducendo le emissioni in atmosfera e perseguendo la qualità e la sostenibilità, oltre la mera composizione architettonica.

1.5 Flussi scambiati

I componenti opachi e trasparenti dell'involucro scambiano con l'ambiente esterno continuamente flussi energetici, questo è il motivo per cui ci siamo occupati fin da inizio capitolo di come cercare di limitarli, poichè le dissipazioni di energia termica causano un aumento dei consumi.
Questi flussi possono essere entranti e/o uscenti a seconda che la stagione sia quella estive o invernale. Andiamo ora ad analizzarli a seconda che siano scambiati dai componenti dell'involucro opaco o trasparente. I flussi termici avvengono sostanzialmente per:

- Trasmissione, dovuti alle differenze di temperatura tra interno esterno o zona riscaldata e ZNR
- Apporti solari, in funzione della radiazione solare diretta e diffusa che incide sull'involucro (ovviamente il contributo maggiore è dato da quella che incide sui componenti trasparenti)
- Ventilazione, l'aria esterna introdotta volontariamente in ambiente per garantire standard di qualità dell'aria interna
- Infiltrazioni, aria che entra nell'involucro non volontariamente a causa di una non perfetta tenuta stagna dei componenti e quindi costituisce una fonte di malus termico.

Ci focalizzeremo ora su una situazione tipo valutando i flussi scambiati durante la stagione invernale o comunque con condizioni di clima freddo, come servirà per il nostro caso studio, non prendendo in considerazione eventuali bilanci e fabbisogni per impianti di climatizzazione estiva (dove i flussi saranno gli stessi ma coi segni opposti), assenti nel nostro caso studio. Nel caso di climatizzazione invernale si ricorda che è definita una temperatura interna di set point pari a 20 gradi centigradi, per qualsiasi edificio eccetto quelli adibiti a palestre, piscine ed edifici industriali e così varrà anche per il nostro R-8.

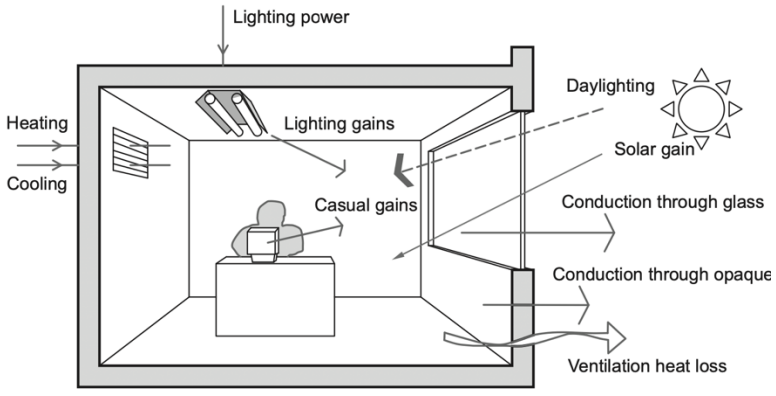


Figura 19-Flussi scambiati tra interno ed esterno involucro che risulta diventare la superficie di controllo

Come vediamo dalla figura l'involucro edilizio sarà la nostra superficie di controllo e ci occuperemo dettagliatamente dei flussi di calori entrate e uscenti da esso o generati al suo interno.

Per quanto riguarda i componenti opachi il flusso termico che li attraversa dall'interno all'esterno e viceversa dipende se si considera o meno la presenza della radiazione solare.

In presenza di irradiazione solare e differenza di temperature ΔT il flusso scambiato è rappresentato dalla seguente equazione:

$$\dot{Q} = h_e * A * (T_{pe} - T_e) - \alpha * I * A = h_e * A * (T_{pe} - T_{sa})$$

Equazione 9-Flusso termico scambiato da involucro opaco in presenza di radiazione solare

Dove:

- h_e è l'adduttanza esterna in W/(m²K)
- A è la superficie del componente in m²
- I è l'irradianza solare in W/m²
- α coefficiente di assorbimento solare della facciata esterna, dipende da colore e rugosità superficie
- T_e e T_{pe} rispettivamente temperatura esterna e temperatura della parete esterna in °C
- T_{sa} è la temperatura solo aria in °C, essa è la temperatura che dovrebbe avere l'ambiente esterno in assenza di radiazione solare affinché il flusso termico trasmesso fra l'ambiente interno e l'ambiente esterno sia pari al flusso trasmesso nella situazione reale in presenza di radiazione solare e si calcola come $T_{sa} = T_e + \frac{\alpha * I}{h_e}$

Andiamo ora ad approfondire il tema della trasmissione di calore in un componente in regime stazionario che è quello che più ci interessa. Le modalità di trasmissione del calore sono, come ben noto, conduzione, convezione e irraggiamento, possiamo scegliere di trascurare l'irraggiamento, il cui contributo risulta irrisorio per i componenti da noi trattati. Fisicamente su una parete immersa in due fluidi avviene un fenomeno combinato di conduzione e convezione e avvengono i seguenti scambi di flussi:

- Convezione aria-parete interna $\dot{Q} = h_i * (T_i - T_{pi})$
- Conduzione $\dot{Q} = {}^{\lambda}/_{s} * (T_{pi} - T_{pe}) = {}^{1}/_{R} * (T_{pi} - T_{pe})$, da Fourier
- Convezione parete esterna aria $\dot{Q} = h_e * (T_{pe} - T_e)$

Si ricorda che il passaggio di calore tra l'aria e la parete avviene in realtà sia per convezione che per irraggiamento, fenomeno chiamato adduzione, ma per dei ΔT di circa 20 gradi centigradi, per considerare anche quest'ultimo, basta utilizzare un unico coefficiente di adduzione sperimentale cioè un coefficiente liminare h che genericamente vale 25 W/(m²K) per la parete esterna e 7,7 W/(m²K) per quella interna, per le generiche pareti opache da UNI 10344.

Da cui si ricava la potenza termica scambiata e il relativo flusso come

$$Q = U * A * (T_e - T_i) \text{ [W]}$$
$$\dot{Q} = U * (T_e - T_i) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Equazione 10-Potenza e flusso termico scambiati da parete opaca in condizione stazionaria, assenza di radiazione solare

Ricordiamo la trasmittanza essere:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \sum_{j=1}^{n1} \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_{j=1}^{n2} R_j}$$

Si arriva ad un risultato molto evidente riguardo potenza e flusso scambiati che risultano essere funzione, oltre che della trasmittanza, della temperatura interna ed esterna, non più di quelle superficiali delle pareti

che risulterebbero logicamente più scomode da individuare, ecco spiegato perché si ricorre solitamente alle valutazioni sul caso stazionario, seppur sia ovviamente quello più distante dalla situazione reale.
Ecco, quindi, che arriviamo a capire perché risulta fondamentale avere componenti la cui trasmittanza sia il valore più basso possibile: avere un minor flusso termico disperso a parità di superficie e delta temperature.
Tutto quello che abbiamo finora visto prende forma pratica in questa formula.
La trasmittanza è tra gli elementi chiave per quanto riguarda i componenti dell'involucro ed il suo valore è frutto di tutti gli strati e delle rispettive conducibilità termiche o delle eventuali intercapedini che vanno a costituire ad esempio una parete, essa in poche parole è il parametro che rispecchia in maniera globale la tendenza dell'elemento allo scambio di energia termica, l'inverso della capacità isolante di quest'ultimo.

Ora presteremo la nostra attenzione ai flussi termici uscenti dal nostro edificio, che valutando noi una situazione di riscaldamento saranno dissipazioni di calore, quindi un malus energetico, corrispondente ad un aumento del fabbisogno per il nostro involucro edilizio.
Le dispersioni mensili del nostro sistema, considerato che l'obiettivo è sempre quello di mantenere una temperatura di set point interna di 20° C, risultano essere ogni mese:

- $Q_{H,tr} = H_{tr,adj} * \left(\theta_{int,set,H} - \theta_e\right) * t + (\sum_k F_{r,k} * \phi_{r,mn,k}) * t$ [kWh]
- $Q_{H,ve} = H_{ve,adj} * \left(\theta_{int,set,H} - \theta_e\right) * t$ [kWh]

Equazione 11-Flussi termici scambiati sotto forma di dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione

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 [W/K], identico sia per riscaldamento che raffrescamento;
- $H_{ve,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno [W/K], identico sia per riscaldamento che raffrescamento;
- $\theta_{int,set,H}$ è la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona considerata pari a 20° C secondo la norma UNI/TS 11300-1;
- θ_e è la temperatura media mensile dell'ambiente esterno, ricavata dalla norma UNI 10349 [°C];
- $F_{r,k}$ è il fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste;
- $\phi_{r,mn,k}$ è l'extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k-esimo, mediato sul tempo;
- t è la durata del mese considerato [s];

Ora analizziamo questi termini.

La principale causa di scambio di energia termica è la trasmissione di calore dalla zona riscaldata dell'edificio ed avviene principalmente, a seconda della collocazione di quest'ultima, verso: esterno, zone non riscaldate e terreno, per questo motivo introduciamo il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \text{ [W/K]}$$

Equazione 12-Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione

Dove:

- H_D è il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno, sia dei componenti opachi che dei componenti trasparenti [W/K];

$$H_D = \sum_i A_i * U_i + \sum_k l_K * \psi_k + \sum_j \chi_j$$

*Tutti i termini sono conosciuti e spiegati nei paragrafi precedenti

*Trasmittanza di componenti opachi e trasparenti si calcolano diversamente, come avevamo visto

- H_g è il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno [W/K];

$$H_D = A_{pav} * U_{pav} * b_{tr,g}$$

prospetto 6 **Fattore di correzione $b_{tr,g}$**

Ambiente confinante	$b_{tr,g}$
Pavimento controterra	0,45
Parete controterra	0,45
Pavimento su vespaio aerato	0,80

Tabella 4-Valori fattore di correzione verso terreno

- H_U è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati [W/K];

$$H_D = H_{iu} * b_{tr,x} = A_{comp\ che\ da\ su\ ZNR} * U_{comp\ che\ da\ su\ ZNR} * b_{tr,x}$$

*H_{iu} è il coefficiente globale di scambio termico (trasmissione+ventilazione) tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato;
*btr,x è un parametro di correzione per valutare le ZNR logicamente a temperatura diversa rispetto all'ambiente esterno e in assenza di dati di progetto attendibili o informazioni precise, è tabulato da UNI/TS 11300-1;

- H_A è il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone (interne o meno all'edificio) climatizzate a temperatura diversa [W/K].

$$H_A = H_{ia} * b_{tr,x} = A_{comp\ che\ da\ su\ altra\ zona} * U_{comp\ che\ da\ su\ altra\ zona} * \frac{\theta_{set\ point\ zona} - \theta_{set\ point\ altra\ zona}}{\theta_{set\ point\ zona} - \theta_{media\ mensile\ esterna}}$$

*Raramente questo parametro è utilizzato: solitamente tutte le zone sono riscaldate alla stessa temperatura sotto un termostato centralizzato

Si hanno infine degli scambi per extra flusso termico dei componenti edili a causa della radiazione infrarossa verso la volta celeste, normati da UNI TS/11300-1.

Scambi e dispersioni termiche avvengono anche per ventilazione in quanto, tutte le tipologie di edificio a seconda della loro destinazione d'uso, richiedono questa soluzione per garantire ricambi d'aria per garantirne una sufficiente qualità ogni tot ore. Considereremo una ventilazione naturale vista il nostro caso studio. Come fatto per la trasmissione quindi si ricava il coefficiente di scambio termico per ventilazione:

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

Equazione 13-Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione

Dove

- $\rho_a * c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1200 [J/m^{3}K];
- $q_{ve,k,mn}$ è la portata mediata sul tempo del flusso d'aria k-esimo [m^3/h];

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

*$f_{ve,t,k}$ è la frazione di tempo in cui si verifica il flusso d'aria k-esimo, 0,6 per abitazioni civili;
*$q_{ve,k}$ è la portata sul tempo del flusso d'aria k-esimo [m3/h] = n x V_{netto} = 0,3 x Vnetto
Poichè per gli edifici residenziali, nel caso di aerazione o ventilazione naturale, si assume un tasso di ricambio d'aria pari a 0,3 vol/h

- $b_{ve,k}$ è il fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k-esimo, pari a 1, esso risulta ≠ 1 se la temperatura di mandata non è uguale alla temperatura dell'ambiente esterno, come nel caso di preriscaldamento, preraffrescamento o di recupero termico dell'aria di ventilazione.

I flussi entranti nel sistema e quindi gli apporti di calore faranno invece sì di limitare il nostro fabbisogno del sistema di riscaldamento e si dividono a loro volta in apporti esterni apporti interni, vedremo più avanti che non tutti gli apporti gratuiti riescono ad essere usati quantomeno in parte ai fini del bilancio energetico, ma ci soffermeremo meglio su questo più avanti.

Gli apporti di calore interni non garantiscono solitamente una fonte consistente di riscaldamento ma saranno comunque da tenere in considerazione nel fabbisogno e comprendono:

- Gli apporti dovuti dal metabolismo degli occupanti, che ovviamente varia in base alla media di persone presenti e alla attività da loro svolta all'interno della delimitata zona termica
- Il calore prodotto dalle apparecchiature elettriche e quelle di illuminazione (inclusa cucina)
- Apporti derivanti dal sistema di distribuzione e di scarico dell'acqua

Questi apporti si considerano per ogni mese e per ogni zona dell'edificio dalla seguente formula, che tiene conto di tutti i flussi entranti e generati sia in zona climatizzata che in quelle non riscaldate

- $$Q_{int} = (\sum_k \phi_{int,mn,k}) * t + [\sum_l (1 - b_{tr,l}) * \phi_{int,mn,u,l}] * t \text{ [KWh]}$$

Equazione 14-Apporti interni

Con:

- $b_{tr,l}$ è il fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente la sorgente di calore interna l-esima, stesso coefficiente già indicato precedentemente, i cui valori sono tabulati
- $\Phi_{int,mn,k}$ flusso termico prodotto dalla k-esima sorgente di calore interna, mediato sul tempo [W];
- $\Phi_{int,mn,u,l}$ flusso termico prodotto dalla l-esima sorgente di calore interna nell'ambiente non climatizzato adiacente u, mediato sul tempo [W];
- t la durata del mese

Per gli edifici di categoria E.1 (abitazioni), aventi superficie utile di pavimento minore o uguale a 170 m^2, il valore globale degli apporti interni di una zona climatizzata, espresso in W, è ricavato come

$$\phi_{int,mn,k} = 5{,}294 * A_{pav,ut} - 0{,}01557 * {A_{pav,ut}}^2 \text{ [W]}$$

Nei casi invece in cui la superficie utile di pavimento risulti maggiore di 170 m^2 il valore globale degli apporti interni è scelto pari a 450 W. Gli apporti interni in zone non climatizzate invece possono essere tranquillamente trascurati a meno di note che ne dimostrino una significatività importante. Riportiamo in seguito una tabella che riporta i valori tipici di apporti interni a seconda della destinazione d'uso dei locali, ci sono molti altri valori tipici medi sempre normati e tabulati degli apporti interni in base ai giorni della settimana, alle apparecchiature ecc. poichè non si sta quasi mai a calcolare analiticamente il contributo degli apporti interni ma ci si attiene ai valori standard. Bisogna comunque sempre usare i valori indicati per non rischiare di sovra o sottostimare i carichi presenti in ambiente e quindi il relativo fabbisogno.

Dati convenzionali relativi all'utenza

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali
		W/m²
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari	6
E.2	Edifici adibiti a uffici e assimilabili	6
E.3	Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili	8
E.4 (1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	8
E.4 (2)	Mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto	8
E.4 (3)	Bar, ristoranti, sale da ballo	10
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili	8
E.6 (1)	Piscine, saune e assimilabili	10
E.6 (2)	Palestre e assimilabili	5
E.6 (3)	Servizi di supporto alle attività sportive	4
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	4
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili	6

Tabella 5-Valori standard apporti interni in base a tipologia locale

Ad esempio, per quanto riguarda gli apporti interni medi di calore derivanti dal funzionamento delle apparecchiature per illuminazione, sappiamo che nelle lampade incandescenti (vecchie lampadine) una parte della potenza assorbita (10% circa) è trasformata in energia luminosa, mentre la restante va sotto forma di calore dissipato nell'ambiente per radiazione (80%), convezione e conduzione (10%), le lampade fluorescenti invece trasformano in energia luminosa circa il 25% di quello che assorbono, un altro 25% lo scambiano per irraggiamento ed il rimanente 50 % per convezione e conduzione vi è inoltre una maggiorazione del 25% per effetto del calore dissipato nel reattore-starter. Le norme indicano come valore abbastanza utilizzato per la stima dei carichi dovuti all'illuminazione 12 W/m^2, fino ad arrivare a 20 W/m^2 in assenza di dati precisi. Per quanto riguarda macchine fotocopiatrici, computer, stampanti e strumentazione informatica simile, il contributo può essere di circa 25 W/m^2 fino a 45 circa dove vi è un'alta densità di PC.

Gli apporti di calore esterni invece, ovvero quelli solari, derivanti dall'irraggiamento medio della località interessata, dall'orientamento della superficie, dagli ombreggiamenti, dalle caratteristiche di assorbimento delle superfici ecc. stanno diventando sempre più importanti (ovviamente non nel nostro caso data la zona climatica) e in quelle costruzioni edilizie chiamate case passive, già accennate in precedenza, costituiscono la fonte primaria di energia dell'edificio abbattendo così i consumi dello stesso.

In regime invernale, i componenti trasparenti è vero che disperdono flusso termico essendo meno predisposti a isolare l'involucro dell'edificio ma sono quelli che garantiscono gli apporti solari necessari per aiutare a diminuire il fabbisogno di calore e quindi i consumi di riscaldamento degli edifici, infatti la maggior parte del flusso termico gratuito solare che contribuisce a scaldare l'ambiente deriva dai componenti trasparenti per la maggior parte, il contributo di questo apporto da parte dei componenti opachi è pressoché trascurabile, però lo valuteremo ugualmente.

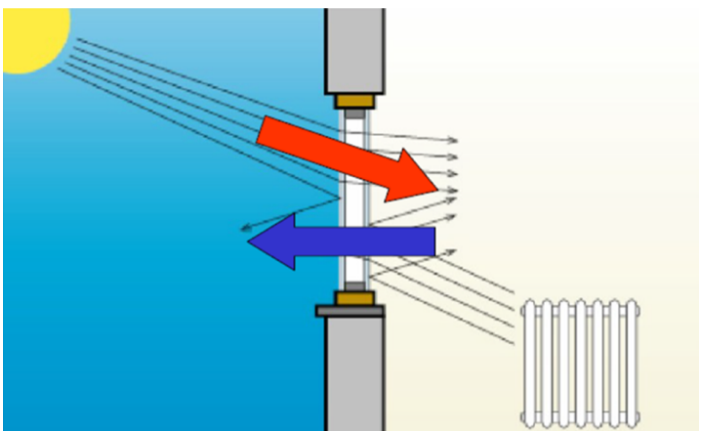


Figura 20-Scambio termico su componente trasparente

Gli apporti solari, come quelli interni, si considerano per ogni mese e per ogni zona dell'edificio dalla seguente formula, che tiene conto di tutti i flussi entranti e generati sia in zona climatizzata che in quelle non riscaldate, da UNI TS 11300-1:

- $$Q_{sol} = (\sum_k \phi_{sol,mn,k}) * t + [\sum_l (1 - b_{tr,l}) * \phi_{sol,mn,u,l}] * t \ \text{[KWh]}$$

Equazione 15-Apporti solari

Con:

- $b_{tr,l}$ è fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente il flusso termico l-esimo di origine solare, stesso coefficiente già indicato precedentemente, i cui valori sono tabulati
- $\Phi_{sol,mn,k}$ flusso termico k-esimo di origine solare, mediato sul tempo [W];
- $\Phi_{sol,mn,u,l}$ flusso termico l-esimo di origine solare nell'ambiente non climatizzato adiacente u, mediato sul tempo [W];
- t la durata del mese

Andiamo ora ad analizzare il flusso termico di origine solare:

$$\phi_{sol} = F_{sh,ob,k} * A_{sol,k} * I_{sol,k} \ \text{[MJ]}$$

Equazione 16-Flusso termico solare entrante nel sistema

Consideriamo uno alla volta questi fattori

- Il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima

  $$F_{sh,ob,k} = F_{hor} * \ F_{ov} * F_{fin}$$

  È un fattore moltiplicativo della radiazione solare incidente che tiene conto di ombreggiature permanenti sull'elemento vetrato (edifici, alberi, aggetti) e non è altro che il prodotto tra i fattori di riduzione per ombreggiatura relativi a ostruzioni esterne, aggetti orizzontali e aggetti verticali. Essi dipendono dalla latitudine, dall'orientamento dell'elemento ombreggiato, dal clima e dalle caratteristiche geometriche dell'elemento ombreggiante e si determinano da interpolazione lineare dei dati nella tabella sotto riportata. In caso di presenza di più aggetti o ostruzioni della stessa tipologia, si considera solo quello che determina l'angolo maggiore o comunque quello che per esposizione incide maggiormente. Si considera sia per i componenti vetrati sia per i componenti opachi.

Fattore di ombreggiatura F_{hor} relativo ad ostruzioni esterne. Mese di GENNAIO

Angolo su orizzonte	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,86	0,83	0,95	0,85	0,83	0,94	0,83	0,83	0,93	0,81	0,83	0,91	0,80	0,83	0,88	0,76	0,83
20°	0,85	0,67	0,67	0,82	0,65	0,67	0,77	0,63	0,67	0,70	0,60	0,67	0,59	0,58	0,67	0,47	0,54	0,67
30°	0,46	0,47	0,52	0,34	0,45	0,52	0,25	0,44	0,52	0,15	0,44	0,52	0,09	0,44	0,52	0,05	0,39	0,52
40°	0,05	0,37	0,38	0,05	0,33	0,38	0,05	0,30	0,38	0,05	0,27	0,38	0,05	0,23	0,38	0,04	0,21	0,38

Fattore di ombreggiatura F_{ov} relativo ad aggetti orizzontali. Mese di GENNAIO

Angolo	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,85	0,85	0,80	0,86	0,85	0,80	0,87	0,86	0,80	0,88	0,87	0,80	0,89	0,87	0,80	0,90	0,88	0,80
45°	0,77	0,80	0,72	0,78	0,81	0,72	0,80	0,81	0,72	0,81	0,83	0,72	0,82	0,83	0,72	0,84	0,85	0,72
60°	0,66	0,77	0,65	0,68	0,77	0,65	0,70	0,78	0,65	0,72	0,80	0,65	0,74	0,81	0,65	0,77	0,83	0,65

Fattore di ombreggiatura F_{fin} relativo ad aggetti verticali. Mese di GENNAIO

Angolo	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,91	0,73	0,89	0,92	0,72	0,89	0,92	0,72	0,89	0,92	0,71	0,89	0,92	0,70	0,89	0,92	0,68	0,89
45°	0,86	0,60	0,85	0,86	0,59	0,85	0,86	0,59	0,85	0,87	0,57	0,85	0,87	0,56	0,85	0,87	0,54	0,85
60°	0,79	0,46	0,80	0,79	0,46	0,80	0,80	0,45	0,80	0,80	0,43	0,80	0,80	0,42	0,80	0,80	0,38	0,80

Tabella 6-Valoridi riferimento dei fattori di riduzione per ombreggiatura

- Area di captazione solare effettiva del k-esimo elemento vetrato dell'involucro, con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato [m^2], da UNI TS 11300-1:

  - per component opachi $A_{sol,k} = \alpha_{sol,c} * R_{se} * U_c * A_c$

    - $\alpha_{sol,c}$ è il fattore di assorbimento solare del componente opaco, vale ad esempio 0,6 per superfici di colore medio per radiazione solare e 0,9 dello stesso per radiazioni provenienti da edifici circostanti o alberi, infatti, esso è indipendente dalla temperatura della superficie ma dipende dalla temperatura della sorgente;
    - R_{se}è la resistenza termica superficiale esterna del componente opaco;
    - U_c è la trasmittanza termica del componente opaco;
    - A_c è l'area proiettata del componente opaco.

  - per componenti vetrati $A_{sol,k} = F_{sh,gl} * g_{gl} * (1 - F_F) * A_{w,p}$

    - $F_{sh,gl}$ fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili; tale fattore di riduzione dipende dalla trasmittanza termica della finestra nella sua totalità, quando gli oscuranti non sono attivi e quando invece sono presenti nonché dal tempo di loro utilizzo.
    - (1- F_F) è il fattore di correzione dovuto al telaio ed è pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata del serramento, in assenza di indicazione il fattore telaio (F_F) è posto pari a 0,8;
    - $A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra).
    - g_{gl} trasmittanza di energia solare totale della finestra quando la schermatura solare non è utilizzata;

$$g_{gl} = F_w * g_{gl,n}$$

*F_w è il fattore di esposizione, pari a 0,9;

* $g_{gl,n}$ è la trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale, dipende dalla tipologia di vetro (singolo, doppio, triplo ecc.)

Il flusso solare che raggiunge l'interno dell'involucro edilizio e di conseguenza diventa un apporto solare gratuito dipende quindi dal tipo di vetro, dalla sua struttura e dall'efficacia delle eventuali schermature quali tende o tapparelle, per i componenti opachi invece dipende dal colore del componente; oltre che dalle trasmittanze per entrambi i casi.

In quest'ultima immagine cerchiamo di dare una illustrazione globale di tutti i parametri che abbiamo caratterizzato in questo paragrafo.

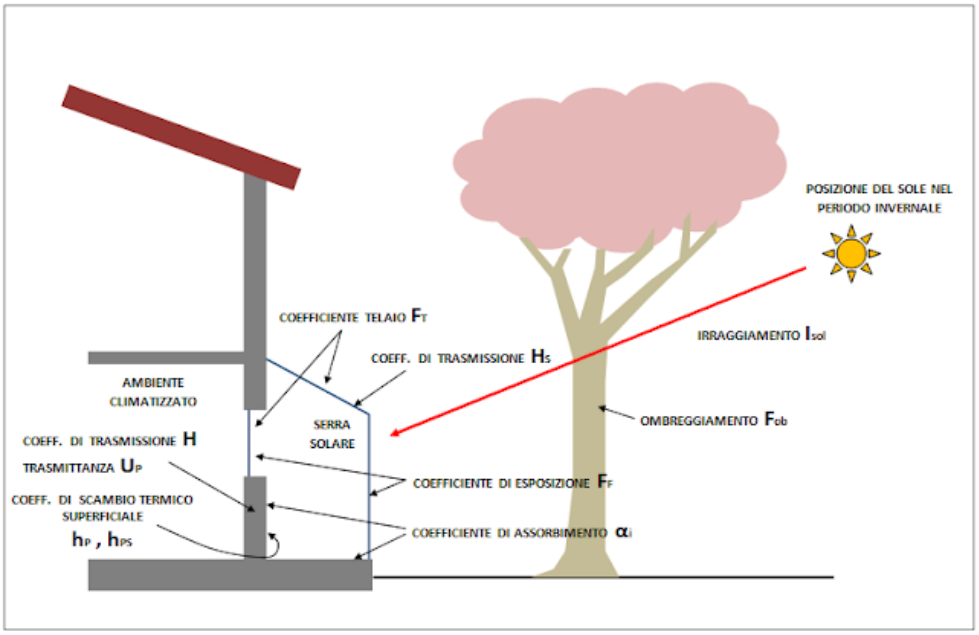


Figura 21-Coefficienti vari per la valutazione degli scambi termici dell'involucro edilizio

Nel paragrafo successivo, andremo a trovare il bilancio energetico dell'edificio in situazione invernale cioè per quanto riguarda il fabbisogno di riscaldamento.

1.6 Bilancio

Obiettivo principale del bilancio energetico è quello di calcolare i vari fabbisogni annui, nel nostro caso ad esempio, per il riscaldamento e la relativa produzione di acqua calda sanitaria. Si riuscirà così a verificare che determinati obiettivi energetici siano rispettati e/o valutare il differente impatto che avrebbero altre soluzioni (design rating), fino ad arrivare ad indicare il livello di prestazione energetica dell'edificio, redimendo l'APE (ovvero svolgendo l'asset rating). Infine, si andrà a stimare l'effetto di possibili misure di risparmio energetico su un edificio esistente, calcolando il fabbisogno di energia con e senza ciascuna misura (tailored rating), necessario per arrivare ad attivare le detrazioni fiscali e un eventuale superbonus. Ci occuperemo in questo paragrafo del mero bilancio, trascurando l'impiantistica che sarà approfondita in seguito.

La premessa del nostro bilancio è che l'involucro, più precisamente, la faccia interna delle pareti che racchiudono lo spazio riscaldato, sarà la nostra superficie di controllo, attraverso la quale saranno scambiati i

flussi; il sistema termodinamico in questione sarà aperto (ventilazione ed infiltrazioni) e i relativi flussi d'aria saranno monodimensionali.

Si definisce come fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ l'energia richiesta per mantenere gli ambienti riscaldati alla temperatura di progetto (fissata a 20°C), essa è calcolata per ogni zona dell'edificio e per tutto il periodo della stagione di riscaldamento (individuata dalla zona climatica): si sommano i contributi relativi ai vari intervalli di tempo di cui è composta la stagione di riscaldamento nei quali si può ritenere costante la temperatura esterna media, questi intervalli quindi possono essere orari, in questo caso i dati climatici medi saranno noti ora per ora in tutta la stagione di riscaldamento o più frequentemente mensili come avevamo indicato nel paragrafo precedente.

Il fabbisogno è facilmente ottenibile dal bilancio dei flussi scambiati dal nostro edificio: uscenti, entranti e quelli interni prodotti. Per la valutazione energetica dell'APE si presuppone un funzionamento continuo dell'impianto, con temperatura interna costante e pari al valore di set point, non facendo riferimento quindi ad eventuali carichi termici variabili, come si potrebbe fare nel caso di diagnosi energetica per valutare una situazione diversa. Risulta:

$$Q_{H,nd} = \left(Q_{H,tr} + Q_{H,ve}\right) - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol}) \text{ [kWh]}$$

Equazione 17-Fabbisogno di energia termica dell'edificio

Ciò che balza subito all'occhio è che il bilancio non è costituito dalla semplice differenza tra flussi uscenti e gli apporti utili, vi è infatti un termine, detto fattore di utilizzazione, che sta a significare che non tutti gli apporti gratuiti dei flussi entranti o prodotti all'interno dell'involucro sono pienamente utilizzabili, su questo ricordiamo influire anche l'inerzia termica (migliorarla contribuisce a un maggiore sfruttamento degli apporti). Prima di andare ad approfondire questo fattore di utilizzazione mostriamo nell'immagine seguente uno schema che da un'idea ben chiara del bilancio su base dei flussi scambiati. Per valutare un eventuale carico termico di picco, invece, basterebbe trascurare gli apporti gratuiti ed utilizzare dati climatici di progetto relativi alle condizioni più gravose a cui l'impianto potrebbe dover far fronte, avremmo così la massima sollecitazione del nostro impianto termico.

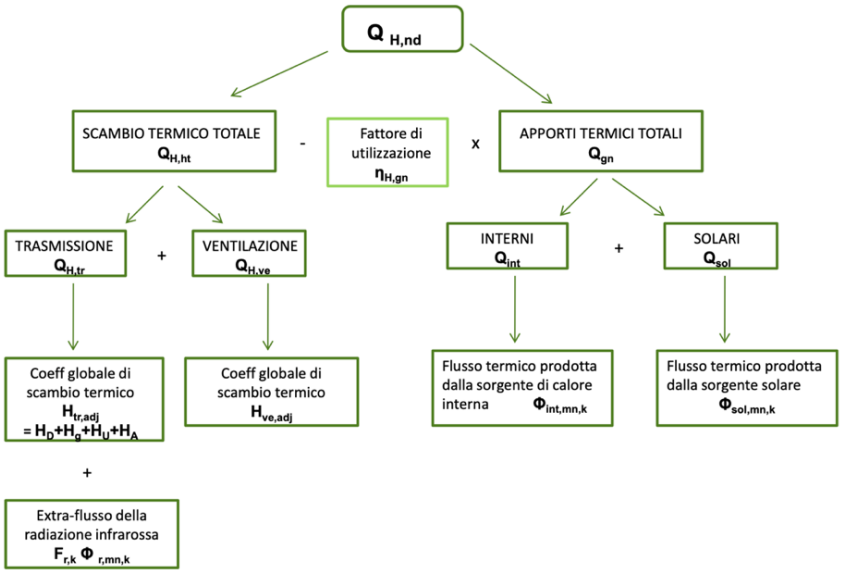


Figura 22-Fabbisogno energia termica edificio dedotto da illustrazione dei bilanci

Il fattore di utilizzazione può sostanzialmente essere considerato come rapporto tra gli apporti gratuiti, che compensano parte delle dispersioni, e tutti gli apporti gratuiti entranti. È riscontrabile, di fatti, che solo una parte degli apporti gratuiti va a diminuire il fabbisogno di riscaldamento, mentre la restante contribuisce

esclusivamente ad un surriscaldamento interno oltre la temperatura di set point ma ciò non comporta una diminuzione del fabbisogno. Il fattore di utilizzazione viene calcolato mensilmente come segue:

$$\eta_{H,gn} = (1 - \gamma_H^{aH})/(1 - \gamma_H^{aH+1}) \text{ , se } \gamma_H > 0 \; e \; \neq 1$$
$$\eta_{H,gn} = a_H/(a_H + 1) \text{ , se } \gamma_H = 1$$

Equazione 18-Fattore di utilizzazione degli apporti

Con:

- $\gamma_H = \frac{Q_{gn}}{Q_{H,ht}}$
- $a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$

* τ è la costante di tempo termica della zona [h] e vale $\tau = (\frac{C_m}{3600})/(H_{tr,adj} + H_{ve,adj})$, con C_m capacità termica interna determinata in funzione delle caratteristiche costruttive dei componenti edilizi e pari a $C_m = 155 \left[\frac{kJ}{m^2 * K}\right] * A_f[\frac{J}{K}]$

*Inoltre, $a_{H,0} = 1$ e $\tau_{H,0} = 15\ h$ con riferimenti di calcolo mensile

Ora che abbiamo definito il fattore di utilizzazione dobbiamo considerare il fatto che l'impianto di riscaldamento, come qualsiasi altro sistema che produce energia partendo da un'altra forma di essa, ha un suo rendimento, minore dell'unità, in quanto nei vari processi avvengono delle perdite. Quindi noi dovremo trovare anche il fabbisogno globale di energia primaria per il riscaldamento che sarà maggiore del fabbisogno di energia termica in base a quanto scritto.
Il $Q_{H,nd}$ trovato è il fabbisogno termico utile cioè l'energia necessaria per mantenere all'interno dell'involucro le condizioni di progetto, come se quest'energia fosse rilasciata in ambiente senza essere prodotta da un impianto di riscaldamento o se quest'ultimo avesse un rendimento unitario e lavorasse cioè in condizioni ideali.
In altre parole, il rendimento medio stagionale dell'impianto termico è il rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento invernale e l'energia sviluppata dalle fonti energetiche.

Un sistema di riscaldamento è composto da vari sottosistemi che permettono di riscaldare le zone e questi sottosistemi sono:

- generazione (l'impianto vero e proprio che può essere una caldaia a gas, pompa di calore, teleriscaldamento come nel nostro caso e quant'altro)
- distribuzione (tubazioni che convogliano nelle varie postazioni il fluido termovettore o chicchessia)
- regolazione dell'emissione di calore in ambiente (valvole termostatiche, contabilizzazione del calore)
- emissione (i radiatori, sistemi radianti, tutti i terminali) e eventualmente di un sistema di accumulo.

Lo stesso discorso generale lo si può fare per quanto riguarda l'impianto di produzione di acqua calda sanitaria che è composto da: sottosistema di erogazione, sottosistema di distribuzione, sottosistema di accumulo (eventuale), sottosistema di generazione con le relative perdite e si ricorda che parte delle perdite legate appunto al sistema di produzione di acs concorrono a ridurre il fabbisogno ideale netto del sistema di riscaldamento (fa parte del termine Q_{int} come avevamo spiegato nel paragrafo precedente).

Anch'esso, quindi, necessiterà di un fabbisogno di energia termica necessaria per riscaldare una quantità di acqua alla temperatura desiderata:

$$Q_{H,w} = \rho_w * c_w * G * [V_w * (\theta_{er} - \theta_o)] \text{ [kWh]}$$

Equazione 19-Fabbiaogno energia termica per produzione ACS

Con:

- ρ_w massa volumica dell'acqua pari a 1000 kg/m^3;
- c_w il calore specifico dell'acqua, pari a 1,162 * 10-3 [kWh / (kgK)];
- G numero di giorni del periodo di calcolo considerato [giorni];
- V_w è il volume di acqua giornaliero richiesto dall'attività o servizio [m^3 / giorno];

*Vw = a · Nu [l/G]
**a è il fabbisogno giornaliero specifico [l/G];
**Nu è il parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio.

**Nel caso di destinazioni d'uso residenziali il valore di Nu corrisponde con il valore della Superficie utile (Su) dell'abitazione, mentre il valore di a si ricava utilizzando le informazioni contenute nella tabella seguente da UNI/TS 11300-2 prospetto 12

		valore di Su [m^2]	
	<=50	51-200	>200
a	1,8	$4{,}514 \cdot S_u^{-0{,}2356}$	1,3

***Qualora si stia trattando un edificio residenziale multifamiliare, è necessario calcolare il fabbisogno per ciascun appartamento, in relazione alla sua superficie e poi procedere alla sommatoria dei valori ottenuti per calcolare il fabbisogno complessivo, questo per sistemi centralizzati, nel caso di impianti autonomi si procede logicamente per singoli appartamenti. Inoltre, essendo il calcolo del volume di acqua richiesto non lineare (in riferimento alla superficie), non è pertanto possibile sommare in un unico calcolo tutti gli appartamenti di un condominio con impianto centralizzato.

- θ_{er} è la temperatura di erogazione dell'acqua [°C];
- θ_o è la temperatura dell'acqua fredda sanitaria in ingresso [°C];

Di norma la temperatura di erogazione deve essere pari a 40°C e la temperatura di ingresso di 15°C (differenza di temperatura di riferimento pari a 25°C).

In seguito mediante i bilanci sarà trovata l'energia prima totale richiesta per adempiere a questo fabbisogno utile e i vari rendimenti, come abbiamo detto, il procedimento è lo stessa di quello dell'impianto di riscaldamento.

Per entrambi gli impianti si potranno utilizzare diversi sistemi e eventuale accumulo, ma sull'impiantistica ci soffermeremo più avanti.

Per valutare la prestazione energetica degli edifici sarà necessario trovare la quantità di energia primaria (nello specifico la parte non rinnovabile) richiesta per coprire il fabbisogno termico e, relativamente agli ambiti di nostro interesse (tralasciando illuminamento e climatizzazione estiva), va misurata tramite il rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento, di produzione di acqua calda sanitaria e dei due eventualmente combinati.

$$\eta_{g(,H)} = Q_{H,nd}/Q_{p,H}$$
$$\eta_{g,W} = Q_{H,w}/Q_{p,w}$$
$$\eta_{g,H+W} = (Q_{H,nd} + Q_{H,w})/Q_{p,H,w}$$

Equazione 20-Rendimenti medi stagionali impianti

Dove:

- $Q_{H,nd}$ è il fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento [kWh];
- $Q_{p,H}$ è il fabbisogno globale di energia primaria per riscaldamento, da determinare [kWh];
- $Q_{H,w}$ è il fabbisogno di energia termica utile per produzione ACS alla temperatura desiderata [kWh];
- $Q_{p,w}$ è il fabbisogno globale di energia primaria per produrre ACS alla temperatura desiderata [kWh];
- $Q_{p,H,w}$ è è il fabbisogno globale di energia primaria per impianto di riscaldamento + ACS [kWh];

Considerando ora l'impianto di riscaldamento vediamo:

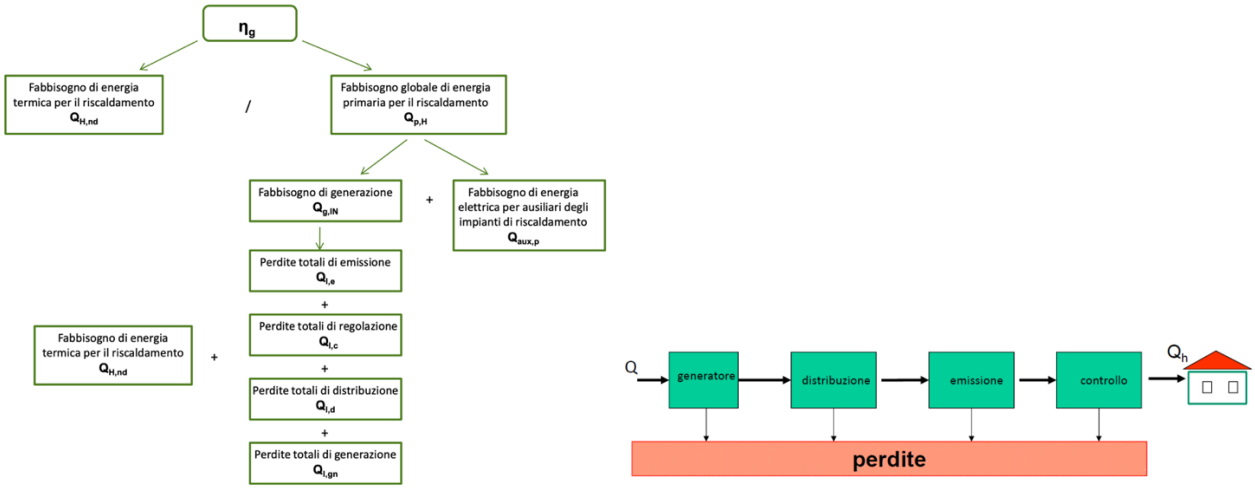


Figura 23-Bilancio impianto di riscaldamento e relative perdite

Il rendimento globale medio stagionale da decreto non dovrà risultare inferiore al valore:

$$\eta_g = (65 + 3\ logP_n)\%$$

dove P_n è la potenza utile nominale [kW] del generatore di calore del singolo impianto termico.

La formulazione del bilancio energetico dell'edificio (fatta nelle pagine precedenti) è finalizzata alla determinazione del fabbisogno di energia primaria totale che ora definiremo analiticamente seguendo la UNI/TS 11300 parte 2 che permette le valutazioni sui fabbisogni annuali di energia primaria, i rendimenti e le perdite dei sottosistemi di generazione alimentati con combustibili fossili, liquidi o gassosi.

Come si vede dalla foto, il fabbisogno globale di energia primaria per il riscaldamento non è altro che la somma di: fabbisogno di generazione e fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di riscaldamento. Il calcolo del fabbisogno di energia primaria è quindi basato sul calcolo delle perdite di energia nelle varie sezioni che compongono l'impianto (sottosistemi), parte delle quali sono recuperabili. Ora andiamo ad analizzare tutti i termini per avere il quadro completo del bilancio globale per il fabbisogno dell'impianto di riscaldamento:

$$Q_{p,H} = Q_{gn,IN} + Q_{aux,p} * (f_{p,el}) \quad [\text{kWh}]$$

Equazione 21-Fabbisogno energia primaria per il riscaldamento

$$Q_{gn,IN} = Q_{H,nd} + Q_{I,e} + Q_{I,c} + Q_{I,d} + Q_{I,gn} \quad [\text{kWh}]$$

Equazione 22-Fabbisogno in ingresso alla generazione

Gli ultimi quattro addendi sono rispettivamente le perdite totali in kWh dei vari sottosistemi: emissione, regolazione, distribuzione e generazione. Per ogni sottosistema si deve quindi identificare il fabbisogno in ingresso, l'energia ausiliaria totale richiesta, le perdite e le perdite recuperabili. Di norma si utilizza sempre il livello di calcolo semplificato basato su valori precalcolati contenuti in tabelle nelle quali sono precisate le condizioni al contorno che fissano i limiti di applicazione delle stesse e non si considerano le perdite recuperabili termiche e/o elettriche, cosa che invece si riscontrerebbe eseguendo il livello di calcolo dettagliato, che richiede molto più tempo e che però quasi sempre richiede informazioni difficilmente

accessibili. Andiamo ora a valutare questi termini (solitamente l'analisi è su base mensile e per ogni zona termica):

- Sottosistema di emissione, calcoliamo le perdite come:

$$Q_{I,e} = Q_{H,nd} * (1 - \eta_e)/\eta_e$$

Equazione 23-Perdite sottosistema di emissione

Con η_e rendimento di emissione, calcolato in base al Prospetto 17 della norma UNI/TS 11300-2 (riportiamo solo questa tabella per far capire che la norma si basa su tabelle riportanti valori standard)

Rendimento di emissione in locali di altezza minore di 4 metri

Tipo di terminale di erogazione	Carico termico medio annuo W/m³		
	<4	4-10	>10
	η_e		
Radiatori su parete esterna isolata	0,98	0,97	0,95
Radiatori su parete interna	0,96	0,95	0,92
Ventilconvettori (**) valori riferititi a t_{media} acqua = 45°C	0,96	0,95	0,94
Termoconvettori	0,94	0,93	0,92
Bocchette in sistemi ad aria calda (°)	0,94	0,92	0,90
Pannelli annegati a pavimento	0,99	0,98	0,97
Pannelli annegati a soffitto	0,97	0,95	0,93
Pannelli a parete	0,97	0,95	0,93

carico termico medio annuo

$$\bar{\phi}_i = \frac{Q_{h,nd}}{V_i \cdot t}$$

dove:

$Q_{h,nd}$ è il fabbisogno netto di energia dell'edificio per riscaldamento;

V_i è il volume lordo dell'edificio che delimita gli ambienti riscaldati;

t è il periodo di riscaldamento convenzionale.

Fonte: UNI/TS 11300-2

Rendimento di emissione in locali di altezza superiore a 4 metri

Descrizione	Carico termico (W/m²)								
	<4			4 - 10			>10		
	Altezza del locale								
	6	10	14	6	10	14	6	10	14
Radiatori su parete esterna isolata (*)	0,96	0,94	0,92	0,95	0,93	0,91	0,93	0,91	0,89
Radiatori su parete interna	0,94	0,92	0,90	0,93	0,91	0,89	0,90	0,88	0,86
Ventiloconvettori (*) (valori riferiti a temperatura media acqua = 45°C)	0,94	0,92	0,90	0,93	0,91	0,89	0,92	0,90	0,88
Generatore d'aria calda singolo a basamento o pensile	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
Aerotermi ad acqua	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90
Generatore d'aria calda singolo pensile a condensazione	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
Strisce radianti ad acqua, a vapore, a fuoco diretto	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95
Riscaldatori ad infrarossi	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94
Pannelli a pavimento annegati (**)	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
Pannelli a pavimento (isolati)	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95

Fonte: UNI/TS 11300-2

Tabella 7-Rendimenti tabulati sottosistema di emissione

Esso è il rapporto fra il calore richiesto per il riscaldamento degli ambienti con un sistema di emissione teorico in grado di fornire una temperatura ambiente perfettamente uniforme ed uguale nei vari locali ed il sistema di emissione reale nelle stesse condizioni di temperatura ambiente ed esterna.

Per far fronte alle perdite di emissione (perdite di energia termica dovute a non omogenea distribuzione della temperatura dell'aria negli ambienti o a flussi di calore diretti verso l'esterno) il sistema dovrà soddisfare un fabbisogno di emissione totale di $Q_{e,IN} = Q_{H,nd} + Q_{I,e}$.

- Sottosistema di regolazione o controllo, calcoliamo le perdite come:

$$Q_{I,c} = Q_{e,IN} * (1 - \eta_c)/\eta_c$$

Equazione 24-Perdite sottosistema di regolazione

Il rendimento di regolazione è il rapporto tra la quantità di energia richiesta per il riscaldamento degli ambienti con un sistema di regolazione ideale rispetto a quello richiesto da un sistema in condizioni reali.
η_c è il rendimento di regolazione, calcolato secondo in base alla tabella del prospetto 20 della norma UNI/TS 11300-2, dipende da tipo e caratteristica di regolazione e dall'inerzia termica dei terminali.
Il fabbisogno di regolazione è, a questo punto, il fabbisogno di emissione sommato alle perdite di regolazione $Q_{c,IN} = Q_{e,IN} + Q_{I,c}$

- Sottosistema di distribuzione, calcoliamo le perdite come:

$$Q_{I,d} = Q_{c,IN} * (1 - \eta_d)/\eta_d$$

Equazione 25-Perdite sottosistema di distribuzione

Il rendimento di distribuzione è calcolato secondo in base al Prospetto 21 della norma UNI/TS 11300-2 che riporta dei rendimenti standard in base alla tipologia di distribuzione (orizzontale, verticale), edificio e grado di isolamento delle tubazioni. I valori dei prospetti si riferiscono a distribuzione con temperatura variabile, con temperature di mandata e ritorno di progetto di 80 °C e 60 °C.
Per temperature di progetto differenti si applicano i coefficienti di correzione dei rendimenti.

L'efficienza di distribuzione è il rapporto tra calore utile emesso dai corpi scaldanti e calore disperso dalla rete di distribuzione all'interno dell'involucro riscaldato dell'edificio fratto il calore in uscita dall'impianto di produzione immesso nella rete di distribuzione.
Il fabbisogno di distribuzione è il fabbisogno di regolazione sommato alle perdite di distribuzione
$Q_{d,IN} = Q_{c,IN} + Q_{I,d}$

La distribuzione infine è su più livelli: distribuzione interna alle singole unità immobiliari, anche definita distribuzione "di utenza", distribuzione comune a più unità immobiliari, anche definita "circuito di distribuzione", circuito primario, che alimenta più reti di utenza circuiti di distribuzione o fabbricati, circuito di generazione ossia quello nel quale è inserito il sottosistema di generazione.

- Sottosistema di generazione, calcoliamo le perdite come:

$$Q_{I,gn} = Q_{d,IN} * (1 - \eta_{gn})/\eta_{gn}$$

Equazione 26-Perdite sottosistema di generazione

Le perdite di generazione tengono conto delle caratteristiche del generatore e delle sue modalità di utilizzo (temperatura dell'acqua media e/o di ritorno al generatore nelle condizioni di esercizio) si tiene anche conto delle modalità di inserimento del generatore nell'impianto e, in particolare, dal suo dimensionamento rispetto al fabbisogno dell'edificio.

Il rendimento di generazione è calcolato in base al Prospetto 23 della norma UNI/TS 11300-2 ed è il rapporto fra calore utile prodotto nella stagione di riscaldamento ed energia fornita nello stesso periodo (sotto forma di combustibile e energia elettrica per azionamento di bruciatore e pompe).

Il fabbisogno di generazione è il fabbisogno di distribuzione sommato alle perdite di generazione.
$Q_{gn,IN} = Q_{d,IN} + Q_{I,gn}$. Ritroviamo la formula vista all'inizio.
L'energia che deve essere fornita dal sottosistema di generazione deve logicamente essere pari al fabbisogno di energia primaria per riscaldamento e produzione ACS.

Resta infine da analizzare il fabbisogno elettrico degli ausiliari di un impianto di riscaldamento:

$$Q_{H,aux} = W_{aux,t} * t_{gn} = (W_{aux,e} + W_{aux,d} + W_{aux,gn}) * t_{gn} \text{ [kWh}_{el}\text{]}$$

Equazione 27-Fabbisogno elettrico ausiliari impianto di riscaldamento

Dove:

- $W_{aux,t}$ è il valore della potenza totale degli ausiliari, espresso in [W];

$$W_{aux,t} = W_{aux,pn} + W_{gn,PO,pr}$$

*$W_{gn,PO,pr}$ è il valore della potenza della pompa primaria, espresso in [W];

* $W_{aux,pn}$ è il valore della potenza degli ausiliari del generatore a bordo della caldaia, espresso in [W], che in assenza di valori dichiarati dal fabbricante può ricavarsi come:

$$W_{aux,pn} = G + (H * \phi_{Pn}{}^{n})$$

*G, H, n parametri ricavabili dall'Appendice B dell'UNI/TS 11300-2;
• ϕ_{Pn} è la potenza termica utile nominale del generatore, espressa in [W], secondo dati di targa.

- t_{gn} è il tempo di funzionamento del generatore, espresso in [h].

Arrivando al dunque vediamo che il bilancio energetico di un edificio lo si calcola considerando ciascun fabbisogno annuo di energia primaria [kWh/anno]: climatizzazione invernale, climatizzazione estiva, illuminazione, produzione acqua calda sanitaria, servizi di trasporto per persone e/o cose.

I vari fabbisogni saranno poi utilizzati ai fini della certificazione energetica dell'edificio che sarà determinata dall'APE, l'attestato di prestazione energetica, sulla base dei risultati ottenuti circa i fabbisogni di energia primaria ed i relativi indici di prestazione energetica e fattori di conversione.
Ai fini delle verifiche progettuali del rispetto dei requisiti minimi, si effettua, come anticipato, il calcolo sia dell'energia primaria totale che dell'energia primaria non rinnovabile, ottenute applicando i pertinenti fattori di conversione in energia primaria totale $f_{P,tot}$ ($f_{P,tot} = f_{P,nren} + f_{P,ren}$) e in energia primaria non rinnovabile $f_{P,nren}$.
Ai fini della classificazione degli edifici, si effettua il calcolo dell'energia primaria non rinnovabile.

Vettore energetico	$f_{P,nren}$	$f_{P,ren}$	$f_{P,tot}$
Gas naturale [1]	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica da rete	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento	1,5	0	1,5
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4
Teleraffrescamento	0,5	0	0,5
Energia termica da collettori solari	0	1,00	1,00
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico [5]	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore	0	1,00	1,00

Tabella 8-Fattori di conversione energia primaria

I valori standard riportati in tabella sono da tenere buoni in assenza di valori dichiarati dal fornitore e asseverati da parte terza, nel nostro caso, ad esempio, il fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile per teleriscaldamento è fornito dalla società che si occupa di tutto ciò ed è pari a 0,908.

In conclusione, arriviamo ad avere i vari indici di prestazione energetica EP parziali, passando dal rendimento del relativo impianto, così che il fabbisogno utile diventerà il fabbisogno globale di energia primaria, e dalla superficie netta dell'edificio; per quanto riguarda il nostro caso l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale sarà così dato:

$$EP_{inv} = \frac{Q_{H,nd}}{Sup.utile(netta\ calpestabile)} * \frac{1}{\eta_g}\ \text{[kWh/(m}^2\text{anno)]}$$

Equazione 28-Indice di prestazione energetica della climatizzazione invernale

Idem per la produzione di acqua calda sanitaria solo ovviamente coi suoi relativi fabbisogni e rendimenti.
A regime l'indice di prestazione globale dell'edificio sarà la somma dei servizi energetici.

$$EP_{gl} = EP_{inv} + EP_{acs} + EP_{est} + EP_{ill} + EP_{ventilazione} + EP_{trasp.persone/cose}$$

Equazione 29-Indice globale di prestazione energetica dell'edificio

Questi indici sono espressi in kWh/m^2 all'anno per gli uffici residenziali, per altre categorie quali ad esempio il terziario sono espressi in kWh/m^3 anno. La determinazione degli indici parziali di prestazione energetica è fatta solo se sono presenti tali servizi per quanto riguarda ventilazione meccanica e climatizzazione estiva, mentre per l'illuminazione e il trasporto di persone o cose essa è obbligatoria solo per determinati edifici con scopi particolari (collegi, case di pena, ospedali).
Una volta calcolati, gli indici di prestazione energetica daranno sì che nell'APE ci sia restituita la classe energetica dell'edificio secondo un rapporto tra l'EP calcolato e l'EP dell'edificio di riferimento, ma l'APE sarà in ogni caso tema centrale di un intero paragrafo nel capitolo successivo dove verranno meglio spiegate le dinamiche e presenteremo quello redatto da noi nel nostro caso studio.
Tutti questi passaggi per arrivare all'APE saranno logicamente svolti tramite programmi che, sulla base dei nostri dati di input, andranno ad elaborare tutti questi calcoli restituendoci la classe energetica dell'edificio, è alla base del bagaglio dell'ingegnere energetico tutta via sapere i meccanismi dei vari bilanci energetici per avere sempre tutta la situazione sotto controllo, tecnologia a parte.

CAPITOLO 2

STATO DI FATTO DEL COMPLESSO

2.1 Struttura e zona climatica

Andremo in questo capitolo a mettere in pratica gli argomenti trattati, applicandoli al nostro caso studio.
Il complesso residenziale è sito nella frazione San Sicario alto, comune di Cesana Torinese, a 1.700 metri sul livello del mare, su un terrazzo naturale in alta Val di Susa, a circa 100 km da Torino e non troppo distante dal confine francese. Il luogo si presenta come un centro turistico all'avanguardia dati i XX giochi Olimpici invernali ed è quindi densamente abitato ma solo stagionalmente e nei periodi festivi, restando invece quasi del tutto inabitato nella restante parte dell'anno, questo sarà da tenere in considerazione per la nostra diagnosi, in quanto catalogheremo gli appartamenti come "ad uso saltuario".
Il residence R8 è caratterizzato da tre corpi di fabbrica A, B, C per un totale di 182 appartamenti.

Nel blocco A vi sono gli appartamenti dal n°1 al n°95

Nel blocco B vi sono gli appartamenti dal n°96 al n°129

Nel blocco C vi sono gli appartamenti dal n°130 al n°182

Riportiamo in l'immagine aerea del complesso acquisita con Google Earth e la relativa pianta con indicati i blocchi. Il nord geografico coincide all'incirca con la direzione verso cui è esposta la parete di sinistra del blocco A

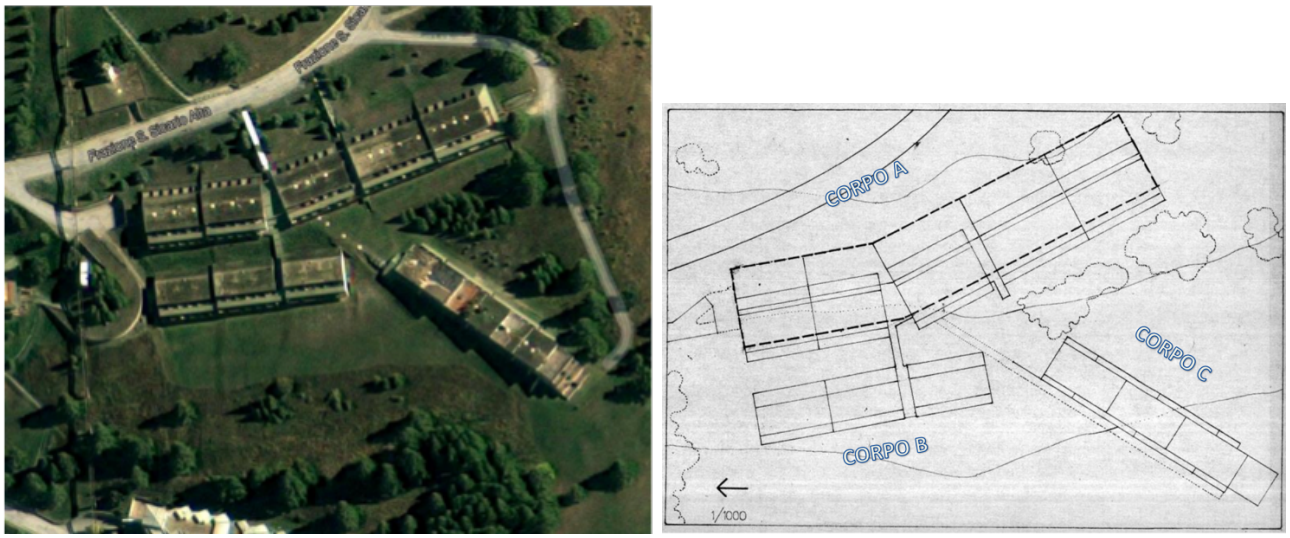


Figura 24-Pianta satellitare e geometrica di R-8

L'Italia è divisa in 6 zone climatiche, l'appartenenza ad ogni relativa zona non dipende dalla posizione geografica, ma esclusivamente dai gradi giorno della località. Torino e Milano, per esempio, si trovano nella zona E; si evince che le località appartenenti alla zona A sono le più calde, fino ad arrivare a quelle della zona F, che sono le più fredde, ed è proprio in questa zona che scopriremo essere San Sicario alto.

I gradi giorno rappresentano la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C e la temperatura esterna media giornaliera, quest'ultima è calcolata come media aritmetica di quattro valori giornalieri di temperatura cioè T_{max} e T_{min}, riferite alle ore 8.00 e alle 19.00. La sommatoria viene estesa a tutta la stagione convenzionale di riscaldamento, cioè tutta la stagione in cui la temperatura media esterna è inferiore a 12°C. Viene così individuato il periodo: i giorni di inizio e fine del periodo di riscaldamento sono fissati in modo che la temperatura media esterna risulti rispettivamente inferiore e superiore a 12°C per tre giorni consecutivi.

I gradi giorno e quindi la relativa zona climatica di una località permettono di stabilire l'intervallo di date entro il quale è ammesso utilizzare il sistema di riscaldamento e il numero di ore giornaliere in cui può essere tenuto attivo che in ogni caso va, al massimo, dalle ore 05 alle ore 23, fatta eccezione per la zona F.

$$GG = \sum_t (Trif\ (= 20) - Te) \quad [\text{GG}]$$

Equazione 30-Calcolo dei gradi giorno

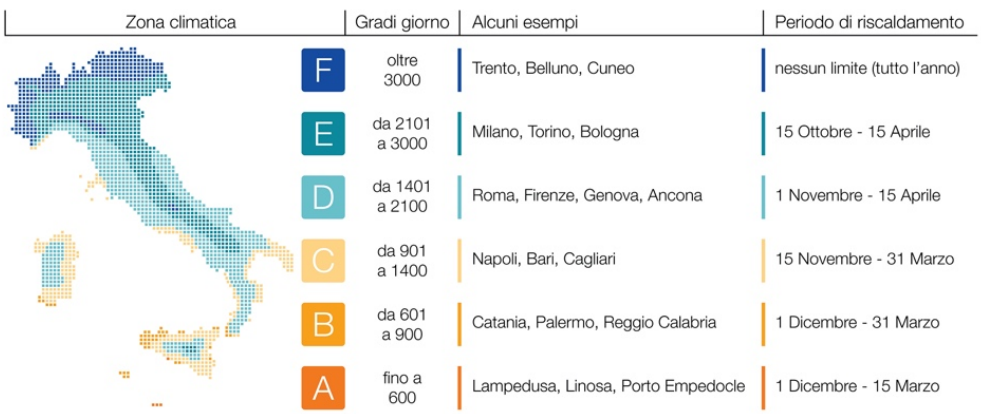


Figura 25-Suddivisione zone climatiche della nazione

Risulta immediato capire che maggiori sono i gradi giorno di una località, più rigido sarà il suo clima.
Nel nostro caso si fa riferimento al comune di appartenenza Cesana torinese e i gradi giorno della località risultano essere 4385, quindi San Sicario risulterà nella zona F, infatti le temperature sono molto rigide e vi è un periodo illimitato di riscaldamento annuale. La zona climatica di appartenenza sappiamo essere di centrale importanza anche per quanto riguarda la certificazione energetica dell'edificio in quanto uno stesso ipotetico edificio collocato per esempio a Bari o a Torino richiederà valori diversi di kWh/m^2 annui per essere scaldato e quindi se quello a Torino può con TOT risultare di una buona classe energetica sicuramente non sarà lo stesso per l'altro nel caso richieda la stessa quantità di energia primaria per il riscaldamento.
Questo discorso sarà comunque ripreso dettagliatamente quando verrà affrontato il capitolo riguardante la prestazione energetica degli edifici. In figura riportiamo i dati estrapolati dal software riguardo la località del nostro complesso.

DATI CLIMATICI DELLA LOCALITÀ

Caratteristiche geografiche

Località		Cesana Torinese		
Provincia		Torino		
Altitudine s.l.m.			1354	m
Latitudine nord	44° 57′	Longitudine est	6° 47′	
Gradi giorno DPR 412/93			4385	
Zona climatica			F	

Località di riferimento

per dati invernali	Torino
per dati estivi	Torino

Stazioni di rilevazione

per la temperatura	Bauducchi
per l'irradiazione	Bauducchi
per il vento	Bauducchi

Caratteristiche del vento

Regione di vento:	A		
Direzione prevalente	Nord-Est		
Distanza dal mare		> 40	km
Velocità media del vento		3,9	m/s
Velocità massima del vento		7,8	m/s

Dati invernali

Temperatura esterna di progetto		-14,0	°C
Stagione di riscaldamento convenzionale	dal 05 ottobre al 22 aprile		

Dati estivi

Temperatura esterna bulbo asciutto	25,0	°C
Temperatura esterna bulbo umido	21,2	°C
Umidità relativa	71,9	%
Escursione termica giornaliera	11	°C

Temperature esterne medie mensili

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	-5,0	-3,1	2,1	5,7	11,8	15,9	17,4	16,4	12,9	6,1	0,6	-3,6

Irradiazione solare media mensile

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m²	1,7	2,7	3,6	5,1	7,8	9,7	9,6	6,9	4,5	3,0	1,9	1,4
Nord-Est	MJ/m²	1,8	3,3	5,3	7,9	10,5	12,5	13,0	10,3	6,9	4,0	2,1	1,5
Est	MJ/m²	3,7	5,8	8,5	11,0	12,9	14,7	15,6	13,6	10,3	6,7	3,6	3,2
Sud-Est	MJ/m²	6,3	8,5	10,6	11,7	12,0	12,8	13,9	13,5	11,9	9,0	5,6	5,8
Sud	MJ/m²	8,0	10,0	11,2	10,5	9,9	10,1	11,0	11,5	11,6	10,2	6,8	7,5
Sud-Ovest	MJ/m²	6,3	8,5	10,6	11,7	12,0	12,8	13,9	13,5	11,9	9,0	5,6	5,8
Ovest	MJ/m²	3,7	5,8	8,5	11,0	12,9	14,7	15,6	13,6	10,3	6,7	3,6	3,2
Nord-Ovest	MJ/m²	1,8	3,3	5,3	7,9	10,5	12,5	13,0	10,3	6,9	4,0	2,1	1,5
Orizz. Diffusa	MJ/m²	2,4	3,8	4,9	6,1	8,3	9,1	8,8	7,6	6,0	4,3	2,8	2,0
Orizz. Diretta	MJ/m²	2,2	3,9	6,8	9,9	11,4	13,7	15,2	12,6	8,6	4,7	2,0	1,9

Irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione: 278 W/m²

Figura 26-Dati località ricavati dal software Edilclima

2.2 Il sopralluogo

In data 17/11/2020 assieme all'ing. Aiassa è stato fatto il sopralluogo a San Sicario alto per prendere visione degli eventuali lavori da fare e proporre degli ipotetici scenari, però non ancora analizzati, su interventi plausibilmente da fare per migliorare la situazione energetica del complesso ed effettuare se possibile i due salti di classe energetica per poter attivare il cassetto fiscale del superbonus 110%.
Sono state evidenziate le maggiori criticità per poter avere una chiave di lettura immediata ed avere una linea guida.
Riportiamo in questo paragrafo le fotografie scattate in loco spiegando cosa viene rappresentato in esse per dare al lettore un'idea del luogo, ci limiteremo ovviamente, per privacy a riportare ciò che è visibile dall'esterno.

Nella prima fotografia si vede, seppur parzialmente coperta da vegetazione, la parte del complesso che da sulla strada principale, risultano visibili i due ingressi, la copertura piana e la parete del blocco A che da rispettivamente ad est e a nord est. Salta subito all'occhio la dimensione tutt'altro che esigua del complesso che infatti è stata soggetto di analisi approfondite e occupanti un discreto periodo di tempo.

Figura 27-Parte frontale blocco A visto dalla strada principale di San Sicario

Il blocco A si sviluppa su piano terra, piano primo e piano secondo (così in ambo i suoi rami) e presenta altezze sfalsate da un ramo all'altro, inoltre sotto la quasi totalità di esso è presente l'autorimessa del complesso, come si vedrà poi dalle planimetrie. Questo è un aspetto molto importante ai fini della riqualificazione in quanto si potrà effettuare una coibentazione, essendo l'autorimessa considerata alla stregua di una zona non riscaldata, molto più semplice rispetto ad un ipotetico pavimento controterra in quanto non si dovrà lavorare all'interno di corridoi ed alloggi ma si potrà lavorare all'intradosso dell'autorimessa senza intaccare l'abitabilità degli alloggi. Sull'isolamento del tetto, pareti verticali e altri elementi disperdenti verranno spiegate indicazioni a fine paragrafo anche in base a cosa è emerso dalla chiacchierata con l'amministratore di R-8.

Dal blocco A possiamo vedere di fronte, parallelo, il blocco B ed infine il blocco C che vediamo in foto essere leggermente spostato, disallineato dagli altri due.

Figura 28-Blocco B (in primo piano) e blocco C (in secondo piano) visti dall'interno del blocco A

Per dare una visione globale del complesso sono inserite ancora due fotografie.

Figura 29-Facciata posteriore del ramo sinistro (se visto dalla strada) del blocco A e tunnel di collegamento

Figura 30- Vista del complesso dalla vallata sotto il blocco B: blocco B stesso in primo piano e, defilato, il blocco C che intravediamo svilupparsi su sei piani di cui uno sopra il piano terra, quello cioè che si raggiunge dal collegamento con A e B e quattro che si infossano nel terreno seguendo l'avvallamento di quest'ultimo.

Entrando dall'ingresso principale cioè quello, scendendo le scalinate a bordo strada, del blocco A oppure risalendo in A una volta parcheggiata la macchina si può quindi raggiungere sia B che C, a seconda del corridoio imboccato. B e C non comunicano direttamente invece C è raggiungibile direttamente da A tramite un tunnel, per metà interrato, in ogni caso scendendo le scale all'ingresso di A vi è lo snodo per tutti i blocchi del complesso.

Abbiamo ispezionato le centrali termiche di ogni blocco, le quali vengono dette sottocentrali poichè, essendoci il teleriscaldamento, in esse avviene lo scambio di calore tra il fluido caldo che arriva, nella rete primaria, dalla stazione di teleriscaldamento e quello che dovrà riscaldare le utenze, all'interno della rete secondaria, spiegheremo in ogni caso in un paragrafo apposito l'impianto ed il teleriscaldamento.

Parlando ora di componenti disperdenti possiamo notare come ovviamente vi siano, come raccontato nel capitolo precedente due tipologie

- Componenti pachi: tutte le pareti esterne, le coperture (tetto piano, tetto a terrazzo e copertura inclinata), i pavimenti
- Componenti trasparenti: ossia infissi, molto numerosi essendoci 182 appartamenti tra porte vetrate, portefinestre che danno su ingresso, oblò e finestre normali.

Per quanto riguarda i pavimenti, se per A esso da nella quasi totalità su un vano non risaldato (e quindi facilmente coibentabile senza problemi, isolando all'intradosso del vano che risulta essere la autorimessa, come detto in precedenza) non vale lo stesso per gli altri blocchi dove infatti per più della metà il pavimento risulta controterra e non eseguiremo scavi e quindi coibentazioni su volere dell'amministratore e di ciò che è stato deciso nelle riunioni condominiali, riducendo quindi buona parte della superficie da coibentare e di conseguenza benefit energetici ottenibili. Per un simile discorso è stato deciso su richiesta dell'amministratore di procedere solo sui componenti delle parti comuni per quanto riguarda la coibentazione degli infissi e, laddove fosse possibile raggiungere ugualmente le condizioni del superbonus, è stato fortemente indicato di agire solo sulle pareti "corte" di tutti e tre i blocchi, che risultano essere le più facili su cui intervenire a livello di comodità per i condomini che ne risulterebbero per la quasi totalità esenti da disagi circa l'abitabilità.
Tutti i corridoi inoltre sono riscaldati, sale comuni incluse, non risultano riscaldati ovviamente le cantine, i depositi sci e l'autorimessa.

Il sopralluogo ci ha permesso, oltre che avere una situazione più chiara dello stato di fatto del complesso, di ascoltare le richieste dell'amministrazione per avere linee guida su cui andare a lavorare e basare le nostre analisi e di conseguenza proporre scenari idonei alle richieste o leggermente divergenti.

2.3 Impianto di riscaldamento e layout

Durante il sopralluogo l'amministratore ci ha dato il permesso di entrare nella centrale termica del blocco A che si trova alla fine del deposito sci, allo stesso livello dell'autorimessa.
Essendo il residence riscaldato tramite teleriscaldamento la centrale termica risulta la classica sottostazione termica.

Il teleriscaldamento è il processo di distribuzione del calore a distanza mediante un fluido termovettore ad alta temperatura (acqua calda o surriscaldata o vapore) attraverso un sistema di condotte isolate, provenienti da una grossa centrale di produzione che prevede l'applicazione delle tecnologie cogenerative con conseguente produzione di energia elettrica e calore che raggiungono le abitazioni. Il fluido termovettore caldo prodotto in centrale circola all'interno della rete primaria e scalda il fluido termovettore della rete secondaria che servirà i terminali delle utenze, successivamente il fluido torna alla centrale di produzione con un livello termico più basso.
La rete primaria si distribuisce lungo tutta la zona interessata, arrivando fino alla centralina di scambio sotto gli edifici. Quest'ultima prende per questo motivo il nome di sottostazione ed all'interno di essa si trovano le tubazioni che si allacciano dalla rete primaria (dove scorre il fluido termovettore caldo proveniente dalla centrale) e quelle della rete secondaria che ricevono il calore grazie allo scambiatore presente in centrale (il

quale gestisce lo scambio di calore tra il fluido termovettore proveniente dalla centrale di cogenerazione e quello che va agli ambienti da riscaldare) e portano il calore ai terminali delle utenze; il fluido termovettore infine dopo aver ceduto energia termica fa ritorno nella centrale, dove potrà essere nuovamente riscaldato e ridistribuito.
La rete di teleriscaldamento è solitamente formata da un insieme di condutture strutturate ad albero o ad anello, ed è costituita da una doppia tubazione (mandata e ritorno) interrata e adeguatamente coibentata ad esempio con schiuma di poliuretano. In figura è riportato in maniera semplice ma efficace il sistema di distribuzione di una rete di teleriscaldamento.

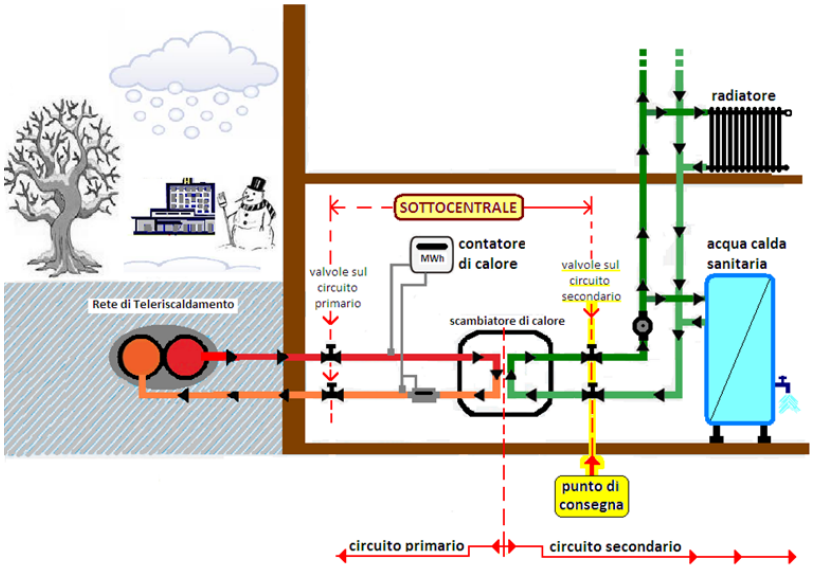


Figura 31-Sottostazione di teleriscaldamento

Le sottocentrali non sono altro che centrali termiche tradizionali nelle quali però manca il generatore di calore in quanto esso non risulta più necessario poichè non occorre produrre energia termica ma basta solo far sì che essa venga scambiata dal fluido proveniente dalla centrale a quello che andrà a servire i terminali delle utenze, quindi è necessario solo lo scambiatore. Sono presenti ovviamente elettropompe per la circolazione forzata dell'acqua lungo la rete di distribuzione (secondaria cioè quella delle utenze) dalla centrale alle utenze e la centralina di controllo che è il "cervello" dell'impianto in quanto permette di: impostare i tempi di accensione dell'impianto, regolare automaticamente la temperatura di mandata dell'acqua ai radiatori sulla base della temperatura esterna, rilevata con sonde di temperatura e altre funzioni coadiuvata da vari apparecchi.
Il calore trasportato tramite teleriscaldamento oltre ad essere ovviamente usato quale riscaldamento è anche per produzione acqua calda sanitaria.

Il teleriscaldamento risulta un sistema relativamente pulito in quanto le emissioni sono concentrate in un punto, cioè la centrale, che è dotata di sistemi di abbattimento di emissioni e sicuro poichè i rischi nelle sottocentrali sono pressoché nulli non essendoci alcun generatore di calore (nonostante esse richiedano un libretto e in caso di scambiatori di potenza termica nominale maggiori o uguale di 10kW un eventuale revisione). Ricordiamo che le centrali a cogenerazione, che producono il teleriscaldamento, sono un sistema completo di produzione e distribuzione di calore ed energia elettrica, che possono essere generati sfruttando differenti fonti energetiche nella centrale cogenerativa che ora andremo a descrivere.
Il calore è prodotto nella centrale di cogenerazione termoelettrica e può essere ricavato in diversi modi a seconda del territorio e della disponibilità di fonti energetiche, ad esempio ci possono essere centrali di cogenerazione a gas naturale/combustibili fossili o biomasse, centrali cogenerative da nucleare, solare termico o geotermico: cogenerazione infatti implica la simultanea produzione di elettricità e calore indipendentemente dal modo in cui essi siano prodotti (da che fonte).

Un impianto a cogenerazione è solitamente composto da: motore primo, generatore elettrico, impianto motore e recuperatori di calore.
L'energia elettrica proviene in genere da impianti motori termici primi, in cui il calore, attraverso un ciclo termodinamico viene convertito prima in energia meccanica e quindi in energia elettrica attraverso dei generatori elettrici. In questo processo di trasformazione, non tutto il calore può essere trasformato in "lavoro" come vuole il secondo principio della termodinamica, una parte deve essere scaricato o dissipato (sotto forma di vapore o fumi di scarico) per consentire il funzionamento stesso del sistema. È proprio questa porzione di calore che non viene "sfruttata" ad essere recuperata per la cogenerazione, sia per uso industriale (in genere sotto forma di vapore) o per usi civili (il riscaldamento degli edifici).
La cogenerazione quindi viene realizzata in particolari centrali termoelettriche, dove oltre alla produzione di elettricità mediante la rotazione di una turbina collegata ad un generatore, si recupera energia termica dai fumi di processo prodotti da un motore primo alimentato solitamente a combustibile fossile (gas naturale, olio combustibile, ecc.) che vengono convogliati attraverso un condotto in una caldaia di recupero per produzione di vapore e in questo modo si crea un grande risparmio di energia rispetto alla produzione separata dell'energia elettrica (tramite generazione in centrale elettrica) e dell'energia termica (tramite centrale termica tradizionale).
Il recupero può essere semplice, qualora non esista un postbruciatore, o un recupero con postcombustione in caso contrario (ma non sarà l'obiettivo della tesi analizzare l'impianto cogenerativo). I fumi in caldaia permettono di produrre acqua calda, vapore saturo o vapore surriscaldato. Solitamente si utilizza acqua calda per scopi di riscaldamento, vapore saturo per utenze industriali e vapore surriscaldato per turbine a vapore e utenze.
L'energia termica è utilizzata per scaldare il fluido termovettore che generalmente viene inviato a circa 90-100 °C e ritorna in centrale a 30-60 °C.

Tornando al nostro complesso qui l'acqua calda sanitaria (ACS) è di tipo centralizzato e prodotta nelle sottostazioni. I vani scala sono riscaldati e dotati di radiatori di tipo classico ai piani.
Il condominio è dotato di 3 sottostazioni della rete di teleriscaldamento, una per ogni blocco condominiale. Il sistema distributivo è caratterizzato da colonne montanti verticali vale a dire che la singola colonna montante serve diversi copri scaldanti di diversi appartamenti.
I corpi scaldanti sono principalmente ventilconvettori installati a pavimento tranne nei bagni dove sono installati radiatori di tipo classico ancorché di termoarredo. I ventilconvettori richiedono acqua a temperatura di circa 45/50°C, essi prelevano l'aria ambiente che passa attraverso il filtro liberandosi di polveri grosse, fibre e quant'altro e viene spinta verso la batteria di scambio termico dove per convezione forzata scambia calore con l'acqua e poi viene espulsa, scaldano molto velocemente ambienti anche di grandi dimensioni e favoriscono il ricircolo dell'aria, mantenendo inoltre corretti e confortevoli valori di umidità dell'aria, quindi sono particolarmente indicati per case abitate saltuariamente proprio come fa a caso di R-8.
È infine ovviamente presente un sistema di regolazione e contabilizzazione del calore che era stato progettato proprio dallo studio stesso qualche anno prima che divenisse obbligatorio.

Metan Alpi Sestriere Teleriscaldamento S.r.l è la società che si occupa del teleriscaldamento del nostro complesso e vanta tre centrali di cogenerazione con relativi servizi di teleriscaldamento nei comuni di Sestriere, Pragelato e appunto San Sicario, quest'ultimo entrato in funzione dal Novembre del 2015.
Nelle centrali cogenerative di Metan Alpi Sestriere Teleriscaldamento S.r.l. motori endotermici, funzionanti a metano, producono energia elettrica che viene immessa nella rete ENEL e attraverso sofisticati scambiatori risulta inoltre possibile recuperare l'energia termica, altrimenti dispersa, prodotta da gas di scarico, olio motore, acqua di raffreddamento e gas di sovralimentazione. Il recupero di energia termica (cogenerazione), normalmente tralasciata in quanto considerato di scarso pregio, consente di portare il rendimento totale dell'impianto (Energia Elettrica +Energia Termica) a valori complessivi superiori al 90%.

Molto interessante è la gestione del metano in quota in quanto la pressione viene fortemente influenzata dalla quota (ad altitudine elevate la pressione del gas diminuisce e ne aumenta il volume): per trasportare in quota il gas metano Metan Alpi ha costruito una condotta adduttrice di trasporto in alta pressione attraverso una rete primaria (feeder) di una trentina di chilometri di tubazione d'acciaio di diametro decrescente da 400 a 250 mm.

CAPITOLO 3

LA DIAGNOSI ENERGETICA

3.1 Il software: Edilclima

Da quando si è iniziato a dare importanza al tema ambientale, applicato all'ambito dell'edilizia, è stata data pian piano sempre più importanza alla progettazione di edifici a basso impatto ambientale o comunque alla riqualificazione di quelli già esistenti portandoli ad avere consumi molto più bassi dotandoli di impianti termici con rendimenti sempre più elevati e che, al contempo, necessitano di fabbisogni minori coibentando le strutture.
Nel primo capitolo abbiamo spiegato come ciò può essere fatto e ora andremo a metterlo in pratica su R-8, il complesso del caso studio per cui ci è stata chiesta un'analisi approfondita e un eventuale riqualificazione per poter attingere al cassetto fiscale del superbonus qualora i nostri interventi lo rendano possibile.
E' ovvio che per l'ingegnere o, più in generale, per il tecnico abilitato fare il lavoro a mano con i relativi calcoli su foglio bianco sarebbe uno spreco di tempo spropositato e inaudibile ai giorni d'oggi, infatti ormai da anni si è sviluppata la diffusione di programmi di termotecnica che garantiscono un archivio di dati immenso ed elaborano i calcoli una volta inseriti i dati di input necessari da parte della persona competente, che logicamente deve avere nozioni circa la termofisica dell'edificio ecc. per poter far sì che i risultati finali siano esatti e coerenti e che, nel caso risultino ambigui, sappia dove poter andare a mettere mano e cercare errori.
Il programma di termotecnica e termofisica dell'edificio utilizzato dallo studio Nosmet è il software Edilclima che è tra i principali del settore e garantisce, oltre che ad un ampio archivio di dati (impiantistici, geografici, ecc.), la progettazione impiantistica, la gestione termofisica dell'edificio e la verifica dell'osservanza dei vincoli di legge, sulla quale lavorare con eventuali interventi migliorativi.
Tutti gli strumenti di calcolo sono molto flessibili in modo tale da garantire che le decisioni e, in generale, il pugno della situazione sia comunque sempre del progettista che è solo aiutato dal programma e non deve mai sottostare ad esso.
Il software su cui abbiamo svolto il lavoro principale è EC700, che permette di toccare i temi più importanti quali:

- Compilazione di dati generali: dati di progetto, professionisti coinvolti nel lavoro, committenti, dati climatici, regimi normativi (se ad esempio si sceglie di procedere col calcolo regolamentare per verifiche di legge ed APE con valutazione A1/A2 o per una diagnosi energetica A3) e dati di default.
- Definizione dei componenti dell'involucro: qua creiamo muri, pavimenti, soffitti, ponti termici e componenti finestrati, con la loro relativa stratigrafia, valori di trasmittanze ecc.
- Ombreggiamenti: si vanno ad inserire i relativi ombreggiamenti in maniera semplificata o analitica e, se necessario, con un calcolo dinamico orario coi profili orari di utilizzo delle schermature.
- Zone climatizzate: può essere eseguita manualmente o tramite input grafico, qua andiamo a creare tutte le zone termiche di ogni alloggio delle unità immobiliari e così facendo andremo a inserire quali siano i componenti disperdenti, le superfici, i volumi e tutto ciò che concerne a questo argomento, da cui poi il programma trarrà i valori sommati categoria per categoria (superficie disperdente totale, riscaldata, superficie utile ecc.).
- Configurazione impianti: dove andremo ad inserire l'impianto termico (riscaldamento, acqua calda sanitaria, raffrescamento, ventilazione meccanico, solare termico, fotovoltaico) dell'edificio, in ogni sua forma cioè la rete di distribuzione dei circuiti, gli accumuli, i carichi e la generazione con i relativi rendimenti; inserendo inoltre, se presenti, relativi impianti a fonti rinnovabili di supporto o meno ed eventuali impianti di ventilazione e raffrescamento.

- Risultati fabbricato: qui il programma restituirà i risultati (condotti in assenza di qualsiasi impianto) circa potenza invernale, energia utile invernale, energia utile estiva, illuminazione artificiale (per edifici non residenziali), trasmittanze medie, tutto in base ai dati di input che sono stati dati.
- Risultati energia primaria: verranno qua restituiti i dati dei calcoli, a impianti esistenti, riferiti al servizio riscaldamento, al servizio acqua calda sanitaria, al servizio raffrescamento, alla producibilità dell'impianto solare, alla producibilità elettrica dell'impianto fotovoltaico, ai risultati totali, dove saranno visualizzati anche i risultati dei servizi di ventilazione meccanica, illuminazione artificiale degli ambienti e di trasporto di cose o persone.

Questi sono i parametri principali su cui noi abbiamo lavorato utilizzando EC700 ma, allo stesso tempo, le licenze possedute dallo studio permettevano l'utilizzo di moduli integrativi di fondamentale importanza (estensioni di EC700) quali:

- EC701 per verifiche di legge, relazione tecnica e attestato di qualificazione energetica
- EC705 l'attestato di prestazione energetica dove vengono effettuati tutti i calcoli relativi ai parametri richiamati nell'attestato di prestazione energetica secondo il DM 26.6.2009 o il DM 26.6.2015 a seconda del regime legislativo selezionato
- EC709 per calcolo ponti termici e valori di trasmittanza termica lineare di diverse tipologie di ponte termico al variare dei parametri progettuali di maggior interesse, secondo la procedura dettagliata prevista dalle norme UNI EN ISO 14683 ed UNI EN ISO 10211
- EC712 per il progetto dell'impianto solare termico, l'energia prodotta da esso ed utilizzabile per il riscaldamento degli ambienti e/o per la produzione di acqua calda sanitaria
- EC713 per il solare fotovoltaico per stimare l'energia elettrica prodotta dagli impianti fotovoltaici
- EC720 diagnosi energetica e interventi migliorativi per la simulazione di possibili interventi migliorativi finalizzati all'inserimento della Raccomandazioni nell'Attestato di Prestazione Energetica o alla redazione di una diagnosi energetica approfondita

In caso di riqualificazione, ossia il nostro, la procedura tipica è quella di inserire i dati in base allo stato di fatto dell'edificio, senza modificare niente, per ottenere in un primo momento i risultati complessivi finali dell'edificio esistente su cui andremo successivamente ad effettuare simulazioni una volta noto appunto lo stato di fatto.

L'interfaccia molto chiara e assolutamente non di difficile utilizzo si presenta all'utente in questo modo.

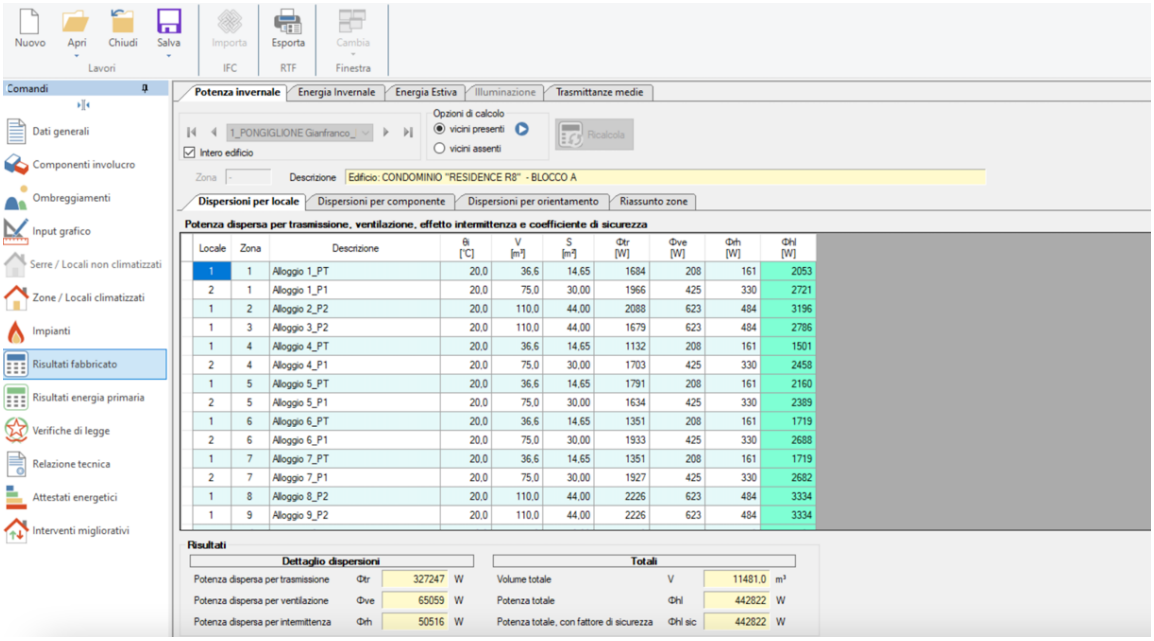


Figura 32-Interfaccia grafica standard Edilclima

3.2 Zonizzazione, piante e CAD

Abbiamo come prima cosa ottenuto dal comune di Cesana e dal catasto le informazioni necessarie per poter iniziare i lavori di analisi dell'edificio.

Riportiamo sotto un piano tipo per ogni blocco a titolo informativo, non tutti i piani sono identici, ad esempio il piano secondo del blocco A presenta un alloggio unico per ogni rettangolo che va da una parete perimetrale lunga a quella opposta senza il corridoio centrale, ma non ci dilungheremo troppo su questo.

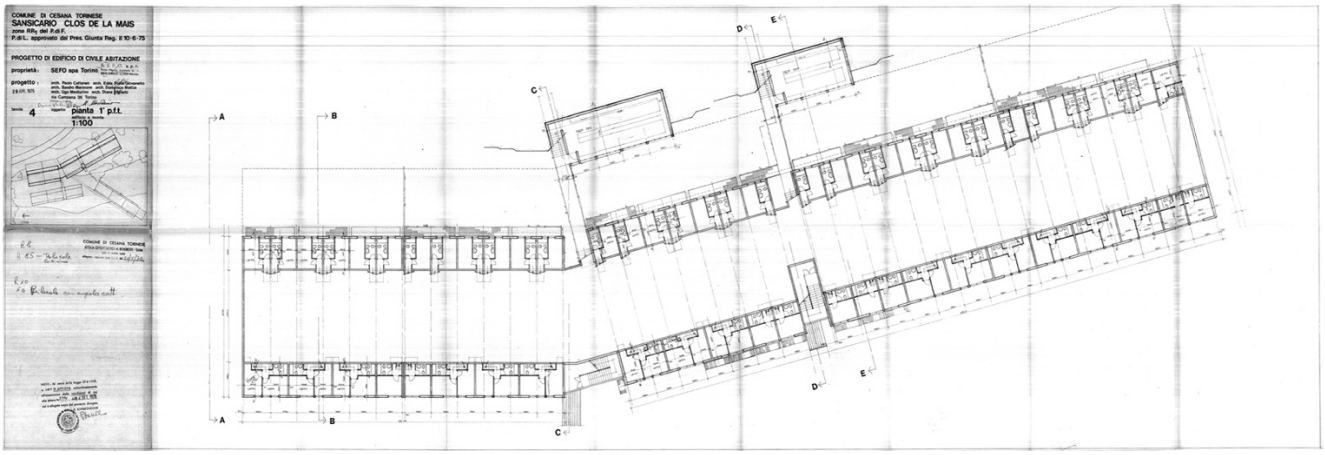


Figura 33-Pianta piano terra blocco A

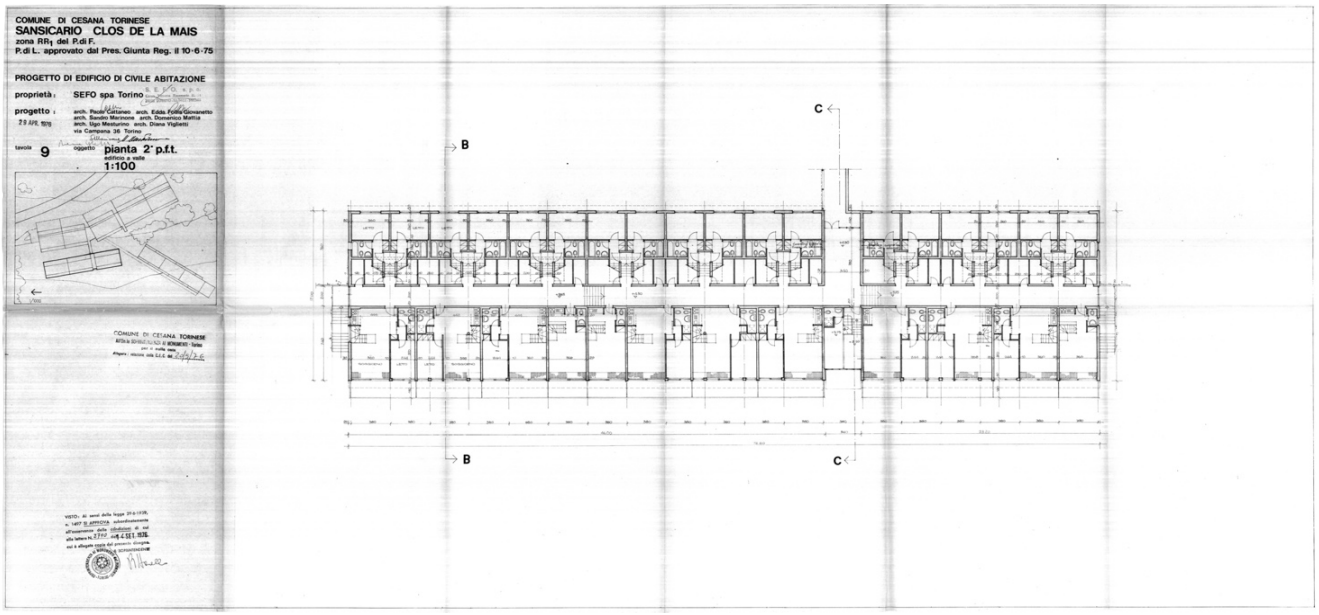


Figura 34-Pianta blocco B

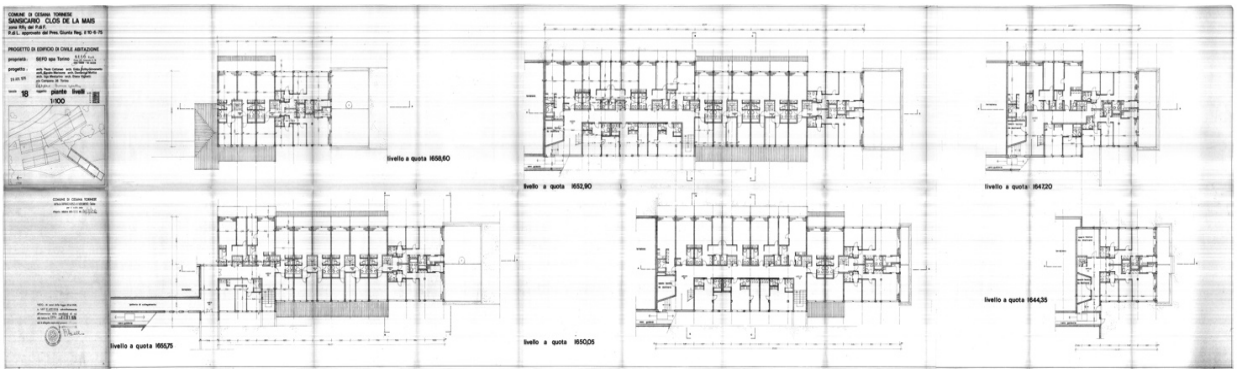


Figura 35-Pianta blocco C

Da queste abbiamo ricreato i modelli in scala su AutoCAD, il celebre software di disegno tecnico assistito, dove coadiuvati dall'architetto dello studio, siamo andati ad ottenere le planimetrie piano per piano per ogni blocco, su cui poter lavorare.
Utilizzando lo strumento della polilinea abbiamo delimitato ogni singolo alloggio di ogni piano per poter avere le superfici totali e le lunghezze dei vari componenti (pareti perimetrali e non, solette, coperture) disperdenti e non, in modo tale da avere i dati di input che saranno richiesti dal software Edilclima per avere una diagnosi energetica il più accurata possibile.

La zonizzazione è un tema molto importante e che va eseguita a monte dell'analisi per determinare i confini delle zone riscaldate, eventuali zone riscaldate a temperatura diversa o servite da un altro sistema di riscaldamento o zone non riscaldate. I corridoi di R-8 sono tutti riscaldati, in ogni blocco, quindi le pareti che daranno sui corridoi non saranno considerate disperdenti e quindi passibili di interventi di riqualificazione.
Tutti i blocchi sono costituiti da una molteplicità di unità immobiliari, climatizzate attraverso un unico sistema di generazione (uno per ogni blocco). Il volume climatizzato comprende gli spazi che si considerano riscaldati a date temperature di regolazione.
Tutte le porzioni di edificio climatizzate ad una determinata temperatura con identiche modalità di regolazione costituiscono una zona termica.
Per definire i confini del volume lordo climatizzato si considerano le dimensioni esterne dell'involucro, invece per definire i confini tra le zone termiche, si utilizzano le superfici di mezzeria degli elementi divisori come mostrato nella figura esportata da AutoCAD qua sotto dove vengono mostrati due alloggi adiacenti: la polilinea magenta rappresenta la superficie netta mentre quella blu il volume lordo.

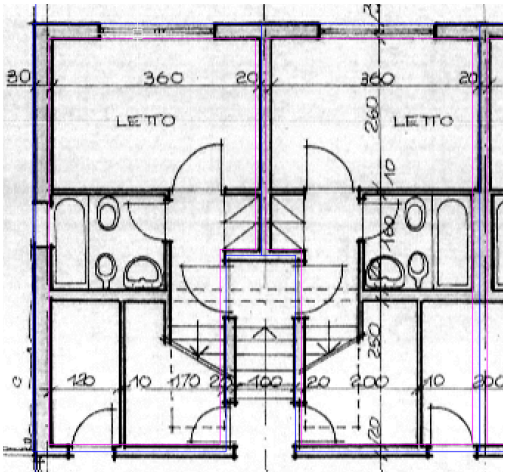


Figura 36-Confini volume lordo climatizzato

In Edilclima per ogni alloggio inseriremo superfici e volumi, lordi e netti e andremo a dare input su tutte le strutture disperdenti presenti per ogni alloggio, che siano solette, pareti esterne, coperture e componenti trasparenti. Assoceremo infine ad ognuna di esse i relativi ponti termici, laddove presenti.

3.3 Stratigrafia

Di fondamentale importanza ai fini delle stime di qualsiasi tipo di AUDIT energetico è sapere come sono formate le pareti dell'edificio, i loro materiali, se sono presenti più strati, eventuali intercapedini e altre peculiarità per arrivare ad avere i valori di trasmittanze medie corrette e sapere come e dove intervenire. Proprio per questo motivo si è ricorso su R-8, sulla maggior parte dei componenti disperdenti, a carotaggi. Questa tecnica è la più invasiva in quanto essa consiste nella vera e propria apertura degli elementi in questione con metodi "distruttivi" per andare a prelevare campioni e vedere come i materiali si succedono e si sviluppano per andare a formare l'elemento in questione; questo metodo è sicuramente molto critico e laddove possibile, si preferisce ricorrere ad altre vie quali ad esempio ipotizzare pareti standard riferendosi al periodo della loro costruzione, il carotaggio tuttavia è senza dubbio quello che permette di conoscere la situazione realistica e non solo supposta, dello stato di fatto, su cui a questo punto si può andare ad intervenire in maniera precisa e sicura, senza avere inconvenienti a lavori ultimati.
La parte più importante della stratigrafia è per quanto riguarda le criticità ossia tutti quegli elementi che risultano essere disperdenti ossia che separano una zona riscaldata da una che non lo è o dall'esterno, essendo R-8 tutto riscaldato (esclusa l'autorimessa), anche nelle parti comuni, le uniche parete disperdenti, oltre ovviamente ai componenti trasparenti, risultano essere le pareti esterne, quelle controterra, quelle sull'autorimessa, coperture e pavimenti su cantine, terreno e autorimessa; le tramezze interne nonostante vadano inserite con la corretta stratigrafia non sono elementi disperdenti quindi non influenzano quelle che sono le nostre analisi.

Riportiamo in seguito alcune estrapolazioni di stratigrafie dei principali componenti disperdenti di R-8, a titolo informativo, per dare al lettore un'idea sullo stato di fatto del complesso.
Abbiamo riportato quelle del blocco A, gli elementi degli altri blocchi sono all'incirca identici.

NOSMET INGEGNERIA S.R.L.
C.SO FRANCIA 296 10146 TORINO (TO)

ELENCO COMPONENTI

Muri:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m²]	Y_{IE} [W/m²K]	Sfasamento [h]	C_T [kJ/m²K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	Ue [W/m²K]
M1	T	Parete esterna	410,0	224	0,264	-9,569	47,579	0,90	0,60	-14,0	0,756
M2	U	Parete interna	110,0	112	1,679	-3,666	55,317	0,90	0,60	0,0	2,186
M3	U	Parete su locale non riscaldato	180,0	128	0,824	-5,164	46,399	0,90	0,60	-0,4	1,217
M4	U	Porta interna	30,0	9	1,715	-0,803	12,032	0,90	0,60	0,0	1,734
M5	U	Porta ingresso alloggio	50,0	23	1,339	-2,388	27,690	0,90	0,60	0,0	1,478
M6	G	Parete controterra	210,0	480	1,993	-5,161	77,942	0,90	0,60	-14,0	0,943
M7	T	Porta esterna	30,0	9	2,034	-0,601	9,914	0,90	0,60	-14,0	2,046

Pavimenti:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m²]	Y_{IE} [W/m²K]	Sfasamento [h]	C_T [kJ/m²K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	Ue [W/m²K]
P1	G	Pavimento su terreno	530,0	1019	0,166	-13,268	57,542	0,90	0,60	-14,0	0,488
P2	N	Soletta interpiano	345,0	482	0,224	-10,789	58,600	0,90	0,60	20,0	1,250
P3	U	Pavimento su cantina	330,0	421	0,240	-10,250	51,623	0,90	0,60	-0,4	1,205

Soffitti:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m²]	Y_{IE} [W/m²K]	Sfasamento [h]	C_T [kJ/m²K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	Ue [W/m²K]
S1	U	Soffitto sottotetto	230,0	278	1,096	-5,988	68,100	0,90	0,60	-10,6	1,918
S2	N	Soletta interpiano	345,0	482	0,393	-9,910	67,953	0,90	0,60	20,0	1,515
S3	T	Soffitto a terrazzo	497,0	475	0,081	-15,182	66,335	0,90	0,60	-14,0	0,580
S4	T	Tetto giardino	491,0	433	0,046	-15,993	66,958	0,90	0,60	-14,0	0,359
S5	T	Copertura civile inclinata	289,0	323	0,596	-7,570	70,545	0,90	0,60	-14,0	1,497

Legenda simboli

Sp	Spessore struttura
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci
Y_{IE}	Trasmittanza termica periodica della struttura
Sfasamento	Sfasamento dell'onda termica

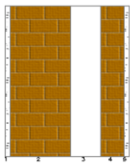
Tabella 9-Elenco componenti disperdenti blocco A

NOSMET INGEGNERIA S.R.L.
C.SO FRANCIA 296 10146 TORINO (TO)

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI
secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13370

Descrizione della struttura: *Parete esterna* **Codice:** *M1*

Trasmittanza termica	0,756	W/m²K
Spessore	410	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-14,0	°C
Permeanza	78,740	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	272	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	224	kg/m²
Trasmittanza periodica	0,264	W/m²K
Fattore attenuazione	0,349	-
Sfasamento onda termica	-9,6	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	15,00	0,700	0,021	1400	0,84	11
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	200,00	0,300	0,667	800	0,84	7
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/m	100,00	0,556	0,180	-	-	-
4	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	80,00	0,300	0,267	800	0,84	7
5	Malta di calce o di calce e cemento	15,00	0,900	0,017	1800	0,84	27
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,042	-	-	-

Legenda simboli

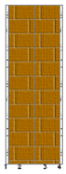
s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m²K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

NOSMET INGEGNERIA S.R.L.
C.SO FRANCIA 296 10146 TORINO (TO)

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI
secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13370

Descrizione della struttura: *Parete su locale non riscaldato* **Codice:** *M3*

Trasmittanza termica	1,217	W/m²K
Spessore	180	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-0,4	°C
Permeanza	149,254	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	156	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	128	kg/m²
Trasmittanza periodica	0,824	W/m²K
Fattore attenuazione	0,677	-
Sfasamento onda termica	-5,2	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	0,84	11
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	80,00	0,300	0,267	800	0,84	7
3	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	80,00	0,300	0,267	800	0,84	7
4	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	0,84	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m²K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Figura 37-Stratigrafie tipo pareti esterne e pareti su locali non climatizzati.

NOSMET INGEGNERIA S.R.L.
C.SO FRANCIA 296 10146 TORINO (TO)

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI
secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13370

Descrizione della struttura: *Pavimento su cantina* **Codice:** *P3*

Trasmittanza termica	1,205	W/m²K
Spessore	330	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-0,4	°C
Permeanza	26,076	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	439	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	421	kg/m²
Trasmittanza periodica	0,240	W/m²K
Fattore attenuazione	0,200	-
Sfasamento onda termica	-10,2	h

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Pavimento in legno	10,00	0,220	0,045	850	2,40	60
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,700	0,100	1600	0,88	20
3	C.l.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	40,00	1,310	0,031	2000	0,88	100
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
5	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	0,011	1800	0,84	27
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Legenda simboli

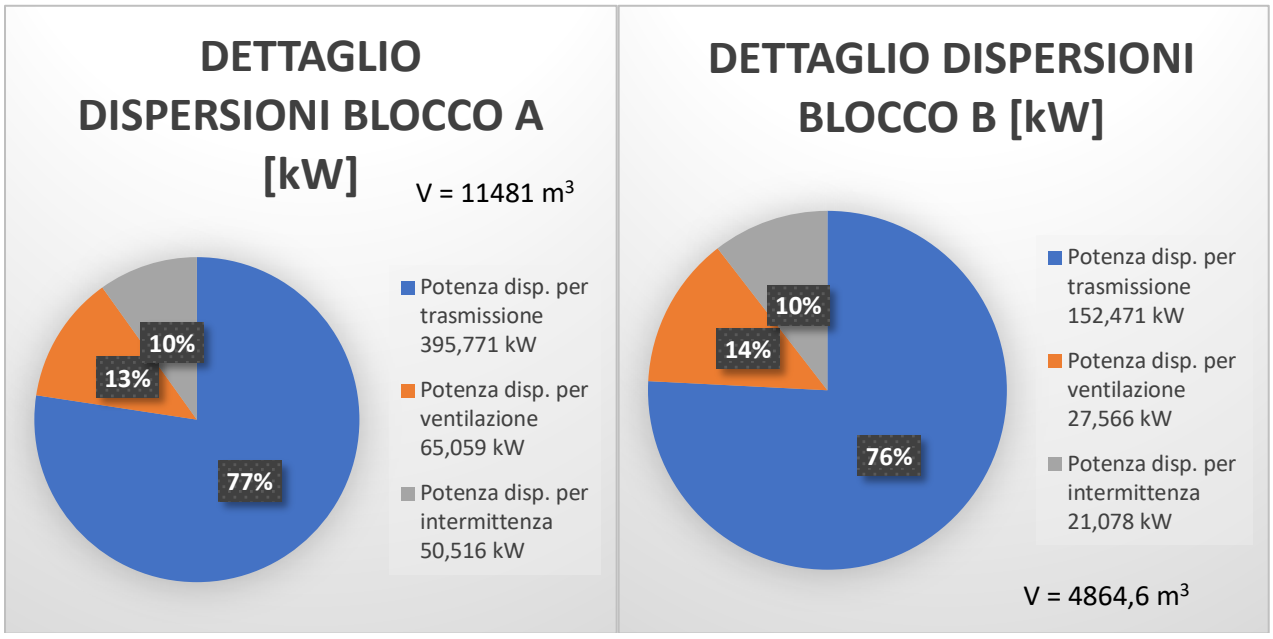
s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m²K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

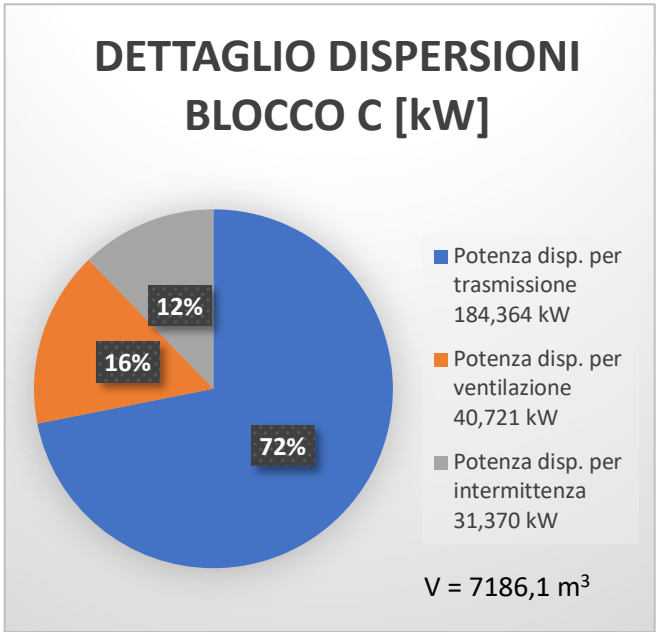
Figura 38-Stratigrafia tipo di pavimento che da su cantina

Queste stratigrafie sono state riscontrate dai carotaggi svolti e una volta ottenuti tutti i dati sono state create sul software che così facendo ci ha restituito i valori realistici dei parametri di nostro interesse.

3.4 Risultati fabbricato ed energia primaria

Ora passiamo ad analizzare i dati che derivano dai calcoli eseguiti dal software.
Per prima cosa ci focalizziamo sui risultati del fabbricato, ossia quei risultati che prescindono dall'impianto di riscaldamento e ci spiegano semplicemente le dispersioni totali dell'edificio (tre diverse tipologie per ognuno dei tre blocchi) così com'è, in base a superfici, la loro stratigrafia e la temperatura di progetto; queste sono calcolate per la totalità del complesso e anche per le varie zone o per ogni componente o orientamento. Per questioni di sintesi valutiamo le dispersioni globali (tralasciando quelle per componente o orientamento), in quanto sono quelle più rappresentative per lo stato di fatto. Per quanto riguarda la potenza invernale, facciamo considerazioni di progetto e non lungo la reale stagione di riscaldamento, infatti i nostri risultati saranno in questa prima fase in kW, mentre dopo lavoreremo sulla effettiva stagione, mese per mese considerando le energie e i relativi kWh.



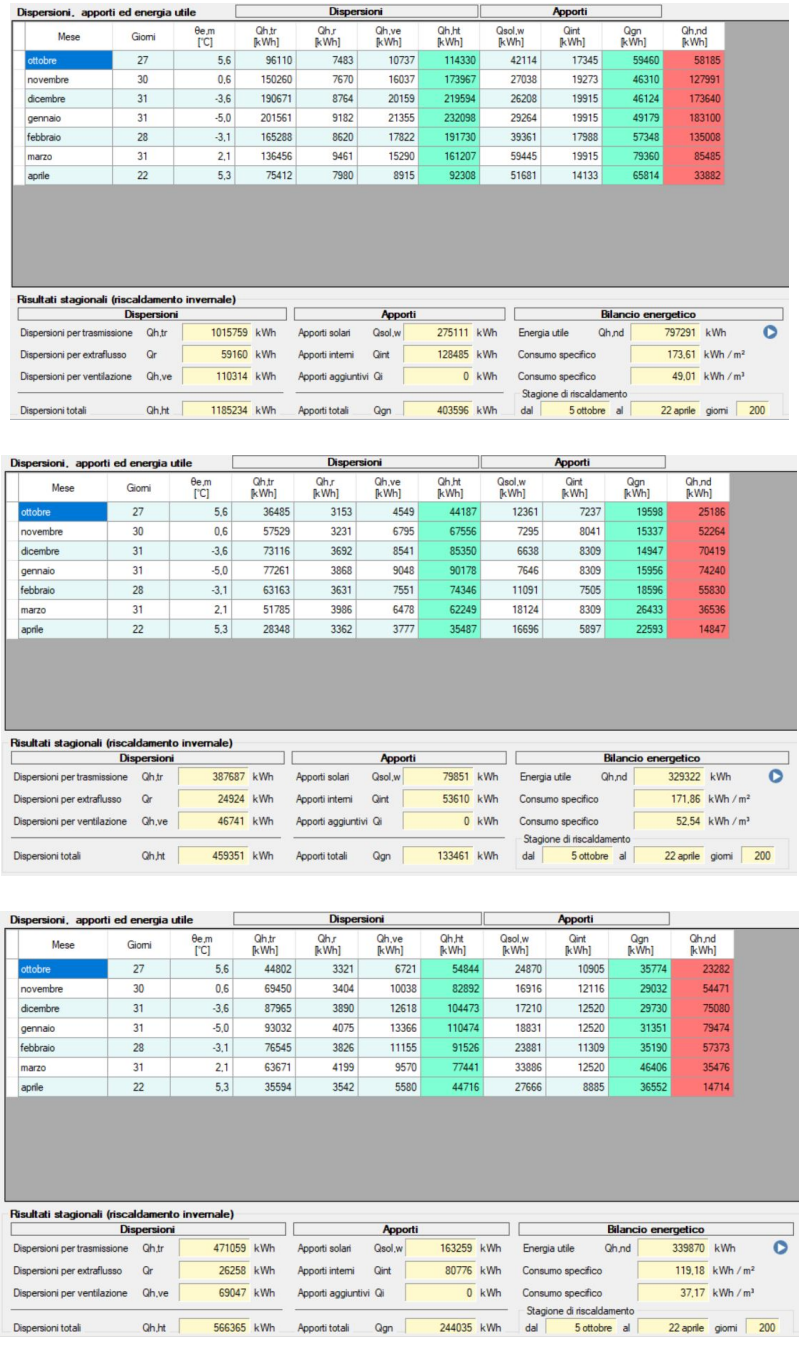


Grafici a torta-Risultati fabbricato, tipologie potenze disperse blocco per blocco

Come si può immediatamente notare in tutti e tre i blocchi la componente principale della potenza persa per dispersione è quella dovuta alla trasmissione, infatti essendo il complesso di non recentissima costruzione

presenta materiali non all'avanguardia e risulta che, data la rigidità del clima e quindi le relative temperature minime possibili, cioè di progetto, le dispersioni per trasmissione siano maggiori di più di due volte le altre due tipologie messe assieme.
Abbiamo inoltre riscontrato che per quanto riguarda i blocchi A e B le perdite per trasmissione siano causate per circa due terzi dai componenti opachi e un terzo dai componenti finestrati mentre per il blocco C le dispersioni date dalle due tipologie di componenti all'incirca si equivalgono, con una leggera predominanza delle perdite date dai componenti trasparenti.

Sempre per quanto riguarda il regime invernale andiamo a porre l'attenzione sull'energia, andando a vedere mese per mese quali sono le dispersioni e quali gli apporti per ogni blocco in modo tale da poter giungere ad un primo bilancio. Dalle dispersioni capiamo quella che è l'energia termica (non primaria!) utile da fornire per compensarle e quindi mantenere uno stato di comfort all'interno dell'involucro.
Consideriamo ora una condizione reale ossia lavoriamo temperature esterne medie mensili, riportiamo in seguito ciò che risulta (in ordine A, B e C):



Dispersioni, apporti ed energia utile

Mese	Giorni	θe,m [°C]	Qh,tr [kWh]	Qh,r [kWh]	Qh,ve [kWh]	Qh,ht [kWh]	Qsol,w [kWh]	Qint [kWh]	Qgn [kWh]	Qh,nd [kWh]
ottobre	27	5,6	96110	7483	10737	114330	42114	17345	59460	58185
novembre	30	0,6	150260	7670	16037	173967	27038	19273	46310	127991
dicembre	31	-3,6	190671	8764	20159	219594	26208	19915	46124	173640
gennaio	31	-5,0	201561	9182	21355	232098	29264	19915	49179	183100
febbraio	28	-3,1	165288	8620	17822	191730	39361	17988	57348	135008
marzo	31	2,1	136456	9461	15290	161207	59445	19915	79360	85485
aprile	22	5,3	75412	7980	8915	92308	51681	14133	65814	33882

Risultati stagionali (riscaldamento invernale)

Dispersioni				Apporti				Bilancio energetico			
Dispersioni per trasmissione	Qh,tr	1015759	kWh	Apporti solari	Qsol,w	275111	kWh	Energia utile	Qh,nd	797291	kWh
Dispersioni per extraflusso	Qr	59160	kWh	Apporti interni	Qint	128485	kWh	Consumo specifico		173,61	kWh / m²
Dispersioni per ventilazione	Qh,ve	110314	kWh	Apporti aggiuntivi	Qi	0	kWh	Consumo specifico		49,01	kWh / m³
Dispersioni totali	Qh,ht	1185234	kWh	Apporti totali	Qgn	403596	kWh	Stagione di riscaldamento dal 5 ottobre al 22 aprile giorni 200			

Dispersioni, apporti ed energia utile

Mese	Giorni	θe,m [°C]	Qh,tr [kWh]	Qh,r [kWh]	Qh,ve [kWh]	Qh,ht [kWh]	Qsol,w [kWh]	Qint [kWh]	Qgn [kWh]	Qh,nd [kWh]
ottobre	27	5,6	36485	3153	4549	44187	12361	7237	19598	25186
novembre	30	0,6	57529	3231	6795	67556	7295	8041	15337	52264
dicembre	31	-3,6	73116	3692	8541	85350	6638	8309	14947	70419
gennaio	31	-5,0	77261	3868	9048	90178	7646	8309	15956	74240
febbraio	28	-3,1	63163	3631	7551	74346	11091	7505	18596	55830
marzo	31	2,1	51785	3986	6478	62249	18124	8309	26433	36536
aprile	22	5,3	28348	3362	3777	35487	16696	5897	22593	14847

Risultati stagionali (riscaldamento invernale)

Dispersioni				Apporti				Bilancio energetico			
Dispersioni per trasmissione	Qh,tr	387687	kWh	Apporti solari	Qsol,w	79851	kWh	Energia utile	Qh,nd	329322	kWh
Dispersioni per extraflusso	Qr	24924	kWh	Apporti interni	Qint	53610	kWh	Consumo specifico		171,86	kWh / m²
Dispersioni per ventilazione	Qh,ve	46741	kWh	Apporti aggiuntivi	Qi	0	kWh	Consumo specifico		52,54	kWh / m³
Dispersioni totali	Qh,ht	459351	kWh	Apporti totali	Qgn	133461	kWh	Stagione di riscaldamento dal 5 ottobre al 22 aprile giorni 200			

Dispersioni, apporti ed energia utile

Mese	Giorni	θe,m [°C]	Qh,tr [kWh]	Qh,r [kWh]	Qh,ve [kWh]	Qh,ht [kWh]	Qsol,w [kWh]	Qint [kWh]	Qgn [kWh]	Qh,nd [kWh]
ottobre	27	5,6	44802	3321	6721	54844	24870	10905	35774	23282
novembre	30	0,6	69450	3404	10038	82892	16916	12116	29032	54471
dicembre	31	-3,6	87965	3890	12618	104473	17210	12520	29730	75080
gennaio	31	-5,0	93032	4075	13366	110474	18831	12520	31351	79474
febbraio	28	-3,1	76545	3826	11155	91526	23881	11309	35190	57373
marzo	31	2,1	63671	4199	9570	77441	33886	12520	46406	35476
aprile	22	5,3	35594	3542	5580	44716	27666	8885	36552	14714

Risultati stagionali (riscaldamento invernale)

Dispersioni				Apporti				Bilancio energetico			
Dispersioni per trasmissione	Qh,tr	471059	kWh	Apporti solari	Qsol,w	163259	kWh	Energia utile	Qh,nd	339870	kWh
Dispersioni per extraflusso	Qr	26258	kWh	Apporti interni	Qint	80776	kWh	Consumo specifico		119,18	kWh / m²
Dispersioni per ventilazione	Qh,ve	69047	kWh	Apporti aggiuntivi	Qi	0	kWh	Consumo specifico		37,17	kWh / m³
Dispersioni totali	Qh,ht	566365	kWh	Apporti totali	Qgn	244035	kWh	Stagione di riscaldamento dal 5 ottobre al 22 aprile giorni 200			

Figura 39-Risultati fabbricato, dispersioni energetiche primaria blocchi da A (alto) a B(in mezzo) a C (basso)

Dove:

- $Q_{H,tr}$ energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache
- $Q_{H,r}$ energia dispersa per extraflusso
- $Q_{H,ve}$ energia dispersa per ventilazione
- $Q_{H,ht}$ energia totale dispersa ($Q_{H,tr} + Q_{H,ve} + Q_{H,r\ (extraflusso)}$)
- Q_{int} apporti interni
- $Q_{sol,w}$ apporti solari gratuiti attraverso i componenti finestrati
- Q_{gn} apporti gratuiti totali ($Q_{sol} + Q_{int}$)
- $Q_{H,nd}$ energia termica utile mensile, fabbisogno utile

Questi dati derivano dal bilancio effettuato su tutti i mesi della stagione di riscaldamento e vengono considerate le ore effettive per tanto i risultati sono in kWh e la temperatura (che influenza logicamente i risultati), come detto non è quella di progetto ma è la media mensile.

Si può immediatamente notare come, le dispersioni siano maggiori nei mesi in cui la temperatura esterna media è minore in quanto il flusso scambiato dipende dal delta di temperature a parità di valori di trasmittanza e al contrario gli apporti solari risultano essere anch'essi minori nei mesi di pieno inverno per poi aumentare in autunno e primavera; gli apporti interni invece non sono nettamente segnati dal mese o dalle temperature ma si basano principalmente sulle abitudini degli abitanti.

Se effettuiamo il calcolo notiamo che il fabbisogno utile non è l'esatta differenza tra dispersioni totali e apporti gratuiti in quanto questi ultimi vanno "corretti" tramite il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti (<1) come avevamo ampiamente spiegato nel capitolo precedente.

Questi calcoli prescindono dal sistema di riscaldamento esistente o che andremo ad utilizzare in quanto il valore restituito ossia quello del fabbisogno utile è l'energia necessaria per mantenere all'interno dell'involucro le condizioni ideali ($T_{set\text{-}point}$ di 20 gradi con temperatura esterna media mensile da tabulato), come se quest'energia fosse rilasciata in ambiente senza essere prodotta da un impianto di riscaldamento o se quest'ultimo avesse un rendimento unitario e lavorasse cioè in condizioni ideali, in verità un impianto termico reale date le perdite varie e il suo rendimento richiederà un fabbisogno globale di energia primaria per il riscaldamento maggiore per produrre il fabbisogno utile di energia termica necessaria per il riscaldamento.

Anche in questo caso, sulla falsa riga del caso della potenza, per le perdite di trasmissione ed extraflusso la fanno da padrone i componenti opachi (70% delle perdite totali per trasmissione deriva dal loro contributo) ad esclusione del C dove anche in questo caso ambedue i componenti danno un circa uguale contributo, mentre in tutti e tre i blocchi ovviamente per quanto riguarda gli apporti solari gratuiti prevale l'apporto dato dai componenti trasparenti che si attesta sul 80% circa in A, B e C.

Tralasciamo i bilanci di energia eseguiti su caso estivo e illuminotecnica in quanto non richiesti nel nostro caso studio ma comunque disponibili e quindi eventualmente valutabili tramite il software.

Poniamo ora la nostra attenzione sui risultati di energia primaria, andiamo a valutare i bilanci effettuati sull'impianto termico, che diventa ora l'oggetto dello studio attraverso i vari fabbisogni, i suoi sottosistemi e rendimenti, tutto ciò che è necessario per coprire il fabbisogno utile dei vari alloggi.
Le tre centrali termiche ricordiamo essere tre sottostazioni di teleriscaldamento in quanto esso è l'attuale sistema di riscaldamento di R-8 e la società Metanalpi fornisce per l'impianto di San Sicario un dato sul fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile del teleriscaldamento prodotto pari a 0.908, ovviamente è 0 la quota del fattore di conversione in energia primaria rinnovabile, essendo la centrale di cogenerazione non a fonti rinnovabili.
Andiamo ora a vedere i dati restituiti da EC700 e come essi vengano calcolati, riportiamo a titolo informativo il bilancio del blocco B.

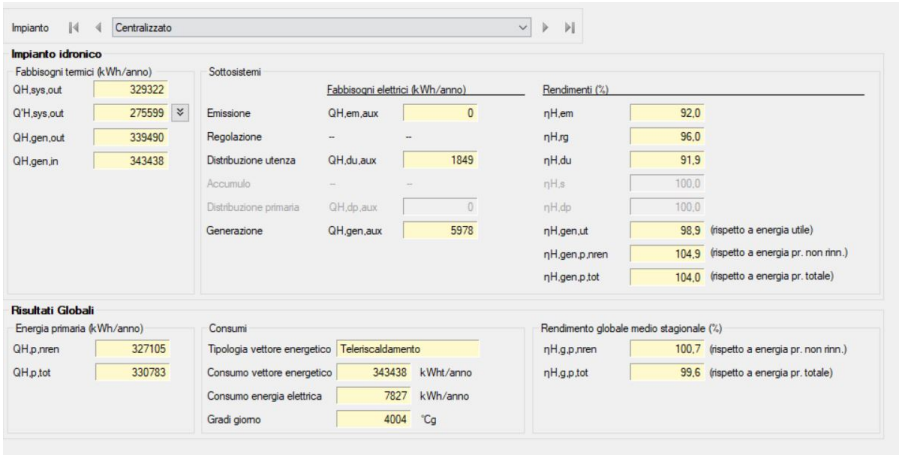


Figura 40-Risultati energia primaria impianto di riscaldamento del blocco B

Possiamo vedere come il primo valore corrisponda all'energia utile trovato in precedenza (per il blocco B) ossia il fabbisogno termico utile dell'edificio che però, per essere generato, richiederà un fabbisogno in ingresso alla generazione molto maggiore come notiamo tra caselle sotto, infatti l'impianto presenterà perdite varie nei vari sottosistemi, ognuno dotato di proprio rendimento come mostrato sulla destra. Possiamo immediatamente vedere, ad esempio come il fabbisogno in uscita dalla generazione sia quello in entrata moltiplicato per il rendimento di generazione (anch'esso leggibile sulla destra).

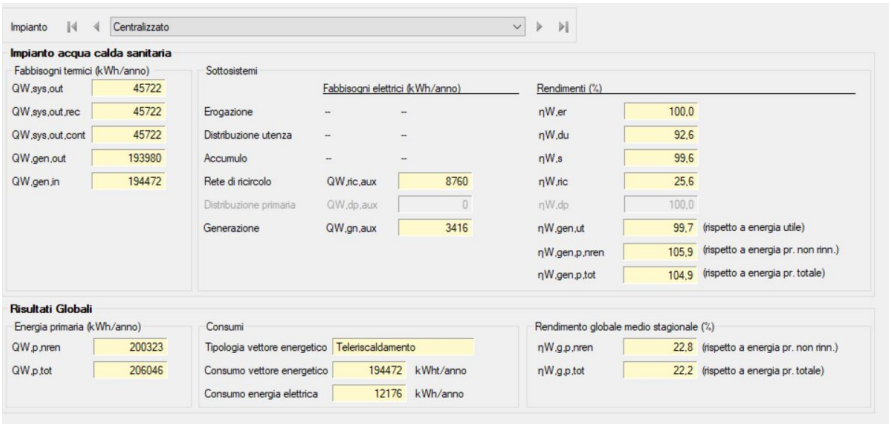


Figura 41-Risultati energia primaria impianto di produzione di acqua calda sanitaria del blocco B

Stessi discorsi valgono per la produzione di acqua calda sanitaria.

3.5 Attestato di prestazione energetica

L' AUDIT energetico degli edifici è un insieme sistematico di rilievo, raccolta ed analisi dei parametri relativi ai consumi specifici e alle condizioni di esercizio dell'edificio e dei suoi impianti definibile come una "valutazione tecnico-economica dei flussi di energia"; si tratta di un'analisi approfondita condotta attraverso sopralluoghi presso l'unità, dati esistenti già in possesso o che vengono raccolti, si analizzano i valori di consumo e i costi energetici e su questa base si procede nella ricostruzione dei modelli energetici. Da tali modelli sarà possibile ricavare la ripartizione delle potenze e dei consumi per tipo di utilizzo (illuminazione, condizionamento, freddo per processo e per condizionamento e altri servizi).
L'attestato di prestazione energetica nasce da una sempre maggiore sensibilità verso l'efficientamento energetico, in particolare in campo civile, volto a far sì che le autorità competenti abbiano sotto controllo consumi e caratteristiche energetiche degli edifici per studiarne le dinamiche di mercato e non e incentivare

soluzioni per diminuirne l'impatto ambientale; l'APE ha sostituito l'ACE (attestato di certificazione energetica, ancora validi se redatti in tempi antecedenti il 4 Agosto 2013 e validi per 10 anni, da sostituire con APE solo in caso sia fatta riqualificazione) in seguito al decreto 63/2013 ed affianca l'AQE (ossia l'attestato di qualificazione energetica, molto simile ma in cui non è specificata la classe energetica dell'edificio ma è solo ipotizzata), meno importante, ed è il report più attuale e completo possibile circa la certificazione energetica degli edifici che è obbligatoria ormai in tutta Europa dalla direttiva Europea 2010/31, seppur con sfaccettature diverse in ogni nazione circa la modalità del calcolo energetico.
La certificazione energetica nasce proprio con lo scopo di "misurare" e dichiarare quanta energia viene consumata per il funzionamento degli impianti per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione meccanica, la produzione di acqua calda sanitaria e gli altri servizi presenti nell'immobile.
Sono quindi misure volte alla tutela dell'ambiente, sia per un conseguente freno all'utilizzo delle risorse naturali, sia per un desiderabile contenimento delle emissioni clima alteranti. Il documento deve essere redatto da un tecnico abilitato, chiamato in gergo certificatore energetico, che tiene conto delle caratteristiche architettoniche dell'edificio, dei prospetti, della zona climatica, del tipo di riscaldamento e di tutto ciò che può influire sui consumi energetici, poichè il fine è quello di mantenere determinate condizioni ambientali interne. Il certificatore energetico può essere ad esempio ingegnere o un architetto e va consegnato al locatario, una copia deve essere presentata alla regione di competenza (a differenza dell'AQE che va consegnato al comune); tale documento ha una validità di 10 anni.

L'attestato di prestazione energetica non è obbligatorio nei casi quali: immobili destinati a luoghi di culto, edifici "secondari" come legnaie, portici, piscine, gazebo, ecc. e quelli rustici, ovvero senza infissi, rifiniture e impiantistica, fabbricati non abitativi (garage, cantine, depositi, ecc.), fabbricati agricoli non residenziali e privi di riscaldamento o simili.

Come sottolineato nell'introduzione il 40% dei consumi finali globali di energia della Comunità Europea è quella impiegata nel settore residenziale e terziario, principalmente per gli edifici, quindi l'attenzione riposta sulla parte civile dell'energia è quanto più giustificata.

L'APE, diventa obbligatorio anche per fini di mercato in quanto esprime una trasparenza energetica (che altrimenti resterebbe celata, dando esclusivamente importanza al fattore estetico) fornendo agli acquirenti e ai locatari di immobili un'informazione oggettiva riguardo le caratteristiche e le spese energetiche dell'immobile. Diventa quindi anche un sistema per incoraggiare ed incentivare interventi migliorativi sulla propria abitazione mediante interventi che abbiano un corretto rapporto costi/benefici (studio di fattibilità e superbonus che vedremo in seguito), ad esempio i proprietari che apportano miglioramenti energetici importanti, magari non visibili, come isolamenti termici di pareti, tetti, etc., possono veder riconosciuti i loro investimenti con un aumento del valore del proprio immobile, cosa che non sarebbe possibile senza l'APE.
Si può infine avere un dato indicativo sui probabili costi di conduzione di un immobile di nostro interesse, guardando l'attestato di prestazione energetica nella sezione dove vengono riportati ad esempio i metri cubi di gas consumati all'anno, anche se ovviamente il valore sarà anche poi influenzato da altri fattori. Esso in poche parole sintetizza il livello di prestazione energetica di un bene immobile.

L'indice di prestazione energetica corrisponde all'energia totale consumata dall'edificio climatizzato per metro quadro di superficie all'anno e indica quanta energia viene consumata affinché l'edificio (o l'unità immobiliare) raggiunga le condizioni di comfort secondo i servizi energetici presenti e dal tipo di immobile, considerando un utilizzo standard; la comprensione di questo valore deriva appunto dall'analisi precedentemente svolta. Esso è ciò che contribuisce nell'APE a dare una valutazione dell'immobile.
Dall'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$), spiegato al termine del capitolo precedente, deriva l'attribuzione della classe energetica e che indica l'energia totale consumata dall'edificio climatizzato per metro quadro di superficie ogni anno e tiene conto, come dice il nome, del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile; questo valore ricordiamo essere la somma degli indici di prestazione energetica non rinnovabile dei diversi servizi energetici presenti, laddove esistenti, fatta eccezione per quello di riscaldamento (sempre considerato presente) e di produzione di ACS (sempre considerato presente per edifici residenziali).
La classe energetica assieme all'$EP_{gl,nren}$ definiscono la targa energetica dell'appartamento o dell'edificio.
La prestazione energetica globale del fabbricato oggetto della certificazione energetica, viene resa attraverso l'individuazione della classe energetica dell'edificio determinata sulla base dell'indice di prestazione

energetica globale non rinnovabile $EP_{gl,nren}$ per mezzo del confronto con una scala di classi prefissate, ognuna delle quali rappresenta un intervallo di prestazione energetica definito.
La classe energetica è contrassegnata da un indicatore alfabetico in cui la lettera G rappresenta la classe caratterizzata dall'indice di prestazione peggiore (maggiori consumi energetici), mentre la lettera A rappresenta la classe con il miglior indice di prestazione (minori consumi energetici). A sua volta la classe energetica A è suddivisa in quattro sottoclassi ciascuna caratterizzata da un indicatore numerico in ordine crescente a partire da 1 (il più basso livello di prestazione energetica della classe A) fino al 4 (livello più alto).

L'APE indicherà quindi, tra le altre, la classe di appartenenza energetica dell'edificio in funzione dell'intervallo in cui ricadrà il suo indice di prestazione energetica.
Il rapporto tra tale indice con quello limite di riferimento (che considera impianti fissi consultabili sul decreto e discretamente performanti), che può essere trovato tramite interpolazione di dati tabulati, dipendenti dai gradi giorno e quindi dalla zona climatica e dal rapporto di forma S/V, permette di ottenere un valore che ci permetterà di capire di che classe energetica sarà il nostro edificio secondo la tabella seguente.

	Classe A4	$\leq 0{,}40\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)}$
$0{,}40\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)} <$	**Classe A3**	$\leq 0{,}60\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)}$
$0{,}60\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)} <$	**Classe A2**	$\leq 0{,}80\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)}$
$0{,}80\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)} <$	**Classe A1**	$\leq 1{,}00\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)}$
$1{,}00\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)} <$	**Classe B**	$\leq 1{,}20\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)}$
$1{,}20\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)} <$	**Classe C**	$\leq 1{,}50\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)}$
$1{,}50\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)} <$	**Classe D**	$\leq 2{,}00\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)}$
$2{,}00\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)} <$	**Classe E**	$\leq 2{,}60\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)}$
$2{,}60\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)} <$	**Classe F**	$\leq 3{,}50\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)}$
	Classe G	$> 3{,}50\ EP_{gl,nren,rif,standard\ (2019/21)}$

Tabella 10-Intervalli prestazione energetica

La prestazione energetica dell'immobile dipende quindi da quanto esso sia più o meno performante rispetto ad un edificio di riferimento che ha le stesse caratteristiche geometriche, di esposizione e di localizzazione dell'immobile da certificare ma con parametri energetici performanti.
Immobili migliori dell'edificio di riferimento hanno classi da A1 ad A4. Andando dalla fascia B alla G troviamo invece gli immobili sempre meno performanti rispetto all'edificio di riferimento. Prima del 1° ottobre 2015, secondo la normativa nazionale, la differenza tra gli intervalli delle varie classi dipendeva solamente da due variabili: i gradi giorno e il rapporto S/V.

La via analitica ovviamente non è praticamente mai perseguita in quanto, come nel nostro caso, i software sulla base dei dati di input che abbiamo inserito ossia dalle indicazioni geografiche e quindi climatiche, stratigrafie, zonizzazioni e impianto termico permettono di arrivare a calcolare l'attestato di prestazione energetica dell'intero edificio (noi abbiamo lavorato su ognuno dei tre blocchi) con la relativa classe energetica; l'APE quindi è una sorta di risultato finale globale dell'audit energetico svolto che permette di capire se gli edifici abbiano o meno un buon risultato in termini di consumi e quindi impatto ambientale. Tutto ciò è calcolato automaticamente dai vari software che sono sempre aggiornati in quanto i vari decreti cambiando continuamente questi intervalli di valori riportati in tabella seguente.

Abbiamo calcolato un attestato di prestazione energetica per ogni singolo blocco ed è risultato che il blocco A rientrasse nella classe energetica G ossia in fondo alla scala prestazionale, mentre gli altri due nella classe F, questo poichè il complesso non ha mai subito riqualificazioni energetiche ed essendo non di recentissima costruzione non è dotato di materiali e coibentazioni necessarie a renderlo un edificio performante. Andiamo ora a vedere l'APE nel caso del blocco A (riportiamo solo questo per questioni di sintesi essendo gli altri due logicamente identici, semplicemente con valori numerici differenti) redatto da Edilclima.

REGIONE PIEMONTE

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VALIDO FINO AL: 19/11/2030

APE

DATI GENERALI

Destinazione d'uso

- [X] Residenziale
- [ ] Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1 (2)

Oggetto dell'attestato

- [X] Intero edificio
- [ ] Unità immobiliare
- [ ] Gruppo di unità immobiliari

Numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: 96

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

Dati identificativi

FOTO EDIFICIO

Regione : PIEMONTE
Comune : Cesana Torinese
Indirizzo : SAN SICARIO ALTO – CESANA T.se (TO)
Piano :
Interno :
Coordinate GIS : 0,000000 N - 0,000000 E

Zona climatica : F
Anno di costruzione : 2020
Superficie utile riscaldata (m²) : 4592,40
Superficie utile raffrescata (m²) : 4592,40
Volume lordo riscaldato (m³) : 16269,00
Volume lordo raffrescato (m³) : 16269,00

Comune catastale	C564								Sezione		Foglio				Particella				
Subalterni	da		a			da		a			da		a			da		a		
Altri subalterni																			

Servizi energetici presenti

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

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

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

Prestazione energetica del fabbricato

INVERNO	ESTATE

Prestazione energetica globale

Più efficiente

A4
A3
A2
A1
B
C
D
E
F
G

Meno efficiente

EDIFICIO A ENERGIA QUASI ZERO

CLASSE ENERGETICA

G

268,68 kWh/m²anno

Riferimenti

Gli immobili simili avrebbero in media la seguente classificazione:

Se nuovi: B (76,14)

Se esistenti: -

Pag. 1

Figura 42-Attestato di prestazione energetica (APE) del blocco A

REGIONE PIEMONTE

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VALIDO FINO AL: 18/11/2030

APE

PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI IMPIANTI E CONSUMI STIMATI

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

Prestazioni energetiche degli impianti e stima dei consumi di energia

	FONTI ENERGETICHE UTILIZZATE	Quantità annua consumata in uso standard (specificare unità di misura)	Indici di prestazione energetica globali ed emissioni
[x]	Energia elettrica da rete	30955 kWh	Indice della prestazione energetica non rinnovabile EPgl,nren kWh/m² anno: 268,68
[ ]	Gas naturale		
[ ]	GPL		
[ ]	Carbone		
[ ]	Gasolio		
[ ]	Olio combustibile		Indice della prestazione energetica rinnovabile EPgl,ren kWh/m² anno: 3,17
[ ]	Biomasse solide		
[ ]	Biomasse liquide		
[ ]	Biomasse gassose		
[ ]	Solare fotovoltaico		
[ ]	Solare termico		Emissioni di CO_2 kg/m² anno: 60
[ ]	Eolico		
[x]	Teleriscaldamento	1292451 kWh	
[ ]	Teleraffrescamento		
[ ]	Altro		

RACCOMANDAZIONI

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

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE
INTERVENTI RACCOMANDATI E RISULTATI CONSEGUIBILI

Codice	TIPO DI INTERVENTO RACCOMANDATO	Comporta una Ristrutturazione importante	Tempo di ritorno dell'investimento anni	Classe Energetica raggiungibile con l'intervento ($EP_{gl,nren}$ kWh/m² anno)	CLASSE ENERGETICA raggiungibile se si realizzano tutti gli interventi raccomandati
R EN 1		no	0,00	A4 0,00	A4 0,00 kWh/m² anno
R EN					
R EN					
R EN					
R EN					
R EN					

REGIONE PIEMONTE

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VALIDO FINO AL: 18/11/2030

APE

ALTRI DATI ENERGETICI GENERALI

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

ALTRI DATI DI DETTAGLIO DEL FABBRICATO

V – Volume riscaldato	16269,00	m³
S – Superficie disperdente	8670,72	m²
Rapporto S/V	0,53	
$EP_{H,nd}$	173,61	kWh/m² anno
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	0,1589	-
Y_{IE}	0,4520	W/m²K

DATI DI DETTAGLIO DEGLI IMPIANTI

Servizio energetico	Tipo di impianto	Anno di installazione	Codice catasto regionale impianti termici	Vettore energetico utilizzato	Potenza Nominale kW	Efficienza media stagionale		EPren	EPnren
Climatizzazione invernale	Teleriscaldamento	2020		Teleriscaldamento	925,00	95,7	η_H	1,61	179,77
Climatizzazione estiva									
Prod. acqua calda sanitaria	Teleriscaldamento	2020		Teleriscaldamento	925,00	24,5	η_W	1,56	88,92
Impianti combinati									
Produzione da fonti rinnovabili									
Ventilazione meccanica									
Illuminazione									
Trasporto di persone o cose									

REGIONE PIEMONTE

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VALIDO FINO AL: 18/11/2030

APE

INFORMAZIONI SUL MIGLIORAMENTO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA

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

SOGGETTO CERTIFICATORE

[ ] Ente/Organismo pubblico	[x] Tecnico abilitato	[ ] Organismo/Società

Nome e Cognome / Denominazione	
Indirizzo	- - ()
E-mail	
Telefono	
Titolo	
Ordine/iscrizione	di /
Dichiarazione di indipendenza	Il sottoscritto certificatore, consapevole delle responsabilità assunte ai sensi degli artt.359 e 481 del Codice Penale, DICHIARA di aver svolto con indipendenza ed imparzialità di giudizio l'attività di Soggetto Certificatore del sistema edificio impianto oggetto del presente attestato e l'assenza di conflitto di interessi ai sensi dell'art.3 del D.P.R. 16 aprile 2013, n. 75.
Informazioni aggiuntive	

SOPRALLUOGHI E DATI DI INGRESSO

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

SOFTWARE UTILIZZATO

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

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

Data di emissione 19/11/2020 Firma e timbro del tecnico o firma digitale

REGIONE PIEMONTE

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VALIDO FINO AL: 18/11/2030

APE

LEGENDA E NOTE PER LA COMPILAZIONE

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

PRIMA PAGINA

Informazioni generali: tra le informazioni generali è riportata la motivazione alla base della redazione dell'APE. Nell'ambito del periodo di validità, ciò non preclude l'uso dell'APE stesso per i fini di legge, anche se differenti da quelli ivi indicati.
Prestazione energetica globale (EPgl,nren) : fabbisogno annuale di energia primaria non rinnovabile relativa a tutti i servizi erogati dai sistemi tecnici presenti, in base al quale è identificata la classe di prestazione dell'edificio in una scala da A4 (edificio più efficiente) a G (edificio meno efficiente).
Prestazione energetica del fabbricato: indice qualitativo del fabbisogno di energia necessario per il soddisfacimento del confort interno, indipendente dalla tipologia e dal rendimento degli impianti presenti. Tale indice da un'indicazione di come l'edificio, d'estate e d'inverno, isola termicamente gli ambienti interni rispetto all'ambiente esterno. La scala di valutazione qualitativa utilizzata osserva il seguente criterio:

QUALITA' ALTA | QUALITA' MEDIA | QUALITA' BASSA

I valori di soglia per la definizione del livello di qualità, suddivisi per tipo di indicatore, sono riportati nelle Linee guida per l'attestazione energetica degli edifici di cui al decreto previsto dall'articolo 6, comma 12 del d.lgs. 192/2005.
Edificio a energia quasi zero: edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e del decreto ministeriale sui requisiti minimi previsto dall'articolo 4, comma 1 del d.lgs. 192/2005. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta all'interno del confine del sistema (in situ). Una spunta sull'apposito spazio adiacente alla scala di classificazione indica l'appartenenza dell'edificio oggetto dell'APE a questa categoria.
Riferimenti: raffronto con l'indice di prestazione globale non rinnovabile di un edificio simile ma dotato dei requisiti minimi degli edifici nuovi, nonché con la media degli indici di prestazione degli edifici esistenti simili, ovvero contraddistinti da stessa tipologia d'uso, tipologia costruttiva, zona climatica, dimensioni ed esposizione di quello oggetto dell'attestato.

SECONDA PAGINA

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

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

Codice	TIPO DI INTERVENTO
R EN1	FABBRICATO - INVOLUCRO OPACO
R EN2	FABBRICATO - INVOLUCRO TRASPARENTE
R EN3	IMPIANTO CLIMATIZZAZIONE - INVERNO
R EN4	IMPIANTO CLIMATIZZAZIONE - ESTATE
R EN5	ALTRI IMPIANTI
R EN6	FONTI RINNOVABILI

TERZA PAGINA

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

Figura 43-Pagine seguenti APE del blocco A

Come vediamo vi è al fondo della prima pagina la prestazione energetica dell'involucro che corrisponde alla qualità termica di isolamento e inerziale dell'insieme delle superfici disperdenti dell'unità immobiliare. Si calcola distintamente in estate e in inverno ed è identificata dalle "faccine" tristi o sorridenti. Sono altresì presenti classe energetica ed $EP_{gl,nren}$ all'interno della targa energetica (qua di colore rosso per far capire che la situazione non è ottimale) che danno una visione globale dell'edificio, se esso è performante o meno.

Uno dei fini della diagnosi energetica è capire in che modo l'energia viene utilizzata, quali sono le cause degli sprechi ed eventualmente quali interventi possono essere suggeriti all'utente per ridurre i consumi, ossia un piano energetico che valuti non solo la fattibilità tecnica ma anche e soprattutto quella economica delle azioni proposte, questo come possiamo vedere viene proposto dall'ingegnere nella seconda pagina dell'APE dove vengono riportati eventuali interventi migliorativi con la loro descrizione e, nel caso di un loro svolgimento, che classe energetica farebbero conseguire all'immobile con la stima del ritorno dell'investimento. Nel nostro caso vedremo righe bianche in quanto abbiamo lavorato in maniera scrupolosa cioè andando a modificare in seguito sullo stato di fatto cosa abbiamo consigliato all'amministratore come interventi, in questo modo oltre che alla classe energetica avremmo anche disponibili i test sulle verifiche di legge e se esse vengano rispettate o meno, cosa che, su Edilclima non si può fare usando solo il plug in "interventi migliorativi".

Nel capitolo seguenti quali saranno da noi scelti e se e come contribuiranno eventualmente per l'ottenimento del superbonus.

In sostanza la diagnosi energetica, detto in termini tecnici, l'audit energetico, consente di individuare le inefficienze e le criticità e di intervenire con le soluzioni a minor costo e maggior efficacia per la riduzione dei consumi energetici, individuando e quantificando le opportunità di risparmio energetico anche sotto il profilo dei costi/benefici. Si integrano i dati raccolti sul campo, a seguito di sopralluoghi, con strumenti di calcolo (elaborazione di un modello matematico dell'edificio) attraverso i quali individuare e analizzare gli interventi di riqualificazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare.

CAPITOLO 4

SUPERBONUS 110%

4.1 Come usufruirne e di cosa si tratta

Il superbonus 110% è un'agevolazione prevista dal Decreto rilancio che eleva al 110% l'aliquota di detrazione delle spese sostenute dal 1° luglio 2020 al 30 giugno 2021 (prorogato a tesi, la scadenza iniziale era il 31 dicembre 2021) per specifici interventi in ambito di: efficienza energetica, interventi antisismici, installazione di impianti fotovoltaici o infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici. Esso prende forma sostanzialmente dall'intenzione di unire una sempre maggiore attenzione alle problematiche di impatto ambientale per la realizzazione di edifici a basso consumo concomitante con il necessario riavvio dell'economia che è letteralmente bloccata da diversi mesi in Italia, come in tutto il resto del mondo, a causa della pandemia globale del Covid 19. Si incentiva il privato a ristrutturare in modo ecologico, fornendo fondi, e si permette a molte imprese di poter tornare a lavorare.
Questo è solo l'ultimo, anche se il più importante in termini economici, di tanti programmi europei di incentivazione riguardo il tema ambientale per ridurre emissioni combattendo il crescente problema delle alterazioni climatiche e di disponibilità delle risorse per garantire uno sviluppo sostenibile. Ad esempio il

conto energia per l'incentivazione in conto esercizio della produzione di elettricità da fonte solare mediante impianti fotovoltaici permanentemente connessi alla rete elettrica (grid connected) o gli incentivi già esistenti su coibentazione delle strutture opache, bonus facciate per la coibentazione delle strutture verticali, sostituzione di serramenti ed infissi, sostituzione parziale o integrale di impianti di riscaldamento tradizionali con caldaie a condensazione o sistemi ibridi dotati di pompa di calore e caldaia a condensazione o installazione di pompe di calore ad alta efficienza o sistemi geotermici a bassa entalpia e altro ancora.

Tra le novità introdotte, è prevista la possibilità, al posto della fruizione diretta della detrazione che è riconosciuta nella misura del 110% da ripartire tra gli aventi diritto in 5 quote annuali, 4 per gli interventi fatti nel 2022, di pari importo (entro i limiti di capienza dell'imposta annua derivante dalla dichiarazione dei redditi) di optare per un contributo anticipato sotto forma di sconto in fattura (di importo massimo non superiore al corrispettivo stesso) anticipato dal fornitore dei beni o servizi relativi agli interventi agevolati o, in alternativa, per la cessione del credito corrispondente alla detrazione spettante (a fornitori dei beni e dei servizi necessari alla realizzazione degli interventi o ad altri soggetti quali persone fisiche, anche esercenti attività di lavoro autonomo o istituti di credito e intermediari finanziari), quest'ultima risulta molto conveniente in quanto è vero sì che non torneranno soldi in più al beneficiario della ristrutturazione però esso non dovrà sborsare alcun capitale per l'eventuale riqualificazione, come succederà nel caso di R8 dove l'esborso sarebbe stato molto oneroso.
Presentiamo ora una breve spiegazione circa i dettami sulla burocrazia del superbonus per poi andare ad applicare il progetto da noi svolto per usufruirne su R8 in base alle varie richieste e paletti dell'amministratore che abbiamo sempre usato come strada da percorrere.
Il proprietario dell'immobile per poter usufruire del superbonus deve far sì che venga rispettate almeno una delle condizioni dette *interventi trainanti*:

- Isolamento termico delle superfici disperdenti che siano opache verticali, orizzontali ed inclinate che interessano l'involucro degli edifici, compresi quelli unifamiliari, con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda dell'edificio medesimo o dell'unità immobiliare sita all'interno di edifici plurifamiliari che sia funzionalmente indipendente e disponga di uno o più accessi autonomi dall'esterno
- Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti centralizzati per il riscaldamento e/o raffrescamento e/o fornitura di acqua calda sanitaria sulle parti comuni degli edifici o con impianti per il riscaldamento e/o raffrescamento e/o fornitura di acqua calda sanitaria sugli edifici unifamiliari o sulle unità immobiliari site all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendente e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno
- Interventi antisismici

Il superbonus spetta anche su altri interventi detti aggiuntivi o trainati a condizione che siano eseguiti congiuntamente con almeno uno degli interventi trainanti elencati sopra e sono:

- interventi di efficientamento energetico rientranti nell'Ecobonus
- installazione di impianti solari fotovoltaici connessi alla rete elettrica
- installazione contestuale o successiva di sistemi di accumulo integrati negli impianti solari fotovoltaici agevolati
- installazione di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici

L'insieme dei lavori di riqualificazione (trainanti + trainati) devono infine far fare all'immobile un doppio salto di classe energetica (o uno verso la classe massima laddove il doppio salto fosse impossibile), dimostrato dall'APE, per poter rientrare nei vincoli del superbonus.
Viste le cifre molto alte in ballo sta ai tecnici abilitati redimere APE di precisione assoluta per non creare errori che, se in seguito dimostrati attraverso controlli, sono passibili di sanzioni molto elevate e di penali.
Qualora vengano fatti interventi non rientranti nel superbonus o quelli trainati senza quelli trainanti restano applicabili le agevolazioni previste dalla legislazione in materia di riqualificazione energetica.
Si ricorda inoltre che il superbonus non spetta per interventi effettuati su unità immobiliari residenziali appartenenti alle categorie catastali A1 (abitazioni signorili) A8 (ville) e A9 (castelli) e possono invece usufruirne condomini, persone fisiche al di fuori dell'esercizio di attività (impresa, arti e professioni), istituti

autonomi case popolari, organizzazioni non lucrative di utilità sociale, organizzazioni di volontariato, associazioni e società sportive dilettantistiche.
Esistono dei massimali per ogni categoria di intervento a seconda che l'immobile sia unifamiliare oppure vi è un tot a unità immobiliare se si effettua una riqualificazione su un palazzo come vedremo nel nostro caso. Ci limiteremo ai massimali degli interventi trainanti.

Per esempio, per l'isolamento termico degli involucri edilizi il limite massimo di spesa è:

- 50.000 euro per gli edifici unifamiliari o per le unità immobiliari situate all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno;
- 40.000 euro moltiplicati per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio per gli edifici composti da due a otto unità immobiliari;
- 30.000 euro moltiplicati per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio per gli edifici composti da più di otto unità immobiliari (qualsivoglia blocco di R-8)

Per la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti centralizzati per le parti comuni per il riscaldamento, il raffrescamento o la fornitura di acqua calda sanitaria, con generatori di calore a condensazione, con efficienza almeno pari alla classe A, con generatori a pompa di calore ad alta efficienza, con impianti ibridi (pompa di calore integrata con caldaia a condensazione), anche abbinati all'installazione di impianti fotovoltaici con impianti di microcogenerazione o a collettori solari, nonché, esclusivamente per i comuni montani l'allaccio a sistemi di teleriscaldamento efficiente, si hanno i seguenti limiti massimi di spesa (incluso smaltimento e bonifica dell'impianto sostituito):

- 20.000 euro moltiplicati per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio per gli edifici composti fino a otto unità immobiliari;
- 15.000 euro moltiplicati per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio per gli edifici composti da più di otto unità immobiliari

Interventi sugli edifici unifamiliari o sulle unità immobiliari situate all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno per la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti per il riscaldamento, il raffrescamento o la fornitura di acqua calda sanitaria con quelli dei casi su parti comuni.
Il tetto massimo di spesa è 30.000 euro anche per le spese relative allo smaltimento e alla bonifica dell'impianto sostituito.

Il cassetto fiscale a disposizione per i vari interventi che siano svolti su un palazzo o su un'unità indipendente risulta abbastanza elevato e tale da coprire nella loro quasi totalità le spese tipiche di riqualificazione e vedremo infatti, nel paragrafo successivo come ognuno degli interventi da noi proposti su R-8 non eccederà il cassetto fiscale a disposizione per ognuno dei tre blocchi.

Come accennato precedentemente vi sono adempimenti e certificazioni necessarie che dimostrino gli effettivi salti di classe tramite APE pre e post operam e asseverazioni da parte di tecnici abilitati per dimostrare che l'intervento realizzato è conforme ai requisiti tecnici richiesti e vi sia congruità delle spese sostenute in relazione agli interventi agevolati; l'asseverazione è rilasciata al termine dei lavori o comunque per ogni stato di avanzamento e una sua copia, riferita agli interventi di efficientamento energetico, va trasmessa, in sola via telematica, all'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA).

Con la nuova agevolazione Superbonus è stato definito un nuovo tipo di certificazione energetica, il cosiddetto APE convenzionale, diverso rispetto all'APE che di solito si usa per locazione o per compravendita.
L'APE convenzionale rispetto ad un APE standard si differenzia per questi aspetti:

- È un APE legato unicamente alla pratica Superbonus 110 e non può essere utilizzato per altri scopi

- È di tutto l'edificio, inteso come somma degli APE di tutti gli appartamenti a differenza di quello standard che solitamente è per un'unica unità immobiliare
- È della singola unità immobiliare nel caso di appartamento che rientra nella definizione di funzionalmente indipendente e con almeno un accesso autonomo
- Non deve essere presentato alla Regione ma ha il solo scopo di valutare il salto delle due classi. Viene infatti allegato all'Asseverazione del tecnico in forma di dichiarazione sostitutiva d'atto notorio
- Per valutare il salto delle due classi energetiche l'APE convenzionale viene fatto per la situazione ANTE e POST-intervento migliorativo

I servizi da considerare sono solo quelli relativi alla situazione ante interventi migliorativi. Se quindi viene aggiunto il servizio di raffrescamento prima non presente (tipo condizionatori), quest'ultimo non deve essere inserito nell'APE convenzionale post interventi migliorativi e non inciderà quindi sul salto delle due classi energetiche. Rientrerà sicuramente nell'APE standard se necessario dopo la fine lavori.

4.2 Scenari proposti

Entriamo ora nella parte squisitamente pratica del nostro lavoro cioè gli scenari proposti di riqualificazione energetica.
Prima di aver redatto la relazione consegnata all'amministratore circa le possibilità per fare il doppio salto di classe energetica, abbiamo eseguito, dopo il sopralluogo, una dettagliata analisi sul complesso e valutato ogni possibile alternativa, in seguito sviluppata su Edilclima; abbiamo eseguito un APE ante operam per ognuno dei tre blocchi (uno riportato precedentemente in immagine) e degli APE post operam sempre per ognuno dei blocchi e visto quali scenari permettessero a R8 di rientrare nel superbonus. Dopodiché una relazione tecnica è stata consegnata all'amministratore che nelle riunioni condominiali dovrà valutare assieme ai condomini e chi di dovere, quale opzione scegliere.
Gli interventi di riqualificazione per accedere al superbonus prevedono logicamente l'utilizzo di tecniche e materiali che adempiano ai vincoli di legge attuali quali conducibilità, permeabilità al vapore, resistenza al fuoco e simili.

Nel capitolo precedente erano state sottolineate le richieste, ove sufficienti per rientrare nel superbonus, di intervenire solo sui componenti trasparenti delle parti comuni e sulle pareti corte dei blocchi per non intaccare l'abitabilità degli alloggi, ma noi abbiamo comunque portato più possibilità di intervento lasciando poi la scelta a chi di dovere; l'unico vero e proprio vincolo che ci era stato imposto era quello di non intervenire sui pavimenti controterra per le questioni di cui sopra e così abbiamo fatto, escludendo a priori quest'ultime da ogni scenario.
Non riporteremo in allegato, per privacy, il capitolato consegnato all'amministratore ma saranno mostrati i fogli Excel che sono il sunto delle proposte consigliate. Riportiamo al fondo della tesi i fogli excel sotto il paragrafo "Allegati" gli scenari corrispondenti ai blocchi A e B in quanto quello del blocco C era molto simile e permetteva di arrivare a risultati pressoché identici rispetto al B.

I materiali isolanti scelti per gli interventi sono stati principalmente Stiferite (poliuretano espanso rigido) e Styrodur 4000 CS (poliuretano espanso estruso XPS) in base alle cui schede tecniche abbiamo stimato gli spessori necessari per rientrare nei limiti di legge di trasmittanza, invece per quanto riguarda i componenti finestrati abbiamo progettato serramenti in PVC (che a differenza dell'alluminio non è un conduttore) con tripli vetri con insufflati krypton o argon.

Come si può notare dai fogli excel vi è una parte riguardante il solare termico che è stato aggiunto, come possibilità (che oltretutto era stata espressamente richiesta) in tutti i blocchi per coprire parte del fabbisogno della produzione di acqua calda sanitaria, il solare infatti è sempre più utilizzato in questi termini ossia per coadiuvare l'impianto esistente per la produzione di ACS, affiancato da un accumulo dimensionato in base alle esigenze. Questo sarà in ogni caso spiegato più attentamente nel prossimo capitolo.
Come si può immediatamente notare il salto di due classi energetiche viene rispettato negli scenari da noi proposti e quindi l'opera di riqualificazione può attingere al superbonus 110%, inoltre i massimali indicati non sono stati sforati quindi con molta probabilità si potrà riqualificare il complesso a costo zero.

4.3 Studio di fattibilità ed analisi economica generale

Ora andiamo ad affrontare il tema che è, per forza di cose, centrale in qualsiasi intervento ed è ciò al termine indirizza la scelta finale, cioè lo studio di fattibilità; nel nostro lavoro di tesi, più genericamente quando si parla di superbonus risulta essere una situazione paradossale e spiegheremo il perché.
Alla base di ogni intervento, in tema di riqualificazione energetica (nostro caso) e di ogni altro, si esegue lo studio di fattibilità tecnica ed economica che consiste nell'analisi e nella valutazione sistematica delle caratteristiche, dei costi e dei possibili risultati di un progetto sulla base di una preliminare (o meno) idea di massima, brutalmente potremo dire che consiste in un'analisi costi-benefici.
Sono presi in considerazione tutti gli aspetti a 360 gradi: fattibilità, sostenibilità economica, finanziaria e ambientale dell'investimento pubblico o privato che sia. Il risultato sta nella presentazione di un elaborato con grafici e prospetti finalizzato a dimostrare l'equilibrio economico e finanziario del progetto.
In un complesso quale R8, formato da tre blocchi di fabbrica che contano un numero imponente di 182 alloggi per una superficie da riscaldare di oltre 8000 m^2 capiamo subito che i costi per un intervento di riqualificazione sarebbero molto elevati e quindi in una situazione tipo sarebbe analizzata attentamente ogni diversa strada e i relativi tempi di ritorno dell'investimento e magari si sarebbe arrivato ad un compromesso di interventi magari non troppo performanti dal punto di vista della riqualificazione ma con spese più contenute e in grado comunque di garantire un discreto ritorno economico nel tempo.

La valutazione dell'investimento è in definitiva un'attività di pianificazione economico-finanziaria per verificare l'impatto che un progetto di investimento ha, cioè l'insieme di liquidi-capitali (costo dell'investimento di un azienda o un privato) che hanno l'obiettivo di conseguire un flusso di benefici futuri (non per forza in termini di entrate dirette ma magari, come nel nostro caso, di uscite fisse molto minori) complessivamente superiori ai costi iniziali sostenuti, ovvero ottenere un guadagno netto dopo un tempo determinato; applicato al nostro caso studio quindi l'investimento, che consisterà nel migliorare tramite un'adeguata coibentazione tutte le strutture esistenti, nel creare un solare termico per produzione di ACS ed eventualmente nel sostituire l'impianto di riscaldamento, dovrà dare come beneficio un risparmio in bolletta tale per cui si otterrà dalla differenza rispetto alla cifra che sarebbe stata spesa nel tempo se si fosse continuato con lo stato attuale, un rientro dell'investimento al tempo X, dopodiché tutto sarà di guadagnato.

Il concetto chiave diventa quindi quello espresso da determinati indici economici riguardanti l'analisi degli investimenti, i principali sono: il flusso monetario scontato (Discounted cash flow, "DCF"), il valore attuale netto (Net present value), l'indice di profittabilità (Benefit cost ratio, BCR) e il periodo di rimborso, più noto come "Payback time".
Il flusso monetario scontato è il metodo scelto, nella maggior parte dei casi, per valutare l'investimento e esso va valutato sulla base di alcune considerazioni:

- La percentuale di ritorno (profitto) dell'investimento deve essere maggiore di un valore soglia ossia un tasso minimo di rendimento finanziario richiesto ad un investimento per poter essere preso in considerazione, esso è chiamato "hurdle rate"
- Più alto è il rischio, più alto è il profitto (potenzialmente) atteso
- Il valore soglia riflette combinazioni finanziarie dell'investimento
- I ricavi vanno valutati basandosi sui flussi di cassa originati durante l'intera vita del progetto

Diventa dunque fondamentale in questa analisi di DCF valutare un tasso di sconto adatto, per comparare differenti flussi di cassa che derivano dall'investimento durante tutta la vita del progetto.

Per capire meglio il discorso, definiamo l'attualizzazione che indica il processo finanziario che consente di stabilire oggi il valore attuale di un capitale che ha come naturale scadenza una data futura; tramite l'applicazione di un tasso di sconto si può arrivare ad identificare un'equivalenza finanziaria tra due capitali che hanno scadenze diverse nel tempo. Lo sconto o interesse passivo deve essere tale per cui, capitalizzando la somma che otteniamo oggi allo stesso tasso che lo sconto ci offre dobbiamo arrivare ad ottenere il medesimo capitale dal quale eravamo partiti e avere reciproca soddisfazione da entrambe le parti.
Per esempio 1000 euro riscossi tra due anni valgono in realtà meno che al tempo presente perché avere 1000 euro subito rappresenta una condizione economico-finanziaria migliore in quanto è possibile utilizzarli

eventualmente per ricavare nuovi capitali utili attraverso varie forme possibili di investimento oppure semplicemente per spenderli. Per quanto detto è necessario dunque scalare, ovvero scontare, il capitale o ciascun flusso di cassa futuro stimato per un opportuno fattore di sconto, che è calcolato a partire dal tasso di sconto e che è tanto maggiore quanto più il flusso di cassa da scontare/attualizzare è lontano nel tempo dal tempo presente. Da qui arriviamo al valore attuale netto dell'investimento.

Il valore attuale netto (in sigla italiana VAN e inglese NPV) è una metodologia tramite cui si definisce il valore attuale di una serie attesa di flussi di cassa non solo sommandoli contabilmente, ma attualizzandoli sulla base del tasso di rendimento.

$$NPV = -I + \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t} \ [€]$$

Equazione 31-Net present value

Dove:

- I è l'investimento
- B_t è il flusso di cassa netto
- i tasso di rendimento (interesse)

Un investimento è attuabile se il NPV è >= 0, il che corrisponde a una ricchezza finale maggiore della ricchezza che si avrebbe se non si facesse l'investimento; per un discorso a questo punto di chiara comprensione sono preferibili gli investimenti che presentano un maggiore NPV tra alternative simili.
Se quest'ultimo fatto rende il NPV molto utile è anche vero che non si può scoprire qualsiasi informazione solo dal NPV, infatti, esso non è in grado di differenziare progetti con bassi costi di investimento e un periodo di Payback rapido con progetti con un elevato costo di investimento e un lento periodo di Payback (dato lo stesso NPV), inoltre esso determina sì il rendimento monetario effettivo ma non fornisce alcuna informazione sul rendimento dell'investimento. Infine, l'NPV non include esplicitamente le incertezze che possono influenzare le variabili di calcolo.

Passiamo ora all'indice di profittabilità, esso è utilizzato per avere un'idea della redditività di un nuovo progetto, infatti rappresenta il guadagno medio di un investimento per unità di capitale investito. Maggiore sarà l'indice di profittabilità e maggiore la redditività del progetto in relazione all'investimento iniziale.

Infine, si arriva al Payback time ossia il periodo che serve all'investimento per far rientrare l'esborso iniziale cioè, nel nostro caso, quando il costo risparmiato dalle bollette che saranno meno costose vista la riqualificazione si avrà un ritorno del capitale investito. Questo valore risulta di primaria importanza quando l'investimento è un investimento tipo il nostro dove l'obiettivo è rientrare delle spese avendo esborsi sempre minori, a differenza di quando ad esempio, si deve progettare una centrale termoelettrica dove logicamente l'obiettivo è guadagnare significativamente una volta rientrati dell'investimento sostenuto, li si avranno anche valutazioni sui vari costi nel ciclo vita dell'impianto ma non è argomento di tesi.
Il PBT permette quindi di scegliere l'investimento con il periodo di ritorno più breve del capitale investito misurando il tempo τ in cui flussi di cassa negativi pareggiano i flussi di cassa positivi.
Si calcola con la seguente equazione:

$$-I + \sum_{t=1}^{\tau} \frac{B_t}{(1+i)^t} = 0 \ [y]$$

Equazione 32-Payback Time

Dove tutti i termini sono stati visti precedentemente.

Risulta molto utile e chiarificativo vedere graficamente cosa rappresenta il PBT.

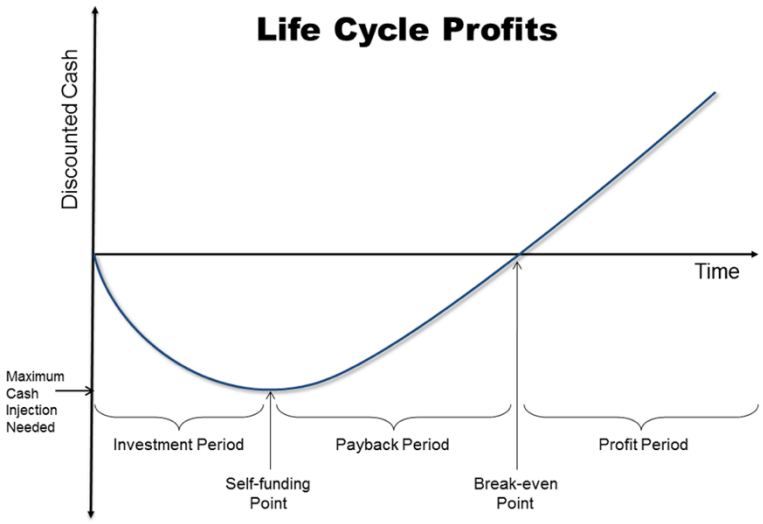


Figura 44-Graficio esplicativo riguardo il Payback time

Il flusso di cassa durante il ciclo vita dell'investimento è rappresentabile da una parabola posizionata su un diagramma cartesiano dove alle ascisse vi è il tempo e alle ordinate appunto il flusso di cassa.
Al tempo 0 (origine) viene fatto l'investimento (che può essere "istantaneo" o prolungato nel tempo ma il senso è sempre lo stesso) e quindi il flusso di cassa sono le uscite che conseguono all'investimento, in questo periodo si hanno solo spese.
Si arriva quindi al self-funding point ossia dove vi è un autofinanziamento, cioè in quel momento le spese sono finanziate dal flusso positivo che sta venendo generato dall'investimento.
Inizia così il Payback period ossia quel lasso di tempo (più o meno lungo) dove la differenza tra gli investimenti (che possono proseguire o no, tipo varie spese ecc.) e il profitto dato dall'investimento è positivo e quindi si accumula del guadagno fino ad arrivare al break-even point ossia quel momento in cui i guadagni conseguiti eguagliano il capitale di investimento speso.
Da quel momento in poi (fino al termine della vita dell'investimento, come può essere la dismissione di un impianto) si ha il periodo di profitto cioè le entrate che si avranno saranno puro guadagno rispetto alla situazione di partenza.

Dietro a tutti questi ragionamenti andrebbe fatta un'analisi molto dettagliata su ogni possibile scenario e valutare quale sia il più redditizio o comunque il più consono al tipo di investimento, ma non è il nostro caso, come può essere facilmente immaginato ma ora spiegheremo il perché.

Il superbonus 110% nasce come piano quasi estremo per far sì che vengano avviate sempre più riqualificazioni energetiche al fine di migliorare i problemi ambientali, per rientrare in tutti gli accordi internazionali sul clima e allo stesso tempo far riavviare quella macchina fortemente colpita dal Covid chiamata economia.
I vari piani precedenti volti allo stesso fine, cioè quello ambientale circa le riqualificazioni, vedevano detrazioni fiscali importanti ma mai tali da arrivare all'intero rientro dell'investimento, col superbonus addirittura si avrebbe un guadagno futuro qualora si scegliesse la prima delle tre strade percorribili a livello di pagamenti citate a inizio capitolo; l'amministratore ci aveva già anticipato che la strada perseguita per fare i lavori su R8 sarebbe stata quella dello sconto in fattura che permette invece di eseguire i lavori senza alcuno esborso economico.
Ecco svelato il motivo per cui in questo particolare caso e momento storico questa approfondita analisi, non va fatta, perlomeno in una fase iniziale come la nostra.
Nei fogli excel degli scenari da noi proposti vediamo come ogni scenario proposto abbia un cassetto fiscale a disposizione (ossia i soldi massimi utilizzabili per le varie tipologie di intervento) superiore ai soldi che

andrebbero spesi per gli interventi stessi (abbiamo sempre utilizzando i massimali piemontesi per ogni lavoro) e quindi l'esborso sarebbe nullo, ossia l'intero ammontare è coperto.

Utilizzando questa informazione sugli indici economici da noi evidenziati emergono conseguenze ovvie ma comunque su cui si possono fare ulteriori considerazioni.
L'investimento risulta essere pari a 0 quindi tutti i proventi saranno subito flusso di cassa entrante, effettivamente guadagnato.
Guardando il grafico è come se il break-even point fosse posizionato all'origine, visto che in questo particolare caso il Payback period è pari a 0 e la retta di profitto parte quindi subito dall'origine, questa operazione ha quindi solo guadagno effettivo come già detto.

CAPITOLO 5

IMPIANTI DA INSTALLARE E VALUTAZIONI

5.1 L'energia solare

Abbiamo scelto di installare un impianto solare termico per produrre parte del fabbisogno di acqua calda sanitaria, questo è il tipico uso dell'energia solare a bassa temperatura ottenibile grazie all'installazione dei pannelli solari termici.
Non è stata in questa fase presa in considerazione alcuna ipotesi circa impianti fotovoltaici.
Così facendo produrremo energia termica green ossia da fonti rinnovabili, avendo meno energia primaria richiesta dall'impianto e questo contribuirà notevolmente a migliorare gli indici di prestazione energetica della casa.

Per cominciare ricordiamo che sono sostanzialmente due i modi per sfruttare, direttamente o indirettamente l'energia solare in ambito di produzione di energia:

- Sfruttando la luce, che può essere trasformata direttamente in elettricità` grazie alla tecnologia fotovoltaica;
- Sfruttando il calore (che può anche essere concentrato) per riscaldare acqua sanitaria e/o per produrre energia elettrica alimentando un impianto che sfrutta determinati cicli termodinamici collegato ad un alternatore

Daremo ora una spiegazione di quello che è il meccanismo di produzione termica tramite l'impianto solare.

La radiazione solare è logicamente alla base di questo sistema di produzione di energia ed è una fonte rinnovabile e pulita.
Il Sole è considerabile come un corpo nero alla temperatura superficiale apparente di circa 5800K che emette nello spazio circostante, nell'intervallo di lunghezze d'onda compreso tra 0.2 e 3 mm (spettro solare), una quantità di energia raggiante sotto forma di radiazione solare (combinazione di raggi elettromagnetici) pari a 3.88 ·1026 W. La potenza radiante (irradianza) per unità di superficie proveniente dal Sole esprime la densità della radiazione solare e vale, prima di entrare in atmosfera, in media 1367 W/m^2 , questo valore prende il nome di costante solare. Quando il cielo è sereno, sulla superficie terrestre, ne arrivano circa 1000 W/m^2 mentre quando il cielo è completamente coperto l'irradiazione diminuisce fino a circa 100 W/m^2. Il valore in

caso di cielo sereno è comunque inferiore rispetto alla costante solare a causa dei fenomeni di assorbimento e riflessione da parte dell'atmosfera.
Per l'utilizzo solare a scopo termico è interessante la somma della radiazione disponibile su tutto l'anno.

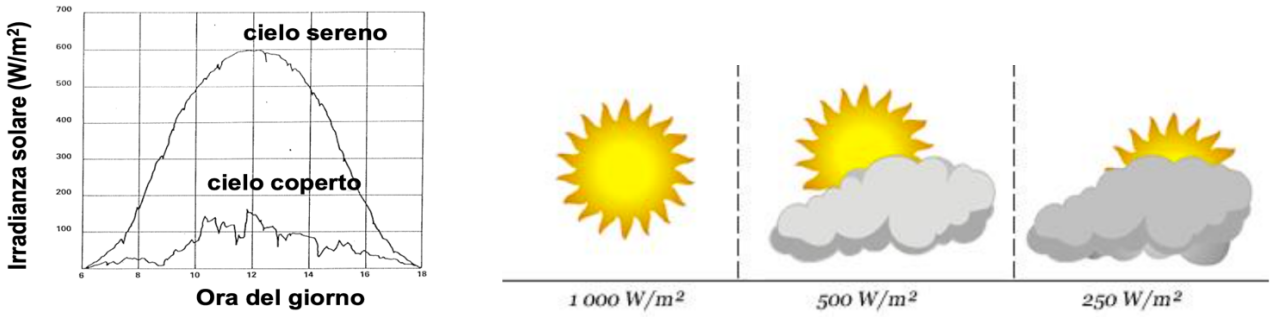


Figura 45-Irradianza solare in base alle condizioni climatiche

L'atmosfera terrestre si comporta come un filtro permettendo il passaggio solo di determinati range di lunghezze d'onda: la maggior parte della penetrazione si verifica nella zona della luce visibile, mentre i raggi ultravioletti (lunghezze d'onda <400nm) o quelli infrarossi (lunghezze d'onda >700nm) vengono riflessi, assorbiti (da molecole triatomiche presenti in atmosfera come ozono, anidride carbonica e vapore acqueo) o diffusi (dalle molecole di O_2, N_2 e dal particolato sospeso) nell'atmosfera esterna. L'assorbimento è un fenomeno discreto che interessa solo alcune bande dello spettro mentre la diffusione è un fenomeno continuo.

La somma della radiazione incidente su una superficie orizzontale viene definita radiazione globale ed è costituita dalla radiazione diretta, che arriva direttamente dalla direzione del sole (è la parte predominante in caso di cielo sereno), dalla radiazione diffusa che arriva dopo una o più deviazioni e giunge da tutte le direzioni del cielo (è la componente predominante in caso di sole poco percettibile o cielo coperto) e dalla componente riflessa dalle superfici circostanti, l'albedo è il coefficiente di riflessione che vedremo avere un ruolo non poco importante per quanto riguarda una località montana. Infatti, il termine adimensionato di albedo più è grande e più fa sì che la componente riflessa sia grande, così di conseguenza l'irradianza totale; esso nel caso di neve presente attorno al punto scelto, quindi la nostra situazione circa metà dell'anno solare, vale 0,75 ed è uno dei coefficienti più alti possibili, come possiamo vedere in figura.

Tipo di superficie	Albedo (ρ)
Strade sterrate	0.04
Superfici acquose	0.07
Bosco di conifere d'inverno	0.07
Asfalto invecchiato	0.10
Tetti o terrazzi in bitume	0.13
Suolo (creta, marne)	0.14
Erba secca	0.20
Pietrisco	0.20
Calcestruzzo invecchiato	0.22
Bosco in autunno/campi	0.26
Erba verde	0.26
Superfici scure di edifici	0.27
Foglie morte	0.30
Superfici chiare di edifici	0.60
Neve	0.75

Figura 46-Valori di albedo di svariate superfici

L'entità della radiazione solare è influenzata dalla posizione del sole nel cielo, dall'orientamento della superficie e dallo stato fisico degli strati atmosferici (presenza di formazioni nuvolose, contenuto di umidità polveri, CO_2); in particolare per quanto riguarda la posizione del sole nel cielo vanno considerate: latitudine e longitudine (dipendono dal luogo), declinazione solare (dipende dal giorno dell'anno) e angolo orario (dipende dall'ora del giorno).
Innanzitutto, ciò che va preso in considerazione è la radiazione solare media annuale incidente su superficie orizzontale in un determinato luogo scelto. In quanto la produzione di un impianto solare che sia fotovoltaico o termico dipende da essa. Sono utilizzate a tale scopo le mappe di irraggiamento annuale medio (su superfici orizzontali) ricavate su misure relative ad intervalli di tempo pluriennali, come quella riportata in figura.

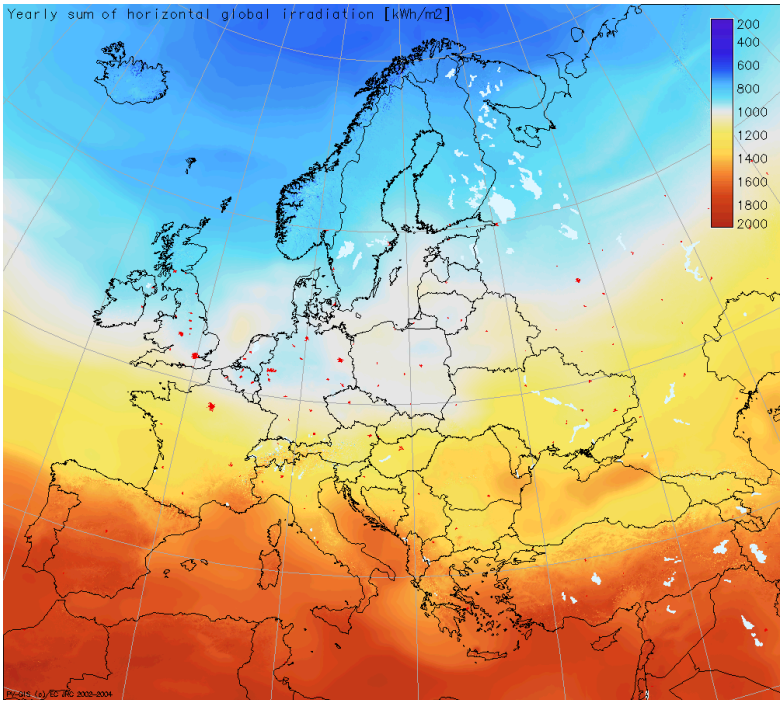


Figura 47-Mappa di irraggiamento annuale medio europeo

L'Italia offre condizioni meteorologiche molto buone per l'uso dell'energia solare anche al nord, possiamo vedere che il valore di irraggiamento è compreso tra 1200 e 1750 kWh/m^2 all'anno (con una differenza tra nord e sud intorno al 40%). Circa il 75% della quantità di energia irradiata deriva dai mesi estivi, da aprile a settembre. A queste condizioni un impianto solare standard consente di risparmiare fino all'80% dell'energia necessaria per la preparazione di acqua calda e fino al 40% della domanda complessiva di calore per l'acqua calda sanitaria e per il riscaldamento degli ambienti.
Possiamo quindi notare come l'Italia sia un mercato molto promettente, che infatti sta attraversando una forte crescita, considerando il fatto che oggi si è raggiunta una buona maturità di questa tecnologia che invece fino a poco tempo fa era sfruttata molto male, nonostante le condizioni favorevoli per mancanza di esperienza nel settore.

Gli aspetti predominanti sono poi l'orientamento (angolazione di azimut) e l'inclinazione (angolazione di tilt cioè angolo formato tra la superficie captante e il piano orizzontale) dei pannelli captanti che sono l'interfaccia fondamentale dell'impianto per sfruttare la radiazione solare presente.
La somma di radiazione massima si otterrebbe su una superficie dotata di inclinazione mobile e orientata verso sud (nel nostro emisfero) tale da risultare costantemente ortogonale ai raggi solari lungo il periodo radiante quotidiano. Tuttavia, le superfici più utilizzate per questioni di comodità sono logicamente quelle fisse.
Per massimizzare la captazione solare i pannelli vanno orientati a sud poichè essi sono più produttivi quando i raggi del sole lambiscono le loro superfici e nel nostro emisfero questo avviene orientandoli verso sud, se

per le più svariate problematiche non si può orientarli verso sud si può scegliere di riorientarli fino ad un massimo di 45 gradi (sud-est o sud-ovest) avendo una contenuta riduzione della producibilità annua, meno del 5%, se li rioriento fino a 90 gradi dalla direzione sud (cioè est o ovest) il calo di produzione arriverà invece ben al 30%.
L'orientamento sud est o sud ovest può anche essere una scelta studiata dai progettisti in quanto:

- Si può scegliere il sud/sud-ovest (ponente) per massimizzare il rendimento dei pannelli solari nelle ore pomeridiane, quando i raggi del Sole sono più caldi. Così facendo si catturano i raggi solari in modo perpendicolare nelle ore del pomeriggio, sacrificando quelli della mattina quando la foschia e la nebbia possono ostacolare l'irraggiamento.
- Si può scegliere il sud/sud-est (levante) in quanto può accadere che una determinata regione geografica sia caratterizzata da regolari precipitazioni piovose nelle ore pomeridiane (ad esempio alcune zone costiere e montane). In quest'ultimo caso i progettisti tendono a orientare i pannelli solari in questa maniera per massimizzare il rendimento dei pannelli solari nelle ore della mattina, sacrificando la fascia oraria pomeridiana della giornata.

Si può quindi affermare che l'orientamento è un discorso generico e dipende all'incirca solo dall'emisfero in cui ci troviamo (il sole percorre il cielo nella sua arcata sud nell'emisfero boreale del pianeta che è il nostro e al contrario, nell'emisfero australe il percorso del Sole nel cielo ha luogo a nord) fatta eccezione per eventuali caratteristiche morfologiche quali ombreggiamenti ecc.; in poche parole i pannelli vanno sempre rivolti verso l'equatore indipendentemente dalla latitudine geografica dell'impianto.

L'inclinazione dei pannelli è invece determinata dalla latitudine del luogo di installazione: questo poichè quanto più ci si allontana dall'equatore, tanto più il percorso del Sole si svolge più in basso nell'orizzonte e quindi i pannelli idealmente servono tanto più inclinati quanto più ci si sposta verso nord nell'emisfero boreale.
L'inclinazione ottimale dei pannelli dipenderà come detto dalla latitudine del luogo geografico e dal periodo dell'anno in cui abbiamo bisogno di maggiore energia e quindi dal tipo di impiego previsto: per esempio per lo sfruttamento dell'energia solare per il riscaldamento degli ambienti può essere vantaggiosa un'inclinazione più ripida come spiegheremo a breve.
La maggior parte delle volte, comunque, si fa coincidere la latitudine del luogo con l'inclinazione dei pannelli o comunque si utilizzano valori standard proposti. Più un pannello è inclinato perpendicolarmente ai raggi solari maggiore è la sua resa, ma i raggi solari cambiano a seconda del luogo, della stagione e dell'ora quindi bisogna trovare il giusto compromesso.

La massima produzione di energia dobbiamo ottenerla a mezzogiorno, momento in cui il sole raggiunge la massima altezza sull'orizzonte. Dobbiamo quindi conoscere, nell'arco dell'anno, l'altezza massima e minima del sole a mezzogiorno per sapere di quanti gradi inclinare i nostri pannelli. Per questo ci vengono in aiuto due giorni particolari dell'anno che sono quelli in cui si hanno rispettivamente più e meno luce nell'arco di un giorno: solstizio d'estate (il sole è nella sua massima altezza annuale) e solstizio d'inverno (il sole è nella sua minima altezza annuale).

L'altezza annuale massima e minima del sole a mezzogiorno cambia logicamente in base alla latitudine in cui ci troviamo. La latitudine dell'Italia è compresa tra circa 47° a Nord fino ad arrivare a poco più di 35° a Sud (Lampedusa). Per conoscere l'altezza del Sole che ci interessa durante i solstizi dobbiamo individuare la latitudine del luogo in cui desideriamo installare l'impianto, San sicario Alto ha una latitudine di circa 45°.

- CASO ESTIVO: Una volta individuata la latitudine, si sottrae 23° (attuale angolo d'inclinazione terrestre approssimato). A questo punto si calcola 90 - (risultato ottenuto).
  Nel caso di San Sicario alto avremo il punto di culminazione del Sole a 68°, ottenuto dal calcolo 90-(45-23). Per ottenere quindi il massimo rendimento energetico durante il solstizio d'estate, i pannelli devono essere rivolti a Sud ed inclinati di 22° (90-68). In questo modo a mezzogiorno i pannelli saranno perfettamente perpendicolari ai raggi solari.

- CASO INVERNALE: per calcolare l'altezza del sole a mezzogiorno durante il solstizio d'inverno dobbiamo anziché sottrarre, aggiungere 23°. L'operazione matematica successiva rimane invariata. Il risultato nel nostro caso è di 90-(45+23) = 22°. Per ottenere quindi il massimo rendimento durante il solstizio d'inverno, i pannelli devono essere rivolti a Sud ed inclinati di 68° (90-22). In questo modo a mezzogiorno i pannelli saranno perfettamente perpendicolari ai raggi solari.

Emerge che una forte inclinazione dei pannelli rispetto al piano favorirà una maggiore produzione energetica durante il periodo invernale, mentre una lieve inclinazione dei pannelli rispetto al piano favorirà una maggiore produzione energetica durante il periodo estivo.

Da qui deriva la strategia più rapida che consiste nello scegliere come inclinazione dei pannelli il valore della latitudine del luogo in questione, il che garantisce un buon funzionamento medio annuale, elevate latitudini privilegiano quindi, in base al discorso precedente, il funzionamento invernale quando i raggi solari sono bassi, mentre basse latitudini privilegiano il funzionamento estivo quando cioè i raggi solari sono alti. Eventuali piccoli accorgimenti sono scegliere, in caso di pannelli solari termici un'inclinazione pari alla latitudine più 10 gradi così da migliorare la produzione di acqua calda sanitaria nei periodi invernali ovvero i più critici, mentre in caso di pannelli fotovoltaici si può scegliere la latitudine meno 10 gradi per migliorare la produzione annuale di energia elettrica sfruttando in maniera ottimale il periodo estivo (oppure idealmente per gli hotel balneari dove serve tanta acqua calda sanitaria nei periodi estivi).
Nella totalità dei casi per i piccoli impianti si opta per un'inclinazione fissa, in grado di massimizzare il rendimento medio del pannello senza doverne modificare l'inclinazione durante l'anno. Solo negli impianti solari più grandi ogni pannello è integrato in una struttura automatica che consente di modificare l'inclinazione dei pannelli nel corso dei mesi. Questi servomeccanismi sono tuttavia molto costosi ed economicamente poco convenienti per gli impianti solari di piccole dimensioni.

L'energia solare viene utilizzata a secondo dell'uso che se ne fa e di cosa essa va ad alimentare, si ricavano quindi tre diversi tipi di utilizzo:

- Alta temperatura: le fornaci solari impiegano specchi a doppia curvatura per concentrare tutta l'energia solare incidente su piccoli volumi. Il loro utilizzo è principalmente quello della ricerca (fusione metalli in atmosfera controllata, per esempio)
- Media temperatura: generatori di vapore solari alimentano cicli Rankine in cosiddetti impianti solari termodinamici. Anche in questo caso vengono utilizzati dei concentratori solari, quali eliostati, che concentrano su un ricevitore l'energia. La produzione di vapore tramite il ciclo va ad alimentare una turbina e un generatore con conseguente produzione di energia elettrica.
- Bassa temperatura: produzione di acqua calda sanitaria e riscaldamento o raffrescamento ambientale, caso che tratteremo nel seguente paragrafo.

5.2 Impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria

Se gli utilizzi dell'energia solare ad alta e media temperatura trovano riscontro in ambito scientifico e tecnologico/industriale, l'impiego che possiamo riscontrare nella vita quotidiana è quello relativo al riscaldamento o raffrescamento delle nostre case utilizzando l'energia solare. Ci occuperemo solo del suo utilizzo per il riscaldamento (in particolare per acqua calda sanitaria), questo a differenza dell'uso per il raffrescamento ha la pecca di non essere in fase, ossia il grosso dell'energia prodotta non coincide coi periodi in cui vi è grande richiesta come si può immaginare e come riportato nell'immagine sottostante.

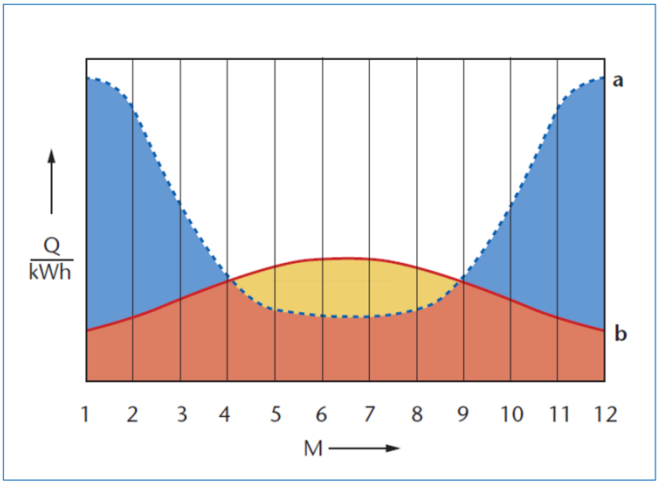


Figura 48-Energia prodotta da collettori solari di un impianto solare termico in relazione alla richiesta annuale di energia per produzione di ACS e riscaldamento

Si utilizzano dei pannelli solari, detti collettori che possono essere piani o a tubi sottovuoto, essi trasformano la radiazione solare in calore, facendo così scaldare un fluido termovettore che viene solitamente poi immagazzinato in uno "storage", questo come spiegheremo, avviene o per circolazione naturale (effetto termosifone) con un accumulo immediatamente sopra ai collettori o tramite circolazione forzata se l'accumulo è ad esempio all'interno dell'abitazione; le temperature di esercizio sono di solito inferiori ai 120 gradi centigradi (utilizzo a "basse temperature").
I pannelli solari termici sono posizionati con inclinazioni stabilite dai ragionamenti di cui sopra e si dividono principalmente in pannelli piani e pannelli tubulari sottovuoto, come riportato in figura.

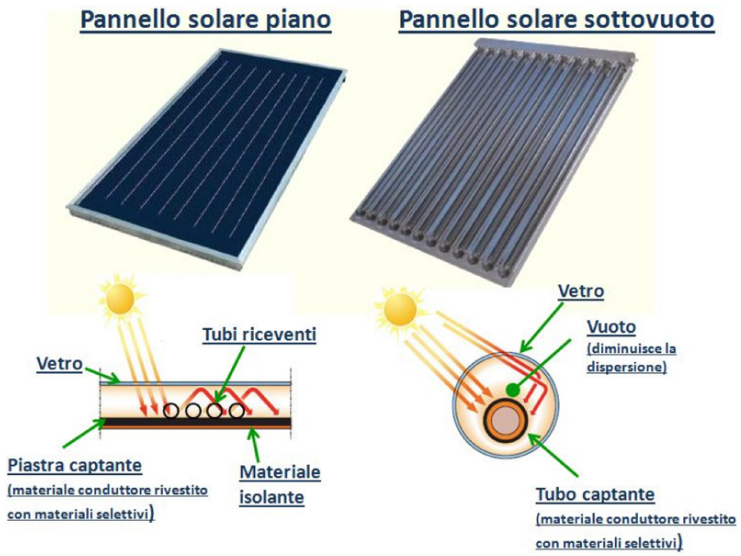
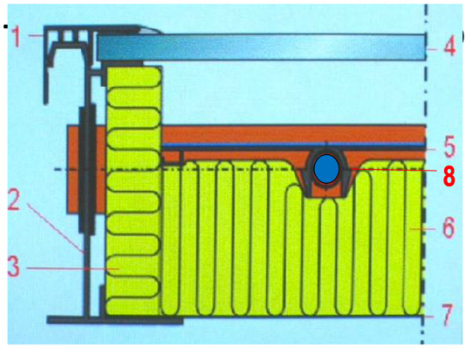


Figura 49-Tipologie collettori solari

Riportiamo ora in figura ed analizziamo la sezione tipica di un collettore solare piano, la cui dimensione tipica di un modulo è di circa 1m x 2m.



1. **Bordo di chiusura e collegamento al faldale o ad altro pannello**
2. **Parete laterale**
3. **Isolamento laterale**
4. **Vetro superiore**
5. **Assorbitore**
6. **Isolamento posteriore**
7. **Lamiera di protezione posteriore**
8. **Tubo di trasporto del fluido**

Figura 50-Sezione caratteristica collettore piano

Questa è la tecnologia più comune di pannelli solari sulla cui piastra sono saldate ad ultrasuoni le tubazioni in rame che contengono il liquido termovettore per il trasferimento di calore al sistema. Il vetro temperato è antiriflesso e antigrandine, però non è sottovuoto: il liquido infatti circola sotto la parte vetrata (mentre nei tubolari il liquido circola solo nell'anima di rame).

La copertura trasparente può in determinati casi non esserci, ma nella stragrande maggioranza presenta 1 o 2 strati che possono essere in vetro (normale 4-6 mm, low iron), policarbonato alveolare, polimetacrilato (i materiali plastici possono degradarsi sotto l'effetto degli UV). Possono essere fatti trattamenti speciali per ridurre le riflessioni e aumentarne la trasmissività che deve avere valori elevati.
Nei collettori piani, le perdite di calore per convezione e radiazione IR sono molto importanti per la determinazione delle loro prestazioni.
I vetri o doppi vetri possono ridurre queste perdite di calore ma questa impostazione fa diminuire le radiazioni che raggiungono l'assorbitore a causa della riflessione (τ_c diminuisce e le perdite ottiche aumentano).

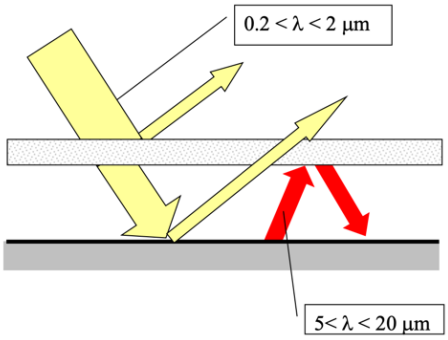


Figura 51-Riflessione solare aggiuntiva in caso di copertura trasparente

A basse differenze di temperatura, dove le perdite sono piccole, l'uso di vetri singoli offre un'efficienza migliore di quella doppi mentre a una maggiore differenza di temperatura l'uso di doppi vetri è consigliabile per prestazioni migliori. Riportiamo grafici caratteristici delle proprietà della copertura trasparente e le modalità che ne influenzano la trasmissione solare.

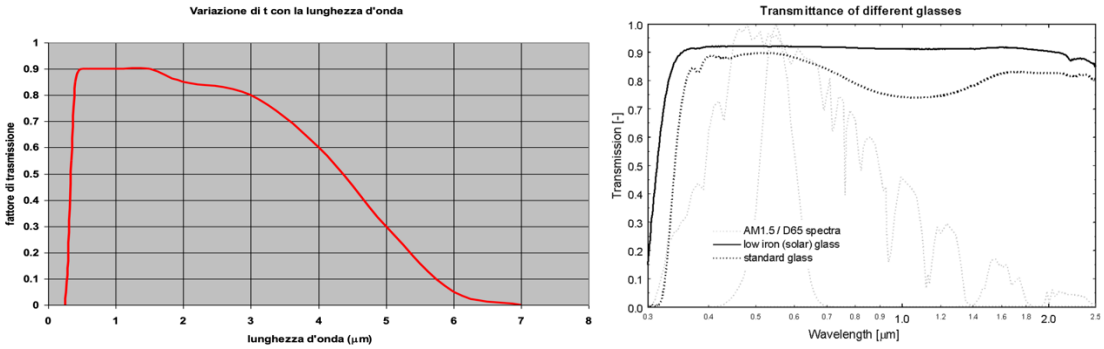


Figura 52-Trasmissione solare coperture trasparenti di diversi materiali e fattori di trasmissione

Come vediamo il vetro a basso contenuto di ferro è il materiale che si fa preferire per quanto riguarda questo parametro.

L'elemento principale è poi l'assorbitore, che ha la funzione di assorbire la radiazione solare incidente trasformandola in calore (trasformazione fototermica), essa permette un assorbimento energetico pari al 95% dell'irraggiamento sulla superficie e ne limita l'emissione al 5%.
Nella maggior parte dei collettori piani o a tubi sottovuoto vengono impiegati assorbitori dotati di un cosiddetto strato selettivo (ottenibili con procedimento galvanico con cromo o alluminio con pigmentazione al nickel) che determina un alto grado di assorbimento (> 0,95) e quindi bassa riflettanza, nel range delle lunghezze d'onda della radiazione solare (0.33-3.3 µm), contemporaneamente essi devono irradiare poca energia, grazie a un basso fattore di emissività (< 0,1), e quindi un basso assorbimento e di conseguenza elevata riflettanza, nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso (5- 50 µm). Questo secondo la legge di Kirchhoff che vediamo in figura.

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

$$\text{ma } \tau_\lambda = 0$$

$$\alpha_\lambda = 1 - \rho_\lambda$$

Legge di Kirchhoff

$$\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$$

$$\varepsilon_\lambda = 1 - \rho_\lambda$$

Figura 53-Legge di Kirchhoff

Ricordiamo che si definisce emissività di una superficie il rapporto tra la radiazione emessa dalla superficie e la radiazione emessa dal corpo nero alla stessa temperatura. L'emissività di una superficie si indica con ε, varia tra zero e uno ($0 \leq \varepsilon \leq 1$) ed è una misura di quanto una superficie reale approssima un corpo nero per il quale $\varepsilon = 1$ (il corpo nero è considerato come un'idealizzazione cui corrisponde la massima energia irradiata e l'assorbimento perfetto di quella ricevuta).
L'emissività di una superficie reale non è costante ma varia con la temperatura della superficie, con la lunghezza d'onda e con la direzione della radiazione emessa.
La frazione di irradiazione assorbita dalla superficie è detta coefficiente di assorbimento α, la frazione riflessa è detta coefficiente di riflessione ρ e la frazione trasmessa è detta coefficiente di trasmissione τ.
Al pari dell'emissività, tutte le citate proprietà dipendono sia dalla direzione sia dalla lunghezza d'onda, tuttavia nella pratica si è soliti riferirsi alle sole proprietà emisferiche totali. È interessante osservare che nel caso in cui i corpi siano opachi, cioè tali che il coefficiente di trasmissione è pari a 0, è possibile esprimere il

coefficiente di riflessione in funzione del solo coefficiente di assorbimento come vediamo sopra dalla legge di Kirchhoff. Curiosità: per quanto riguarda α vi è indipendenza dalla temperatura della superficie a cui esso è riferito, mentre dipende assai di più dalla temperatura del corpo da cui si origina la radiazione incidente.

L'assorbitore generalmente è in rame o lamiera di acciaio o Inox (AISI 304) o lamiera di alluminio roll bond (2-4 mm) ed è rivestito in vernice nera o vernice nera selettiva con coatings di materiali selettivi.

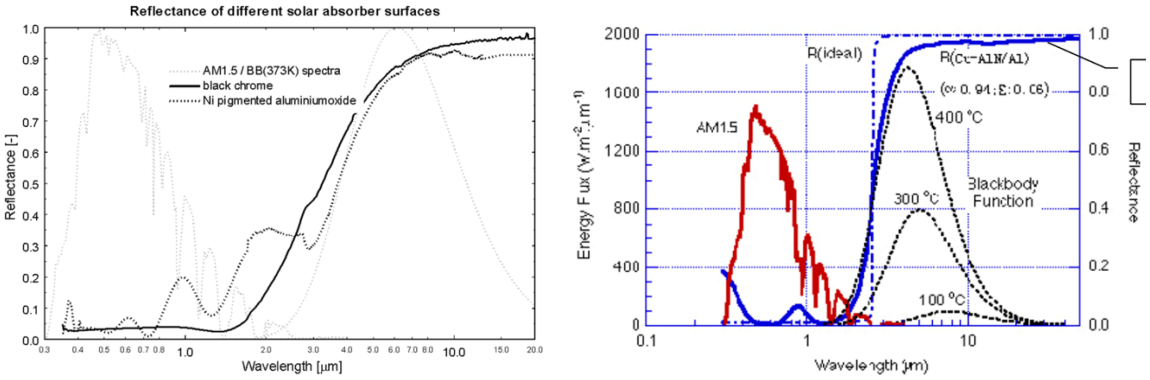


Figura 54-Riflettanza di diversi materiali che costituiscono gli assorbitori, in base alla lunghezza d'onda della radiazione

Vi è poi logicamente il fluido termovettore che scorrerà nei tubi del collettore (circuito idraulico del pannello), esso solitamente è acqua pura o miscela di acqua e propilenglicolo atossico (laddove ci sia il rischio gelo) poichè si raggiungono alti valori di c_p con conseguente ottimo scambio termico, si possono però avere problemi di corrosione, a differenza di quando viene impiegata aria come nei sistemi solarwall, che però presentano minor scambio termico. Serve un buon contatto termico tra l'assorbitore e il fluido termovettore in circolazione per avere la cessione del calore al fluido termovettore e di conseguenza il trasporto fuori dal collettore del calore.

Vi è infine un isolante di spessore tipico di 5-8 cm (anche lateralmente), talvolta con strato alluminato riflettente per riflettere gli IR, il materiale è solitamente poliuretano, polipropilene o lana di roccia.

Nel nostro caso studio si è però optato per collettori a tubi sottovuoto, essi rappresentano una configurazione all'avanguardia in quanto il vuoto nei tubi garantisce il massimo isolamento termico e la forma architettonica esalta la captazione della radiazione solare anche per angoli di inclinazione non ottimali e tetti non perfettamente orientati verso sud. Vengono inoltre annullate le perdite convettive. Vi è quindi un maggior immagazzinamento di energia termica anche in condizioni poco favorevoli (come può essere nel nostro caso) ed efficienze complessivamente più elevate. Una piastra (o un tubo concentrico) nera assorbe la radiazione e la trasmette al fluido che scorre nello scambiatore tubo-in-tubo o a doppio tubo. Viene mostrato in figura un collettore a tubi sottovuoto di tipo Sydney ossia con l'assorbitore cilindrico.

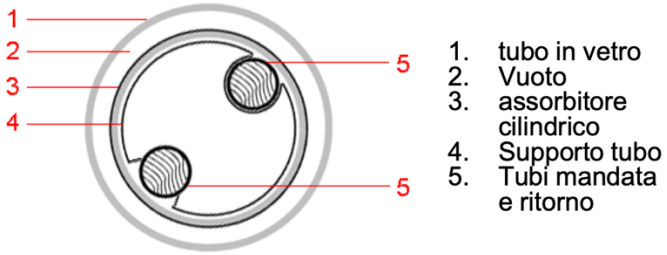


Figura 55-Sezione di collettore tubulare sottovuoto tipo Sydney

In questa tipologia di collettori il trasporto di calore tra l'assorbitore e il fluido termoconvettore può

avvenire tramite l'utilizzo di una "Heat Pipe", che sfrutta il fenomeno dell'evaporazione e condensazione di un liquido bassobollente non tossico.
Questo liquido ha la proprietà di bollire ed evaporare ad una temperatura molto inferiore rispetto i 100°. All'interno del tubo il fluido inizia ad evaporare a circa 25°C salendo verso il bulbo dove trova una temperatura di parete più bassa e inizia a condensare. Durante l'evaporazione il gas accumula un'elevata quantità di energia che rilascia in fase di condensazione: all'interno del tubo si crea una condizione di equilibrio dinamico liquido-vapore con un continuo trasferimento di calore tra la zona di assorbimento solare e lo scambiatore nel collettore dove il calore viene ceduto al circuito.

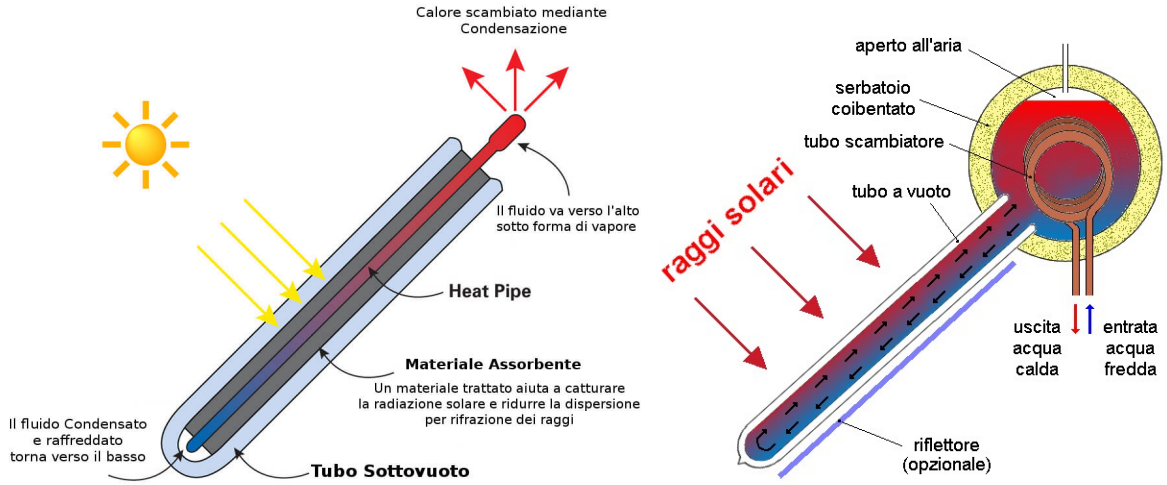


Figura 56-Fisica all'interno dei cosiddetti heat pipe

L'Heat Pipe è complesso nella realizzazione, ma il principio è molto semplice, risulta robusto e duraturo nell'utilizzo. Il diagramma riportato qui sotto mostra l'andamento dell'efficienza dei diversi collettori al variare della radiazione solare, evidenziando i buoni rendimenti dei pannelli sottovuoto anche in condizioni climatiche sfavorevoli.

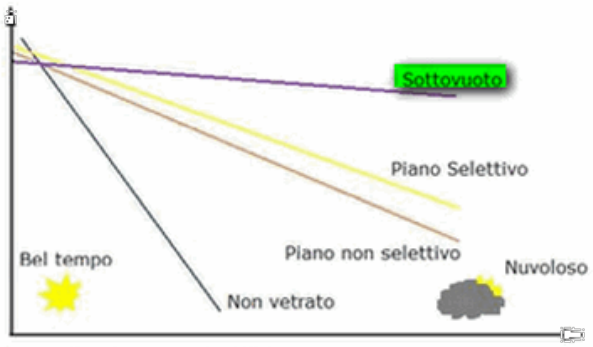


Figura 57-Efficienze collettori in base alle condizioni del cielo

I collettori sottovuoto con tecnologia Heat pipe hanno il grande vantaggio di funzionare anche a basse temperature e in condizioni di tempo nuvoloso, gli alti rendimenti risultano particolarmente utili nelle giornate invernali, in cui ad una maggiore richiesta di calore corrisponde una disponibilità minore di radiazione solare. Il loro potenziale, quindi, viene pienamente sfruttato in zone montane e a clima rigido, infatti questa configurazione sarà proposta nel nostro progetto di intervento di riqualificazione. Il loro costo risulta infatti più elevato dei collettori solari piani che comunque, specialmente per la produzione di sola acqua calda sanitaria in luoghi favorevoli, risultano più che sufficienti.

Per il resto le macro-condizioni sono le stesse trattate in precedenza, ma si può brutalmente riassumere le differenze col fatto che questi collettori presentino perdite ottiche maggiori ma termiche molto minori; l'utilizzo del tubo sottovuoto racchiude concetti caratteristici quali:

- Notevole semplificazione strutturale in quanto vi sono meno componenti (che oltretutto sarebbero fonti di eventuali dispersioni)
- La forma tubolare, rispetto a quella piana, garantisce che i raggi solari colpiscano la superficie del tubo sempre perpendicolarmente, minimizzando in questo modo le perdite per riflessione e massimizzando la quantità di calore assorbito
- Realizza un effetto serra, in quanto permette il passaggio della radiazione solare, caratterizzata da piccole lunghezze d'onda mentre risulta essere opaco alla radiazione emessa dall'assorbitore caratterizzata da lunghezze d'onda maggiori

Inoltre, ogni tubo sottovuoto è formato da due tubi di vetro coassiali: uno esterno e uno interno.

- Il tubo esterno è in vetro borosilicato trasparente, estremamente duro che consente al collettore solare di resistere alla grandine fino a 25 mm di diametro;
- Il tubo interno è realizzato sempre con vetro borosilicato, ma viene ricoperto con uno speciale rivestimento selettivo che possiede eccellenti caratteristiche di assorbimento e bassa emissione nello spettro infrarosso;
- Nell'intercapedine tra i due tubi, l'aria viene eliminata per formare il vuoto (da qui il nome di "tubo sottovuoto") che permette di eliminare la perdita di calore conduttivo e convettivo e di garantire protezione e durata all'assorbitore;
- Durante il processo produttivo nella parte inferiore del tubo sottovuoto viene depositato uno strato argentato di bario che assicura la permanenza del sottovuoto e la comparsa di un alone bianco sul fondo indica la perdita del sottovuoto.

Infine, ricordiamo che la collocazione di un impianto solare a collettori (pannelli solari termici) deve, da un lato, soddisfare l'esigenza dell'esposizione alla radiazione solare, ma dall'altro tenere anche in conto tutti gli altri aspetti legati allo spazio disponibile, all'estetica, alla capacità del tetto di sostenere il peso dell'impianto a pieno carico, alla riduzione delle dispersioni termiche, alla riduzione del rischio di accumulo della neve ecc. I pannelli solari devono inoltre essere facilmente accessibili, tramite corridoi di accesso, per consentire la manutenzione ordinaria e straordinaria da parte delle ditte installatrici.
In genere i pannelli solari termici sono installabili sui tetti piani, sui tetti inclinati, sul terreno e su altre parti architettonicamente idonee.

Le performance dei collettori derivano da bilanci da cui si ottengono i rendimenti, che però sono stati tralasciati, a discapito della spiegazione tecnica dell'impianto, in quanto non oggetto principale di questa tesi; ci limitiamo a dire che esistono diversi modelli, con vari numeri di parametri e quindi di varia complessità, per l'analisi dei collettori: vi sono i modelli molto dettagliati che includono tutte le caratteristiche di progettazione del collettore (spessore della piastra, spaziatura del tubo, numero di coperture e materiale di copertura, dimensioni di isolamento dello schienale e del bordo, ecc.), che si traducono nell'equazione di Hottel-Whillier, oppure modelli più semplicistici che possono ad esempio includere solo due parametri quali il modo in cui il collettore assorbe le radiazioni e di come perde calore.

Ci spostiamo ora ad analizzare i componenti dell'impianto in cui avremo ovviamente un sistema di accumulo in modo tale da non sprecare il calore immagazzinato e non utilizzato istantaneamente; un sistema di riscaldamento a parte (quale caldaia tradizionale, pompa di calore o resistenza elettrica) va sempre considerato in quanto possono avvicendarsi periodi in cui i pannelli non riusciranno a produrre energia ma ovviamente non si può prescindere dall'acqua calda sanitaria o più in generale dal riscaldamento domestico, specialmente in una zona montana molto fredda come la nostra.

Gli impianti innanzitutto sono divisi in circuito aperto (tipo ACS + collettori ad acqua) e circuito chiuso a seconda che il fluido termovettore coincida con quello convogliato alle utenze o meno. La successiva caratterizzazione sta nel tipo di circolazione.

Nei modelli a circolazione naturale il serbatoio e il collettore solare sono un corpo unico e, in questi casi, il serbatoio è posto nella parte più alta del pannello solare e si presenta come un corpo cilindrico. In questi modelli la dispersione termica è minima in quanto il pannello solare è a diretto contatto con il serbatoio dell'acqua; questa tipologia trova applicabilità nelle località meridionali, relativamente calde.
Il nostro caso studio, a circolazione forzata, vedrà invece pannelli solari separati dal serbatoio di accumulo dell'acqua contenente l'acqua sanitaria che scorrerà nelle nostre case, vi sarà quindi una maggiore dispersione termica derivante dal circuito dell'impianto (in cui scorrerà il nostro fluido termovettore con un antigelo tipo glicole), in compenso si potrà collocare il serbatoio dell'acqua in un luogo interno dell'edificio, al riparo delle intemperie e dalle temperature esterne, questa tipologia rende quindi l'impianto più "personalizzabile" nonostante esistano alcuni vincoli, per esempio lo spazio ridotto delle tre centrali termiche influenzerà il dimensionamento dell'accumulo e quindi la parte di fabbisogno di acqua calda sanitaria coperta dal solare. Questa soluzione è la più utilizzata ed è possibile grazie all'uso di elettropompe di circolazione, nel nostro impianto utilizzeremo le Grundfos.
La pompa di circolazione del circuito solare è attivata dalla centralina tramite un regolatore differenziale di temperatura quando la temperatura all'uscita del collettore è superiore alla temperatura di riferimento impostata nel serbatoio di accumulo di un delta pari solitamente a 5÷8 gradi. Il calore viene quindi trasportato al serbatoio di accumulo e ceduto all'acqua sanitaria mediante uno scambiatore di calore.

Ricordiamo che, specialmente in condizione estreme come quella del nostro caso studio, la parte del serbatoio che contiene l'acqua calda pronta disposizione, cioè quella da tenere sempre in temperatura, deve essere riscaldata da uno scambiatore di calore legato ad un sistema ausiliario a scelta. Il riscaldamento ausiliario viene comandato da un termostato quando nel serbatoio la temperatura dell'acqua nella parte a pronta disposizione scende al di sotto della temperatura nominale desiderata. Ciò è possibile solo in alcuni tipi di boiler, ciò quelli con due o più serpentine all'interno. Lo scambiatore di calore è essenziale per separare il fluido termovettore del circuito dei collettori dal fluido di stoccaggio, cioè l'acqua sanitaria.

Riportiamo uno schema tipico di impianto solare a circolazione forzata.

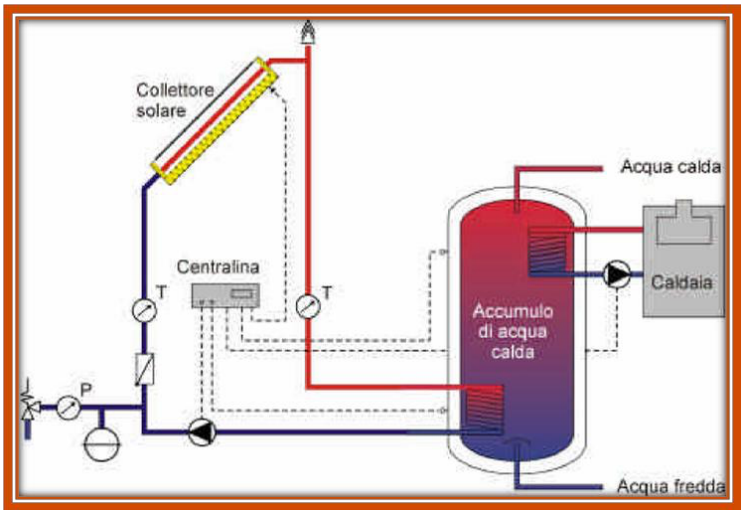


Figura 58-Impianto solare chiuso a circolazione forzata con caldaia ausiliaria

Dopo aver riportato un'analisi generale degli impianti solari entriamo ora nei particolari e nella proposta che abbiamo dato nel nostro caso studio.
Si tratta, specialmente nel caso del blocco A di un impianto solare di grande dimensione con accumulo giornaliero per coprire parte del fabbisogno della produzione di acqua calda sanitaria.
Il blocco A è costituito da 95 appartamenti (di cui alcuni occupati da una singola famiglia, magari su due piani ma questo poco importa) e considerando una media di tre componenti a famiglia è abitato per un totale di poco meno di 300 persone. In questa fase preliminare non abbiamo fatto calcoli specifici ma comunque abbiamo usato considerazioni pratiche e spesso verosimili per arrivare a dimensionare l'impianto termico. Il

riscaldamento dell'acqua domestica è una delle applicazioni più adatte per gli impianti solari termici e in condizioni meteorologiche simili a quelle italiane, è solito considerare l'area di collettore necessaria tra 0,8 m^2 a persona per i climi caldi meridionali e 1,2 m^2 a persona per l'Italia settentrionale, in entrambi i casi se si utilizzano tubi sottovuoto la superficie necessaria per persona è minore del 20% circa. Inoltre, non meno importante è il fatto che è sconsigliabile pretendere di soddisfare il fabbisogno delle utenze al 100% tutto l'anno poichè, qualora intendessimo raggiungere l'autosufficienza anche nel mese di dicembre, vorrebbe dire che saremmo costretti ad installare un impianto solare talmente sovradimensionato che genererebbe problematiche quali: costo non ammortizzabile in tempi ragionevoli e grossi problemi di surriscaldamento del circuito solare, questo perché il sovradimensionamento della superficie assorbente sarebbe tale da generare in tutti gli altri mesi dell'anno (in particolare in quelli estivi) una captazione energetica talmente eccessiva che resterebbe quasi tutta inutilizzata.
Un corretto dimensionamento di un impianto solare prevede il raggiungimento di un grado di copertura solare annuo compreso tra il 60 ed il 80% nel caso di sola produzione di ACS (e come già ribadito il compito di coprire il fabbisogno termico delle punte di carico nei mesi invernali e/o nelle giornate di cattivo tempo dovrà sempre essere lasciato ad una fonte integrativa).
In base alle ultime due considerazioni e dopo le dovute valutazioni abbiamo deciso di installare, per quanto riguarda il blocco A (che sarà quello che tratteremo per spiegare quel che è stato fatto) 45 collettori solari a tubi sottovuoto della Bosch, orientati a sud e inclinati di 29 gradi il che aiuta anche i pannelli a tubi sottovuoto che devono avere un minimo di inclinazione per funzionare. L'elevato valore di albedo dato dalla neve presente nelle vicinanze aiutano ad incrementare la producibilità dei pannelli anche nelle stagioni più "complicate".
Questi 45 collettori costituiscono una superficie lorda totale di 165 m^2 circa e di 135 m^2 circa di superficie totale di apertura (la superficie del tetto piano dove li installeremo è molto maggiore quindi lo spazio è sufficiente) che portano a dare una producibilità 62392 kWh, con una percentuale di copertura del 70% circa del fabbisogno per la produzione di ACS, come si vede nella tabella sotto riportata (risultati quasi identici in termini di copertura del fabbisogno sono stati ottenuti sugli altri due blocchi installando una ventina circa di collettori solari).

Caratteristiche campo solare

Inclinazione collettori	β	29,0	°
Orientamento collettori	γ	0,0	°
Numero collettori		45	
Superficie totale di apertura dei collettori		132,30	m²
Superficie lorda complessiva dei collettori		164,70	m²
Superficie disponibile		1200,00	m²

		Acqua calda sanitaria			
Mese	Irradiazione mensile [kWh/m²]	Producibilità pannelli [kWh]	Fabbisogno di energia [kWh]	Percentuale copertura [%]	Eccedenza [kWh]
gennaio	63,2	2525	7628	33,1	0
febbraio	84,6	3632	6887	52,7	0
marzo	122,8	5329	7614	70,0	0
aprile	141,6	6044	7362	82,1	0
maggio	164,3	6946	7595	91,5	0
giugno	176,6	7312	7343	99,6	0
luglio	195,9	7584	7584	100,0	355
agosto	179,2	7475	7586	98,5	0
settembre	142,1	6204	7348	84,4	0
ottobre	104,5	4676	7607	61,5	0
novembre	60,0	2495	7372	33,9	0
dicembre	55,8	2168	7626	28,4	0
Annui	1490,5	62392	89553	69,7	355

Emissioni di CO2 evitate in atmosfera	13102,34	kg/anno
Consumo di energia elettrica	1423,00	kWh

Figura 59-Risultati estrapolati da Edilclima circa impianto solare proposto

Il serbatoio di accumulo ha la funzione di migliorare la resa dell'impianto immagazzinando calore nei momenti di non utilizzo e restituendolo all'utenza nei momenti in cui i collettori non sono in grado di produrre calore, infatti un impianto solare non è in grado di scaldare l'acqua a comando come avviene con le caldaie ad esempio; esso è classificato come giornaliero o stagionale a seconda del periodo di restituzione, il nostro sarà ovviamente giornaliero.
La fisica ci insegna che, quando l'acqua si raffredda il suo volume diminuisce, quando si riscalda il suo volume aumenta con conseguenti variazioni della densità; i serbatoi di accumulo a stratificazione sfruttano queste differenze poichè l'acqua calda e l'acqua fredda si comportano come liquidi distinti e, pur essendo nel medesimo contenitore, si separano: l'acqua calda si concentra nella parte alta del serbatoio (che raggiungerà i rubinetti), quella fredda si sposta verso il basso.
In un serbatoio verticale, l'acqua calda "galleggia" su quella fredda e si stratifica in funzione della temperatura; gli strati, a temperature differenti, non si mescolano spontaneamente e, se il serbatoio è coibentato, restano separati a lungo. Quando un serbatoio di acqua calda non coibentato è statico (non ci sono immissioni dall'esterno) la stratificazione termica si deve solo al progressivo raffreddamento dell'acqua, influenzato dalla temperatura dell'ambiente dove è posizionato il serbatoio. L'acqua che man mano si raffredda si dispone sul fondo del serbatoio, mentre l'acqua che mantiene la temperatura originaria sale. Un fenomeno così interpretato: prima di cedere calore all'ambiente, le pareti del serbatoio raffreddano il sottile strato di acqua a loro diretto contatto. Una parte del calore di questi strati di acqua è ceduta all'ambiente, la restante parte diffonde verso lo strato più interno del serbatoio.
L'acqua più fredda (quella a contatto con le pareti del serbatoio) è più densa e si sposta verso la base del serbatoio determinando la stratificazione.
I serbatoi di stoccaggio a stratificazione termica sono pertanto utilizzabili come accumulatori termici, ossia come componenti capaci di immagazzinare l'energia termica prodotta da un qualsiasi generatore e di restituirla quando è necessario. Sono quindi una valida opzione quando la disponibilità di energia non è costante (pannelli solari) o quando ci sia un significativo divario di tempo tra produzione ed utilizzo di acqua calda. Questa soluzione è spesso utilizzata anche negli impianti di raffreddamento e per il condizionamento dell'aria, perché è semplice e relativamente economica.
È pertanto possibile avere a disposizione acqua molto calda o molto fredda prelevata da un serbatoio sistematicamente rabboccato con acqua a temperatura diversa (tiepida). Il sistema si comporta come se il serbatoio contenesse solo acqua a temperatura omogenea, altrimenti in assenza di stratificazione si preleverebbe invece acqua a temperatura diversa da quanto previsto (superiore al valore definito nel caso dell'acqua fredda o inferiore nel caso dell'acqua calda). Questa applicazione ha trovato una sempre maggiore utilità parallelamente al diffondersi delle fonti energetiche alternative così che diventa possibile immagazzinare in un solo serbatoio i contributi di differenti generatori di calore come appunto un boiler collegato a una caldaia a gas e a un sistema di pannelli solari.
È stato dimostrato che la stratificazione termica è influenzata da una serie di fattori come la miscelazione dovuta ai flussi di ingresso e di uscita, le perdite di calore dovute all'ambiente e la configurazione del serbatoio come l'Aspect ratio. L'AR è definito come rapporto altezza/diametro. Il suo valore ottimale per migliorare la stratificazione è considerato compreso tra 3 e 4.

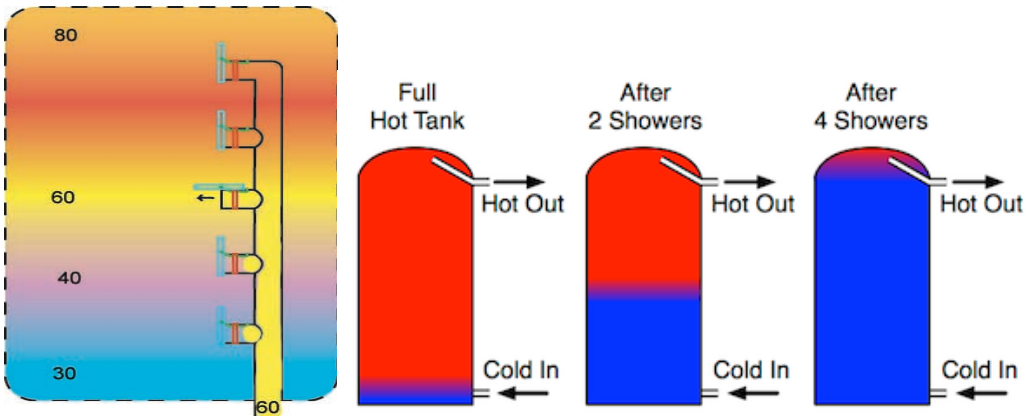


Figura 60-Stratificazione dello storage

Tornando all'aspetto pratico, l'accumulo deve essere dimensionato in modo congruo alle dinamiche abitative e in linea generale, una volta dimensionati i pannelli solari termici, per acqua calda sanitaria si calcola una cinquantina di litri per ogni metro quadro di pannello solare. Normalmente il fabbisogno giornaliero per garantire un buon livello di comfort è di 50/70 lt a persona, una famiglia di 4 persone ha bisogno di 200-250 lt di acqua calda da cui si può ricavare sommariamente l'energia giornaliera richiesta a persona per ACS come:

$$E_{ACS} = m * c_P * (T_{utilizzo} - T_{rete}) = 50 * 1{,}16 * 10^{-3} * (45 - 15) = 1{,}74\ kWh$$

Equazione 33-Fabbisogno giornaliero acqua calda sanitaria per persona

Il nostro serbatoio sarà quindi di 6,5 m^3 di acqua per quanto riguarda il blocco A (più piccoli logicamente quelli degli altri due blocchi in cui abbiamo meno pannelli) che risulta già molto grande, specialmente date le non eccessive dimensioni del locale centrale termica.

Per quanto riguarda infine la scelta della temperatura di set-point circa la parte di acqua calda del serbatoio sono fatte alcune considerazioni che hanno però una matrice comune: la temperatura dell'acqua non deve essere troppo elevata. Questo per evitare eccessive perdite di calore, evitare sprechi energetici perché, al fine di portare l'acqua agli utenti ad una temperatura confortevole di 40 gradi circa l'impianto miscelerà l'acqua calda con l'acqua fredda di ritorno, evitando set point elevati infine ridurrà un calo di efficienza dei collettori solari.
Su questa base imposteremo un valore di circa 50°C, se non si evidenzieranno problemi col batterio legionella pneumophila, il cui intervallo di temperatura ottimale di crescita è compreso tra 25 e 45 °C.

Gran parte di queste valutazioni sono state messe in pratica per ricavare la bontà degli eventuali dati tramite l'estensione di Edilclima che avevamo citato, apposita per il solare termico.
L'impianto solare contribuirà alla diminuzione del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria ed in questo modo eliminerà parte dei kWh/m^2 all'anno di energia primaria non rinnovabile necessari a mantenere le condizioni abitative ideali, migliorando eventualmente la classe energetica del complesso.

5.3 Ipotesi sperimentale di sistema ibrido e risultati

In quest'ultimo paragrafo andremo a valutare, a livello puramente sperimentale, in quanto ciò non coincideva con la volontà dell'amministrazione, che risultati porterebbe la sostituzione dell'impianto di riscaldamento attuale, ossia il teleriscaldamento, con un impianto termico ibrido costituito da una pompa di calore e una caldaia a condensazione.
Il loro principale utilizzo è la climatizzazione estiva e/o invernale e il riscaldamento di acqua calda sanitaria.
Andiamo ora a spiegare quale è il meccanismo di funzionamento della pompa di calore, le tipologie e quale abbiamo pensato di impiegare.

Sappiamo esserci spesso confusione tra le locuzioni 'impianto frigorifero' e 'pompa di calore' ma in realtà essa non sussiste nel concreto, perché tutti e due gli apparati eseguono lo stesso processo termodinamico, ovvero il ciclo inverso, la sola differenza sta nello scopo: se si vuole mantenere la temperatura di un sistema al di sotto di quella dell'ambiente dovendo quindi estrarre una quantità di calore da un ambiente che si trova già a bassa temperatura, allora si parla di impianto frigorifero altrimenti se la finalità del ciclo è quello di cedere calore ad un ambiente, estraendolo da un altro più freddo, si parla di pompa di calore.

Le pompe di calore a compressione sono quindi macchine che seguono il ciclo termodinamico inverso a compressione di vapore ad assetto riscaldatore, ossia l'effetto utile è la fornitura di calore a temperature superiori a quella ambiente, sfruttando il calore disponibile da una fonte alzandone la temperatura (presente ma ad un livello inutilizzabile) ad un livello sufficiente per poter riscaldare gli ambienti e ciò avviene avvalendosi di energia meccanica, generata da quella elettrica, che permette di azionare un compressore. Il loro consumo sarà commisurabile in energia elettrica e non più in m^3 di gas e così dicendo.

Una condizione ideale sarebbe quindi avere una pompa di calore il cui fabbisogno di energia elettrica è in parte compensato dalla produzione tramite fotovoltaico in modo tale da riscaldarsi a impatto quasi 0 e con esigui esborsi economici.
Esse estraggono il calore da una fonte naturale (aria, acqua o terra) fredda e lo trasportano dentro l'edificio alla temperatura idonea, in funzione del tipo di impianto di riscaldamento che deve essere possibilmente un sistema tale da necessitare mandate non elevate (in modo tale da non consumare troppo in compressione e tenere rendimenti elevati), ad esempio sotto i 50°C, come possono essere pavimenti radianti o, come nel nostro caso, dei ventilconvettori.

Le fonti rinnovabili da cui le pompe di calore estraggono il calore sono ciò che permetterà di catalogarle, esse infatti non bruciando fonti fossili non emettono né CO_2 né altre sostanze inquinanti risultando un sistema green.

Esistono anche pompe di calore ad assorbimento (a metano, gas o GPL) il cui ciclo termodinamico è in parte simile ma presenta, al posto del compressore di vapore, un generatore termico riscaldato da un bruciatore funzionante a gas e da un assorbitore, componente fondamentale per il processo di assorbimento insito in questo tipo di ciclo. In buona sostanza, le principali differenze sono date dalla metodologia di innesco del ciclo (bruciatore a gas anziché compressore elettrico) e dal tipo di refrigerante utilizzato (nel caso delle pompe di calore a gas una soluzione di acqua e ammoniaca); esse sono molto meno utilizzate.

Le pompe di calore, infine, possono essere duali (o reversibili) se producono sia energia termica nel periodo invernale che energia frigorifera nella stagione estiva (per il raffrescamento) facendo circolare acqua "refrigerata" all'interno dei circuiti degli impianti e invertendo il ciclo di funzionamento della macchina; una pompa di calore reversibile non sarà logicamente la nostra scelta in quanto non è assolutamente richiesta alcuna climatizzazione estiva viste le temperature certamente non insopportabili.
Andiamo a vedere ora brevemente il loro ciclo termodinamico e relativo schema funzionale

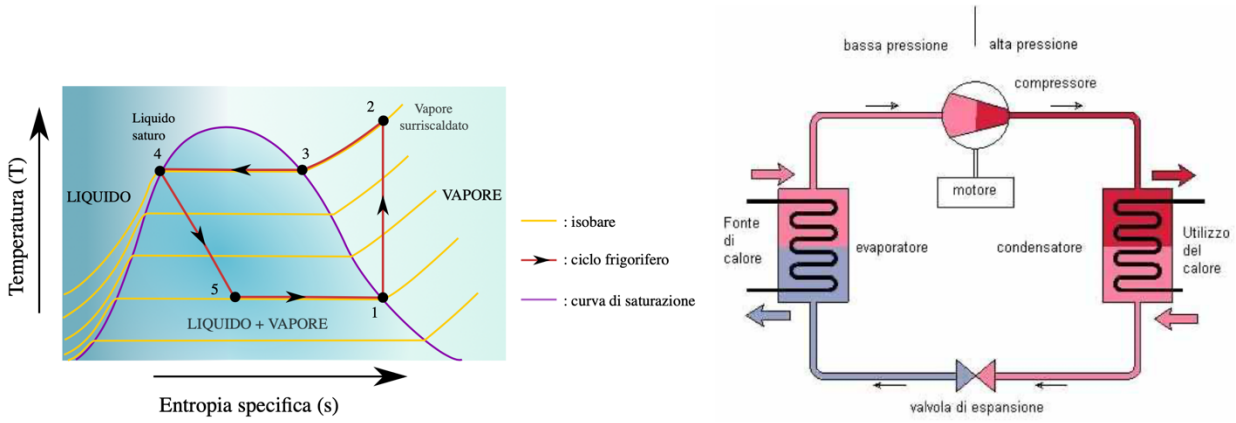


Figura 61-Ciclo termodinamico (a sx) e schema funzionale (a dx) pompa di calore a compressione

5 → 1: Il calore è ricevuto dal sistema (sebbene esso provenga da una fonte a bassa temperatura) e nell'evaporatore si avvia il processo di evaporazione, a bassa pressione (costante), della miscela liquido/vapore di fluido frigorigeno.

1 → 2: Il vapore saturo a bassa pressione entra nel compressore e subisce una compressione adiabatica che idealmente sarebbe reversibile (compressione isoentropica). Il compressore comprime dunque il vapore saturo che diventa vapore surriscaldato

2 → 4: Il calore viene ceduto all'ambiente alla temperatura superiore, in un processo di condensazione ad alta pressione (costante) attraverso uno scambiatore di calore: il condensatore. Qua il fluido di lavoro viene prima de-surriscaldato ed in seguito passa alla fase liquida rilasciando calore, esce appunto come liquido saturo.

4 → 5: Si ha il passaggio attraverso la valvola di espansione, nella quale il fluido passa dalla pressione più alta alla pressione più bassa, diminuendo contemporaneamente la propria temperatura (idealmente sarebbe un'espansione isoentalpica). Il liquido, non essendo più compresso è tornato allo stato di liquido/vapore.

5→ 1 Si ripete il ciclo

Sostanzialmente il principio di funzionamento della pompa di calore si basa sul fenomeno dell'espansione Joule-Thomson di un fluido che nel caso delle pompe di calore è un liquido refrigerante: all'inizio del processo è molto freddo e compiendo un ciclo di compressione ed espansione, permette alla pompa di calore di trasferire il calore prodotto all'acqua in modo ciclico.

Per quanto riguarda lo schema funzionale i componenti principali sono i due scambiatori di calore (evaporatore e condensatore), una valvola di laminazione e il compressore, essi mettono in pratica ciò che abbiamo detto avvenire secondo il ciclo termodinamico; tutti sono percorsi dal fluido frigorigeno. Gli scambiatori di calori non sono altro che macchine in grado di trasferire il calore tra fluidi: le forme più comuni di scambiatore di calore presentano i due fluidi che circolano su entrambi i lati di una parete divisoria che dovrà avere un'area di contatto il più grande possibile per il trasferimento di calore e una resistenza termica il più bassa possibile, mentre i due fluidi scorrono l'uno oltre l'altro, una portata di calore Q passa dal flusso caldo a quello freddo e le temperature dei fluidi cambiano. Ma ora torniamo a parlare dei componenti e facciamolo sul caso di una pompa di calore che utilizza l'aria esterna (come quella che utilizzeremo) come fonte di calore:

- Evaporatore: l'aria esterna viene convogliata nello scambiatore attraverso il quale circola un liquido "refrigerante" resistente al gelo. Quest'ultimo è sempre più freddo dell'ambiente e quindi può prelevare il calore dall'aria: è così freddo che permette di fare lavorare la pompa di calore anche a temperature ben al di sotto dello zero, come sarà nel nostro caso (in ogni caso più la T della sorgente è bassa minore sarà la sua performance). L'aria entrando in contatto con questo liquido molto freddo, trasferisce calore al liquido e ne innalza la sua temperatura. Il calore prelevato dall'aria è fondamentale perché permette di vaporizzare il liquido: questo processo di vaporizzazione può avvenire perché il liquido refrigerante è scelto in modo tale da vaporizzare a basse temperature e a determinate condizioni di pressione presenti in quel punto del circuito. In questo modo, il refrigerante assorbe calore e arrivando al punto di ebollizione, vaporizza.

- Compressore: il fluido refrigerante, ora vapore più caldo passa attraverso un compressore, alimentato da energia elettrica. Se comprimiamo un gas, la temperatura aumenta. Il gas pressurizzato emerge quindi dal compressore ad "alta temperatura", maggiore di quella ambiente e tale da poter trasferire il calore al sistema di riscaldamento.

- Condensatore: il refrigerante passa attraverso l'altro scambiatore di calore, appunto il condensatore, grazie al quale il calore viene trasferito dal vapore molto caldo al sistema di riscaldamento e, cedendo calore, il vapore ad alta pressione inizia a condensarsi di nuovo in un liquido (versando più calore latente mentre lo fa). Dopo aver attraversato il condensatore, il fluido risultante è completamente liquido, ancora pressurizzato, ed ha ora una temperatura logicamente inferiore. A questo punto il liquido è in una condizione particolare: non può più riscaldare l'impianto perché ha diminuito la sua temperatura e non può nemmeno prelevare di nuovo il calore dall'aria circostante (primo step) perché ha ancora una pressione elevata ed è ancora relativamente troppo caldo e quindi, per poter continuare il ciclo, deve prima raffreddarsi ulteriormente.

- Valvola di espansione: il refrigerante allora completa il ciclo passando attraverso una valvola di espansione, dove la pressione scende bruscamente. I fluidi in espansione tendono a raffreddarsi. Quando il fluido refrigerante passa attraverso la valvola di espansione, la temperatura scende in modo significativo tornando alla T iniziale che gli permette di poter essere riscaldato e poter vaporizzare grazie al calore trasferito dalla sorgente (l'aria esterna).

Per quanto riguarda le performance della pompa di calore non si parla di rendimento (in quanto esso rappresenta tipicamente un concetto inferiore ad uno) ma di coefficiente di prestazione detto "COP".
Sappiamo dal secondo principio della termodinamica che dati due serbatoi di calore a temperature diverse possiamo eseguire lavoro meccanico a seguito di un flusso di calore dalla fonte di alta temperatura al pozzo di bassa temperatura (parte del calore ricevuto dal motore sarà convertita in lavoro e la restante parte di calore è ceduta al pozzo alla temperatura inferiore).
Sadi Carnot studiò la teoria dei motori termici ideali arrivando a idealizzare il celebre ciclo di Carnot: un ciclo ideale reversibile che opera tra due soli serbatoi di energia termica che possono scambiare energia termica senza scambiare il loro livello termico, dei termostati cioè la sorgente e il pozzo.
La sostanza che percorre il ciclo di Carnot subisce quattro trasformazioni: fornitura isoterma di calore da una sorgente ad alta T, espansione adiabatica con cessione di lavoro all'esterno, cessione isoterma di calore ad un pozzo a bassa T e compressione adiabatica con fornitura di lavoro dall'esterno sino al raggiungimento dello stato iniziale. Il funzionamento reversibile della macchina ideale Carnot è motivato dal delta di temperatura infinitesimo tra termostato e sostanza al fine di non dar vita ad irreversibilità nel trasferimento di calore, inoltre appunto tutte le trasformazioni possono essere percorse specularmente in modo inverso, ma non ci soffermeremo troppo su questo.
Il fisico dimostrò che, per un tale motore, il lavoro svolto era determinato dalla differenza di temperatura tra la sorgente ad alta temperatura (T_a) e il pozzo a bassa temperatura (T_b).
Vediamo lo schema funzionale di base di un motore termico.

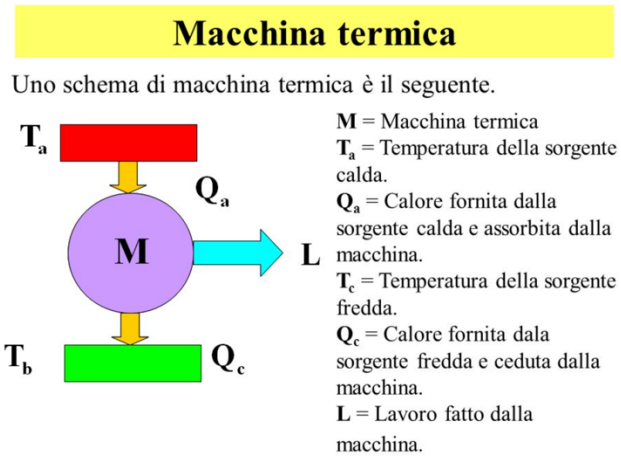


Figura 62-Schema funzionale macchina termica

Ora andiamo a formulare i concetti finora espressi sapendo che il rendimento di un ciclo (incluso quello ideale di Carnot) è definito come il rapporto tra il beneficio ottenuto (qua lavoro netto scambiato) e la spesa sostenuta (qua calore fornito).

$$L = Q_a + Q_c = Q_a - |Q_c| \ [\mathrm{J}]$$

Equazione 34-Lavoro compiuto da macchina termica operante tra una sorgente e un pozzo

$$\eta = \frac{L}{Q_a} = \frac{Q_a - |Q_c|}{Q_a} = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_a} < 1$$

Equazione 35-Rendimento macchina termica

Nel caso di macchina di Carnot $|Q_c|/Q_a = T_b/T_a$.
Il rendimento del motore termico è minore di uno in quante si avrebbe uno solo se la quantità di calore ceduta al pozzo freddo fosse nulla e tutto il calore fornito dalla sorgente termica fosse convertito in lavoro, il che contraddirebbe l'enunciato di Planck. Il rendimento di Carnot, infine, essendo il ciclo ideale, è quello

massimo ottenibile tra i medesimi serbatoi termici o le medesime temperature estreme ed è indipendente dalla sostanza che percorre il ciclo; qualsiasi macchina non reversibile che opera tra le medesime temperature estreme avrà un rendimento minore alla macchina di Carnot.
Andiamo ora a vedere lo schema e il ciclo di Carnot della macchina termica inversa che è detta: macchina frigorifera quando il beneficio è la quantità di calore prelevata dal termostato al livello termico inferiore o pompa di calore quando il beneficio è la quantità di calore ceduta al termostato a livello termico superiore.

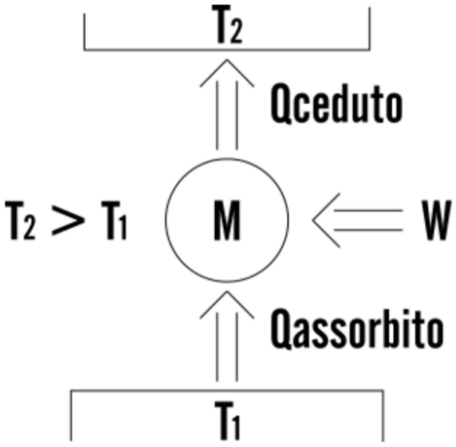


Figura 63-Macchina termica inversa

Le pompe di calore, quindi, prelevano una quantità di calore dal termostato a bassa temperatura e cedono calore al termostato ad alta temperatura utilizzando il lavoro prodotto dal motore. Il loro rendimento sarà il rapporto, come al solito, benefici spesa, quindi tra la quantità di calore ceduta al termostato ad alta temperatura e il lavoro fornito al compressore. L'efficienza della macchina inversa di Carnot funzionante come pompa di calore risulta pari al reciproco del rendimento di un motore di Carnot che opera in modo opposto tra i medesimi termostati dunque risulta:

$$|L| = |Q_c| - |Q_a|$$

Equazione 36-Lavoro assorbito da macchina termica inversa

$$\varepsilon_p = \frac{|Q_c|}{|L|} = \frac{|Q_c|}{|Q_c| - |Q_a|} = \frac{T_{calda,mandata\ imp}}{T_{calda,mandata\ imp} - T_{sorg.fredda}} = \frac{1}{\eta} > 1$$

Equazione 37-Efficienza pompa di calore

$$\varepsilon_{frig} = \frac{|Q_a|}{|L|} = \frac{|Q_a|}{|Q_c| - |Q_a|} = \frac{T_{sorg.fredda}}{T_{calda,mandata\ imp} - T_{sorg.fredda}}$$

Equazione 38-Efficienza frigorifero

$$\varepsilon_p - \varepsilon_f = 1$$

Equazione 39-Legame tra efficienza pompa di calore e macchina frigorifera

Nelle pompe di calore, il compressore è alimentato da elettricità, quindi L viene sostituito da E (l'ingresso di energia elettrica). L'efficienza della pompa di calore è indicata come il suo coefficiente di prestazione:

$$COP = \frac{|Q_c|}{E} \frac{[kW]}{[kW]}$$

Equazione 40-Coefficient of Performance pompa di calore

La pompa di calore, come detto, può essere utilizzata anche in assetto frigorifero per la climatizzazione estiva e lì si parlerà di EER (energy efficiency ratio), in questo assetto il calore viene catturato dall'interno dell'abitazione e trasferito all'aria esterna. Nel caso invece di pompe di calore ad assorbimento il COP prende il nome di GUE (gas utilization efficiency) e a denominatore vede la potenza termica assorbita.
Il COP è sempre >1 ed è di solito compreso tra 3 e 6 a seconda della resa; un valore del COP pari a 3 indica che per ogni kWh di energia elettrica consumata, la pompa di calore movimenta calore pari a 3 kWh da o verso la sorgente di interesse, la pompa di calore rende quindi molta più energia di quel che consuma, purché funzioni in condizioni idonee.
Come si denota dall'efficienza arriviamo a trovare un riscontro pratico: a parità di energia elettrica fornita più bassa sarà la temperatura della sorgente di calore e più alta sarà la temperatura di mandata richiesta minore sarà la resa. In altre parole, le pompe di calore erogheranno tanta più potenza termica quanto più è limitata la differenza tra queste due temperature. Proprio per questo è preferibile avere un impianto i cui terminali richiedano temperature del fluido termovettore moderate.
In definitiva maggiore è il delta di temperatura, minore sarà l'efficienza della pompa di calore.

Logicamente le formule riportate considerano condizioni di lavoro ideali e quindi non ottenibili e di conseguenza il COP di una pompa di calore sarà più basso dell'ideale per alcuni motivi: la temperatura all'evaporatore è di solito inferiore alla temperatura della sorgente ambientale al fine di garantire un rapido trasferimento del calore dall'ambiente al refrigerante, allo stesso modo la temperatura al condensatore sarà superiore alla temperatura dello spazio da riscaldare, infine le pompe di calore reali a compressione di vapore non utilizzano il ciclo Carnot ideale di compressione del vapore, ma spesso un ciclo Rankine, che è più pratico ma leggermente meno efficiente; sono ovviamente presenti anche inefficienze di compressione e altre inefficienze nel sistema.

Il COP è un valore istantaneo, che dipende dalle temperature della fonte di calore e dell'impianto a cui cederlo al momento della misurazione, quindi nel valutare l'efficienza di un sistema, può essere più appropriato assumere un COP medio a lungo termine per l'intera stagione di riscaldamento che prende il nome di fattore di prestazione stagionale "SCOP" che è il rapporto tra il calore totale fornito durante la stagione di riscaldamento e la sommatoria di ogni consumo nello stesso periodo di tempo (energia elettrica per il compressore, per pompe e per eventuali sistemi ausiliari).

L'efficienza di questi sistemi dipende anche dal regime di carico parziale ovvero la potenza termica erogata rispetto a quella nominale: le pompe di calore moderne tuttavia possono essere di tipo On/Off oppure modulabili e sta al tecnico capire quale scelta sia migliore.

Per la valutazione delle prestazioni delle PdC elettriche è necessario però considerare un contesto più ampio e spingersi a monte di quanto avviene «prima della presa di corrente». L'elettricità non è disponibile in natura (come il gas naturale) e deve essere prima prodotta nelle centrali elettriche, che hanno un loro rendimento.
In altre parole, l'elettricità per far funzionare la pompa di calore va generata e ciò avviene con un rendimento che è inferiore al 100%, quindi con un costo energetico aggiuntivo.
Va poi considerato che una parte dell'energia elettrica è prodotta bruciando combustibili fossili in centrali termoelettriche, un'altra parte è prodotta sfruttando centrali alimentate da fonti rinnovabili.
Il COP andrebbe quindi valutato sulla base dell'energia primaria, considerando quindi l'energia consumata dalle centrali elettriche per produrre l'energia elettrica, questo affinché sia coerente il confronto tra le diverse soluzioni. Per tale motivo i valori delle prestazioni delle pompe di calore, indicati nelle etichette energetiche previste dalla direttiva "Labelling" 2010/31/CE sono indicativamente compresi tra 100%÷150%: essi indicano il valore del COP medio della pompa di calore elettrica considerato il rendimento medio di

generazione dell'energia elettrica (assunto pari al 40%) indicando così quanta energia otteniamo, ad esempio 150 unità consumandone 100 di energia primaria. Il bilancio resta dunque positivo e considerando anche il crescente contributo della generazione elettrica da fonti rinnovabili non può che crescere ulteriormente in futuro.

Le pompe di calore sfruttano energia rinnovabile riducendo significativamente quelli che sono i potenziali impatti di un'abitazione, contribuendo in maniera ecosostenibile al suo riscaldamento.
Andiamo ora a classificare le pompe di calore in un primo momento in base alla fonte di energia termica utilizzata:

- Energia aerotermica: il calore è prelevato dall'aria esterna, essa è la sorgente termica più utilizzata in quanto consente il prelievo diretto del calore senza l'interposizione di costosi circuiti idraulici.
  Le macchine che sfruttano questa tipologia, infine, si prestano bene alla doppia climatizzazione sia invernale che estiva (nel caso della quale andranno aggiunte una valvola di inversione di ciclo che in caso estivo permette di avere il condensatore rivolto all'esterno, una valvola supplementare di laminazione e due valvole di non ritorno).

- Energia idrotermica: il calore è prelevato dalle acque superficiali quali lagune, corsi d'acqua e scarichi industriali, non sono utilizzate in larga scala in quanto si creano sovente problemi dovuti alla contaminazione e quindi, una conseguente diminuzione del rendimento, dello scambiatore ad acqua; questo problema ove necessario, è superato utilizzando radiatori in ghisa (pieni di acqua pulita) immersi in maniera stagna nell'acqua in modo tale da recuperare calore e portarlo all'evaporatore della pompa di calore.

- Energia geotermica: il calore è prelevato dalle acque profonde o dal terreno solitamente a 10-12 gradi circa a 10 metri di profondità, sono quindi sistemi che sfruttano l'energia geotermica a bassa entalpia, non derivante da anomalie geotermiche positive (usate per alimentare centrali ad esempio). Queste pompe di calore possono a loro volta diversi in ciclo chiuso (dove non è richiesta una estrazione e re iniezione di acqua in falda, lo scambio di calore avviene con il terreno) e ciclo aperto (viene fisicamente estratta acqua dal suolo e quindi nella maggior parte di casa va creato anche un pozzo di re iniezione per mantenere la stabilità del sottosuolo, oppure re immissione dell'acqua nella stessa falda o in fognatura a seconda delle possibilità). Sono le più care a livello di installazione in quanto necessitano di screen del sottoterra circa la loro fattibilità (anche la tipologia di terreno deve essere consona) e vanno creati i pozzi di approvvigionamento e re iniezione. Per poter fare tutto ciò servono anche dei permessi da parte delle autorità competenti.

Facciamo ora lo stesso in base alla natura della sorgente fredda (primo termine) e di quella calda (secondo termine), che possono essere ad aria oppure ad acqua:

- pompa calore acqua-acqua: dove verrà riscaldata acqua trasferendo calore da altre acque;
- pompa calore acqua-aria: dove verrà riscaldata aria attingendo calore da acqua;
- pompa calore aria-aria: dove verrà riscaldata aria trasferendo calore da altra aria;
- pompa calore aria-acqua: dove verrà riscaldata acqua attingendo calore da aria.

In base a queste due considerazioni possiamo capire quale pompa di calore utilizzare e possiamo definirla chiaramente. Ora andiamo a fare delle considerazioni sulle macchine possibili e le loro peculiarità.

Quelle ad *aria-aria* e *aria-acqua* sono le tipologie più semplici da installare, però non sempre risultano le più efficienti perché dipendono dalla temperatura dell'aria esterna che non in tutti i luoghi è favorevole, specialmente nelle stagioni fredde e può comportare basse rese. Specialmente quelle aria-acqua risultano quelle più utilizzate per il riscaldamento domestico dove l'aria esterna è utilizzata per riscaldare l'acqua che servirà il sistema di riscaldamento.

Il calore è prelevato dall'aria tramite una batteria alettata (simile al radiatore di un'automobile); la batteria alettata è dotata di uno o più ventilatori, che provvedono alla circolazione dell'aria, promuovendo lo scambio termico, come nei comuni condizionatori d'aria.
Il ciclo ricordiamo essere il seguente: il fluido refrigerante attraversa la valvola di laminazione e diventa una miscela liquido-vapore a bassa pressione. Quindi entra nell'evaporatore, posto all'esterno, dove assorbe calore fino a diventare vapore a bassa temperatura, il vapore attraversa l'accumulatore quindi viene compresso, con conseguente innalzamento della temperatura, il vapore caldo giunge nel condensatore, posto all'interno dell'edificio (vicino all'eventuale caldaia), e cambia di fase rilasciando il calore di liquefazione. Il liquido ottenuto ritorna alla valvola di laminazione e il ciclo si ripete. D'estate si inverte il ciclo appena descritto in modo da cambiare direzione al flusso di calore: il liquido refrigerante evapora nel radiatore interno e condensa nel radiatore esterno. L'aria interna viene inoltre deumidificata.
Il grande vantaggio di questa tipologia di pompe di calore è che l'aria è una sorgente disponibile ovunque e l'installazione di questi impianti è molto semplice e non richiede particolari modifiche alle strutture.
In un caso reale, con un clima mite, una pompa di calore può avere un COP che va da 3 a 4 (indicativamente a 10 °C raggiunge 3,3, invece a −8°C è circa 2,3 anche se stanno prendendo sempre più piede in commercio pompe di calore che mantengono discreti COP a temperature ancora più basse).
Un buon compromesso tra costi e prestazioni stagionali comporta che la pompa di calore fornisca non più del 125% del carico estivo e non più del 90% del carico invernale.
Si determina una temperatura esterna di equilibrio che è quella alla quale la capacità di riscaldamento della pompa pareggia le dispersioni termiche dell'edificio, mentre sotto a essa è necessario l'apporto, ad esempio, di una caldaia. Si sottolinea che la pompa di calore produce aria in grandi quantità (50-60 L/s per kW) a temperature tra i 25 °C e i 45 °C, tendendo a operare per periodi più lunghi rispetto a una normale caldaia.
Questa tipologia di macchine può essere sia a monoblocco (impianti medio grandi) che a sezioni (impianti piccoli). Le prime vengono posizionate rispettivamente all'esterno se di grandi dimensioni (e quindi grandi impianti), quelle medie invece possono essere installate anche all'interno con l'aria esterna canalizzata mediante delle aperture della centrale termica; quelle a sezioni, dette anche "split", presentano sezione ventilante all'esterno e gruppo motocompressore all'interno nel caso di macchine aria-acqua e nel caso di macchine aria-aria (quelle tipiche di ambienti residenziali) sia compressore che sezione ventilante sono posti all'esterno al fine di ridurre la rumorosità interna.
Infine, ma assolutamente non di ultima importanza, spieghiamo brevemente una criticità di questa tipologia di pompe di calore e come superarla: il ciclo di sbrinamento.
Quando lo scambiatore esterno opera come evaporatore, la sua superficie risulta a bassa temperatura quando anche l'aria esterna è fredda (cioè durante la fase di riscaldamento nella stagione invernale), questo comporta la formazione di ghiaccio su di esso, dovuta alla presenza di umidità nell'aria esterna, e di conseguenza una riduzione del rendimento dello scambio termico (il ghiaccio è isolante). Per disciogliere lo strato di ghiaccio la valvola reversibile inverte il ciclo e la ventola dell'evaporatore esterno si ferma, in modo da ridurre l'energia termica necessaria per lo sbrinamento. Ovviamente, mentre la macchina è in questa fase, lo scambiatore interno raffredda la mandata all'edificio e quindi vi è la necessità di riscaldarla prima di immetterla in circolo.
Vi sono due metodi per stabilire quando effettuare lo sbrinamento: con un sensore di temperatura esterno e un timer che inverte il ciclo a intervalli di tempo prefissati o con un sistema di controllo più raffinato, che monitora il flusso d'aria, la pressione del refrigerante, la temperatura dell'aria.
Il secondo metodo, seppur più caro, è preferibile in quanto evita sbrinamenti non necessari e quindi migliora le prestazioni stagionali della macchina.
Nella fase di defrosting la pompa di calore inverte il ciclo di compressione e fa passare refrigerante caldo nello scambiatore in considerazione, che quindi si pulisce dal ghiaccio. La fase di defrosting è normale quando le temperature sono prossime o sotto lo zero ed è più frequente nelle giornate umide o di nebbia. Questa criticità è uno dei motivi per cui spesso queste pompe di calore sono accoppiate con caldaie di supporto.

Gli impianti *acqua-acqua* e *acqua-aria* sfruttano le acque superficiali (o di falda ma rientrano nelle geotermiche) e hanno generalmente prestazioni migliori, perché prelevano calore da una sorgente a temperatura stabile. Sono molto efficienti ma il costo per la loro installazione è molto alto: costano circa il 15-30% in più delle pompe ad aria, poichè per questo tipo di impianti è previsto un sistema di installazione e posa più sofisticato. Le acque, pur superficiali che siano, presentano una ridotta variazione di temperatura al variare delle condizioni climatiche stagionali e dipendono dal volume d'acqua complessivo.

Per i sistemi che hanno come sorgente l'acqua devono essere previsti obbligatoriamente tutti gli accorgimenti necessari a salvaguardare l'ambiente. Bisogna anche ottenere permessi circa la sostenibilità (studiata in fase preliminare) del tutto. Dal punto di vista costruttivo si differenziano per il fatto che vi è uno scambiatore ad acqua sul lato esterno, anziché ad aria. Anche queste si prestano a svolgere funzionamento duale, se dotate di necessarie valvole di inversione.
Questa categoria di pompe di calore è spesso ricondotta a quella delle pompe geotermiche anche quando si tratta di acque superficiali appunto.

Vi sono infine le *pompe geotermiche* che sfruttano il calore sempre presente nel terreno (ciclo chiuso) utilizzando sonde geotermiche o nelle falde acquifere profonde (ciclo aperto utilizzando sonde geotermiche per acqua di falda) che sono disponibili a temperature tra i 10 e 15 °C e rimangono pressoché costanti durante l'anno. Ad una profondità di oltre 10 metri la temperatura è relativamente elevata e costante durante tutto l'anno, si osserva uno sfasamento e una riduzione delle fluttuazioni stagionali di temperatura del terreno rispetto a quelle dell'aria, a causa della sua capacità termica quindi il terreno diviene una sorgente termica più calda dell'aria esterna in inverno e più fresca in estate, come mostrato nelle figure.

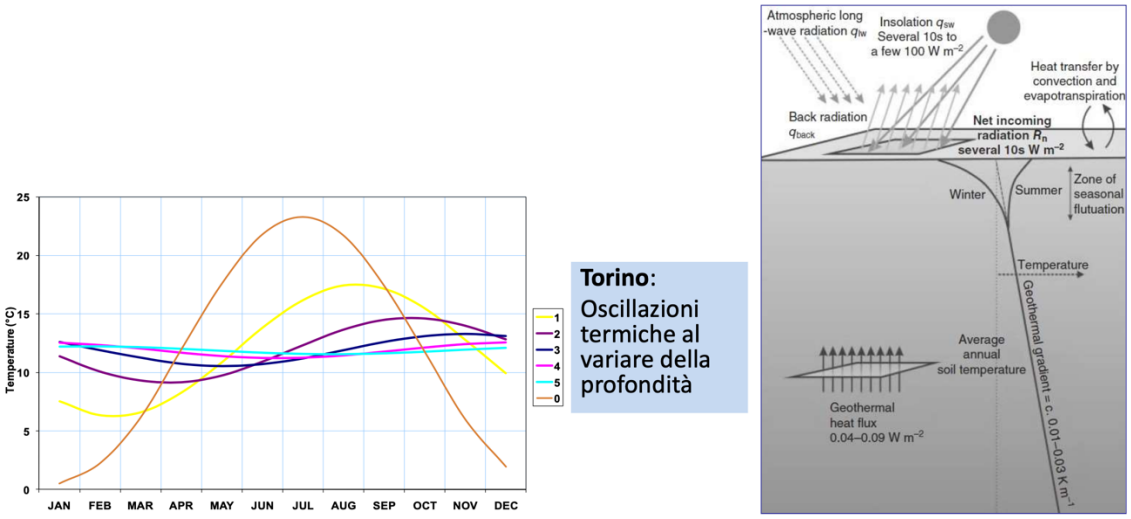


Figura 64-Caratteristiche geotermiche sottosuolo

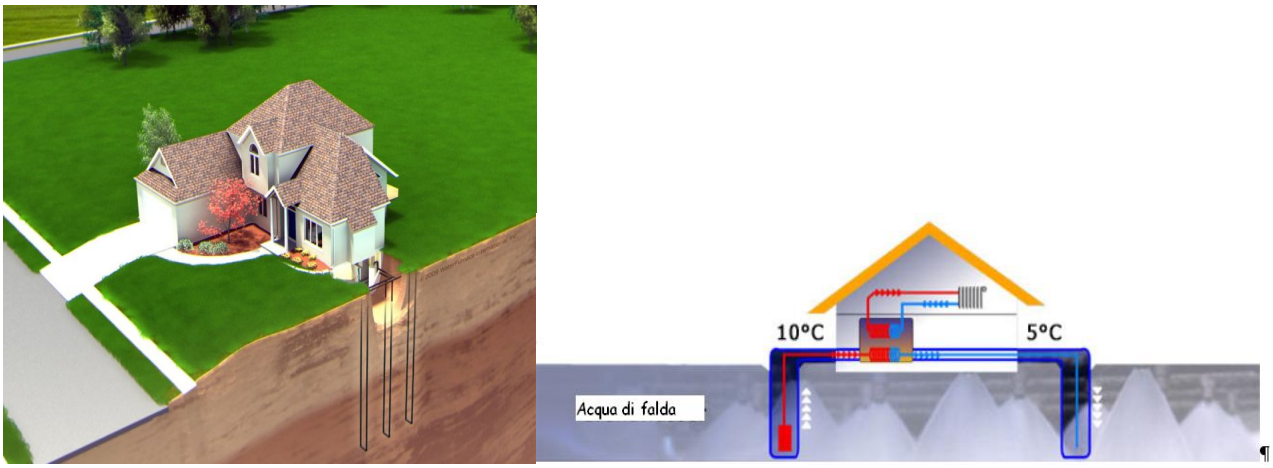


Figura 65-Sonde geotermiche scambio con terreno (a sx) e con acqua di falda (a dx)

Nella configurazione più semplice (non riportata) lo scambiatore è una semplice serpentina (sonde geotermiche orizzontali) collocata nel terreno, a ridotte profondità ma maggiori di almeno un metro, in cui

scorre il fluido termovettore; questa soluzione che ha il vantaggio della relativa economicità però va eseguito uno studio sulla modifica eventuale dei regimi termici del terreno.
La soluzione più costosa ma più efficace per catturare il calore nel terreno consiste nell'installare sonde geotermiche verticali, infatti man mano che si scende più in profondità aumenta la temperatura disponibile; il foro circolare per tale sonda va fatto possibilmente profondo da una trentina di metri fino ad un massimo di cento e di diametro possibilmente ridotto (ma tale da contenere le tubazioni in cui scorre il fluido termovettore). L'esborso economico per gli scavi e le sonde è elevato quindi 100 metri è preso come valore limite.
La portata del fluido e il diametro del tubo sono selezionati in modo tale che le condizioni di flusso turbolento siano ottenute nel circuito chiuso del sottosuolo (il flusso turbolento facilita il trasferimento di calore dal terreno al fluido), che le perdite idrauliche (e quindi l'energia spesa per il pompaggio della circolazione) rimangano basse e che la portata del fluido sia compatibile con la potenza della pompa di calore e si possa così trasmettere la quantità di calore richiesta.
Durante gli scavi le pareti di perforazione vanno stabilizzate con tubi di rivestimento per evitare franamenti e la messa in contatto con eventuali falde acquifere che potrebbero trovarsi a diverse profondità. Nel pozzo ottenuto viene introdotto il vero e proprio scambiatore di calore (che spesso è un tubo ad U in polietilene reticolato ad alta densità, i giunti saldati termicamente, così che la durata possa arrivare oltre i 25 anni). Può esserci circolazione con espansione diretta ossia quando il refrigerante stesso è fatto circolare nei tubi e raggiungerà il compressore nella pompa di calore stessa (non più utilizzato per rischio di contaminare il suolo) o indiretta nel caso in cui nei tubi venga fatta circolare acqua (magari con soluzioni antigelo), i tubi sono ovviamente collegati all'evaporatore della pompa di calore in cui circolerà invece il fluido refrigerante, quest'ultima soluzione è quella presente tutt'ora nei mercati europei.
Infine, il pozzo viene riempito solitamente con biacca di cemento, si deve comunque sempre mantenere la biacca ad una quota superiore all'estremità inferiore del tubo di rivestimento onde evitare franamenti. Grazie alla cementificazione l'opera risultante consente un buon contatto termico tra lo scambiatore ed il terreno garantendo allo stesso tempo un'adeguata salvaguardia delle falde acquifere.
Il costo di un impianto geotermico e relativa installazione è decisamente superiore ad uno tradizionale e dipende dalla natura del terreno, ma al tempo stesso presentano COP maggiori di quelle che utilizzano l'aria come sorgente per i motivi di cui sopra, il Payback time tipico, deve essere intorno ai 5 anni per essere economicamente attraente; il COP è tra 3,1 e 4,9, mentre l'EER tra 2,9 e 4,5. Le pompe geotermiche permettono mediamente un risparmio del 40% di energia rispetto a quelle ad aria e hanno un'aspettativa di vita di circa 20/25 anni (maggiore rispetto a quelle ad aria in quanto il compressore è sottoposto a minori sollecitazioni meccaniche ed è protetto dall'ambiente). Come per tutte le pompe di calore, non è conveniente dimensionare la pompa geotermica per soddisfare tutte le richieste di energia termica di un edificio ma conviene dimensionarla per il 60-70% del massimo carico (somma dell'energia termica per riscaldare l'intero edificio e l'acqua calda richiesta dalle utenze), lasciando a un sistema supplementare le richieste occasionali. Così facendo, la pompa viene a fornire il 95% della totale energia termica utilizzata.

Il costo medio di una pompa di calore aria-aria si aggira in media intorno ai 500 € al kW, mentre per le pompe di calore aria-acqua, la fascia di prezzo è lievemente più alta.
Per l'impianto acqua-acqua il costo sale per via dei maggiori costi dei lavori per l'installazione, così come sono più elevati sono i costi delle pompe geotermiche.

Le pompe di calore, o comunque i sistemi ibridi che includono pompa di calore e caldaia a condensazione, comportano numerosi vantaggi a coloro che decidono di installare questo tipo di apparecchiatura poichè i clienti hanno diritto ad incentivi statali istituiti negli anni nell'ottica di una riduzione dei consumi energetici e dell'emissione di anidride carbonica collegati al riscaldamento degli edifici.
Per citarne alcuni: Ecobonus con detrazione fiscale del 65%, deducibile in 10 anni, Conto Termico 2.0 (in vigore dal 31 maggio 2016) che è un particolare incentivo per l'incremento dell'efficienza energetica e la produzione di energia termica da fonti rinnovabili; la sostituzione con un impianto che include pompa di calore è anche tra gli elementi trainanti validi per attingere al Superbonus 110% nel caso del doppio salto di classe energetica.
Si parla sempre nel caso di sostituzione di un eventuale impianto col sistema ibrido o comunque con la pompa di calore, mai in caso di nuova installazione e per poter rientrare in queste detrazioni si devono

sempre rispettare alcuni paletti che comunque sono noti a priori e si possono controllare nelle varie comunicazioni relative agli incentivi.

Per concludere l'analisi ricordiamo che le pompe di calore non bruciano combustibile fossile e quindi si eliminano (o non sono più necessarie) canne fumarie, eventuali rischi (seppur ormai rari vista la sicurezza e la competenza attuale) di esplosione e non ci sono controlli ciclici di ispezione, inoltre il fatto che la casa venga riscaldata utilizzando fonti rinnovabili la renderà anche più appetibile facendone acquistare valore.
Sulla carta, i vantaggi delle pompe di calore sono ineguagliati da qualsiasi altro generatore di calore purché esse operino in condizioni favorevoli, cioè quelle precedentemente spiegate.
Il fatto che in Italia l'elettricità abbia sempre avuto un costo più elevato rispetto a numerosi altri paesi può, a prima vista, renderle un po' meno appetibili ma esse risultano comunque quasi sempre una valida alternativa ed in ogni caso vengono fatte analisi economiche che ne certificano la fattibilità del progetto.
In seguito al 2018 è avvenuta la riforma delle tariffe elettriche con l'obiettivo di sostenere la diffusione di consumi efficienti che hanno aiutato al diffondersi di questa tecnologia in quanto finalmente si è potuto sfruttare a pieno il potenziale di installazione di apparecchiature elettriche efficienti (come pompe di calore, auto elettriche o piastre ad induzione), fino al 2015 frenate dagli eccessivi costi di utilizzo per la progressività della tariffa.
Infatti chi, ad esempio, per riscaldare la propria abitazione voleva utilizzare un'efficiente pompa di calore veniva penalizzato dalle più alte tariffe progressive. Inoltre, queste apparecchiature elettriche sono quelle che meglio si adattano ad un aumento della penetrazione delle fonti rinnovabili, dei sistemi di accumulo e dell'energia da loro stesse prodotta, sia di provenienza dalla rete sia autoprodotta e consumata sul posto con i piccoli impianti di produzione rinnovabili sempre più diffusi. I consumi elettrici, quindi, hanno potuto essere sostitutivi di quelli di altri vettori energetici (gas, gpl o altro) che per loro natura sono molto meno rinnovabili, portando anche ad un ulteriore risparmio complessivo oltre che ad una riduzione dell'inquinamento nei centri urbani.

Chi decide di installare un impianto con pompa di calore deve infine sceglierne il funzionamento: monovalente, se le pompe di calore sono l'unico generatore di calore utilizzato, bivalente se invece l'impianto è supportato da un generatore per il riscaldamento degli impianti come può essere appunto una caldaia a condensazione.

Nel caso si scelga un sistema monovalente, questo deve garantire l'intero fabbisogno dell'edificio ed è molto consigliato per le abitazioni di nuova costruzione e site in climi miti e comunque moderati; la potenza erogata dalla pompa di calore sarà superiore (quindi sufficiente) a coprire i fabbisogni dell'involucro edilizio e la PdC lavorerà in On-Off oppure in modulazione, secondo il tipo di regolazione previsto dal fabbricante.
Un'alternativa è il sistema monoenergetico: la pompa di calore dovrà essere integrata da una resistenza elettrica, che la sosterrà fornendo un surplus energetico, nell'alimentare correttamente tutto l'edificio, anche nei periodi di picco.

Si parla infine di sistema ibrido quando alla pompa di calore è accoppiata una caldaia a condensazione, queste ultime possiamo dire che sono l'evoluzione delle vecchie caldaie tradizionali.
Ogni caldaia è dotata di un bruciatore, ove avviene la combustione; i fumi caldi prodottisi nella combustione cedono la loro energia termica a uno scambiatore di calore, al cui interno circola l'acqua del circuito di riscaldamento. I fumi sono poi smaltiti al camino, mentre l'acqua calda è inviata ai terminali d'impianto tramite una pompa di circolazione. La condensa derivante dal raffreddamento dei fumi è raccolta e smaltita mediante uno scarico dedicato. Una scheda elettronica di gestione dell'insieme completa i componenti di base di una caldaia, che sono racchiusi in un involucro di protezione. Le caldaie possono essere destinate al solo riscaldamento degli ambienti oppure combinate, ossia in grado di produrre anche acqua calda sanitaria. In questo secondo caso nel circuito dell'acqua di riscaldamento è presente un secondo scambiatore di calore che va a scaldare l'acqua sanitaria proveniente dall'acquedotto (nel funzionamento in solo riscaldamento lo scambiatore secondario non è usato) nel momento in cui è richiesta, tramite un'apposita valvola che devia l'acqua calda del circuito riscaldamento (normalmente diretta ai terminali d'impianto) verso lo scambiatore secondario. La produzione «istantanea» è conveniente solo per un numero limitato di punti di prelievo come utenze monofamiliari, mentre per utenze più grosse si adotta il sistema ad accumulo, ma il principio di funzionamento è il medesimo.
Le caldaie a condensazione per concludere sfruttano il calore latente presente nei fumi di scarico (invece di

disperderlo nell'atmosfera) per riscaldare l'acqua utilizzata per l'impianto di riscaldamento; questo calore nelle caldaie tradizionali andrebbe disperso con i fumi.
Più il calore viene recuperato, più si avrà un sistema efficiente, le caldaie a condensazione possono servire sia sistemi di emissione ad alta temperatura (radiatori per esempio) che quelli a bassa temperatura (quali pavimenti radianti), in quest'ultimo caso le caldaie a condensazione avranno ovviamente una resa migliore.

Nel caso di funzionamento bivalente appunto, la pompa di calore installata riesce a coprire il fabbisogno dell'abitazione, ma solo fino ad una certa temperatura esterna, il cosiddetto punto di bivalenza. A questo tipo di sistema deve essere abbinato un impianto alternativo (solitamente si tratta di una caldaia a condensazione) che possa riscaldare l'ambiente nel momento in cui la pompa di calore smette di svolgere la propria funzione o non lo faccia a sufficienza. Ricordiamo che la potenza massima fornita da una caldaia è influenzata solo minimamente dalla temperatura esterna e la potenza può essere modulata secondo le necessità (la potenza massima erogabile non cambia ed è sempre disponibile) ma non è così per la pompa di calore, la cui potenza termica massima erogata è fortemente dipendente dalla differenza di temperatura tra la sorgente di calore (aria, acqua, suolo) e la temperatura di cessione del calore agli ambienti e quindi non è in fase con la richiesta di calore: sarà richiesta più potenza quando fuori farà più freddo, ma essendo più freddo il delta T sarà più grande e la potenza erogata dalla pompa di calore sarà minore. Ciò che detto è espresso in termini grafici nei due diagrammi seguenti.

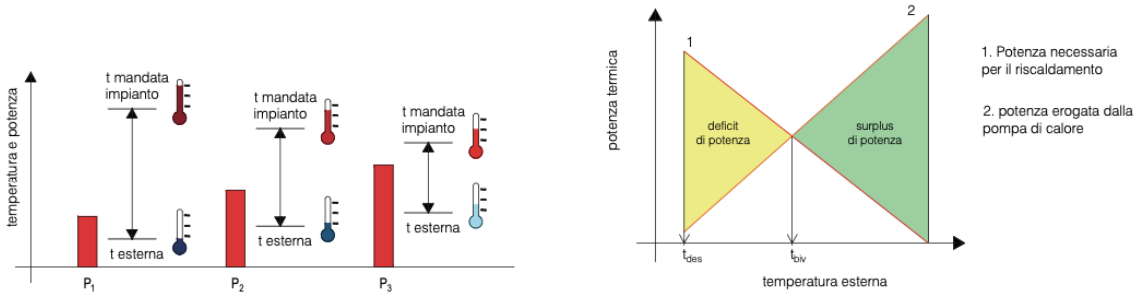


Figura 66-Diagrammi temperatura potenza indicativi per una pompa di calore

Si ricorre ad un impianto bivalente solitamente per le abitazioni recentemente ristrutturate o le case di vecchia costruzione.

Scegliere di optare per il sistema monovalente e sovradimensionare la pompa di calore affinché eroghi la potenza massima di progetto non è conveniente perché comporta costi di investimento e di esercizio non sempre giustificati e anche nel caso della resistenza i costi risultano elevati.
Con la soluzione ibrida la PdC può essere dimensionata per potenze ben inferiori a quelle massime (~30-50% del carico massimo), ottimizzando l'investimento economico.

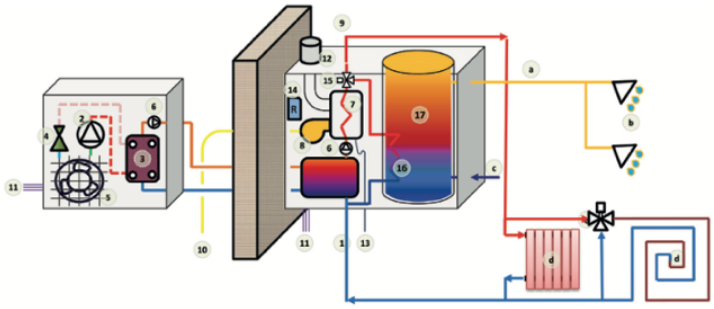
Vi sono altri motivi che rendono conveniente l'abbinamento di una caldaia alla pompa di calore.

- La resa di una pompa di calore diminuisce alle basse temperature. Sotto una certa temperatura non è più conveniente dal punto di vista economico l'uso della PdC elettrica e conviene usare la caldaia poichè, a pari effetto utile, il costo del consumo di energia elettrica supera il costo del gas naturale bruciato in caldaia;
- Il passaggio a una taglia superiore della pompa di calore può rendere necessari sia una maggiorazione dell'impianto elettrico, sia un aumento contrattuale dell'impegno di potenza, con relativi costi. Ciò vale in particolare per gli impianti esistenti nella realtà italiana, caratterizzata da bassi valori delle potenze elettriche impegnate;
- Vi è poi una temperatura limite sotto la quale la PdC non può più funzionare mentre la caldaia può funzionare con qualsiasi temperatura esterna (a progetto per dimensionarla si ricorre alla minima ideale, detta appunto temperatura di progetto). Inoltre, la caldaia è dimensionata per sopperire

all'intero fabbisogno termico dell'edificio, funzionando nelle giornate più fredde, dove non è possibile/conveniente usare la PdC;
- Nei transitori (ad esempio all'avviamento dell'impianto) la caldaia può andare in supporto alla pompa di calore, portando più rapidamente in temperatura l'impianto e semplificando la regolazione della pompa di calore;

Le configurazioni tipiche di un impianto ibrido sono sostanzialmente tre.
La prima configurazione prevede in genere un'unità interna, delle dimensioni di una comune caldaia contenente al suo interno il condensatore della pompa di calore, la caldaia a condensazione e la scheda di controllo. Quest'ultima è fondamentale per garantire le prestazioni dell'apparecchio giacché il fabbricante può regolarla in funzione delle caratteristiche tecniche dei componenti l'impianto: l'ibrido è quindi un sistema integrato i cui componenti dialogano con un sistema di gestione unico, ottimizzato e messo a punto dal fabbricante e non è un semplice aggregato di tecnologie. La seconda configurazione prevede tutti i componenti della PdC nell'unità esterna, con un collegamento idraulico verso l'unità interna.
In entrambi i casi nell'unità interna può anche essere presente un serbatoio per l'accumulo dell'acqua calda sanitaria. La terza configurazione è di tipo monoblocco, con tutti i componenti in un unico involucro.
L'installazione può essere interna o esterna secondo i modelli.

Riportiamo in figura un impianto ibrido tipico con produzione combinata di acqua calda sanitaria.



1. *Ritorno acqua dall'impianto*
2. *Compressore pdc*
3. *Condensatore pdc*
4. *Valvola espansione pdc*
5. *Batteria evaporatore pdc e ventilatore*
6. *Pompa di circolazione acqua impianto*
7. *Scambiatore caldaia a condensazione*
8. *Bruciatore caldaia a condensazione*
9. *Mandata acqua all'impianto*
10. *Alimentazione gas*
11. *Alimentazione elettrica*
12. *Scarico fumi*
13. *Scarico acqua di condensa*
14. *Centralina di regolazione*
15. *Valvola a tre vie selezione riscaldamento/produzione acs*
16. *Serpentino per riscaldamento acs*
17. *Serbatoio accumulo gas*

Componenti esterni all'apparecchio ibrido

- a) *Mandata acqua calda sanitaria alle utenze*
- b) *Utenze acs*
- c) *Arrivo acqua fredda dalla rete*
- d) *Terminali d'impianto (radiatori, pannelli radianti, etc.)*
- e) *Valvola miscelatrice pannelli radianti*

Figura 67-Impianto ibrido Pompa di calore e caldaia a condensazione per riscaldamento e produzione ACS; Pompa di calore monoblocco in unità esterna

Ed il relativo funzionamento in funzione della temperatura esterna.

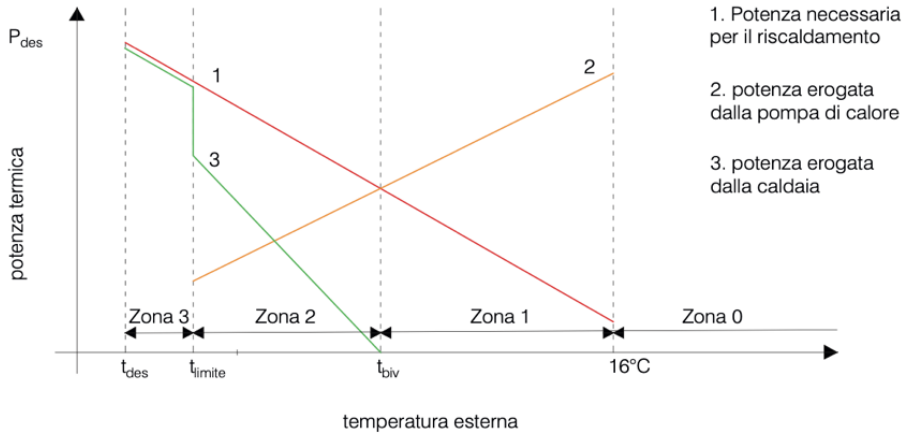


Figura 68-Diagramma dettagliato Potenza-Temperatura di un impianto ibrido in base alla temperatura esterna

La linea rossa indica la potenza richiesta dagli ambienti in funzione della temperatura esterna, tale potenza cresce al diminuire della temperatura esterna fino al valore di progetto per cui è dimensionato il sistema di riscaldamento (T_{des}). Per temperature più basse (situazione molto rara) l'impianto non sarà in grado di mantenere le condizioni di progetto in ambiente (20 °C).
La linea arancione indica la potenza erogabile dalla pompa di calore, che in base a quanto abbiamo spiegato, si riduce con il ridursi della temperatura esterna.
La linea verde indica la potenza fornita dalla caldaia a condensazione.

Ciò che succede è quanto segue:

- Per temperature dell'aria esterna sopra un dato valore (convenzionalmente 16 °C) non vi è necessità di riscaldare gli ambienti («zona» 0, a destra nel grafico), in quanto le dispersioni di calore sono molto ridotte e bastano gli apporti termici gratuiti (sole, calore prodotto da persone ed elettrodomestici) per mantenere i 20 °C in ambiente;
- Quando la temperatura esterna si abbassa interviene la sola PdC (zona 1), che fornisce il fabbisogno termico necessario. Inizialmente la PdC lavorerà a carico parziale, con l'ulteriore riduzione della temperatura esterna la PdC lavorerà con carichi sempre maggiori;
- Quando si raggiunge la temperatura di bivalenza (T_{biv}), la PdC sarà al 100% del carico: un ulteriore abbassamento della temperatura esterna richiederà l'intervento integrativo della caldaia per poter mantenere gli ambienti riscaldati alla temperatura desiderata (zona 2). L'intervento della caldaia sarà proporzionato per mantenere le condizioni di comfort;
- Nelle giornate più fredde e fino alle condizioni di progetto (design), sotto la temperatura limite operativa (T_{lim}), la PdC non lavora e la caldaia fornisce l'intero fabbisogno per il riscaldamento dell'edificio (zona 3).

È importante ricordare che le temperature di bivalenza e limite dipendono dal modello della pompa di calore scelta. La temperatura limite va poi confrontata con la temperatura di progetto, che dipende dalla località dove è costruito l'edificio ed è possibile che non venga mai raggiunta durante la stagione fredda.

Oltre a queste temperature "chiave" della pompa di calore (temperatura di bivalenza e temperatura limite di lavoro) e alla temperatura di mandata dell'acqua, alcuni fabbricanti hanno inserito un terzo punto nella regolazione, detto punto di trivalenza. La temperatura di trivalenza è definibile come la temperatura alla quale è economicamente indifferente riscaldare gli ambienti usando un generatore o l'altro, ossia usando energia elettrica (pompa di calore) o gas naturale (caldaia). Questa temperatura è funzione, oltre che delle caratteristiche tecniche della caldaia (rendimento) e della pompa di calore (COP, che è variabile!), anche dei prezzi di fornitura dell'energia elettrica e del gas e di cui il sistema di gestione dell'apparecchio ibrido dovrà tenere in considerazione.

Ritornando sull'analisi economica possiamo quindi (indipendentemente che il sistema sia ibrido o meno) considerare tre riscontri sui costi per capire cosa sia più conveniente utilizzare: i costi di installazione e manutenzione, i costi di gestione e la macrocategoria dei costi globali.

- Costi di installazione e manutenzione

I costi di installazione abbiamo detto dipendere dal tipo di pompa di calore impiegata, in ogni caso, le pompe di calore sono più costose delle caldaie. Per quanto riguarda la manutenzione la differenza fra quella relativa ad una caldaia e quella di una pompa di calore è sostanzialmente una. La caldaia deve essere sottoposta, secondo legge, a revisione annuale e la verifica deve essere effettuata sulla combustione della caldaia analizzando i fumi che emette. Qualora non fosse effettuata correttamente sono quindi previste sanzioni che possono variare da un minimo di 500€ ed arrivare fino ad un massimo di 3.000 €.
Per quanto riguarda le pompe di calore invece il discorso cambia totalmente poichè quelle di una dimensione fino a 35 kWt non sono infatti soggette a manutenzioni particolare e relativi obblighi nonostante la revisione annuale sia comunque fortemente consigliata, ma i costi sono comunque molto minori. Da notare che questa dimensione è quella che riguarda la stragrande maggioranza di abitazioni private dal momento che 35 kWt sono piu che sufficienti anche per ville molto grandi.
La differenza di cui si parlava quindi sta nel fatto che la caldaia ha bisogno di una manutenzione obbligatoria periodica annuale, la pompa di calore invece no a meno di eventuali disservizi.
La pompa di calore, a differenza della caldaia, ha un funzionamento completamente elettrico. Quindi, considerata un'installazione della pompa di calore a regola d'arte, non dovrebbero susseguirsi problemi.

- Costi di gestione

I costi di gestione prendono in considerazione la sola spesa ottenuta per riscaldare la casa da parte dell'impianto. Per rispondere a questa domanda bisogna chiedersi quale sia il costo del kWh termico erogato da caldaia e dalla pompa di calore.

- Per una caldaia il costo di un kWh termico dato dal gas naturale è funzione del costo del normal metro cubo di gas e del potere calorifico del gas (ovvero quanta energia mi fornisce la combustione di un metro cubo di gas).
  Il potere calorifico superiore del gas naturale distribuito in Italia è circa 10,5 kWh/m^3: bruciando un normal metro cubo di gas si ottengono circa 10,5 kWh di calore, riferiti al potere calorifico superiore.
  Bisogna poi considerare il rendimento della caldaia ("eta") poichè non tutta l'energia termica sviluppata nella combustione è ceduta all'acqua del circuito di riscaldamento (una parte dell'energia è perduta con i fumi al camino, ancora tiepidi e una parte dispersa attraverso il mantello della caldaia)

$$Costo\ per\ kWh\ termico\ caldaia = \frac{Costo\ gas\ \left[\frac{€}{Sm^3}\right] * 3{,}6\left[\frac{MJ}{kWh}\right]}{Pot.Calorifico\ Superiore\ \left[\frac{MJ}{Sm^3}\right] * \eta}$$

Equazione 41-Costo [€] produzione kWh termico con mediante caldaia

- Allo stesso modo, il costo del kWh termico erogato dalla pompa di calore dipenderà dal costo di fornitura dell'energia elettrica e dal coefficiente di prestazione (COP) della PdC stessa

$$Costo\ per\ kWh\ termico\ PdC = \frac{Costo\ elettricità\ \left[\frac{€}{kWh}\right]}{COP}$$

Equazione 42- Costo [€] produzione kWh termico con mediante pompa di calore

Come si vede ovviamente, più il COP sarà elevato e tanto più economico sarà il funzionamento della pompa di calore.

È evidente che la scelta economica tra uno o l'altro dei due vettori energetici (gas naturale o energia elettrica) sarà indifferente quando i costi al kWh per l'energia termica fornita saranno uguali e questo è facilmente riscontrabile uguagliando le due formule. Più utile ancora risulta trovare, tramite una disuguaglianza il COP minimo della pompa di calore affinché essa risulti più conveniente in termini di costi di gestione:

$$COP > Costo\ elettricità\ \left[\frac{€}{kWh}\right] * \eta \Big/ \frac{Costo\ gas\ \left[\frac{€}{Sm^3}\right] * 3{,}6\left[\frac{MJ}{kWh}\right]}{Pot.Calorifico\ Superiore\ \left[\frac{MJ}{Sm^3}\right]}$$

Equazione 43-COP minimo affinché vi sia convenienza della pompa di calore sulla caldaia

- Costi globali

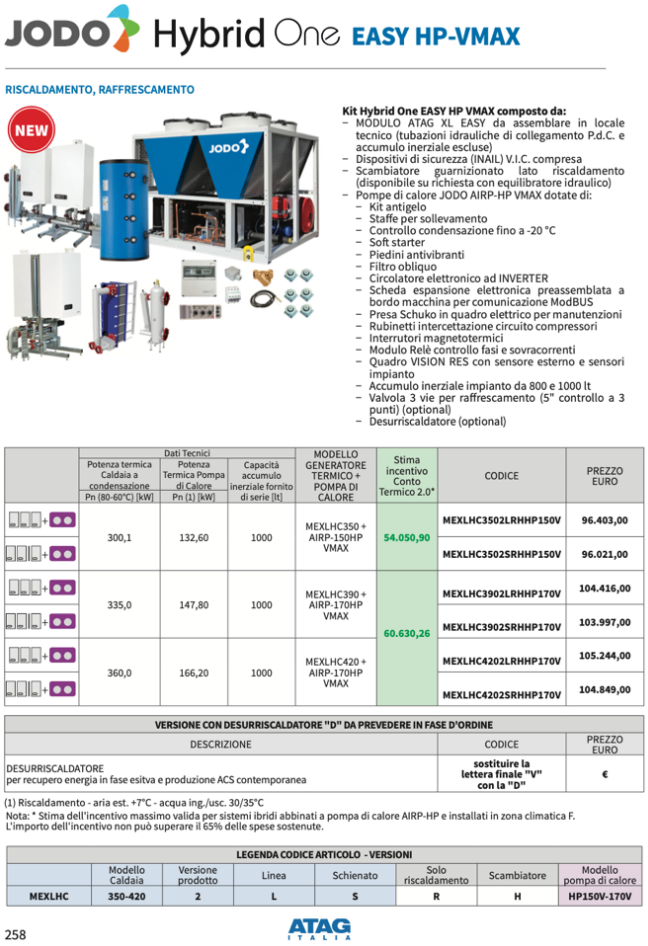
I costi globali prendono in considerazione le due categorie precedenti, valutandole lungo la vita dell'impianto e arrivando così a dare una valutazione generale sulla reale convenienza di uno piuttosto che l'altro.
Gli impianti con pompe di calore dunque, avendo installazioni molto più costose di quelle tradizionali (nonostante non vi sia la manutenzione obbligatoria), devono risultare più economici come gestione per poter recuperare nel corso della vita utile la spesa aggiuntiva effettuata al momento dell'installazione raggiungendo il Payback time quando la vita dell'impianto non è ancora al termine in modo tale da avere poi un effetto utile economico su tutto l'ultimo periodo.
Per poter dare una risposta sulla convenienza globale occorre determinare la quantità di energia che le pompe di calore possono fornire in un anno. Moltiplicando quindi il costo di gestione di un anno tipico per il tempo di vita utile dell'impianto si ottiene un valore da cui otterremo l'eventuale risparmio rispetto ai costi di gestione utilizzando una caldaia; se questo risparmio di gestione durante la vita risulta maggiore della differenza di investimento dei costi di installazione e manutenzione rispetto a quelli di un impianto con caldaia allora converrà utilizzare la pompa di calore, altrimenti no.
Le forti campagne di incentivazione su questo tipo di prodotti, vista la loro eco sostenibilità, hanno fatto sì che gli alti costi di installazione (relativi ovviamente all'acquisto del prodotto) vengano abbattuti e quindi stanno diventando sempre più appetibili sul mercato attuale.

Dopo aver descritto tutte le tipologie, l'impiantistica e l'analisi economica ora parliamo della nostra ipotesi sperimentale effettuata sul blocco A, quello ossia più energivoro.
È stato scelto un sistema ibrido con pompa di calore aria acqua e caldaie a condensazione in cascata perché, sebbene, nella situazione del nostro caso studio, l'utilizzo di aria esterna possa non essere quella più vantaggiosa, sulla base dei ragionamenti sinora fatti, la nostra vuole essere una mera sperimentazione (non sarà messa in pratica) e si vuole vedere quanto possa convenire o meno, o essere comunque sensato utilizzare in alta montagna questo tipo di impianto termico. Nei cataloghi moderni e sul mercato si trovano infatti al giorno d'oggi molte pompe di calore aria acqua che garantiscono buone rese anche a fronte di condizioni di aria prelevata a molto bassa temperatura, ovviamente le rese non saranno stratosferiche, in ogni caso nei manuali del produttore appunto, di solito vengono riportate una gamma di curve relative alla produzione di calore e COP dipendenti da fattori come la temperatura della fonte, la temperatura di erogazione del riscaldamento e le portate del fluido attraverso l'evaporatore e il condensatore.

Quando si compra una pompa di calore è importante prestare attenzione sì al COP ma in particolare a quale intervallo di temperatura tale COP si riferisce, al costo di installazione della pompa, a quanto calore può trasferire, al rumore generato.
Il programma Edilclima permette di inserire il COP che viene fornito solitamente (tabella di temperature

estreme standard selezionate dalla casa madre) in base a determinate temperature estreme e interpola tali valori per arrivare a dare la corretta potenza elettrica assorbita.

Noi non ci siamo interessati all'analisi economica del tutto quanto piuttosto a vedere come varia l'indice di prestazione energetica dello stato di fatto e quindi la relativa classe energetica nel caso, al teleriscaldamento attuale, sostituissimo questo sistema.
A fronte del caso più completo di riqualificazione energetica ossia quello in cui si interviene su coperture, serramenti e pareti totali è stato calcolato che la potenza utile richiesta combinata per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria risulta pari a poco meno di 360 kW circa.
Noi abbiamo effettuato la simulazione scegliendo il modello ibrido corrispondente all'ultima opzione ossia quella avente caldaie a condensazione in cascata con potenza termica complessiva di 360 kW. Per una spesa di 105 mila euro circa.



JODO Hybrid One EASY HP-VMAX

RISCALDAMENTO, RAFFRESCAMENTO

NEW

Kit Hybrid One EASY HP VMAX composto da:
- MODULO ATAG XL EASY da assemblare in locale tecnico (tubazioni idrauliche di collegamento P.d.C. e accumulo inerziale escluse)
- Dispositivi di sicurezza (INAIL) V.I.C. compresa
- Scambiatore guarnizionato lato riscaldamento (disponibile su richiesta con equilibratore idraulico)
- Pompe di calore JODO AIRP-HP VMAX dotate di:
  - Kit antigelo
  - Staffe per sollevamento
  - Controllo condensazione fino a -20 °C
  - Soft starter
  - Piedini antivibranti
  - Filtro obliquo
  - Circolatore elettronico ad INVERTER
  - Scheda espansione elettronica preassemblata a bordo macchina per comunicazione ModBUS
  - Presa Schuko in quadro elettrico per manutenzioni
  - Rubinetti intercettazione circuito compressori
  - Interruttori magnetotermici
  - Modulo Relè controllo fasi e sovracorrenti
  - Quadro VISION RES con sensore esterno e sensori impianto
  - Accumulo inerziale impianto da 800 e 1000 lt
  - Valvola 3 vie per raffrescamento (5° controllo a 3 punti) (optional)
  - Desurriscaldatore (optional)

	Dati Tecnici			MODELLO GENERATORE TERMICO + POMPA DI CALORE	Stima incentivo Conto Termico 2.0*	CODICE	PREZZO EURO
	Potenza termica Caldaia a condensazione Pn (80-60°C) [kW]	Potenza Termica Pompa di Calore Pn (1) [kW]	Capacità accumulo inerziale fornito di serie [lt]				
	300,1	132,60	1000	MEXLHC350 + AIRP-150HP VMAX	54.050,90	MEXLHC3502LRHHP150V	96.403,00
						MEXLHC3502SRHHP150V	96.021,00
	335,0	147,80	1000	MEXLHC390 + AIRP-170HP VMAX	60.630,26	MEXLHC3902LRHHP170V	104.416,00
						MEXLHC3902SRHHP170V	103.997,00
	360,0	166,20	1000	MEXLHC420 + AIRP-170HP VMAX		MEXLHC4202LRHHP170V	105.244,00
						MEXLHC4202SRHHP170V	104.849,00

VERSIONE CON DESURRISCALDATORE "D" DA PREVEDERE IN FASE D'ORDINE		
DESCRIZIONE	CODICE	PREZZO EURO
DESURRISCALDATORE per recupero energia in fase esitva e produzione ACS contemporanea	sostituire la lettera finale "V" con la "D"	€

(1) Riscaldamento - aria est. +7°C - acqua ing./usc. 30/35°C
Nota: * Stima dell'incentivo massimo valida per sistemi ibridi abbinati a pompa di calore AIRP-HP e installati in zona climatica F. L'importo dell'incentivo non può superare il 65% delle spese sostenute.

LEGENDA CODICE ARTICOLO - VERSIONI							
	Modello Caldaia	Versione prodotto	Linea	Schienato	Solo riscaldamento	Scambiatore	Modello pompa di calore
MEXLHC	350-420	2	L	S	R	H	HP150V-170V

258

ATAG ITALIA

Figura 69-Schedaproposte di impianto ibrido JODO Hybrid one

Come si può notare dalla postilla l'incentivo di 60 mila euro corrisponde al nostro caso ossia quello dell'abbinata con pompa di calore e installazione in una zona climatica F, quindi rientrerebbe il 60% circa del nostro investimento (da conto termico 2.0, ora che siamo in regime di superbonus i massimali sono diversi).
La scelta è quella di dimensionare la pompa di calore al 50% della potenza nominale richiesta.
In questo caso, ad esempio, la potenza termica della serie a cascata di caldaie a condensazione è pari a 360 ed invece la pompa di calore è dimensionata a 166 kW.
Calcolando l'APE in questa nuova situazione è risultato che il blocco A arrivasse ad essere di classe energetica B, che è un salto molto grande visto quello di partenza. La pompa di calore producendo parte del riscaldamento per mezzo di energia rinnovabile contribuisce fortemente al rendere questa abitazione molto meno energivora.

L'altro lato della medaglia è che una pompa di calore da 160 kW richiede una elevata potenza assorbita, di 60 kW circa in base al COP che abbiamo ottenuto interpolando le temperature estreme date dalla ditta con le condizioni reali di progetto e quindi si dovrebbe creare un impianto fotovoltaico significativo e che occupa una parte importante di tetto, dalla simulazione è risultato che sono richiesti più di 350 metri quadri di tetto (in media per un tetto piano come il nostro sono necessari 9 m^2 per ogni kW installato, leggermente maggiore dei 6-7 necessari su un tetto a falde dove non è necessario il supporto che li inclini) per creare un impianto che possa coprire il 70% circa della potenza che altrimenti sarebbe assorbita dalla rete dalla pompa di calore; data la località dovremmo considerare anche una producibilità non elevatissima dell'impianto (nel nord la producibilità media annua è di circa 1.100 kWh/kW).
Un impianto di tale dimensione richiede elevati costi di installazione e manutenzione.
Si è quindi visto come l'utilizzo di una pompa di calore ad aria esterna, seppur in condizioni quasi critiche abbia contribuito alla riqualificazione dell'edificio in quanto ad essa è associato un fattore di conversione in energia primaria rinnovabile pari a 1, l'energia che la pompa di calore preleva dall'ambiente è ritenuta completamente rinnovabile.
Il problema sta nei costi di installazione e soprattutto di gestione poiché essendo la temperatura esterna molto bassa in media, la pompa di calore lavora con COP non troppo elevati ed assorbe una potenza elettrica molto elevata per poter lavorare.
Non è stata fatta un'analisi economica completamente dettagliata sulla base delle bollette attuali ma comunque da un'analisi di prima vista è parso come questa pompa di calore in una situazione del genere non comporti un vantaggio economico specialmente a fronte dell'esborso che conseguirebbe oltre che dall'acquisto della pompa di calore in se alla installazione di un impianto fotovoltaico, come detto, significativo.

Nonostante gli ottimi risultati raggiunti con l'utilizzo di queste tecnologie, anche in condizioni limite, non esiste ad oggi un sistema perfetto per ogni situazione, ma le diverse soluzioni che possono essere più o meno adatte a seconda dell'abitazione in esame e delle necessità del cliente vanno valutate dal progettista per soddisfare in maniera sostenibile e conveniente dal punto di vista economico il fabbisogno finale, con il minimo consumo di energia.

CONCLUSIONI

Tutti i temi affrontati in questa tesi ossia dalla trasmittanza all'inerzia termica fino a giungere al sistema vero e proprio di climatizzazione sono stati oggetto negli ultimi anni di una sempre maggiore attenzione da parte della autorità poichè possono contribuire in modo diretto (gli impianti di riscaldamento) e indiretto (le proprietà termofisiche delle abitazioni) ad una riduzione dei consumi energetici di questo settore e da ciò derivano le varie campagne che promuovono il miglioramento delle efficienze di tutti gli edifici, quali, per ultimo, il da noi affrontato superbonus. In un mondo dove il tema della decarbonizzazione, la sensibilità sul surriscaldamento globale, causato dall'effetto serra, e la ricerca di uno sviluppo sostenibile che prende in considerazione l'ambiente come elemento da preservare è sempre più centrale, migliorare i rendimenti e diminuire i consumi di quello che è tra i settori più impattanti da questo punto di vista risulta essere di prima importanza; il settore civile copre oltre il 30% dei consumi complessivi di energia finale del nostro paese (parimenti al settore dei trasporti e di quello industriale) e circa il 40% per quanto riguarda l'UE.
Adottare misure forti ed imporre valori e criteri ambientali minimi per quanto riguarda efficienze e proprietà termofisiche di materiali e quindi delle abitazioni, può contribuire in misura sostanziale al raggiungimento degli obiettivi di riduzione di gas ad effetto serra tramite una conseguente maggior efficienza energetica e un parallelo incremento nell'utilizzo delle fonti rinnovabili, questi sono tra gli obiettivi principali individuati dall'Italia e dall'Europa nella definizione delle proprie strategie energetiche.
Le politiche economiche italiane ed Europee, ma anche globali, tolto casi eccezionali, risultano guidate da misure legislative sempre più orientate a promuovere la crescita economica attraverso efficienza energetica e salvaguardia dell'ambiente ed il tema della riqualificazione dell'esistente va proprio in questa direzione,

dove la sensibilità puramente energetica si complementa con la sfida di carattere ambientale.

Al centro del dibattito europeo, c'è il tema relativo allo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili.
Negli ultimi anni la volontà di intraprendere questa necessaria strada sta dando buoni frutti, infatti, il *sole 24 ore* riporta la notizia che arriva dal quinto rapporto annuale pubblicato da Ember and Agora Energiewend a fine gennaio 2021, nel quale viene monitorata la produzione di energia elettrica a partire dalle varie tipologie di sorgenti disponibili, è che per la prima volta nella storia europea, complessivamente, le risorse rinnovabili hanno scalzato i combustibili fossili come primaria fonte di elettricità.
Il primato ottenuto dalle risorse rinnovabili è una tappa fondamentale nella direzione dell'energia pulita per quel che riguarda l'Europa, ma il traguardo della riduzione dei gas serra pari al 55% (rispetto ai livelli del 1990) fissato per il 2030 è ancora distante infatti dalla ricerca stessa emerge che rispetto allo scenario attuale l'apporto della produzione eolica e di quella solare dovrebbero triplicare, ma si potrebbe essere moderatamente fiduciosi alla luce delle previsioni a breve termine che vedrebbero queste due sorgenti pulite in ulteriore crescita.
Le notizie positive comunque continuo pian piano ad arrivare infatti si può notare che il 2020 è stato l'anno in cui l'inversione green della produzione di energia elettrica è avvenuta specificatamente in alcuni paesi come Germania e Spagna, tanto per citare alcune realtà geograficamente prossime all'Italia e questo traguardo è molto vicino per molte altre realtà europee.
In ogni caso, rispetto al passato, la diminuzione della componente fossile su scala continentale è innegabile come dimostrato dall'oltre 50% rispetto alla produzione globale del 2000, arrivato anche al picco del 53,6% nel 2007, diventato poi 37% lo scorso anno a seguito di una progressiva discesa che, dal 2017 in avanti, ha visto un calo costante sempre nell'intorno dei due punti percentuali.
Protagonisti dell'attuale periodo di transizione energetica risultano i diversi settori emergenti, primo tra tutti appunto quello civile. Gli edifici risultano, infatti, responsabili per il 40% del consumo energetico (e per il 36% delle emissioni di gas serra): l'80% dell'energia utilizzata è associata alla climatizzazione e alla produzione di acqua calda sanitaria. ln Italia, se da un lato il patrimonio edilizio, sia pubblico che privato, risulta notevolmente energivoro, dall'altro, le industrie sono già pronte da tempo per questo passo, come riportato dall'articolo citato sopra, per contribuire ad arrestare il cambiamento climatico.
Negli ultimi dieci anni, inoltre, lo sviluppo tecnologico di materiali e di sistemi più efficienti ha dato via ad un'importante innovazione che ha contribuito alla realizzazione di edifici che adempiono ai requisiti minimi definiti dalla legislazione corrente, fino ad arrivare a quelli più performanti come gli NZEB "Nearly Zero Energy Building".

Il patrimonio edilizio nazionale è estremamente variegato e, se andiamo a mapparne la dotazione impiantistica, vediamo che, delle oltre 19 milioni di caldaie installate nel nostro Paese, una buona fetta è più vecchia di 15 anni e pertanto caratterizzata da elevati consumi ed alte emissioni. Per dipiù la maggior parte degli edifici (circa il 35%) è stata costruita tra gli anni '60 e '70 e presenta caratteristiche dei sistemi di evacuazione dei fumi di cui spesso bisogna tenere conto nella sostituzione dell'impianto termico. Ulteriori considerazioni riguardano le nuove costruzioni, che rappresentano una percentuale minima rispetto allo stock esistente ed un percettibile incremento del potere di spesa delle famiglie dopo anni di crisi, che dovrebbe essere stimolato dal superbonus sul tema della riqualificazione, dovrebbe dare un forte contributo.
Infatti, essendo lo stock nazionale composto principalmente da vecchie abitazioni, riqualificarle mediante tutti i sistemi spiegati nel corso della tesi, contribuirebbe ad abbattere fortemente il valore energivoro di questo settore in Italia.
La legislazione tecnica europea e nazionale pone diversi obiettivi e assegna strumenti diversi a seconda che si consideri la progettazione di un nuovo edificio, la riqualificazione più o meno pesante di uno esistente o la semplice sostituzione dell'impianto termico. Ad oggi l'Italia è uno dei Paesi in Europa che può beneficiare del maggior numero d'incentivi per la sostituzione dell'impianto di riscaldamento e che ha fissato degli standard costruttivi di buon livello per quanto riguarda il contenimento dei consumi e l'integrazione con fonti rinnovabili delle nuove costruzioni.

Nel 2014, dopo qualche anno dalla pubblicazione della Roadmap di decarbonizzazione da parte della Commissione Europea, il Consiglio Europeo, ha definito i target al 2030, in materia di emissioni di gas serra, fonti rinnovabili ed efficienza energetica, con l'obiettivo di costruire un'Unione dell'Energia in grado di assicurare un'energia sicura, sostenibile ed economicamente accessibile. Le proposte legislative della Commissione Europea sulla riduzione dei gas a effetto serra nei settori ETS (termoelettrico, raffinazione,

produzione di cemento, acciaio, carta, ceramica, vetro) e non ETS (trasporto, edilizia, servizi, agricoltura, rifiuti, piccoli impianti industriali) sono state completate a Novembre 2016 con la presentazione del Clean Energy Package.
L'obiettivo dell'UE è quello di ridurre fortemente le emissioni di CO_2, per almeno il 40% (rispetto ai valori del 1990), entro il 2030 per giungere alla quasi completa decarbonizzazione nel 2050.
In figura riportiamo parte delle tematiche di interesse trattate.

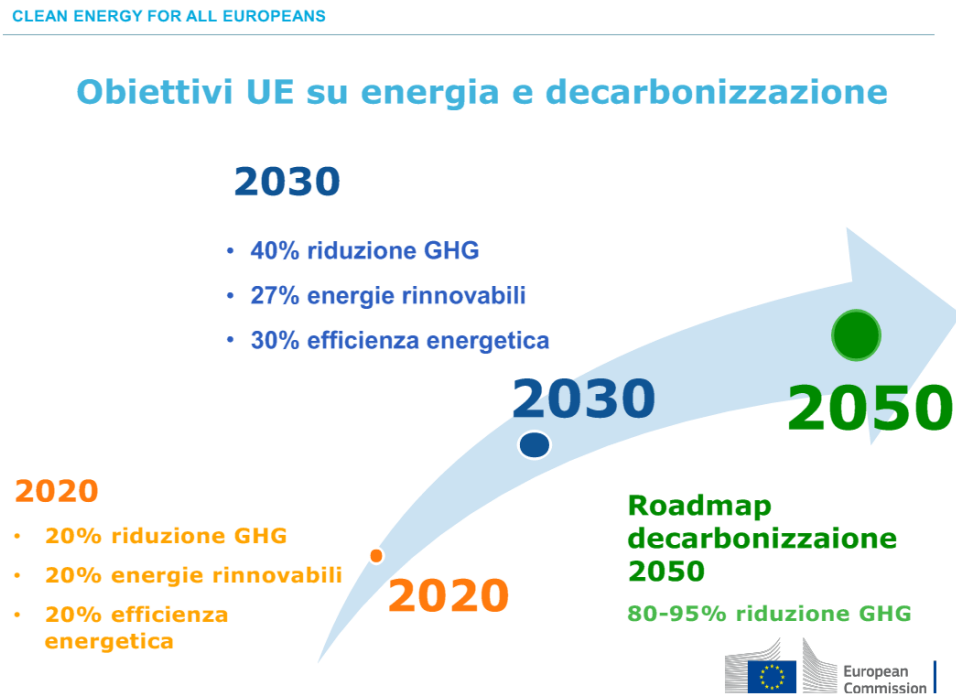


Figura 70-Roadmap Clean Energy Package

Il Clean Energy Package rappresenta un pacchetto di misure attraverso il quale la Commissione Europea intende mantenere per l'Unione Europea il ruolo di leader mondiale nel processo di decarbonizzazione: tali misure mirano ad accelerare l'innovazione in materia di energia pulita, rinnovare il patrimonio edilizio europeo, incoraggiare gli investimenti pubblici e privati.

Per quanto riguarda, in particolare il tema da noi trattato è da considerare la revisione della Direttiva 2010/31/UE «EPBD – Energy Performance Buildings Directive» che ora è stata ancora perfezionata.
La presente proposta conferisce al settore edilizio un ruolo protagonista da monitorare e migliorare costantemente, essendo esso tra i più impattanti in Europa: circa il 75% degli edifici risulta, infatti, energeticamente inefficiente e la percentuale di ristrutturazione del parco immobiliare è modestissima, tra lo 0,4 e l'1,2% ogni anno, a seconda dello stato membro.
Per accelerare la ristrutturazione energetica degli edifici esistenti la presente direttiva: indica le strategie di ristrutturazione degli immobili nell'ambito del processo di decarbonizzazione del parco immobiliare all'orizzonte 2050, incoraggia l'uso delle tecnologie intelligenti per la diffusione di edifici sensibili, introduce sistemi di automazione e controllo in alternativa alle ispezioni fisiche (soprattutto per quegli edifici con dimensioni atte a garantire un ammortamento in meno di 3 anni), incoraggia la diffusione delle infrastrutture necessarie all'elettromobilità (soprattutto per i grandi immobili commerciali).
Nella direttiva 2009/28/CE «RED Renewable Energies Directive» in riferimento al settore di nostro interesse, l'articolo 23 mira a sfruttare le potenzialità delle energie rinnovabili nel settore del riscaldamento e del raffrescamento: gli stati membri, infatti, dovranno conseguire un incremento annuo del 1% per la quota di energia da fonti rinnovabili per il riscaldamento e raffrescamento, come vediamo quindi il tema del settore civile essendo una componente essenziale è preso molto spesso in considerazione in tutte le campagne volte al raggiungimento di una situazione sostenibile.

Queste campagne che si traducono in termini pratici in direttive internazionali e/o nazionali sono in continua evoluzione o comunque vengono aggiornate e monitorate solitamente ogni biennio e possiamo dire che hanno un antenato comune da cui esse si sono sviluppate seguendo diversificati cordoni tematici (come, ad esempio, quello dell'edilizia o dei trasporti o delle industrie): il Protocollo di Kyoto.
La riduzione delle emissioni dei gas serra è regolata da una serie di accordi internazionali (nonostante essi non siano ratificati da ogni paese ma comunque dalla maggior parte) dei quali il primo è stato appunto il sopra citato protocollo il quale è un trattato internazionale in materia ambientale riguardante il surriscaldamento globale, pubblicato l'11 dicembre 1997 nell'omonima città giapponese da più di 180 Paesi in occasione della Conferenza delle Parti "COP3" della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC). Il trattato è entrato in vigore il 16 febbraio 2005 dopo la ratifica da parte della Russia. Nel maggio 2013 gli Stati che hanno aderito e ratificato il protocollo sono 192. Con l'accordo di Doha, l'estensione del protocollo fu prolungata dal 2012 al 2020, con ulteriori obiettivi di taglio delle emissioni serra.
A questo ne sono seguiti altri tra cui ricordiamo il più importante ossia l'accordo di Parigi siglato tra gli stati membri della UNFCCC, riguardo alla riduzione di emissione di gas serra e alla finanza a partire dall'anno 2020.
Il contenuto dell'accordo è stato negoziato dai rappresentanti di 196 stati alla XXI Conferenza delle Parti dell'UNFCCC a Le Bourget, vicino Parigi e sottoscritto il 12 dicembre 2015. Nel novembre 2018, 195 membri dell'UNFCCC hanno firmato l'accordo e 184 hanno deciso di farne parte. L'obiettivo di lungo periodo dell'Accordo di Parigi è quello di contenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto della soglia di 2 °C oltre i livelli preindustriali, e di limitare tale incremento a 1.5 °C, poiché questo ridurrebbe sostanzialmente i rischi e gli effetti dei cambiamenti climatici. L'UE e i suoi Stati membri sono tra le 190 parti dell'accordo di Parigi. L'UE ha formalmente ratificato l'accordo il 5 ottobre 2016, consentendo in tal modo la sua entrata in vigore il 4 novembre 2016. Affinché l'accordo entrasse in vigore, almeno 55 paesi che rappresentano almeno il 55% delle emissioni globali hanno dovuto depositare i loro strumenti di ratifica. I governi hanno concordato di riunirsi ogni 5 anni per valutare i progressi collettivi verso gli obiettivi a lungo termine e informare le parti affinché aggiornino e migliorino i loro contributi determinati a livello nazionale, riferire agli altri Stati membri e all'opinione pubblica cosa stanno facendo per realizzare l'azione per il clima ed infine segnalare i progressi compiuti verso gli impegni assunti con l'accordo attraverso un solido sistema basato sulla trasparenza e la responsabilità.

Focalizzandoci infine su ciò che di più recente, ossia sull'UE e su quello che è il suo cosiddetto Green Deal, nel settembre 2020 la Commissione ha proposto di elevare l'obiettivo della riduzione delle emissioni di gas serra per il 2030, compresi emissioni e assorbimenti, ad almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990, come riportato in precedenza. Si sono prese in considerazione tutte le azioni necessarie in tutti i settori, compresi un aumento dell'efficienza energetica e dell'energia da fonti rinnovabili e sarà fatto in modo che per metà del 2021 queste azioni possano essere intraprese definitivamente.
Ciò consentirà all'UE di rispettare gli impegni assunti nel quadro dell'accordo di Parigi aggiornando il suo contributo determinato a livello nazionale.
Il quadro 2030 per il clima e l'energia comprende traguardi e obiettivi strategici a livello dell'UE per il periodo dal 2021 al 2030:

- una riduzione almeno del 40% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990)
- una quota almeno del 32% di energia rinnovabile
- un miglioramento almeno del 32,5% dell'efficienza energetica.

Tutti e tre gli atti legislativi riguardanti il clima verranno aggiornati allo scopo di mettere in atto la proposta di portare l'obiettivo della riduzione netta delle emissioni di gas serra ad almeno il 55%.
L'UE ha adottato norme integrate di monitoraggio e comunicazione per garantire il progresso verso il conseguimento dei suoi obiettivi in materia di clima ed energia per il 2030 e dei suoi impegni internazionali nel quadro dell'accordo di Parigi.
Gli Stati membri sono tenuti a elaborare strategie nazionali a lungo termine e a garantire la coerenza tra tali strategie e i rispettivi piani nazionali per l'energia e il clima.

Altrettanto importanti e anche parte integrante di molte direttive sono e saranno le misure di formazione e informazione dei cittadini su quel che si sta facendo per tutelare l'ambiente e lo sviluppo ecosostenibile,

rendendoli partecipi e facendo si che diventino anch'essi componente attiva. In quest'ottica l'esperienza di altri settori ci ha dimostrato come, già solo, per quanto banale possa sembrare, l'etichettatura energetica sia uno strumento largamente conosciuto dal consumatore e utilizzato per la scelta del bene da acquistare.
L'avvio di un progetto di etichettatura energetica si sta rivelando molto utile per servire da stimolo ed invogliare il cittadino all'acquisto dei nuovi sistemi tecnologici a seconda degli obiettivi che si intendono perseguire, ove vi sono le potenzialità più alte di contenere gli agenti climalteranti, evitare sprechi e fare efficienza.
Negli ultimi anni una sempre più grande fetta della popolazione sta prendendo a cuore questo tema che si può conseguire solo con lo sforzo di tutti, ovviamente col supporto della tecnologia e quindi una sempre crescente efficienza energetica.

Volevo concludere questa tesi con uno "statement", forse banale, ma che sintetizza in maniera elementare ciò che il Politecnico mi ha permesso di imparare, in maniera leggermente più approfondita (viva l'ironia!) nel corso di questi anni di studi.
Efficienza energetica e utilizzo delle fonti rinnovabili: consumiamo meno e meglio e produciamo l'energia che è il motore di tutto sfruttando fonti pulita e rinnovabile.
Chissà che tra qualche anno un bimbo non disegni una casa con una grossa canna fumaria da cui uscirà del fumo grigio, ma al suo posto un edificio compatto, con un giusto rapporto S/V, pavimenti radianti, pompa di calore e pannelli solari e fotovoltaici per coprirne il fabbisogno!
Forse ci abbiamo messo troppo, ma ora finalmente la strada intrapresa sembra proprio quella giusta, meglio tardi che mai!

ALLEGATI SCENARI PROPOSTI

STATO DI FATTO R-8 A

STRUTTURE OPACHE		Sup [m2]
	Parete esterna	1237,65
	Parete su ZNR	521,93
	Pavimento su cantina	2945,98
	Tetto	1961,05
	Tetto a terrazzo	192,6
	Copertura civile inclinata	621,45
	SUPERFICIE TOTALE	7480,66

COMPONENTI FINESTRATI	Sup [m2]
Parti comuni	
Ingresso principale	18,5
Secondo ingresso	12,95
Fronte primo ingresso I	8,4
Fronte secondo ingresso I	10,5
Oblò	16
Portafinestre estremi corridoio	9,6
SUPERFICIE TOTALE	75,95
Parti private	
SUPERFICIE TOTALE	1114,1

Superficie utile da riscaldare	4592,4
Superficie disperdente	8670,71
$EP_{gl,ren}$ [KWh/m^2 anno]	268,68
S/V	0,53
CLASSE ENERGETICA G	

Edificio con + di 8 unità	Rientro a unità	RIENTRO TOTALE
95	30000	2.850.000,00 €

SCENARIO 1 : COIBENTAZIONI ORIZZONTALI, COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE, INFISSI

COIBENTAZIONI ORIZZONTALI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Pavimento su cantina	2945,98	382.977,00 €
Tetto	1961,05	451.041,00 €
Tetto a terrazzo	192,6	44.298,00 €
Copertura civile inclinata	621,45	142.933,00 €
SUPERFICIE TOTALE	5721,08	
COSTO TOTALE	1.021.249,00 €	

COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Parete esterna	214,45	32.167,00 €
Parete su ZNR	521,93	78.289,00 €
SUPERFICIE TOTALE	736,38	
COSTO TOTALE	110.456,00 €	

SUPERFICIE TOTALE INTERVENTO	6533,41
COSTO TOTALE INTERVENTO	1.181.072,00 €
$EP_{gl,ren}$ [KWh/m^2 anno]	118,85 CLASSE ENERGETICA D

INFISSI PARTI COMUNI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Ingresso principale	18,5	12.025,00 €
Secondo ingresso	12,95	8.417,00 €
Fronte primo ingresso I	8,4	5.460,00 €
Fronte secondo ingresso I	10,5	6.825,00 €
Oblò	16	10.400,00 €
Portafinestre estremi corridoio	9,6	6.240,00 €
SUPERFICIE TOTALE	75,95	
COSTO TOTALE	49.367,00 €	

SCENARIO 1 BIS: COIBENTAZIONI ORIZZONTALI, COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE, INFISSI + SOLARE ACS

COIBENTAZIONI ORIZZONTALI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Pavimento su cantina	2945,98	382.977,00 €
Tetto	1961,05	451.041,00 €
Tetto a terrazzo	192,6	44.298,00 €
Copertura civile inclinat	621,45	142.933,00 €
SUPERFICIE TOTALE	5721,08	
COSTO TOTALE	1.021.249,00 €	

SOLARE TERMICO		
accumulo	Collettori	% copertura
6500 L	45 tubi sottovuoto bosch	69,7

COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Parete esterna	214,45	32.167,00 €
Parete su ZNR	521,93	78.289,00 €
SUPERFICIE TOTALE	736,38	
COSTO TOTALE	110.456,00 €	

SUPERFICIE TOTALE INTERVENTO	6533,41
COSTO TOTALE INTERVENTO	1.181.072,00 €

$EP_{gl,nren}$ [KWh/m^2 anno]	106,09	CLASSE ENERGETICA C

INFISSI PARTI COMUNI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Ingresso principale	18,5	12.025,00 €
Secondo ingresso	12,95	8.417,00 €
Fronte primo ingres	8,4	5.460,00 €
Fronte secondo ingr	10,5	6.825,00 €
Oblò	16	10.400,00 €
Portafinestre estrer	9,6	6.240,00 €
SUPERFICIE TOTALE	75,95	
COSTO TOTALE	49.367,00 €	

SCENARIO 2 : COIBENTAZIONI ORIZZONTALI, COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE+LUNGHE, INFISSI

COIBENTAZIONI ORIZZONTALI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Pavimento su cantina	2945,98	382.977,00 €
Tetto	1961,05	451.041,00 €
Tetto a terrazzo	192,6	44.298,00 €
Copertura civile inclinata	621,45	142.933,00 €
SUPERFICIE TOTALE	5721,08	
COSTO TOTALE	1.021.249,00 €	

COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Parete esterna	1237,65	185.647,00 €
Parete su ZNR	521,93	78.289,00 €
SUPERFICIE TOTALE	1759,58	
COSTO TOTALE	263.936,00 €	

SUPERFICIE TOTALE INTERVENTO	7556,61
COSTO TOTALE INTERVENTO	1.334.552,00 €

$EP_{gl,nren}$ [KWh/m^2 anno]	108,78	CLASSE ENERGETICA C

INFISSI PARTI COMUNI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Ingresso principale	18,5	12.025,00 €
Secondo ingresso	12,95	8.417,00 €
Fronte primo ingresso I	8,4	5.460,00 €
Fronte secondo ingresso I	10,5	6.825,00 €
Oblò	16	10.400,00 €
Portafinestre estremi corridoio	9,6	6.240,00 €
SUPERFICIE TOTALE	75,95	
COSTO TOTALE	49.367,00 €	

SCENARIO 2 BIS : COIBENTAZIONI ORIZZONTALI, COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE+LUNGHE, INFISSI + SOLARE ACS

COIBENTAZIONI ORIZZONTALI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Pavimento su cantina	2945,98	382.977,00 €
Tetto	1961,05	451.041,00 €
Tetto a terrazzo	192,6	44.298,00 €
Copertura civile inclinat	621,45	142.933,00 €
SUPERFICIE TOTALE	5721,08	
COSTO TOTALE	1.021.249,00 €	

COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Parete esterna	1237,65	185.647,00 €
Parete su ZNR	521,93	78.289,00 €
SUPERFICIE TOTALE	1759,58	
COSTO TOTALE	263.936,00 €	

SUPERFICIE TOTALE INTERVENTO	7556,61
COSTO TOTALE INTERVENTO	1.334.552,00 €

INFISSI PARTI COMUNI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Ingresso principale	18,5	12.025,00 €
Secondo ingresso	12,95	8.417,00 €
Fronte primo ingres	8,4	5.460,00 €
Fronte secondo ingr	10,5	6.825,00 €
Oblò	16	10.400,00 €
Portafinestre estrer	9,6	6.240,00 €
SUPERFICIE TOTALE	75,95	
COSTO TOTALE	49.367,00 €	

SOLARE TERMICO		
accumulo	Collettori	% copertura
6500 L	45 tubi sottovuoto bosch	69,7

$EP_{gl,nren}$ [KWh/m^2 anno]	96,2	CLASSE ENERGETICA C

STATO DI FATTO R-8 B

STRUTTURE OPACHE		Sup [m2]	COMPONENTI FINESTRATI	Sup [m2]	Superficie utile da riscaldare	1916,21
	Parete esterna	632,55	*Parti comuni*		Superficie disperdente	3494,67
	Parete su ZNR	224,88				
	Parete controterra	43,23	Portafinestre estremi corridoio	9,2	$EP_{gl,ren}$ [KWh/m^2 anno]	275,25
	Pavimento su cantina	607,5			S/V	0,56
	Pavimento su terreno	453,3				
	Tetto	958,08				*CLASSE ENERGETICA F*
	Copertura a falda 30	42,25				
	Copertura verso intercap.	64,2	SUPERFICIE TOTALE	9,2		
	Copertura piana??	11,73				
	SUPERFICIE TOTALE	3037,72	*Parti private*			
			SUPERFICIE TOTALE	447,75		

Edificio con + di 8 unità	Rientro a unità	RIENTRO TOTALE
34	30000	1.020.000,00 €

SCENARIO 1 : COIBENTAZIONI ORIZZONTALI, COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE, INFISSI

COIBENTAZIONI ORIZZONTALI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Pavimento su cantina	607,5	78.975,00 €
Tetto	958,08	220.358,00 €
Copertura a falda 30	42,25	9.719,00 €
Copertura piana??	11,73	2.698,00 €
SUPERFICIE TOTALE	1619,56	
COSTO TOTALE	311.750,00 €	

COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Parete esterna	210,26	31.539,00 €
Parete su ZNR	224,88	33.732,00 €
SUPERFICIE TOTALE	435,14	
COSTO TOTALE	65.271,00 €	

INFISSI PARTI COMUNI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Portafinestre estremi corridoio	9,2	5.980,00 €
SUPERFICIE TOTALE	9,2	
COSTO TOTALE	5.980,00 €	

SUPERFICIE TOTALE INTERVENTO	2063,9	
COSTO TOTALE INTERVENTO	383.001,00 €	
$EP_{gl,ren}$ [KWh/m^2 anno]	128,43	CLASSE ENERGETICA D

SCENARIO 1 BIS : COIBENTAZIONI ORIZZONTALI, COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE, INFISSI + SOLARE ACS

COIBENTAZIONI ORIZZONTALI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Pavimento s	607,5	78.975,00 €
Tetto	958,08	220.358,00 €
Copertura a	42,25	9.719,00 €
Copertura pi	11,73	2.698,00 €
SUPERFICIE T	1619,56	
COSTO TOTA	311.750,00 €	

SOLARE TERMICO

accumulo	Collettori	% copertura
3000 L	20 tubi sottovuoto bosch	69,7

COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Parete esterna	210,26	31.539,00 €
Parete su ZNR	224,88	33.732,00 €
SUPERFICIE TOTALE	435,14	
COSTO TOTALE	65.271,00 €	

SUPERFICIE TOTALE INTERVENTO	2063,9
COSTO TOTALE INTERVENTO	383.001,00 €

$EP_{gl,ren}$ [KWh/m^2 anno] 114,93 CLASSE ENERGETICA C

INFISSI PARTI COMUNI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Portafinestre	9,2	5.980,00 €
SUPERFICIE T	9,2	
COSTO TOTA	5.980,00 €	

SCENARIO 2 : COIBENTAZIONI ORIZZONTALI, COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE+LUNGHE, INFISSI

COIBENTAZIONI ORIZZONTALI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Pavimento su cantina	607,5	78.975,00 €
Tetto	958,08	220.358,00 €
Copertura a falda 30	42,25	9.719,00 €
Copertura piana??	11,73	2.698,00 €
SUPERFICIE TOTALE	1619,56	
COSTO TOTALE	311.750,00 €	

COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Parete esterna	632,55	94.882,00 €
Parete su ZNR	224,88	33.732,00 €
SUPERFICIE TOTALE	857,43	
COSTO TOTALE	128.614,00 €	

SUPERFICIE TOTALE INTERVENTO	2486,19
COSTO TOTALE INTERVENTO	446.344,00 €

$EP_{gl,ren}$ [KWh/m^2 anno] 117,03 CLASSE ENERGETICA C

INFISSI PARTI COMUNI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Portafinestre estremi corridoio	9,2	5.980,00 €
SUPERFICIE TOTALE	9,2	
COSTO TOTALE	5.980,00 €	

SCENARIO 2 BIS : COIBENTAZIONI ORIZZONTALI, COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE+LUNGHE, INFISSI + SOLARE ACS

COIBENTAZIONI ORIZZONTALI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Pavimento s	607,5	78.975,00 €
Tetto	958,08	220.358,00 €
Copertura a	42,25	9.719,00 €
Copertura pi	11,73	2.698,00 €
SUPERFICIE T	1619,56	
COSTO TOTA	311.750,00 €	

COIBENTAZIONI VERTICALI CORTE

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Parete esterna	632,55	94.882,00 €
Parete su ZNR	224,88	33.732,00 €
SUPERFICIE TOTALE	857,43	
COSTO TOTALE	128.614,00 €	

INFISSI PARTI COMUNI

TIPO	Sup [m2]	COSTO
Portafinestre	9,2	5.980,00 €
SUPERFICIE T	9,2	
COSTO TOTA	5.980,00 €	

SUPERFICIE TOTALE INTERVENTO	2486,19
COSTO TOTALE INTERVENTO	446.344,00 €

SOLARE TERMICO

accumulo	Collettori	% copertura
3000 L	20 tubi sottovuoto bosch	69,7

$EP_{gl,ren}$ [KWh/m^2 anno]	103,53	CLASSE ENERGETICA C

Bibliografia

Decreto Crescita, D.L., 2019

Decreto rilancio, D.L., 2020

CAPOZZOLI A., GORRINO A., *Caratterizzazione energetica e tecnologie costruttive dell'involucro edilizio*, Forte chance Piemonte, 2010

CORRADO V., FABRIZIO E., *Fondamenti di termofisica dell'edificio e climatizzazione,* Torino, 2014

GIARETTO V., *Lezioni di termodinamica applicata e trasmissione del calore*, Torino, 2014

COMINI G., CROCE G., SAVINO S., *Energetica generale, V edizione*, Padova 2011

AGNOLI S., ZINZI M., *Involucro trasparente ed efficienza energetica. Tecnologie, prestazioni e controllo ambientale, I edizione,* Dario Flavicco Editore, Palermo, 2013

Appunti delle lezioni del corso di "Energetica dell'edificio", prof. CAPOZZOLI A.

Appunti e slides delle lezioni del corso di "Thermal design and optimization", prof. LEONE

Appunti e slides delle lezioni del corso di "Technology for renewable energy sources", prof. SIMONETTI

Appunti e slides delle lezioni del corso di "Geothermal energy", prof. Lo RUSSO

Appunti e slides delle lezioni del corso di "Fisica tecnica e ambientale", prof. ISETTI, Unige

Manuale Assotermica*, La transizione energetica e il ruolo del sistema ibrido*

Il risparmio energetico e la certificazione energetica degli edifici, italy.ediltec.com/it/note-tecniche/il-risparmio-energetico-e-la-certificazione-energetica-degli-edifici

Rete di professionisti, www.la-certificazione-energetica.net

Portale verticale dedicato al risparmio energetico e alle fonti rinnovabili in edilizia, www.infobuildenergia.it/approfondimenti/inerzia-termica-perche-importante/; www.infobuildenergia.it/approfondimenti/attestato-di-prestazione-energetica-definizione-normativa-e-costi/

Portale dedicato all'edilizia, www.infobuild.it/approfondimenti/intervenire-sullesistente-come-isolare-le-coperture/#Tetto-falda-caldo-isolare-esterno; www.infobuild.it/approfondimenti/intervenire-sullesistente-come-isolare-le-coperture/#Tetto-piano-tetto-rovescio-tetto-caldo

Blog, mygreenbuildings.org/2009/07/27/trasmittanza-termica-periodica-foglio-di-calcolo-excel-per-calcolare-le-proprieta-termiche-dinamiche-di-un-componente-edilizio.html; www.mygreenbuildings.org/2008/11/11/inerzia-termica-iniziamo-a-parlarne.html

Portale web dedicato al settore dell'isolamento Termico/Acustico, www.isolportale.com/ponte-termico-cosa-e-come-risolvere-ed-eliminarlo/

Portale riguardo energia, www.consulente-energia.com/sa-isolamento-termico-pavimento-esistente-nuovo-isolare-piano-terra-garage-interno-esterno-solaio-poliuretano-costo-prezzi.html

Ministero dello sviluppo economico, www.mise.gov.it

Info data, il sole 24 ore, https://www.infodata.ilsole24ore.com/2021/02/14/europa-le-energie-rinnovabili-superato-la-volta-le-fossili/

Green deal, accordi di Parigi, agenda 2030, https://ec.europa.eu/

Protocollo di Kyoto, https://it.wikipedia.org/wiki/Protocollo_di_Kyoto

Ringraziamenti

A conclusione di questo elaborato, desidero menzionare tutte le persone, senza le quali questo lavoro di tesi non esisterebbe nemmeno.
Ringrazio il mio relatore, il Professor Masoero che in questi mesi di lavoro ha saputo guidarmi nelle ricerche e nella stesura dell'elaborato ed è stato sempre puntualmente disponibile, in un momento in cui come tutti sappiamo non è così facile esserlo. Allo stesso tempo desidero ringraziare tutte le persone dello studio Nosmet a capo dell'Ing. Aiassa presso il quale ho svolto la mia tesi e che mi hanno indirizzato verso il mondo del lavoro.
Ringrazio di cuore i miei genitori e i miei nonni per avermi sempre sostenuto, anche nei momenti più difficili e per avermi permesso di portare a termine gli studi universitari.
Alcuni l'hanno potuto fare da vicino ed altri da lontano e sono sicuro di averli resi orgogliosi di me.
Un grande ringraziamento va a tutti i miei amici, quelli di una vita e quelli conosciuti durante il mio percorso universitario che sono stati sempre presenti e mi hanno aiutato a staccare quando serviva farlo addolcendo questo percorso che non è sempre stato rose e fiori.
Infine, vorrei dedicare questo traguardo a me stesso, che non ho mai perso di vista l'obiettivo che ora ho finalmente raggiunto. Che possa essere per me l'inizio di una lunga e brillante carriera professionale.