

7

RELAZIONE IMPIANTISTICA

INTRODUZIONE E LINEE GUIDA DELLA CERTIFICAZIONE ENERGETICA

Le Linee guida per la certificazione energetica sono finalizzate a garantire la promozione di adeguati livelli di qualità dei servizi di certificazione, assicurare la fruibilità, la diffusione e una crescente comparabilità delle certificazioni energetiche sull'intero territorio nazionale in conformità alla direttiva 2002/91/CE, promuovendo altresì la tutela degli interessi degli utenti.

Il decreto¹ definisce quindi le *linee guida nazionali* per la certificazione energetica degli edifici e gli strumenti di raccordo, concertazione e cooperazione tra lo Stato e le regioni.

Le soluzioni progettuali adottate attualmente possono assicurare un soddisfacente benessere ambientale all'interno degli edifici, cercando di ridurre d'estate gli apporti solari, promuovendo misure di dispersione del calore e d'inverno adottando strategie di controllo climatico che favoriscano i guadagni solari e limitino le dispersioni di calore. Alla base della progettazione del comfort è importante l'analisi di alcuni parametri come la temperatura dell'aria interna del locale e delle pareti stesse, oppure delle caratteristiche specifiche del sito, ad esempio ombre proiettate dagli edifici circostanti o dagli oggetti sulle superfici vetrate.

Le recenti Direttive Europee, 2002/91/CE e 2006/32/CE, alla base della certificazione energetica, hanno i seguenti obiettivi:

- diminuire del 22% i consumi energetici comunitari entro il 2010
- ottenere un risparmio di energia primaria
- ridurre le emissioni di CO₂
- introdurre nuovi standard progettuali

Le Linee guida forniscono informazioni chiare sulla qualità energetica degli immobili e sugli strumenti che consentono di valutare la convenienza economica, infine considera la prestazione energetica degli edifici nelle operazioni di acquisto e di locazione di immobili.

Il provvedimento contiene chiarimenti circa l'attestato di certificazione energetica (ACE) del quale dovranno essere dotati tutti gli edifici oggetto di compravendita, di nuova costruzione e quelli soggetti a ristrutturazione.

La 2006/32/CE (recepita in Italia dal D.Lgs. 115/2008) ha l'obiettivo di migliorare l'efficienza degli usi finali di energia sotto il profilo costi/benefici negli stati membri, riducendo i consumi del 9%.

¹ Il DM del 26 giugno 2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici" definisce le procedure applicative della certificazione energetica degli edifici, in attuazione dell'articolo 6, comma 9 e dell'articolo 5, comma 1 del Decreto Legislativo 192/2005. Le linee guida hanno l'obiettivo di contribuire ad una applicazione omogenea della certificazione energetica degli edifici a livello nazionale, coerente con la direttiva 2002/91/CE e con i principi desumibili dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192.

Le direttive richiedono agli stati membri di provvedere affinché gli edifici di nuova costruzione e quelli esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti, soddisfino requisiti minimi di rendimento energetico, monitorando *“la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell’edificio, compresi, fra gli altri, il riscaldamento e il raffrescamento”*.

La *prestazione energetica* di un edificio esprime così la quantità di energia effettivamente consumata, o che si prevede possa essere necessaria, per soddisfare i vari bisogni connessi all’ uso dell’edificio. L’obiettivo base è migliorare la trasparenza del mercato immobiliare fornendo agli acquirenti ed ai locatari di immobili un’informazione oggettiva e trasparente delle caratteristiche e delle spese energetiche dell’immobile, rendendo noto ai proprietari degli immobili, il costo energetico relativo al proprio *“sistema edilizio”*, in modo da incoraggiare gli interventi migliorativi della propria abitazione. La particolare attenzione posta alla certificazione energetica degli edifici, è stata introdotta in Italia dalla Legge 10/91, mai attivata per assenza di regole tecniche di attuazione.

L’Attestato di Certificazione Energetica deve essere messo a disposizione in fase di costruzione, compravendita o locazione di un edificio e in esso devono essere riportati *“dati di riferimento che consentano ai consumatori di valutare e raffrontare il rendimento energetico dell’edificio”* e *“raccomandazioni per il miglioramento del rendimento energetico in termini di costi-benefici”*.

7.1. DESCRIZIONE DELL’EDIFICIO A TORRE, CATEGORIA NON RESIDENZIALE ED INTRODUZIONE ALL’INVOLUCRO EDILIZIO

L’edificio oggetto di studio si sviluppa su sette piani fuori terra ed uno interrato, di cui: piano terra adibito a punto di raccolta per i visitatori ed info-point, un primo piano soppalcato con area emeroteca, un terzo livello ospita una sala espositiva, il quarto dedicato ad aula proiezioni, il quinto piano rispecchia le caratteristiche del terzo, ed infine si giunge ai livelli a carattere pubblico e zona ristoro (il piano sesto è dedicato a spazio bar e il successivo a ristorante); un ultimo piano posto in copertura accoglie l’osservatorio sulla Valle Olona e la terrazza praticabile.

Al fine del calcolo della *prestazione energetica* del sistema *edificio-impianto* è stato considerato il volume nella sua completezza. Il perimetro esterno risulta formato da un involucro vetrato e gli spazi interni sono messi in comunicazione con un vano ascensore considerato non climatizzato. L’elemento della rampa interna che permette di raggiungere i vari piani non rientra nella volumetria riscaldata direttamente.

L’altezza netta dell’edificio oggetto di studio è di **27 m**, mentre quella lorda è stimata a **32 m**. La scelta progettuale è fortemente connessa ai canoni della tipologia tipica dei grandi spazi espositivi: ampi spazi da riscaldare, notevole affollamento delle sale progettate e vetrate perimetrali per illuminare costantemente gli ambienti. Il risultato che si andrà ad ottenere tramite il calcolo sarà legato all’analisi della **prestazione energetica** dell’edificio considerando la particolarità dell’**involucro**, che diviene l’elemento fondante del caso studio. Nella prima fase entrano in gioco le caratteristiche delle **unità tecnologiche** e degli elementi tecnici che morfologicamente e funzionalmente definiscono, interagendo a sistema, il limite tra l’ambiente interno (insieme di *elementi spaziali* che devono garantire il soddisfacimento delle *esigenze dell’utenza*) e l’ambiente esterno (contesto ambientale) di un organismo edilizio. Il crescente interesse alle problematiche ambientali già citate, ha fatto sì che l’involucro edilizio non venisse più considerato solo come l’elemento separatore tra interno ed esterno, ma come un’interfaccia in continua interazione con i fattori climatici esterni. L’efficienza dell’involucro è riscontrabile tramite la sua 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 e della qualità ambientale.

7.2. LE SUPERFICI E LA LORO FUNZIONE NEL CALCOLO

La descrizione dell'edificio viene completata grazie alla definizione delle relative superfici che concorrono alla discussione dei risultati ottenuti col foglio di calcolo; esse sono da ritenersi utili per la comprensione dei volumi e delle aree rispetto alle quali si sta operando, fornendo indicazioni preliminari sugli ipotetici consumi e dispersioni in funzione delle quali condurre scelte appropriate durante la progettazione.

A_L (lorda in pianta)	236,0	m^2
A (utile/calpestabile)	1295,6	m^2
A tot interna	2231,6	m^2
S (disperdente)	2649,4	m^2
V_L (lordo riscaldato)	7733,7	m^3
V (netto riscaldato)	4549,0	m^3

Specifichiamo:

A_L = il conteggio dell'area lorda in pianta è stato effettuato considerando la superficie delimitata dai muri perimetrali esterni, comprese le pareti interne e strutture.

A_U = si considera tutta l'area calpestabile interna al netto dei muri interni, pilastri e murature perimetrali e comprensiva delle soglie delle porte; essa fa riferimento ai locali climatizzati presi in esame e delineati precedentemente.

A_{TOT} = si considerano tutte le superfici interne disperdenti e non, (pareti, pavimenti e soffitti) ad esclusione di porte e finestre che delimitano il volume riscaldato.

S_{DISP} = è la superficie lorda espressa in metri quadrati che delimita verso l'esterno (o verso vani a temperatura non controllata) il volume riscaldato o climatizzato.

V_{LORDO} = è inteso come il V lordo delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano, il calcolo si affida al prodotto tra la superficie lorda totale di pavimento e l'altezza lorda dei locali comprensiva di solette. Nel calcolo delle superfici lorde riscaldate vanno escluse le superfici e il volume del corpo scale in quanto non sottoposte a climatizzazione, bensì andranno inserite sotto la voce "nessuna".

V_{NETTO} = calcolata in base al prodotto tra A_U riscaldata e l'altezza interna netta dei locali.

Per ambienti riscaldati si intendono quegli **ambienti a temperatura controllata** ovvero serviti da un impianto termico che consente di mantenere la temperatura interna sopra e/o sotto un dato valore.

7.3. ESPOSIZIONE SOLARE, VANTAGGI E SVANTAGGI

Nella progettazione di un edificio è fondamentale il suo posizionamento nello spazio, in modo tale che sia sfruttata al meglio la radiazione solare. La forma della costruzione deve essere tale da permettere l'ingresso della radiazione solare all'interno; se il lotto è orientato lungo l'asse est-ovest, sarà maggiore la superficie esterna esposta a sud, minimizzando i consumi per il riscaldamento durante l'inverno.

L'orientamento più vantaggioso risulta perciò quello verso sud, infatti al momento della progettazione è stato preferito questo asse espositivo per la facciata vetrata di maggior estensione. La preesistenza del fabbricato storico col quale la torre si rapporta presenta anch'essa la medesima esposizione, tanto da riproporre, secondo le linee guida della conservazione, il tema della veranda proprio su questo lato. Si precisa che rispetto agli orientamenti cardinali, il nord risulta ruotato verso est, di conseguenza gli orientamenti considerati faranno riferimento ai dati tabulati per questa variazione. La pianta quadrata dell'edificio, con involucro totalmente vetrato permette una notevole illuminazione interna, ma non consente di creare scenari di contrasto legati ad una possibile variazione di esposizione. La superficie esterna non presenta alcun tipo di aggetto e la schermatura è affidato ad un sistema di *brise-soleil mobili*. L'ombreggiamento delle ampie superfici vetrate è necessario per prevenire surriscaldamenti e riduce così i consumi per il raffrescamento artificiale degli ambienti contribuendo ad un parziale risparmio energetico. Le scelte attuate per la disposizione degli ombreggiamenti è stata valutata in base all'esposizione, preferendo un'intensificazione degli stessi sui lati S-E e S-O, mentre per i lati N-O e N-E sono state aumentate leggermente le distanze tra i singoli elementi. Le parti trasparenti esposte a nord-est ricevono radiazione diretta solo in alcune giornate d'estate e, in genere, non hanno bisogno di schermature ma per uniformità di prospetto sono stati posizionati in modo più rado; in inverno, la posizione del sole è bassa e la radiazione incide quasi perpendicolarmente, mentre in estate, quando la posizione del sole è alta, la facciata riceve invece meno apporti e le finestre sono più facilmente ombreggiabili tramite schermature orizzontali fisse (aggetti, balconi, gronde).

La tabella riporta chiaramente la suddivisione delle aree opache e trasparenti che compongono l'edificio.

Esposizione solare	N-O	S-E	N-E	S-O	orizzontale	nessuna
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
Superficie totale	493,5	562,3	506,0	501,1	236,0	350,5
Superficie trasparente	493,5	562,3	506,0	501,1	0,0	0,0
Superficie opaca	0,0	0,0	0,0	0,0	479,2	350,5

In particolare è bene specificare:

- **orizzontale**: fa riferimento alle superfici a contatto col terreno, a sbalzo verso l'esterno (con zona riscaldata al di sotto) e il tetto. In questo caso si fa riferimento all'area della copertura opaca.
- **nessuna**: assume i valori connessi alle superfici a diretto contatto con spazi non riscaldati come i vani scale e le superfici di copertura delle logge (caso in cui a livello superiore vi sia un ambiente riscaldato). Il valore in questo frangente indica lo spazio a contatto con il vano ascensore circolare.

Le superfici trasparenti di conseguenza sono assimilabili alle pareti esterne e i dati relativi alla componente opaca richiamano le aree inerenti alla copertura.

7.4. IL PACCHETTO TECNOLOGICO E L' IMPATTO SULLA TRASMITTANZA DELLE PARETI

Le prestazioni energetiche del pacchetto tecnologico indicano il comportamento, durante la vita utile, degli elementi costruttivi che costituiscono le "chiusure verticali" di un edificio, rispetto a sollecitazioni indotte da azioni termiche ed igrometriche esterne. Le prestazioni dell'involucro devono garantire il comfort termico degli spazi interni e, come abbiamo già citato, il contenimento dei consumi energetici mediante il soddisfacimento di alcuni requisiti prestazionali come il mantenimento della temperatura dell'aria negli spazi ad uso pubblico nelle stagioni di utilizzo degli impianti di riscaldamento entro i limiti di legge di 16 - 18 °C, e di condizioni di comfort termico negli ambienti interni nel periodo estivo attorno ai 26 °C. (La norma **UNI EN 12831** definisce dei valori di temperatura interna di progetto che variano in funzione della **destinazione d'uso degli ambienti** così come riportato di seguito: Grandi magazzini, supermercati, musei, gallerie **$t_i = 16^\circ\text{C}$**)

Dal punto di vista tecnologico devono garantire:

- Controllo dei fenomeni di condensa superficiale e interstiziale
- Controllo della combinazione "Temperatura - Umidità - Ventilazione"
- Resistenza termica e inerzia termica ai fini del risparmio energetico e del comfort ambientale interno.

Le prestazioni energetiche dell'intero organismo edilizio dipendono dall'efficienza dell'involucro, viceversa se le componenti di chiusura (verticali, orizzontali, trasparenti, opache) non sono state progettate e realizzate in maniera consona alle prestazioni energetiche che si vogliono ottenere per quell'edificio, le dispersioni dei flussi di calore passanti attraverso le stesse ne comprometteranno i consumi energetici finali. Le dispersioni termiche che avvengono sotto forma di calore, dipendono dalla differenza di temperatura tra la faccia interna ed esterna dell'involucro stesso, e dalla resistenza termica dei materiali dai quali è costituito l'involucro. I materiali che compongono un involucro offrono una resistenza al passaggio del calore, che varia in relazione allo spessore del materiale, ed inversamente alla sua capacità di trasmettere il calore, ovvero la **trasmissione**.

Componenti opachi	s	λ	R	U	correzione	UC
	m	W/(m*K)	m ² K/W	W/(m ² K)	--->	W/(m ² K)
Coperture				0,29		0,31
Pavimentazione	0,012	1,000	0,012			
Guiana impermeabilizzante	0,007	0,260	0,027			
Caldana	0,0600	0,130	0,462			
Pannello isolante	0,120	0,050	2,400			
Massetto in cls alleggerito	0,080	0,450	0,178			
Getto di completamento	0,050	1,750	0,029			
Lamiera grecata	0,001	0,120	0,008			
Controsoffitto	0,030	0,210	0,143			
	0,360		3,258			

F_{pt} (fattore correzione ponti termici) 5%

La tabella riportata ha come scopo il calcolo della *trasmissione unitaria* **U** che per definizione rappresenta il flusso di calore che nelle condizioni di regime stazionario passa da un ambiente ad un altro attraverso una parete per m^2 di superficie e per **K** vista come differenza tra le temperature dei due fluidi. La sua unità di misura è: **[W/m²K]**. Questa grandezza è stata introdotta appositamente per studiare lo scambio termico che si origina quando al fenomeno di *conduzione* attraverso la struttura fisica della parete opaca, si affiancano fenomeni di *convezione* e *irraggiamento* sulle due superfici di confine.

Per comprendere meglio i dati inseriti nella tabella è utile conoscere le caratteristiche dei materiali che vanno a delineare il nostro *involucro di copertura*.

La conduttività o conducibilità termica λ [W/m•K] di un materiale indica il flusso di calore che passa attraverso uno strato unitario di materiale in presenza di una differenza unitaria di temperatura tra le due facce opposte del materiale considerato; essa dipende dalla porosità (densità) del materiale.

La resistenza termica **R** [m²K/W] di una parete, rappresenta l'inverso della *trasmissione termica*, e sarà dunque data dalla somma delle differenti resistenze che il flusso di calore incontrerà lungo il percorso dall'elemento più caldo a quello più freddo.

L'isolamento introdotto nell'*involucro della copertura* rappresenta la soluzione più efficace per ridurre le dispersioni per *conduzione*, a condizione che venga posizionato correttamente nel pacchetto, così da poter sfruttare a pieno l'*inerzia termica* dei materiali, cioè la loro capacità di trattenere il calore e di rilasciarlo gradualmente nel tempo (isolamento esterno). Un edificio ad elevata inerzia termica contribuisce a mantenere più stabili le temperature, anche quando all'esterno si verificano grandi escursioni termiche.

Il pacchetto tecnologico considerato per le *coperture* è caratterizzato dalla presenza di un pannello isolante, il quale elemento concorre, con la sua bassa *conducibilità termica* a ridurre la *trasmissione totale* della copertura.

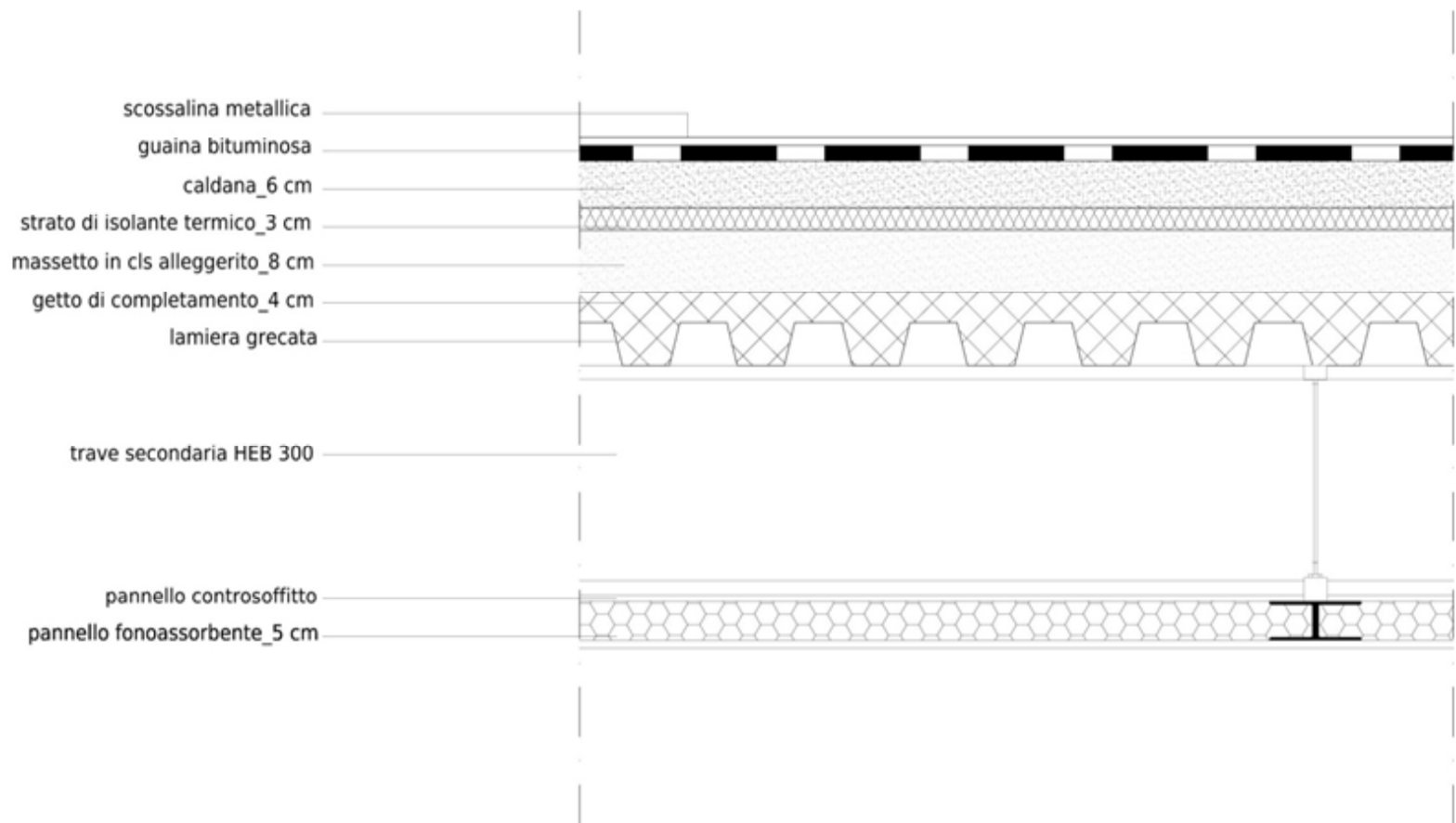
La trasmissione **U** è stata poi corretta grazie ad un fattore di riduzione dei ponti termici **F_{pt}** del 5%, portando così il risultato finale **U_c** ad un valore di poco superiore al precedente. Il fattore di correzione è stato adottato dal prospetto IV facendo riferimento allo schema per pareti opache sotto rappresentato. Si è scelto di assimilare la copertura ad una parete opaca con isolamento all'esterno (a cappotto), senza aggetti e balconi (essendo completamente esposto).

I ponti termici, in genere, si presentano a causa di giunzioni di forma e materiale diverso, ed essi possono rappresentare fino al 20% del calore totale disperso da un ambiente; la variazione dei flussi termici conduce ad una modifica della temperatura superficiale interna, con possibile formazione di condensa superficiale. Per le nuove costruzioni andrebbe evitato qualsiasi ponte termico, ma il dato estratto dalla tabella sottostante fa riferimento agli edifici esistenti in base alla natura della parete analizzata.

Descrizione della parete	F_{PT}
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e con ponti termici corretti	0,05
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti-balconi	0,15
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	0,05
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	0,10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	0,10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	0,20
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	0,30

Prospetto IV– Maggiorazioni percentuali relative alla presenza di ponti termici in edifici esistenti

(Fonte: UNI TS 11300-1:2008)



7.5. SCELTA DEL VETRO E DEL TELAIO, (PER LA RIDUZIONE DI TRASMITTANZE E PONTI TERMICI)

Il vetro è il materiale trasparente più comunemente usato e come la maggior parte dei materiali trasparenti ha una *bassa resistenza termica* e il fattore più importante nel loro effetto di barriera termica è rappresentato dalla separazione tra aria interna ed esterna. L'obiettivo è mantenere un'efficiente *trasmissione* dell'energia solare con la riduzione delle dispersioni di calore; le proprietà termiche e solari di un vetro singolo possono essere migliorate aggiungendo uno o più strati di vetro (così si migliorano le proprietà isolanti in quanto si creano strati di aria nell'intercapedine, anche se ciò riduce leggermente la trasmissione solare). L'intercapedine tra gli strati di materiale trasparente può essere riempita con gas, e possono essere aggiunte al vetro superfici selettive. I *gas pesanti* riducono le dispersioni di calore per convezione, mentre la *superficie selettiva*, trasparente alla radiazioni luminose, riflette la radiazione termica. La scelta di un vetro con capacità isolante è rappresentato dall'adozione di un **“vetro basso emissivo”** le cui capacità di isolamento si duplicano rispetto a quelle di un vetro normale.

I vantaggi sono molteplici. Il vetro è rivestito di uno speciale *coating metallico* “basso emissivo” depositato con processo fuori linea su una delle superfici. La funzione del coating è quella di riflettere l'energia emessa dai corpi scaldanti all'interno dell'edificio (elementi di riscaldamento, fonti di luce, persone) evitando la dispersione termica verso l'ambiente esterno. La trasparenza del vetro basso emissivo consente sempre il passaggio della radiazione solare che determina un guadagno termico dal punto di vista energetico oltre che un aspetto esterno perfettamente neutro.

Fattori di vantaggio:

- ottimizza il fattore isolante termico;
- riduce la spesa di riscaldamento climatizzazione;
- riduce l'eventualità di condensa;
- riduzione zone fredde;
- trasmissione luminosità elevata;
- bassa riflessione luminosa;
- alto guadagno solare;
- neutralità estetica.

La trasmittanza termica **U [W/(m²K)]** è il termine energetico che indica una misura della quantità di calore perso per metro quadro, in condizioni stazionarie, per effetto di una differenza di temperatura unitaria.

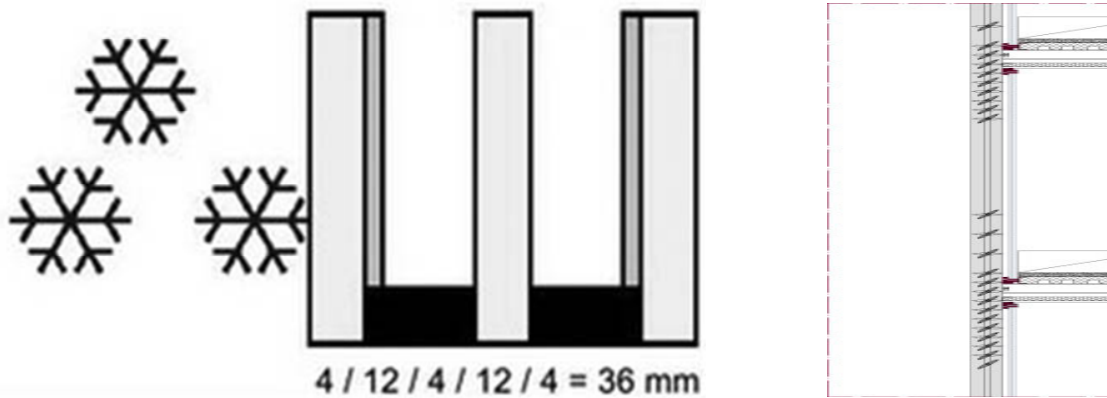
Il coefficiente di trasmittanza termica U, più precisamente è la quantità di calore che attraversa un mq di superficie vetrata in un secondo e con una differenza di temperatura tra interno ed esterno di 1 grado centigrado. Il valore rappresenta in concreto la misura di passaggio del calore, quanto più basso rimane questo valore tanto più piccole sono le perdite energetiche. Utilizzando, quindi, una vetrata comune (4-18-4) la trasmittanza termica risulta essere di valore $U=2.8W/m^2K$, mentre sempre per la stessa vetrata, ma con l'utilizzo di un vetro basso emissivo, la trasmittanza termica si riduce.

Nel dettaglio: si sceglie una vetro "vetrocamera ad isolamento termico" con caratteristiche

$U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$

$R_w = 33 \text{ dB}$

Il tipo di vetrocamera adottato è riempito con **gas Krypton** ed entrambi i vetri presentano una faccia con trattamento basso emissivo e con capacità fonoassorbente.



Tipo di vetrata	Trattamenti	Gas di riempimento	Trasmittanza termica [W/(m²K)]
Lastra semplice da 4 mm	-	-	5,9
Vetrocamera 4-15-4 vetro semplice + aria	-	aria	2,7
Vetrocamera 4-15-4 basso emissivo + aria	Bassa emissività su una lastra	aria	1,4
Vetrocamera 4-15-4 basso emissivo + gas	Bassa emissività su una lastra	argon	1,1
Vetrocamera 4-15-4 basso emissivo + gas	Bassa emissività su una lastre	krypton	1,0
Vetrocamera con tripla lastra 4-12-4-12-4	Bassa emissività su due lastre	aria	1,0
Vetrocamera con tripla lastra 4-12-4-12-4	Bassa emissività su due lastre	argon	0,8
Vetrocamera con tripla lastra 4-12-4-12-4	Bassa emissività su due lastre	krypton	0,5

Tabella con caratteristiche termiche e descrizioni tecniche di vetrate commerciali

Il fattore solare g è un indice utile per la valutazione delle prestazioni energetiche di un elemento vetrato, soprattutto nel caso di vetri a controllo solare; esso rappresenta la percentuale di energia che l'attraversa una parete vetrata in rapporto all'energia solare incidente. E' pari al flusso trasmesso sommato al flusso riemesso verso l'interno del locale. Quanto più basso è il fattore solare, tanto meno importanti sono gli apporti solari gratuiti.

L'energia può essere trasmessa dalla lastra in due modi:

- per *trasparenza* (e si parla di fattore di trasmissione solare diretta τ , o di Trasmittanza Diretta)
- per *assorbimento* e conduzione, o riemissione verso l'interno (e si parla di trasferimento secondario di calore, legato alla *conduttività termica* ed all'*emissività* del materiale).

Il calcolo della trasmittanza del vetro è stato eseguito utilizzando l'area della parete finestrata maggiormente estesa e con condizione di esposizione più gravosa (S-O), e scegliendo una **U_g** tipica di un **vetro basso emissivo selettivo con Krypton** che svolge un'azione di filtro nei confronti del fattore solare ed eccellente isolamento termico. Le vetrate isolanti di questa tipologia, presentano una *trasmittanza termica* sempre più bassa all'aumentare dell'intercapedine d'aria. Si assume una stratigrafia 4-12-4-12-4 mm: essa consente uno spessore contenuto del vetro rapportandosi all'efficacia dell'intercapedine.

F_{g1} è il fattore di correzione che tiene conto della dipendenza angolare delle proprietà ottiche della superficie trasparente, quando non è schermata, ed è desumibile per diverse tipologie di vetrate; nel caso specifico è stato scelto un fattore pari a 0,80, derivante dall'utilizzo di **g_L** (la trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento) stimato a 0,31.

(Vedi Prospetto XX per valori **g_L** < 0,5 e **U_g** inferiore a 1 W/m²K).

F_{g1} (trasmittanza termica, fattore solare)	g_L < 0,5	0,5 ≤ g_L < 0,7	0,7 ≤ g_L < 0,9	g_L ≥ 0,9
U_g ≥ 2,5 W/(m²K)	0,85	0,85	0,90	0,95
1 W/(m²K) ≤ U_g < 2,5 W/(m²K)	0,80	0,85	0,90	0,90
U_g < 1 W/(m²K)	0,80	0,85	0,85	0,90

Prospetto XX – Valori dei coefficienti correttivi F_{g1} per diverse tipologie di vetrate (derivanti da una correlazione empirica per le diverse tipologie di vetri e rivestimenti assumendo la distribuzione della radiazione diffusa)

Il telaio scelto è in alluminio con taglio termico e distanziatori in pvc con taglio termico, la cui trasmittanza è indicata da **U_f**. I profili di questa tipologia sono composti da due semiprofilati in alluminio, uno esterno ed uno interno, uniti tra loro con barrette isolanti in poliammide (bassa conducibilità termica). Il sistema più diffuso consiste nell'iniettare una schiuma poliuretanicca all'interno del profilato estruso. La capacità di questi profilati garantisce una migliore resistenza nei confronti delle dispersioni termiche e risolvono il problema del ponte termico in corrispondenza dei serramenti. Il ponte termico del vetro è rappresentato da ψ , che più precisamente identifica la trasmittanza termica lineare del vetro; in questo caso viene scelto in base al seguente prospetto IX (per vetrate doppie, intercapedine ad aria o gas e distanziatori in pvc). Ai fini termici può avere importanza anche la finitura superficiale dei profilati, infatti lo scambio di calore per irraggiamento è diverso in relazione alle caratteristiche dello strato superficiale (satinato) e del colore (chiaro).

Materiali del telaio	Vetrata doppia o tripla non rivestita, intercapedine con aria o gas Ψ [W/mK]	Vetrata doppia con bassa emissività, vetrata tripla con due rivestimenti a bassa emissività intercapedine con aria o gas Ψ [W/mK]
Telaio in legno o telaio in PVC	0,05	0,06
Telaio in alluminio con taglio termico	0,06	0,08
Telaio in metallo senza taglio termico	0,01	0,04

Prospetto IX – Valori della trasmittanza termica lineare Ψ per distanziatori in PVC

(Fonte: UNI EN ISO 10077-1:2007)

1-Ff è il coefficiente di riduzione dovuto al telaio per il serramento, pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata, si assume più semplicemente un valore convenzionale pari a **0,80**; dove Ff ha valore **0,20**.

U_w infine descrive la trasmittanza del serramento singolo (posto tra la zona climatizzata e lo spazio soleggiato), espresso in [**W/m²K**] dovuto alla **U** del vetro, del telaio e del ponte termico che si genera tra i due elementi della finestra. Secondo la normativa sulla prestazione energetica degli edifici, limitare le perdite di calore significa isolare le superfici vetrate e controllare le infiltrazioni d'aria mediante l'installazione di serramenti a taglio termico muniti di vetro a camera e oscuramenti esterni; anche gli infissi delle finestre giocano così un ruolo importante nella dispersione del calore.

Componenti trasparenti	Area	U_w
	m²	W/(m²K)
Lato finestrato	469,20	1,13

		U_g	F _{gl}	g _⊥
Vetro scelto	331,2	0,50	0,80	0,31
		U_f	1-Ff	
		W/(m²K)		
Telaio scelto	82,80	3,10	0,80	

	Perimetro	ψ
	m	W/(mK)
Ponte termico (vetro-telaio)	1324,8	0,08

7.6. SCELTA DELLE SCHERMATURE E REGOLAZIONE DEGLI APPORTI SOLARI GRATUITI

Scelte possibili e caratteristiche

I dispositivi passivi, quali le schermature solari, costituiscono un'ampia possibilità nella fase progettuale, in quanto sono utili a garantire ombreggiamento, controllo solare e riduzione del carico termico di un edificio; esse rivestono un'enorme importanza nell'economia energetica di un edificio, infatti hanno la funzione di regolare gli apporti luminosi, ostacolare la luce diretta in estate, consentire la captazione degli apporti solari nel periodo invernale, oltre a garantire un'ottimale illuminazione naturale degli ambienti interni per tutto il corso dell'anno.

Una schermatura solare deve essere correttamente dimensionata prendendo in considerazione sia il periodo invernale che quello estivo, dunque è necessario progettare tali sistemi di ombreggiamento in relazione alle condizioni specifiche del contesto. La nostra zona climatica presenta la duplice esigenza di schermarsi dal caldo estivo e di guadagnare calore d'inverno, utilizzando dei sistemi semplici, come appunto un'apertura opportunamente schermata. L'ottimizzazione del comportamento passivo dell'edificio in estate e in inverno comporta una riduzione del carico termico da surriscaldamento mediante l'utilizzo di sistemi di controllo della radiazione solare, quali schermature esterne mobili (tende, veneziane), fisse (frangisole verticali ed orizzontali, aggetti) o rampicanti e arbusti.

L'efficienza delle schermature solari dipende dalla tipologia del materiale utilizzato, dalla posizione e dalla adattabilità alla variabilità della luce cui sono esposte.

Le schermature interne non sono molto efficaci contro il surriscaldamento poichè consentono solo di riparare dalle luci abbaglianti, avendo però il vantaggio di essere ben accessibili e di facile manutenzione, ma quando la luce ha attraversato il vetro ed ha quindi raggiunto l'ambiente interno, diventa calore; se questa trasformazione porta vantaggi nel periodo invernale, al contrario durante la stagione estiva, provoca fenomeni di surriscaldamento e di conseguenza il calore deve essere asportato mediante impianti di ventilazione meccanica o climatizzazione. Entrambi i sistemi comportano dunque consumi energetici molto elevati.

Le schermature esterne sono molto più efficaci di quelle interne come strumento di controllo solare, in quanto respingono la radiazione solare prima che raggiunga la superficie del vetro, evitando che questo si riscaldi, e dunque si inneschi un micro-effetto serra tra la superficie dello schermo e del vetro, come può accadere se lo schermo è interno.

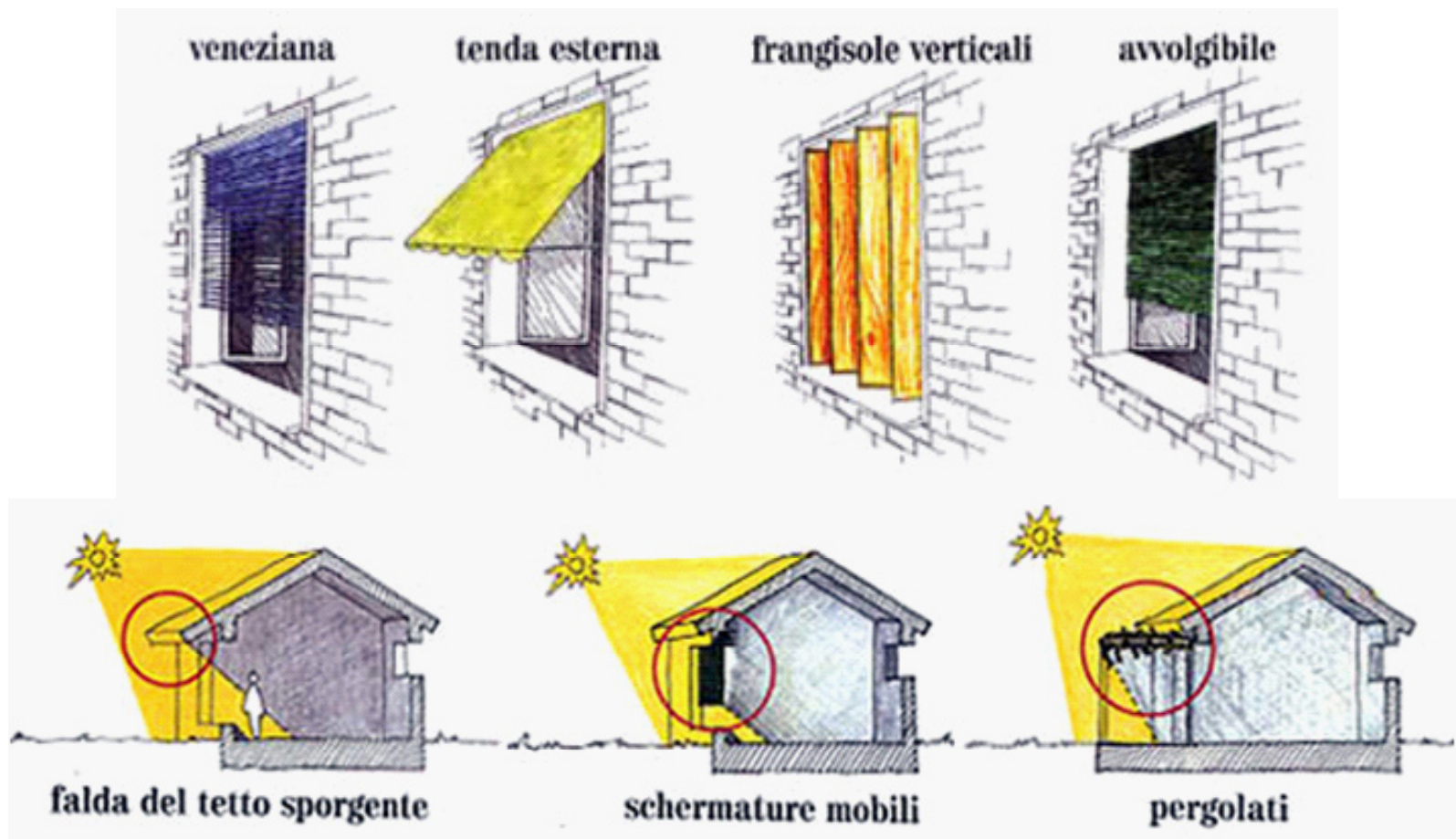
Quale schermatura scegliere?

Per controllare l'apporto solare, come si è compreso, è necessario ricorrere a schermi solari, anche se il loro utilizzo durante la stagione del riscaldamento sarà in contrasto con la necessità di evitare ombreggiamenti. I materiali trasparenti non sono le sole barriere termiche utilizzabili, e lo schermo più semplice è la tenda, ma come si è già enunciato poco utile.

La schermatura più efficace per una finestra rivolta a *sud* è quella *orizzontale*, mentre per le finestre rivolte ad *est* oppure *ovest* si devono usare schermi verticali. I dispositivi più semplici sono gli aggetti ed i frangisole. Il difetto principale degli **schermi fissi** è che l'entità della schermatura è determinata dalle stagioni solari, piuttosto che da quelle climatiche e ciò produce effetti schermanti anche in periodi in cui è richiesto un riscaldamento passivo. Gli schermi fissi tagliano sempre una parte della radiazione diffusa e quindi riducono l'illuminazione naturale. Tra gli **schermi mobili** sono presenti le tende e gli schermi veri e propri, come le persiane e gli scuretti. Gli schermi mobili dovrebbero essere progettati anche allo scopo di isolare di notte e durante la stagione del riscaldamento. Gli schermi interni, come esplicito, sono meno efficaci in quanto la luce solare entra comunque nell'edificio e non può essere efficacemente riflessa all'indietro, e per tale ragione gli schermi interni devono essere scelti con colorazione chiara. L'efficienza degli schermi esterni, che dissipano l'energia solare assorbita, è del 30% superiore a quella degli schermi interni, anche se questi ultimi sono più economici e facili da utilizzare manualmente, infatti il controllo degli schermi può essere sia manuale che meccanico.

Controllo della radiazione solare

Per evitare il surriscaldamento dell'ambiente da raffrescare è importante bloccare la radiazione solare prima che raggiunga l'edificio. Le finestre devono essere opportunamente protette mediante schermature che possono essere fisse, mobili e stagionali, interne e/o esterne. I sistemi esterni mobili risultano più efficienti in quanto intercettano i raggi del sole prima che abbiano attraversato il vetro. E' inoltre possibile utilizzare vetri particolari che riflettano o assorbono buona parte della radiazione solare. La schermatura esterna e finiture chiare del perimetro esterno riducono del 65% il carico termico dovuto alla radiazione solare.



Anche la vegetazione intorno all'edificio, d'estate, fornisce ombra e regola la temperatura esterna; in inverno, invece, se si utilizzano alberi che perdono le foglie, il passaggio della radiazione solare non viene compromesso. Altrettanto efficaci nei periodi più caldi risultano essere le piante rampicanti sulle pareti esposte al sole ed anche i pergolati.

Le schermature regolabili del caso studio

Nello specifico le schermature scelte per le grandi vetrate sono opache, di colore scuro per l'esterno. Vengono considerate semplicemente le schermature esterne dal momento che l'edificio non è stato dotato di tende interne e come già commentato non risultano particolarmente efficaci al fine del calcolo del fabbisogno. Le tipologie trattate dalla normativa **UNI EN 13363** sono limitate al caso di elementi schermanti disposti sul piano parallelo a quello del sistema trasparente:

- tende avvolgibili
- tende veneziane
- persiane
- frangisole a lamelle orizzontali e verticali.

Schermature mobili

esterne	τ_{\perp}	ρ_{\perp}
	0	0,3

	τ_{45}	ρ_{45}	$g(\text{sh+gl})$
beam	0,05	0,23	0,05
diffuse	0,33	0,16	0,14

Nel nostro caso si è deciso per l'utilizzo di frangisole regolabili su tutti i lati, in quanto hanno la capacità di ridurre l'intensità dei raggi solari specie nella stagione estiva, grazie a lamelle inclinabili (considerate a 45° nel calcolo), che permettono un controllo ottimale della direzione e dell'intensità della luce, assicurando un minor utilizzo degli impianti di raffrescamento. I montanti verticali invece sono dispositivi fissi e concorrono in parte anch'essi alla schermatura solare, richiamando i concetti enunciati a riguardo degli schermi fissi e schermi mobili. La scelta di integrare i due sistemi schermanti è legato alla necessità di proteggere le grandi superfici vetrate, le quali farebbero aumentare drasticamente i valori degli apporti solari. Dopo la fase legata alle scelte progettuali, si passa alla procedura che permette di calcolare le trasmittanze $g(\text{sh+gl})_{b/d}$ di energia solare totale diretta e diffusa del serramento in presenza di sistema schermante esterno; la trasmittanza tiene conto della dipendenza angolare giornaliera della radiazione diretta incidente, anche se risultano riferite alla trasmittanza di energia solare totale normale del sistema vetrato da queste schermato, che abbiamo denominato g_{\perp} .

Valori di $\tau_{e,B,\perp}$ in funzione della trasparenza della schermatura		$P_{e,B,\perp}$				$\alpha_{e,B,\perp}$			
		Bianco	Pastello	Scuro	Nero	Bianco	Pastello	Scuro	Nero
Opaca	0,0	0,7	0,5	0,3	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
Mediamente traslucida o perforata	0,2	0,6	0,4	0,2	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7
Altamente traslucida o perforata	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Prospetto XXII– Valori convenzionali di $\tau_{e,B}$, $\rho_{e,B}$, $\alpha_{e,B}$ normali
(Fonte: UNI EN 13363-1:2008)

Il primo passaggio da effettuare è l'utilizzo della formula sottostante che permette di calcolare la G da inserire nella formula delle trasmittanze $g(\text{sh+gl})_{b/d}$ per schermi esterni;

G_1 = assunto dalla normativa pari a 5 W/m²K

G_2 = assunto dalla normativa pari a 10 W/m²K

$$G = \left(\frac{1}{G_1} + \frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

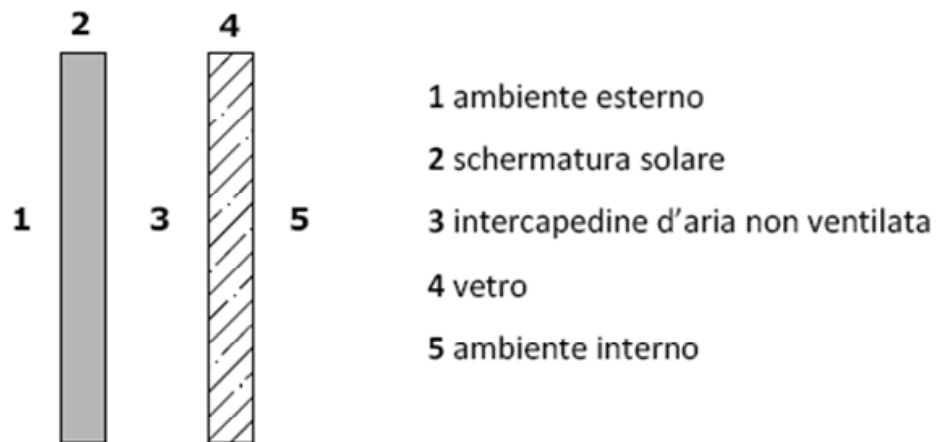


Figura 5 – Schematizzazione di una schermatura solare esterna

Le seguenti formule esprimono il calcolo τ_{45} , ovvero il fattore di trasmissione del ϕ solare e ρ_{45} , fattore di riflessione; esse concorrono al conteggio del sopraccitato $g(\text{sh}+gl)$.

$$\tau_{e,b}(45^\circ) = 0,65 \cdot \tau_{e,b,\perp} + 0,15 \cdot \rho_{e,b,\perp}$$

$$\rho_{e,b}(45^\circ) = \rho_{e,b,\perp} (0,75 + 0,70 \cdot \tau_{e,b,\perp})$$

$$\tau_{e,d}(45^\circ) = 0,30 + 0,70 \cdot \tau_{e,b}(45^\circ)$$

$$\rho_{e,d}(45^\circ) = 0,70 \cdot \rho_{e,b}(45^\circ)$$

Ora abbiamo tutti i dati necessari per l'utilizzo delle formule sottostanti, esse saranno fondamentali per il calcolo degli apporti solari e fornisco dati utili alla conoscenza della tipologia di schermatura usata.

Formula per VETRI + SCHERMI ESTERNI

$$g_{(\text{sh}+gl),b/d} = \tau_{e,b/d} \cdot g_{\perp} + \alpha_{e,b/d} \cdot \frac{G}{G_2} + \tau_{e,b/d} \cdot (1 - g_{\perp}) \cdot \frac{G}{G_1}$$

Nello specifico:

$\tau_{e,b/d}$: fattore di trasmissione solare del dispositivo schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d);

$\alpha_{e,b/d}$: frazione di energia solare assorbita dal componente schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d);

$\rho_{e,b/d}$: fattore di riflessione solare del dispositivo schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d);

7.7. CARICO TERMICO INVERNALE, POTENZE DISPERSE E DI RIPRESA, TRASMISSIONE E VENTILAZIONE

Il carico termico invernale indica la massima potenza termica che l'edificio disperde verso l'ambiente esterno. La conoscenza di questa grandezza consente di dimensionare un impianto di riscaldamento che mantenga all'interno dello spazio condizioni confortevoli; ciò significa garantire una determinata temperatura dell'aria all'interno dell'involucro edilizio scelto (**16°**), da cui dipende il benessere termo igrometrico. La progettazione di un impianto di riscaldamento consiste nella determinazione dei massimi carichi termici (detti "di picco") così da dimensionare l'impianto in modo da fronteggiare le condizioni più sfavorevoli dal punto di vista delle sollecitazioni termiche esterne (**-5°**).

Il termine $T_{interna}$ progetto è la temperatura a bulbo secco dell'aria interna al locale da utilizzare per il calcolo del fabbisogno termico; si misura in [°C] ed è la temperatura che si rileva con un termometro a bulbo secco protetto contro l'irradiazione, all'altezza di 1,50 m dal pavimento ed al centro del locale considerato.

-I carichi termici per *trasmissione attraverso l'involucro*, rappresentano la quota di potenza termica che viene persa dall'aria interna attraverso le strutture edilizie. Lo scambio termico si innesca per differenza di temperatura ed entrano in gioco fenomeni combinati di conduzione, convezione e irraggiamento che riguardano tutte le superfici delimitanti l'involucro edilizio dall'esterno o da locali a temperatura diversa da quella all'interno dell'ambiente. Nel caso studio non è stata considerata la potenza dispersa per trasmissione attraverso il terreno poiché il piano terra commerciale non rientra nel calcolo.

-I carichi termici per *ventilazione*, rappresentano la quota di potenza termica che viene persa dall'aria dello spazio riscaldato per la presenza di fenomeni di infiltrazione dell'aria esterna nell'ambiente (ventilazione naturale, dovuta alla non ermeticità delle chiusure finestrate oppure all'apertura manuale dei serramenti o ventilazione meccanica, grazie ad un apposito impianto di estrazione); l'impianto dovrà evidentemente provvedere a riscaldare quest'aria per riportarla alla temperatura desiderata in ambiente.

I gradi giorno inseriti nel calcolo dipendono dal sito di progetto e per questo caso sono stati inseriti da normativa (tabella allegato A successivamente integrata dal D.M. 6 agosto 1994).

Date le temperature fondamentali (dati relativi alla provincia di Varese):

T_{ext} progetto	-5	°C
T_{int} progetto	16	°C
T_{ext} media annuale	10,5	°C
escursione T_{ext} annuale	11,7	°C
Gradi Giorno.VA	2652	GG

Passiamo al calcolo delle dispersioni:

	N-0	S-E	N-E	S-O	Orizzontale	Nessuna	
Fatt. Corr. Esposizione	1,15	1,1	1,2	1,05	1	1,2	
Coeff. Dispers.pareti	555,6	633,1	569,7	564,1	148,1	43,3	W/K

Diff. Temperatura	21	21	21	21	21	21	K
Potenza termica	13418,7	14625,1	14355,5	12439,0	0,0	1091,8	W

POTENZA DISPERSA per TRASMISSIONE attraverso l'involucro **55930,1 W**

prospetto NA.3 a **Fattore di esposizione $e_k = e_l$**

Fattore di esposizione $e_k = e_l$							
N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
1,20	1,20	1,15	1,10	1,00	1,05	1,10	1,15

Il fattore correttivo di esposizione e_k , è tratto come da normativa dalla tabella NA.3a.

Il fattore H_T (**coefficiente globale dispersioni pareti**) indica il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione tra la zona climatizzata a temperatura controllata e l'ambiente esterno [**W/K**], esso è descritto la dispersione delle pareti e tiene conto della differenza di temperatura interno-esterno di ciascuna superficie disperdente; dipende anche da tutti gli elementi dell'edificio e dai ponti termici lineari che separano lo spazio riscaldato dall'ambiente esterno, come pavimento, soffitto, porte, finestre, pareti. Tale fattore è connesso alle dispersioni per trasmissione e ventilazione ed al fattore F_T .

I risultati ottenuti sotto la voce *potenza termica*, mostrano la quantità di potenza termica dispersa a seconda dell'esposizione, e sono ricavati dal prodotto tra il fattore correttivo di esposizione, il fattore H_T e Δt (differenza tra temperatura interna ed esterna).

La *potenza dispersa per trasmissione attraverso l'involucro* è data dalla sommatoria delle potenze termiche disperse per tutte le pareti opache e vetrate.

POTENZA DISPERSA per VENTILAZIONE **47764,5 W**

La potenza dispersa per ventilazione fa riferimento al prodotto dei seguenti fattori:

$c_p = 1000$ J/Kg/K (calore specifico aria)

ρ aria = 1,2 kg/m³ (densità aria)

$n = 1,5$ 1/h (numero ricambi ora aria per spazi pubblici)

$V_{NETTO} = 4594$ m³ (dato precedentemente discusso)

Potenza di ripresa per intermittenza è ottenuta dal prodotto tra il fattore di ripresa **fRH** per destinazione residenziale dell'edificio e A_U (dato di cui siamo già in possesso).

POTENZA DISPERSA per INTERMITTENZA **7773,8 W**

La massa effettiva degli edifici non residenziali è data per tre categorie:

Edifici di massa alta: solette di cemento e muri in mattoni pieni o cemento, edifici isolati a cappotto;

Edifici di massa media: solette di cemento e muri leggeri, edifici con isolamento termico posto nell'intercapedine dei tamponamenti esterni con masse modeste verso l'interno (spessore pareti interne da 5 cm a 10 cm);

Edifici di massa bassa: solette e muri di tipo leggero, edifici isolati termicamente sul lato interno della parete.

E' stato considerato un edificio di **massa bassa**, (a causa del pacchetto tecnologico adottato, il quale risponde alla descrizione fornita dalla normativa UNI EN 12831) e considerando successivamente il dato che riguarda un calo di temperatura previsto durante il periodo di inattività di circa 3K, unito al fattore di 4 ore di ripresa impiegate per raggiungere nuovamente la condizione di comfort.

A utile = **1295,6 m²**

f_{RH} = 6 W/m²

prospetto D.10a **Fattore di ripresa del riscaldamento, f_{RH} , per edifici non residenziali, periodo di inattività notturna max. 12 h**

Durata del periodo di ripresa in ore	f_{RH} W/m ²								
	Calo previsto della temperatura interna durante il periodo di inattività ^{a)}								
	2 K			3 K			4 K		
	massa dell'edificio			massa dell'edificio			massa dell'edificio		
	bassa	media	alta	bassa	media	alta	bassa	media	alta
1	18	23	25	27	30	27	36	27	31
2	9	16	22	18	20	23	22	24	25
3	6	13	18	11	16	18	18	18	18
4	4	11	16	6	13	16	11	16	16

a) Negli edifici ben isolati e a tenuta d'aria, un calo della temperatura interna maggiore di 2 K fino a 3 K durante il periodo di inattività non è molto probabile. Esso dipende dalle condizioni climatiche e dalla massa termica dell'edificio.

I risultati ottenuti per le dispersioni mostrano come la potenza dispersa attraverso l'involucro sia decisamente rilevante rispetto a quella dispersa per ventilazione e la ripresa per intermittenza, stimate a circa la metà della prima; la sommatoria fornisce la quantità **Q** termica disponibile (fabbisogno energetico necessario al riscaldamento dell'edificio), cioè la quantità di calore effettivamente trasferita, per ogni ora, al fluido termovettore. Solo successivamente questo valore, opportunamente moltiplicato per il fattore 1,2 (p aria) individuerà la potenza termica nominale utile del generatore.

La potenza termica **Q** del generatore è stimata infine a **111,5 KW**.

Possiamo così affermare che il *bilancio energetico* è definito includendo (considerato solo il calore sensibile):

- dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione dall'ambiente interno verso quello esterno;
- dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione o apporti gratuiti di calore con zone adiacenti;
- apporti di calore gratuiti interni, ovvero l'emissione di calore utilizzato da parte delle sorgenti interne di calore;
- apporti gratuiti legati alla radiazione solare;
- perdite dovute al sistema di riscaldamento per quanto riguarda generazione, distribuzione, emissione e controllo;
- fabbisogno energetico del sistema di riscaldamento.

Abbiamo anticipato come il carico termico invernale sia influenzato, tramite alcuni fattori, al carico della trasmissione e ventilazione;

H_T è un fattore di cui è stata specificata la funzione, a cui si aggiunge F_T , valore correttivo da applicare in modo da tener conto delle diverse condizioni di temperatura degli ambienti non climatizzati; si è scelto di considerare la temperatura degli ambienti circostanti (corpi scala) a temperatura tipica di un ambiente non riscaldato ma scegliendo tra i dati quello che rispecchiasse una condizione meno gravosa, visto che il blocco ascensore è inserito in uno spazio riscaldato. Si può indicare con precisione la definizione di **ambiente circostante** come: qualsiasi ambiente contiguo a quello a temperatura controllata o climatizzato, per il quale si deve calcolare il fabbisogno energetico, compreso l'ambiente esterno.

Ambiente circostante	$F_{T,k}$
Ambienti con temperatura pari alla temperatura esterna	1,00
Ambiente non climatizzato	
- con una parete esterna	0,40
- senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,50
- con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (per esempio autorimesse)	0,60
- con tre pareti esterne (per esempio vani scala esterni)	0,80
Piano interrato o seminterrato	
- senza finestra o serramenti esterni	0,50
- con finestre o serramenti esterni	0,80
Sottotetto	
- aerato	1,00
- tetto isolato	0,70
Terreno	0,45
Vespaio aerato	0,80

Prospetto III– Fattori correttivi da applicare a ciascun componente, k, così da tener conto delle diverse condizioni di temperatura degli ambienti adiacenti alla zona termica considerata

(Fonte: UNI TS 11300-1:2008)

esposizione							
	N-O	S-E	N-E	S-O	orizzon.	nessuna	
A trasp	493,5	562,3	506,0	501,1	0,0	0,0	m ²
U trasp.	1,13	1,13	1,13	1,13	0,0	0,0	W/(m ² K)
A opaca	0,00	0,00	0,00	0,00	479,20	350,52	m ²
U opaca	0,0	0,0	0,0	0,0	0,31	0,31	W/(m ² K)
F_T	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,40	Ht W/K
	555,64	633,12	569,66	564,13	148,08	43,32	2514,0

La tabella riassume le scelte operate fino a questo momento in base all' esposizione, alla radiazione solare e i due fattori descritti sopra.

Per determinare i fabbisogni energetici estivi e invernali occorre definire altri due fattori H_v e H_k ; il primo è il coefficiente di scambio termico per ventilazione/infiltrazione tra la zona i-esima limitrofa (compreso l'ambiente esterno) e la zona o ambiente non servito da impianto termico, unità di misura in [W/K]; il secondo è dato da: $H_k = H_v + H_t$, che esprime il coefficiente termico di dispersione termica dell'edificio.

$$H_v = (n \text{ ricambi} * \rho \text{ aria} * c \text{ aria} * V / 3600 \text{ s}) = 2274,5 \text{ W/K}$$

$$H_k = (H_v + H_t) = 4788,5 \text{ W/K}$$

7.8. IL FABBISOGNO TERMICO INVERNALE ED ESTIVO

A partire dalla temperatura media esterna per la zona E (dati da normativa) possiamo calcolare il fabbisogno termico estivo ed invernale.

Il fabbisogno energetico annuale è visto come somma dei fabbisogni mensili è espresso in [kWh/m²], più precisamente si assume come l'energia primaria a metro quadrato necessaria per riscaldare un edificio, per un intero anno, in regime di funzionamento continuo, come stabilito dal DLgs 311/06, dove Q_t e Q_v sono i due contributi per le perdite per ventilazione e trasmissione.

L'energia primaria (Q) si calcola dall'energia termica utile (Q_h), ovvero l'energia netta necessaria per riscaldare l'ambiente (a meno delle dispersioni impiantistiche e funzione dell'involucro edilizio) aumentata dell'energia dispersa dai sottosistemi impiantistici.

Possiamo dire che il **fabbisogno energetico** per la climatizzazione invernale è uguale al [$Q_h / \text{rendimenti impianto}$], dove per rendimenti si intende:

- rendimento di emissione
- rendimento di regolazione
- rendimento di distribuzione
- rendimento di produzione

Dalla tabella sul fabbisogno invernale viene escluso ovviamente il periodo estivo da maggio a settembre in quanto non viene fatto uso dell'impianto di riscaldamento; i risultati dipendono strettamente dalla temperatura media esterna prevista a Milano da Decreto 5796 della Regione Lombardia per la zona climatica **E** e dal valore $H_T \cdot Q_{L,H}$ esprime infine il **fabbisogno necessario per il riscaldamento**, ovvero la quantità di energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente a temperatura controllata o climatizzato e l'ambiente circostante. Come da previsione risulta particolarmente alto nei mesi di dicembre-gennaio per diminuire gradualmente attorno al mese di aprile e ottobre.

INVERNO

Ti	Qt	Qv	Q _{L,H}
°C	kWh	kWh	kWh
16	26746	24199	50945
16	19935	18036	37971
16	12719	11507	24226
16	3620	3275	6895
16	0	0	0
16	0	0	0
16	0	0	0
16	0	0	0
16	0	0	0
16	3741	3384	7125
16	14661	13265	27926
16	24128	21830	45958

Il carico termico estivo è la somma di più carichi che si valutano separatamente e con metodologie diverse:

- Il *carico sensibile* dovuto alla trasmissione del calore attraverso l'involucro opaco e trasparente
- Il *carico sensibile* dovuto alla potenza termica sensibile ceduta all'aria dalle persone, dalle lampade e da altre fonti interne di calore
- Il *carico sensibile* dovuto alla necessità di raffreddare l'aria ventilazione
- Il *carico latente* dovuto alla necessità di sottrarre all'aria il vapore ad essa ceduto dalle persone e da altre fonti interne di vapore
- Il *carico latente* dovuto alla necessità di sottrarre all'aria il vapore ad essa ceduto dall'aria di ventilazione.

La somma di tutti questi termini deve essere valutata nelle condizioni climatiche statisticamente più sfavorevoli. L'andamento temporale dei fenomeni termici non è da considerarsi stazionario, perché le grandezze che rappresentano le sollecitazioni (in primo luogo la radiazione solare incidente sull'involucro edilizio) sono fortemente variabili nel tempo. Ne consegue che ognuno dei termini sopra indicati è in funzione del tempo e che per individuare il caso peggiore è necessario eseguire, per ogni ora, la somma di tutti i termini sopra indicati e cercare il massimo valore di tale somma.

Esaminando l'interazione *Sole-Edificio* si può osservare che questo si comporta come un sistema di captazione, effetto che nella stagione estiva è indesiderato e richiede come precedentemente esposto l'uso di schermature.

La radiazione solare incide sulle superfici esterne dei diversi componenti edilizi e provoca un effetto diverso a seconda delle loro caratteristiche.

Nel caso di superfici opache (copertura e terrazzo praticabile) la conseguenza del suo parziale assorbimento è un incremento della temperatura della superficie, il che provoca un flusso termico di conduzione verso l'interno.

Nel caso delle superfici vetrate, tenendo conto che i vetri sono parzialmente trasparenti alla radiazione solare incidente, avviene che la radiazione entrante colpisce le superfici interne delle pareti dei locali (pavimenti, muri interni, arredi), provocando il riscaldamento di tali corpi, i quali cedono per convezione all'aria ambiente un flusso termico pari a buona parte del flusso radiante ricevuto, (la parte restante viene ceduta ad altri ambienti confinanti).

In conclusione si può dire che il riscaldamento dell'aria interna al locale dipende, oltre che dall'intensità del flusso di radiazione entrante, anche dalle caratteristiche di inerzia termica della struttura edilizia. Tanto più è elevata l'inerzia termica, tanto più piccolo è il riscaldamento della struttura e, quindi, ridotto è il flusso di convezione scambiato con l'aria ambiente.

I risultati finali $Q_{-L,C}$, quantità di **energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione** tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh], ottenuti per il fabbisogno della stagione estiva risultano elevati nei mesi più freddi, mentre tendono a ridursi nei mesi più caldi a causa delle perdite per trasmissione e ventilazione.

ESTATE

T_i	Q_t	Q_v	$Q_{-L,C}$
°C	kWh	kWh	kWh
26	45450	41121	86571
26	36828	33321	70149
26	31422	28429	59852
26	21721	19652	41372
26	15150	13707	28857
26	6335	5732	12067
26	1683	1523	3206
26	3554	3215	6769
26	10136	9171	19307
26	22445	20307	42751
26	32762	29641	62403
26	42832	38752	81584

7.9. GLI APPORTI INTERNI

Q_i è l'energia dovuta agli **apporti gratuiti interni [kWh/a]** e q_a il **valore medio globale per unità di superficie** espresso in **[W/m²]**; nel nostro caso si è utilizzato il prospetto XIII della UNI 11300, verificando il calcolo secondo la categoria di edificio E.4(2) se si considera l'edificio della torre come una sorta di spazio museale. Q_i sostanzialmente si rapporterà con la q_a scelta = **8 [W /m²]** e con il numero di giorni specificato per tutti i mesi dell'anno. La formula che esprime il calcolo è: $q_a * (gg * 24 / 1000) * A_{\text{utile}} \text{ m}^2$.

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali per unità di superficie \dot{q}_a [W/m ²]
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensioni ed attività similari	6
E.2	Edifici adibiti ad uffici ed assimilabili	6
E.3	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche o case di cura ed assimilabili	8
E.4 (1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	8
E.4 (2)	Luoghi di culto, mostre, musei e biblioteche	8
E.4 (3)	Bar, ristoranti, sale da ballo	10
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili	8
E.6 (1)	Piscine, saune ed assimilabili	10
E.6 (2)	Palestre ed assimilabili	5
E.6 (3)	Servizi di supporto alle attività sportive	4
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche di tutti i livelli e assimilabili	4
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali ed assimilabili	6

Prospetto XIII - Valori globali degli apporti interni, \dot{q}_a

(Fonte: UNI TS 11300-1:2008)

Apporti Gratuiti Interni	Giorni	Q_i
	gg	kWh
gennaio	31	7712
febbraio	28	6965
marzo	31	7712
aprile	30	7463
maggio	31	7712
giugno	30	7463
luglio	31	7712
agosto	31	7712
settembre	30	7463
ottobre	31	7712
novembre	30	7463
dicembre	31	7712

Gli apporti termici gratuiti disponibili e potenzialmente utilizzabili provengono dalla irradiazione solare Q_s e dalle fonti interne Q_i . Q_s è l'irradiazione globale su superfici verticali durante il periodo di riscaldamento. I valori mensili per esposizione sono contenuti nella UNI 10349, prospetto VIII, per i capoluoghi di provincia; infatti gli apporti solari e quelli derivanti da fonti interne variano durante il giorno, la stagione e l'anno. Per questo motivo è ovvio che gli apporti non sono interamente utilizzabili. In certi momenti può accadere che gli apporti solari e quelli da fonti interne riscaldino insieme l'ambiente oltre il dovuto e, in questo caso, aumentano i flussi termici verso l'esterno a causa della maggiore differenza di temperatura. Conseguentemente aumentano anche le perdite di calore. Quando ci sono contemporaneamente elevati apporti e poche perdite bisogna attendersi fenomeni di surriscaldamento.

Di seguito vengono riportate nello specifico le tabelle riguardanti gli apporti solari in base alle esposizioni, chiarendo le varie metrature circa la superficie opaca e trasparente.

Vista la particolare disposizione dei brise-soleil esterni si è optato per un trattamento diversificato per le aree vetrate totalmente schermate e per la porzione limitata che non viene oscurata direttamente (percentuale del 25% sull'area trasparente della singola facciata).

esposizione					
	N-O	S-E	N-E	S-O	Orizzon.
A trasp	123,38	140,58	126,49	125,26	0,00
1-Ff	0,80	0,80	0,80	0,80	0,0
g_{\perp}	0,31	0,31	0,31	0,31	0,0
Fgl	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

25% superficie vetrata non oscurata

esposizione					
	N-O	S-E	N-E	S-O	Orizzon.
A trasp	370,14	421,75	379,48	375,79	0,00
1-Ff	0,80	0,80	0,80	0,80	0,0
g_{\perp}	0,31	0,31	0,31	0,31	0,0
Fgl	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00

75% superficie vetrata oscurata direttamente con brise-soleil

esposizione					
	N-O	S-E	N-E	S-O	Orizzon.
A opaca	0,00	0,00	0,00	0,00	479,20
F_{er}	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80
α_s	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30
Ni	0,0	0,0	0,0	0,0	0,012

$g(s_h+g_l)b$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,00
$g(s_h+g_l)d$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,00

Le prime due tabelle riportano i dati relativi alle aree trasparenti e riprendono alcuni fattori già precedentemente esposti al momento della scelta del vetro e del telaio. La terza invece tratta il calcolo in base alla metratura della componente opaca e vengono presentati i coefficienti F_{er} inteso come coefficiente di riduzione che tiene conto dell'incidenza del flusso radiativo emesso dalla superficie verso la volta celeste (Prospetto XXIII); appare chiaro l'utilizzo del valore 1 per le superfici verticali e 0,8 per quelle orizzontali. α_s è sempre comprensibile dal medesimo prospetto, la scelta è ricaduta su una colorazione esterna della copertura dalla tinta chiara, evitando completamente materiali e tinteggiature scure.

Tipo di colorazione della parete	α	Tipo di parete	F_{er}
Chiaro	0,3	Orizzontale	0,8
Medio	0,6	Inclinata	0,9
Scuro	0,9	Verticale	1,0

Prospetto XXIII – Valori del fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete opaca rivolta verso l'esterno, α , e coefficiente di riduzione che tiene conto dell'incidenza del flusso radiativo emesso dalla superficie verso la volta celeste, F_{er}

(Fonte: UNI TS 11300-1:2008)

Il fattore N_i di ripartizione verso l'interno del flusso assorbito sulla superficie esterna è stato calcolato tramite la formula $N_i = U/he$, dove $U = 0,31 \text{ W/m}^2\text{k}$ (calcolato sopra) e $he = 25 \text{ W/m}^2\text{k}$ (coefficiente limite di scambio termico superficiale stimato per convenzione).

Di seguito si riporta la tabella relativa al fattore di peso f_b della radiazione solare diretta sulla totale (ricavati per la Regione Lombardia con approssimazione conservativa per il fabbisogno estivo).

Regione Lombardia					
f_b	Nord	Sud	Est	Ovest	Orizzontale
Gennaio	0,00	0,75	0,50	0,50	0,40
Febbraio	0,00	0,70	0,50	0,50	0,50
Marzo	0,00	0,65	0,55	0,55	0,55
Aprile	0,10	0,55	0,55	0,55	0,60
Maggio	0,25	0,40	0,55	0,55	0,60
Giugno	0,30	0,35	0,55	0,55	0,65
Luglio	0,35	0,45	0,60	0,60	0,70
Agosto	0,15	0,50	0,60	0,60	0,65
Settembre	0,00	0,65	0,60	0,60	0,60
Ottobre	0,00	0,75	0,55	0,55	0,55
Novembre	0,00	0,75	0,50	0,50	0,45
Dicembre	0,00	0,75	0,50	0,50	0,40

I valori che compaiono per $g(s_h+g)_b$ e $g(s_h+g)_d$ indicano al momento del calcolo il tipo di schermatura e il posizionamento adottato, in questo caso sono state progettate schermature esterne regolabili su tutti i lati (si fa riferimento alle precedenti considerazioni sulla scelta degli schermi).

La formula riportata in seguito è applicata a seconda della tipologia di schermatura adottata per ogni tipologia di esposizione.

$$F_{sh,i,j} = \frac{g_{(sh+g),b,i} \cdot f_{b,j} + g_{(sh+g),d,i} \cdot (1 - f_{b,j})}{g_{\perp,i}}$$

Più correttamente:

F_{sh} è il **fattore di riduzione degli apporti solari dovuto all'effetto di schermature** mobili o permanenti, complanari al serramento e non liberamente montabili e smontabili dall'utente, (calcolato secondo l'equazione ad esso dedicata sopra), comprensivo della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata; la tabella riportata in seguito è il risultato dell'applicazione della formula appena esplicitata.

Nello specifico:

f_{shd} è la **frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata**, pesata sull'irradianza solare incidente, ed in funzione della sua esposizione; i valori di riferimento sono riportati nel Prospetto XIX, ed è assunta nulla nel calcolo del fabbisogno energetico invernale; (in estate il suo impiego è stimato per circa il 60% al fine del raffrescamento).

Mese	Nord	Est	Sud	Ovest
Gennaio	0,00	0,52	0,81	0,39
Febbraio	0,00	0,48	0,82	0,55
Marzo	0,00	0,66	0,81	0,63
Aprile	0,00	0,71	0,74	0,62
Maggio	0,00	0,71	0,62	0,64
Giugno	0,00	0,75	0,56	0,68
Luglio	0,00	0,74	0,62	0,73
Agosto	0,00	0,75	0,76	0,72
Settembre	0,00	0,73	0,82	0,67
Ottobre	0,00	0,72	0,86	0,60
Novembre	0,00	0,62	0,84	0,30
Dicembre	0,00	0,50	0,86	0,42

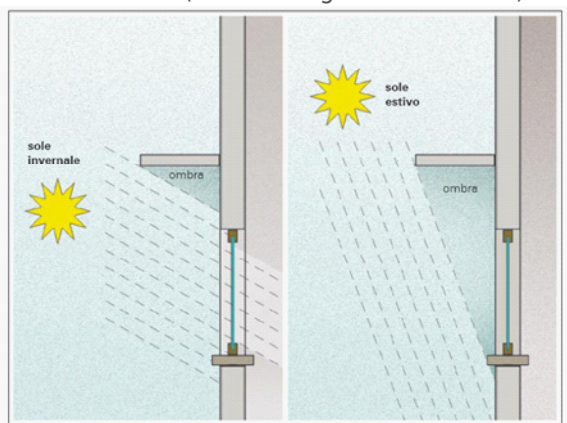
Prospetto XIX – Fattore di riduzione f_{shd} per le schermature mobili, nel caso di orientamenti non considerati si procede per interpolazione lineare
(Fonte: UNI TS 11300-1:2008)

F_{-sh}	N- O	S-E	N-E	S-O	Orizzontale
Gennaio	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Febbraio	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Marzo	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Aprile	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Maggio	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Giugno	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Luglio	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Agosto	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Settembre	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Ottobre	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Novembre	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00
Dicembre	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00

7.10. AGGETTI SU SUPERFICI TRASPARENTI

La presenza nel progetto architettonico di aggetti è da considerarsi di primaria importanza, infatti favorisce il contenimento del fabbisogno energetico connesso alle perdite di energia per mancato utilizzo degli apporti solari gratuiti, e permette il pieno sfruttamento delle prestazioni degli infissi. L'adozione di elementi aggettanti atti a schermare gli infissi nel periodo estivo è da considerarsi un valido strumento per il contenimento degli apporti solari gratuiti; tale tecnica è largamente utilizzata in bioclimatica e nell'edilizia attenta al contenimento dei consumi ed è applicabile con particolare efficacia sulle pareti esposte in direzione sud-ovest in corrispondenza del punto più alto del sole.

La creazione di una sporgenza (balcone, tetto, ecc.) posizionata al di sopra dell'infisso consente, nelle ore centrali della giornata, di proiettare su di esso un'ombra riducendo quindi la quantità di calore che entrerà nell'edificio; con un corretto posizionamento e dimensionamento della sporgenza, non si entra in conflitto con l'esigenza di far entrare in inverno i raggi del sole attraverso la superficie vetrata. Il sole infatti in estate compie un arco più ampio rispetto all'inverno, cosicché, a parità di orario, si troverà più alto sull'orizzonte. (Vedi immagine sottostante)



L'area d'ombra estiva risulta maggiore di quella invernale, la quale non coprirà affatto l'infisso se questo è posizionato ad una certa distanza al di sotto dell'aggetto.

La tecnica è applicabile solo teoricamente sugli orientamenti est ed ovest, in quanto, a seguito della minore altezza del sole sull'orizzonte, le sporgenze necessarie all'ombreggiamento estivo sono di fatto poco realizzabili.

La grande superficie vetrata sulla facciata sud-ovest può sfruttare in inverno gli apporti solari gratuiti garantendo comunque l'ombreggiamento estivo della stessa e riducendo il flusso di calore entrante in estate.

Nel caso studio qui presentato sotto la voce “aggetti” sono stati considerati gli schermi esterni, vista l’intensità con cui sono stati posizionati; essi rappresentano un importante esempio di come un “semplice” espediente architettonico in fase di progetto possa garantire all’edificio prestazioni energetiche sia nel periodo invernale che in quello estivo.

Grazie a questo accorgimento è infatti possibile massimizzare lo sfruttamento invernale dell’energia solare gratuita limitando al tempo stesso il rischio di surriscaldamento estivo.

La formula riportata esprime la procedura per il calcolo per il aggetti, sulle superfici trasparenti; per ottenere i valori necessari al procedimento si dovrà effettuare la misurazione dell’ angolo α (per aggetti orizzontali dal momento che i frangisole agiscono in maggior grado rispetto ai montanti verticali) e inserire rispettivamente i valori nelle tabelle di riferimento per il fattore **Fo**.

Con precisione:

Fs è il **fattore di riduzione dovuto all’ombreggiatura per il serramento;**

Fh è il **fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad ostruzioni esterne per il serramento;** nel nostro caso si è considerata la completa esposizione dell’involucro.

Fo è il **fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti orizzontali** per il serramento;

Fv è il **fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti verticali** per il serramento.

La formula utilizzata visto il caso particolare è:

$$F_s = F_o + 1/2 \rho_{\perp} * (1 - F_o)$$

ombre da aggetti e ostruzioni esterne su **superfici trasparenti**

Fs (x, α , β)	Nord	Sud	Est	Ovest
Gennaio	0,70	0,80	0,86	0,86
Febbraio	0,70	0,73	0,76	0,76
Marzo	0,70	0,64	0,75	0,75
Aprile	0,71	0,57	0,69	0,69
Maggio	0,74	0,58	0,66	0,66
Giugno	0,74	0,58	0,63	0,63
Luglio	0,75	0,57	0,63	0,63
Agosto	0,71	0,56	0,66	0,66
Settembre	0,70	0,59	0,74	0,74
Ottobre	0,70	0,70	0,80	0,80
Novembre	0,70	0,78	0,84	0,84
Dicembre	0,70	0,82	0,87	0,87

Per tutte le esposizioni su superficie vetrata, l'angolo d'ombra proiettato dai brise-soleil si può sintetizzare con 60° grazie alla loro capacità di orientarsi a seconda dell'incidenza del raggio solare (i dati sono consultabili nelle tabelle sottostanti).

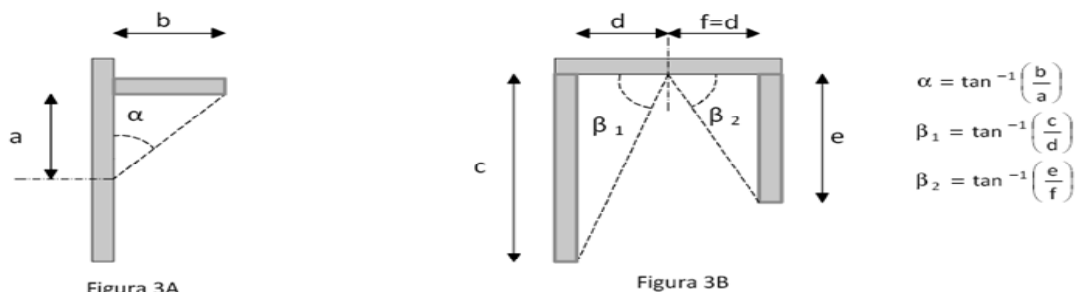


Figura 3A

Figura 3B

Figura 3 – Pareti opache con aggetti orizzontali e verticali (A: sezione verticale; B: sezione orizzontale)

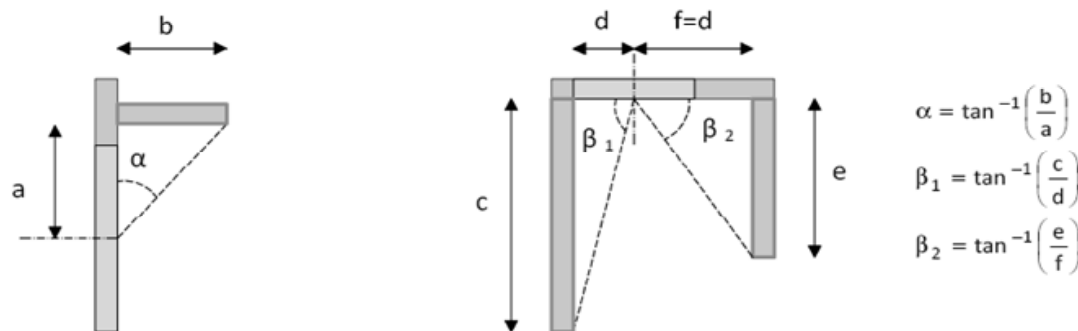


Figura 4A

Figura 4B

Figura 4 – Superfici trasparenti con aggetti orizzontali e verticali (A: sezione verticale; B: sezione orizzontale)

Angolo β	GENNAIO			FEBBRAIO			MARZO			APRILE			MAGGIO			GIUGNO		
	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°	0,92	0,68	0,89	0,90	0,82	0,89	0,88	0,83	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,91	0,85	0,89	0,92	0,85
45°	0,87	0,54	0,85	0,84	0,73	0,85	0,83	0,74	0,85	0,83	0,83	0,83	0,85	0,87	0,80	0,85	0,89	0,79
60°	0,80	0,38	0,80	0,78	0,63	0,80	0,78	0,65	0,80	0,80	0,78	0,79	0,82	0,84	0,75	0,82	0,85	0,75

Angolo β	LUGLIO			AGOSTO			SETTEMBRE			OTTOBRE			NOVEMBRE			DICEMBRE		
	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°	0,88	0,92	0,84	0,88	0,90	0,87	0,88	0,86	0,89	0,89	0,78	0,89	0,92	0,70	0,89	0,92	0,66	0,89
45°	0,85	0,88	0,78	0,84	0,85	0,83	0,83	0,79	0,84	0,84	0,68	0,85	0,87	0,56	0,85	0,87	0,50	0,85
60°	0,82	0,85	0,74	0,81	0,81	0,78	0,79	0,72	0,79	0,78	0,56	0,80	0,80	0,42	0,80	0,80	0,34	0,80

Prospetto XVIII – Fattore di riduzione parziale dovuto ad aggetti verticali, F_v

(Fonte: UNI TS 11300-1:2008)

7.11. APPORTI SOLARI INTERNI STAGIONI RISCALDAMENTO/RAFFRESCAMENTO

I risultati ottenuti dalla tabella riferita alla stagione di riscaldamento sono in linea con le ipotesi e le scelte operate fino a questo punto, infatti gli apporti solari interni nella stagione invernale sono prevalenti a sud ed ad ovest, data la quantità di spazio vetrato a disposizione da cui filtra l'azione solare, mentre risulta più ridotto l'apporto a nord e ad ovest.

Angolo α	GENNAIO			FEBBRAIO			MARZO			APRILE			MAGGIO			GIUGNO		
	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°	0,90	0,88	0,80	0,84	0,83	0,80	0,80	0,83	0,80	0,72	0,80	0,80	0,68	0,79	0,82	0,66	0,78	0,82
45°	0,84	0,85	0,72	0,77	0,77	0,72	0,70	0,76	0,72	0,60	0,72	0,73	0,55	0,70	0,75	0,56	0,68	0,75
60°	0,77	0,83	0,65	0,68	0,72	0,65	0,58	0,71	0,65	0,49	0,63	0,66	0,50	0,60	0,69	0,51	0,57	0,69

Angolo α	LUGLIO			AGOSTO			SETTEMBRE			OTTOBRE			NOVEMBRE			DICEMBRE		
	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°	0,65	0,78	0,82	0,69	0,79	0,81	0,77	0,83	0,80	0,84	0,85	0,80	0,89	0,87	0,80	0,91	0,90	0,80
45°	0,53	0,68	0,76	0,56	0,70	0,73	0,65	0,76	0,72	0,75	0,80	0,72	0,82	0,83	0,72	0,86	0,87	0,72
60°	0,49	0,57	0,70	0,48	0,60	0,66	0,52	0,69	0,65	0,65	0,76	0,65	0,74	0,81	0,65	0,79	0,85	0,65

Prospetto XVII – Fattore di riduzione parziale dovuto ad aggetti orizzontali, F_o

(Fonte: UNI TS 11300-1:2008)

Per quanto riguarda le superfici orizzontali gli apporti in tale caso sono pari a zero. Il dato finale esplicitato come somma dei fattori ottenuti rispetto ai diversi orientamenti prende il nome di Q_{sr} , ovvero il calore in [KWh] di **irradianza solare totale stagionale** (nel periodo di riscaldamento) su superfici trasparenti, per ciascuna esposizione, tenendo conto del fattore solare degli elementi trasparenti, del fattore di correzione per l'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale e degli ombreggiamenti presenti forniti dalle schermature regolabili e fisse. H_s è definibile come l'irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie trasparente, espressa in [kWh/m²]. La presenza di risultati pari a zero nella fascia estiva che va da maggio a settembre è giustificata dall'inutilizzo del riscaldamento, dato che non sarà il medesimo nella tabella della stagione di raffrescamento.

Il **fattore di riduzione degli apporti solari** $F_{(sh+gl)}$ relativo all'utilizzo di schermature mobili complanari al serramento, comprensivo della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata e fattore di correzione per angolo di incidenza medio giornaliero diverso da 0° (incidenza normale), sia per serramento comprensivo o privo di schermature, deve essere calcolato mediante le seguenti equazioni:

$$F_{(sh+gl),i,j} = \begin{cases} F_{gl,i} & \text{heating} \\ f_{shd,j} \cdot F_{sh,i,j} + (1 - f_{shd,j}) F_{gl,i} & \text{cooling} \end{cases}$$

Si utilizza il fattore **Fgl** nelle formule che concorrono al calcolo del Q_{si} per gli apporti solari interni nella stagione di utilizzo del riscaldamento (**heating**), mentre la formula del **cooling** è utilizzata nel caso di apporti solari interni ma nella stagione del raffrescamento. Tali formule sono state integrate con una sommatoria di dati riguardanti il 25% di area trasparente non schermata, al fine di ottenere un valore verosimile alle caratteristiche di progetto.

$$Q_{si} = N \cdot \sum_j \left[\bar{H}_{s,j} \cdot \left(\sum_i A_{L,i} \cdot (1 - F_{F,i}) \cdot F_{S,i,j} \cdot F_{(sh+gl),i,j} \cdot g_{\perp,i} \right) \right]$$

Apporti Solari Interni (stagione di riscaldamento) Q_{si}

		N-O	S-E	N-E	S-O	Orizzontale	Q_{si}
	gg	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Gennaio	31	1066	5565	1331	5273	0	13235
Febbraio	28	1541	5458	1713	5090	0	13803
Marzo	31	2985	6449	3283	6734	0	19451
Aprile	30	4386	5878	4335	6337	0	20936
Maggio	31	0	0	0	0	0	0
Giugno	30	0	0	0	0	0	0
Luglio	31	0	0	0	0	0	0
Agosto	31	0	0	0	0	0	0
Settembre	30	0	0	0	0	0	0
Ottobre	31	2346	6560	2725	6623	0	18254
Novembre	30	1238	5736	1515	5501	0	13991
Dicembre	31	853	5967	1086	5646	0	13552

Apporti Solari Interni (stagione di raffrescamento) Q_{si}

		N-O	S-E	N-E	S-O	Orizzontale	Q_{si}
	gg	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Gennaio	31	1066	5565	1331	5273	0	13235
Febbraio	28	1541	5458	1713	5090	0	13803
Marzo	31	2985	6449	3283	6734	0	19451
Aprile	30	4386	5878	4335	6337	0	20936
Maggio	31	6259	6563	5751	6712	0	25285
Giugno	30	6707	6250	5924	6055	0	24935
Luglio	31	7462	7053	6516	7039	0	28071
Agosto	31	5611	6562	5340	6915	0	24428
Settembre	30	3714	6539	3992	7248	0	21494
Ottobre	31	2346	6560	2725	6623	0	18254
Novembre	30	1238	5736	1515	5501	0	13991
Dicembre	31	853	5967	1086	5646	0	13552

La tabella sopra esplica gli apporti solari gratuiti nella stagione di raffrescamento riferita alla fascia stagionale estiva, i dati risultano analoghi ai precedenti e vengono chiariti i dati che rappresentano il Q_s nella fascia estiva; ciò è deducibile dal momento che gli apporti gratuiti nella stagione calda sono sensibilmente maggiori, e distribuiti in modo omogeneo per tutte le esposizioni. Il raggiungimento di questi risultati sono dovuti all'involucro vetrato che lascia penetrare una maggiore irradianza solare.

7.12. APPORTI SOLARI ESTERNI

La luce del sole colpisce le superfici delle pareti opache, che a loro volta assorbono e accumulano il calore solare. Le superfici delle pareti in muratura che tendono ad assorbire più calore sono quelle di colore scuro, mentre risultano meno assorbenti quelle di colore chiaro. In questo frangente entrano in gioco i fattori di assorbimento solare delle facce esterne dei componenti opachi dell'involucro edilizio. Si fa riferimento a superfici di copertura dal colore chiaro.

Apporti Solari Esterni Q_{SE}

		Nord	Sud	Est	Ovest	Orizzontale	Q_{SE}
	gg	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Gennaio	31	0	0	0	0	1	1
Febbraio	28	0	0	0	0	1	1
Marzo	31	0	0	0	0	2	2
Aprile	30	0	0	0	0	2	2
Maggio	31	0	0	0	0	3	3
Giugno	30	0	0	0	0	3	3
Luglio	31	0	0	0	0	3	3
Agosto	31	0	0	0	0	3	3
Settembre	30	0	0	0	0	2	2
Ottobre	31	0	0	0	0	1	1
Novembre	30	0	0	0	0	1	1
Dicembre	31	0	0	0	0	1	1

$$Q_{SE,O} = N \cdot \sum_j \bar{H}_{s,j} \cdot \left(\sum_i \alpha_i \cdot A_{L,i} \cdot F_s \cdot F_{er,i} \cdot \frac{U_i}{h_e} \right)_j$$

Q_{SE} , è la quantità di **energia solare assorbita dai componenti opachi e trasferita all'ambiente** a temperatura controllata o climatizzata, [kWh]; la formula fa riferimento alla tabella che riassume le metrature di superficie esposta al fattore solare, il contributo degli aggetti architettonici, e le caratteristiche che descrivono le parti opache (trattate nella presentazione della tabella sulle superfici opache). Si registrano sostanzialmente valori piuttosto bassi per la sola componente opaca, mentre i contributi nulli sono dovuti alle superfici orizzontali a causa dell'esposizione diretta ai raggi solari. Il Q_{SE} mostra come tale quantità di energia si elevi nei mesi estivi e tenda a diminuire nelle stagioni meno calde.

7.13. I RISULTATI PER IL FABBISOGNO TERMICO INVERNALE

Il **fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione estiva ed invernale** viene così riassunto dalla definizione della normativa per la Regione Lombardia: quantità di energia primaria globalmente richiesta nel corso della stagione di raffrescamento o riscaldamento, per la climatizzazione estiva/invernale (ovvero per il solo raffrescamento o riscaldamento), in regime di attivazione continuo dell'impianto termico. Il fabbisogno termico di un edificio è di per sé la **differenza tra le perdite di calore durante il periodo di riscaldamento e gli apporti termici gratuiti** (solari e quelli da fonti interne) nello stesso periodo. Il consumo di energia primaria dipende non solo dalle perdite per trasmissione e per ventilazione, ma anche dal rendimento dell'impianto di riscaldamento. L'impianto non trasforma tutta l'energia primaria in calore utile: una parte esce con i fumi e altra va persa durante il trasporto del calore al luogo dove se ne ha bisogno. Nel calcolo del fabbisogno termico bisogna pertanto conteggiare anche queste perdite. Il rendimento degli impianti di riscaldamento viene calcolato secondo la norma UNI 10379. Il fabbisogno termico viene determinato eseguendo così un bilancio termico che tiene conto delle perdite e degli apporti di calore.

		$Q_L - Q_{se}$	Q_G	Y_H	a_c	η_{gain_H}	Q_H
mese	gg	kWh	kWh				kWh
gennaio	31	50944,6	20946,5	0,41	1,9	0,88	32450
febbraio	28	37969,6	20768,0	0,55	1,9	0,83	20804
marzo	31	24224,1	27162,8	1,12	1,9	0,62	7443
aprile	30	6893,2	28399,3	4,12	1,9	0,23	357
maggio	31						
giugno	30						
luglio	31						
agosto	31						
settembre	30						
ottobre	31	7123,9	25965,2	3,64	1,9	0,26	450
novembre	30	27925,4	21453,6	0,77	1,9	0,74	12092
dicembre	31	45957,0	21263,6	0,46	1,9	0,86	27636
stagione di riscaldamento							101232

Si esplicano:

$Q_L - Q_{se}$: alla quantità di **energia scambiata per trasmissione e per ventilazione** tra l'ambiente a temperatura controllata o climatizzato e l'ambiente esterno viene sottratto il contributo degli apporti solari esterni, ciò ci permette di comprendere il grafico riguardante le dispersioni di calore depurato del contributo solare esterno, questo dato si innalza nei mesi più freddi (gennaio e dicembre rappresentano una fascia temporale soggetta a forte dispersione dovuta soprattutto alla differenza di temperatura tra ambiente esterno ed interno).

Q_G è dato da: $Q_s + Q_i$, qui agli **apporti solari esterni nella stagione di riscaldamento si somma il valore degli apporti gratuiti interni**; dai risultati si può comprendere come tali valori si innalzino sempre nel periodo più freddo e diminuiscano nei mesi più caldi, infatti è riassumibile come la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare entrata attraverso i componenti trasparenti.

Il coefficiente y_H esprime il rapporto tra $Q_{L,-Q_{SE}}$ e Q_G , ovvero tra le dispersioni per trasmissione e ventilazione e la quantità di energia presente all'interno dello locale climatizzato in inverno; il suo valore tende ad assumere un valore maggiore soltanto ad aprile ed ottobre, mesi in cui l'utilizzo del riscaldamento è da considerarsi non a pieno regime ed è presente ancora un discreto scambio di energia per trasmissione e ventilazione.

a_c invece risente delle scelte riportate sul Prospetto XXIV, l'utilizzo di una capacità termica per l'involucro pari a 105 KJ/m²K derivato dalla struttura vetrata dell'involucro e da pareti interne leggere e pavimenti piastrellati. La relazione col fattore dei ricambi d'aria secondo criteri igienici minimi è espressa da τ_c ed è strettamente legata con la capacità termica scelta dell'involucro che delimita l'area interna riscaldata/raffreddata rapportandola opportunamente al coefficiente termico di dispersione dell'edificio.

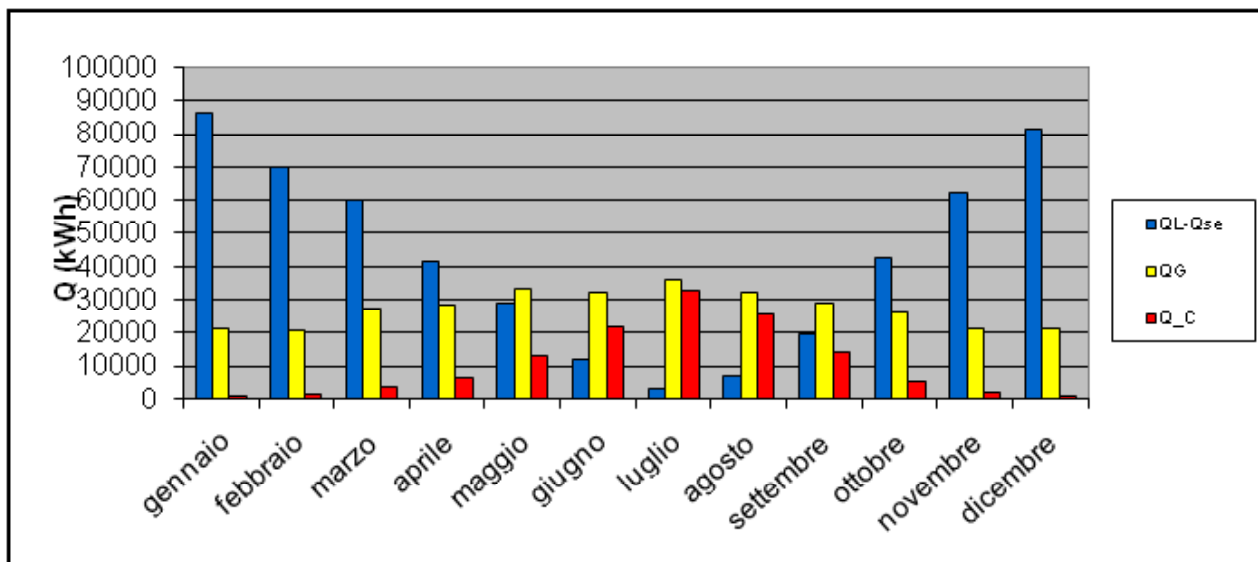
Caratteristiche costruttive dei componenti edilizi				Numero di piani		
Intonaci	Isolamento	Pareti esterne	Pavimenti	1	2	≥3
				Capacità termica areica [kJ/(m²K)]		
gesso	interno	qualsiasi	tessile	75	75	85
	interno	qualsiasi	legno	85	95	105
	interno	qualsiasi	piastrelle	95	105	115
	assente/esterno	leggere/blocchi	tessile	95	95	95
	assente/esterno	medie/blocchi	tessile	105	95	95
	assente/esterno	leggere/blocchi	legno	115	115	115
	assente/esterno	medie/blocchi	legno	115	125	125
	assente/esterno	leggere/blocchi	piastrelle	115	125	135
	assente/esterno	medie/blocchi	piastrelle	125	135	135
malta	interno	qualsiasi	tessile	105	105	105
	interno	qualsiasi	legno	115	125	135
	interno	qualsiasi	piastrelle	125	135	135
	assente/esterno	leggere/blocchi	tessile	125	125	115
	assente/esterno	medie	tessile	135	135	125
	assente/esterno	pesanti	tessile	145	135	125
	assente/esterno	leggere/blocchi	legno	145	145	145
	assente/esterno	medie	legno	155	155	155
	assente/esterno	pesanti	legno	165	165	165
	assente/esterno	leggere/blocchi	piastrelle	145	155	155
	assente/esterno	medie	piastrelle	155	165	165
	assente/esterno	pesanti	piastrelle	165	165	165

Prospetto XXIV – Capacità termica per unità di superficie dell'involucro, C_m

(Fonte: UNI TS 11300-1:2008)

Le differenze che compaiono nella tabella descrittiva del fabbisogno per la stagione del raffrescamento sono riscontrabili nel η_{loss_H} , ovvero il **fattore di utilizzazione di riferimento delle dispersioni termiche dovute all'utilizzo dell'impianto di raffrescamento**; nel periodo più caldo il valore è pari ad 1, giustificando l'utilizzo a pieno regime dell'impianto di condizionamento. Il Q_c (**fabbisogno di energia termica sensibile per la climatizzazione estiva**) risulta inversamente proporzionale al Q_H della stagione invernale, nei mesi più freddi esso si abbassa e tende a salire gradualmente nella fascia dei mesi estivi mantenendo in ogni caso un valore non superiore agli 8000 kWh; il picco più alto infatti si raggiunge a luglio a causa dell'utilizzo dell'impianto di raffrescamento.

Il $Q_{L,Q_{SE}}$ rispetta l'andamento del precedente grafico, registrando il dato anche nella fascia estiva visto che l'analisi è incentrata proprio sul fabbisogno estivo. Il Q_G cioè l'energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare si mantiene costante con un lieve innalzamento nei mesi più caldi, infatti la radiazione solare in questo periodo è piuttosto alta.



7.15. VERIFICA DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA PER IL RISCALDAMENTO

La prestazione energetica complessiva dell'edificio è espressa attraverso l'**indice di prestazione energetica globale EP_H** , cioè il **consumo totale di energia primaria per il riscaldamento invernale** (in regime controllato degli impianti, 12h) riferito al volume lordo, espresso rispettivamente in $[KW/m^2]$ anno o $[KWh/m^3]$ anno. L'indice di prestazione energetica complessiva dell'edificio EP_H $[KWh/m^2]$ determina la classe energetica dell'edificio, ovvero l'etichetta di efficienza energetica attribuita all'edificio (questo indice tiene conto del rapporto tra l'energia necessaria per portare un ambiente alla temperatura di 18 °C e la superficie globale dell'ambiente) sulla base di un intervallo convenzionale di riferimento all'interno del quale si colloca appunto la sua prestazione energetica complessiva. La classe energetica è contrassegnata da una lettera che varia dalla A + alla G.

Il rapporto **S/V**, ovvero **superficie disperdente su volume lordo riscaldato** ci fornisce il rapporto di forma dell'edificio, che nel nostro caso è pari a **0,34**. Per interpolazione (se S/V è compreso tra 0,2 e 0,9 e per GG intermedi a quelli di legge) lineare dei valori limite di legge riportati nell'allegato C del D.Lgs 311/06 si ricava il dato **EP_{Hlim}** (**l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale**), esso deve essere inferiore ai valori limite previsti, (per edifici non residenziali **10 kWh/m³** da normativa **D.P.R 2 aprile 2009 n. 59**).

La **classe energetica** è definita come da normativa vigente per la Regione Lombardia: intervallo convenzionale delimitato da soglie di riferimento, volto a rappresentare sinteticamente la prestazione energetica di un edificio sulla base di predefiniti indicatori di prestazione energetica.

Rapporto di forma dell'edificio	Zona climatica				
	D		E		F
S/V	da 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3001 GG
≤ 0,2	21,3	34	34	46,8	46,8
≥ 0,9	68	88	88	116	116

Tabella A.1 – Valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, espresso in kWh/m² anno, per gli edifici della categoria E.1, esclusi colleggi, conventi, case di pena e caserme.

Il **Q_H** annuo è ricavabile dal precedente paragrafo sul fabbisogno energetico invernale; la **potenza termica utile del generatore P_n** è data dalla **Q termica** disponibile per **p aria**, il valore ottenuto è di **133,8 KW**. Infine è necessario ricavare **ε_{g,min}** (**efficienza globale media stagionale minima dell'impianto di riscaldamento**). La formula: $0,75+(0,03*\text{LOG}_{10}(\text{Pn}))$ porta al risultato dell'**81,4%**.

Ora si può ricavare **Q_{EPH,annuo}**, dato dal rapporto tra **Q_H** annuo e l'efficienza globale media minima, si ottiene il fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento il cui valore è **124.395 KWh**.

EP_H si ottiene con la formula: $\text{Q}_{\text{EPH,annuo}} / \text{V lordo riscaldato}$, il risultato ci porta ad un dato di **16,1 kWh/m³**.

Classe	Altri edifici		
	Zona E	Zona F1	Zona F2
A+	EP _H < 3	EP _H < 4	EP _H < 5
A	3 ≤ EP _H < 6	4 ≤ EP _H < 7	5 ≤ EP _H < 9
B	6 ≤ EP _H < 11	7 ≤ EP _H < 15	9 ≤ EP _H < 19
C	11 ≤ EP _H < 27	15 ≤ EP _H < 37	19 ≤ EP _H < 46
D	27 ≤ EP _H < 43	37 ≤ EP _H < 58	46 ≤ EP _H < 74
E	43 ≤ EP _H < 54	58 ≤ EP _H < 73	74 ≤ EP _H < 92
F	54 ≤ EP _H < 65	73 ≤ EP _H < 87	92 ≤ EP _H < 110
G	EP _H ≥ 65	EP _H ≥ 87	EP _H ≥ 110

Tabella A.4.2 - Valori limite della classi energetiche per la climatizzazione invernale o il riscaldamento, espressi in chilowattora per metro cubo di volume lordo, delle parti di edificio a temperatura controllata o climatizzato [kWh/m³ anno], per tutti gli edifici, esclusi quelli di cui alla tabella A.4.1.

Si registra così una **classe energetica C** per la zona climatica E con un valore EP_H compreso tra 11 e 27 kWh/m³. Il valore raggiunto vuole indicare come l'edificio studiato raggiunga caratteristiche scarse dal punto di vista della classificazione energetica e del risparmio dei consumi raggiunti nel tempo di utilizzo dello stesso. L' EP_{Hlim} dalla precedente interpolazione ci ha portato ad un risultato di **54,7 kWh/m²**.

7.16. VERIFICA DI PRESTAZIONE ENERGETICA PER IL RAFFRESCAMENTO

Conoscendo già il Q_c annuo grazie ai calcoli sul fabbisogno energetico estivo, risulta particolarmente semplice calcolare ET_c (**fabbisogno energetico annuo per il raffrescamento**) dato dalla formula: $Q_{c,annuo} / V$ lordo riscaldato, il risultato è di **16 kWh/m³** e rientra come da tabella presentata sotto nella classe energetica **D**.

Classe	Altri edifici		
	Zona E	Zona F1	Zona F2
A+	$ET_c < 2$	$ET_c < 2$	$ET_c < 2$
A	$2 \leq ET_c < 4$	$2 \leq ET_c < 4$	$2 \leq ET_c < 4$
B	$4 \leq ET_c < 8$	$4 \leq ET_c < 8$	$4 \leq ET_c < 8$
C	$8 \leq ET_c < 12$	$8 \leq ET_c < 12$	$8 \leq ET_c < 12$
D	$12 \leq ET_c < 16$	$12 \leq ET_c < 16$	$12 \leq ET_c < 16$
E	$16 \leq ET_c < 20$	$16 \leq ET_c < 20$	$16 \leq ET_c < 20$
F	$20 \leq ET_c < 24$	$20 \leq ET_c < 24$	$20 \leq ET_c < 24$
G	$ET_c \geq 24$	$ET_c \geq 24$	$ET_c \geq 24$

Tabella A.4.4 - Valori limite delle classi energetiche per la climatizzazione estiva o il raffrescamento, espressi in chilowattora per metro cubo di volume lordo a temperatura controllata o climatizzate [kWh/m³ anno], per tutti gli edifici, esclusi quelli di cui alla tabella A.4.3.

7.17 IL SISTEMA DI CLIMATIZZAZIONE ADOTTATO

Le problematiche legate alle variazioni climatiche, ed i problemi circa l'impatto ambientale rendono necessari i controlli sulle condizioni di comfort e di qualità dell'aria all'interno dell'ambiente pubblico progettato, al fine di garantire il benessere del visitatore.

Il comfort ideale è ottenuto con un appropriato controllo della temperatura, dell'umidità e della qualità dell'aria immessa negli ambienti; per questi motivi l'impianto di climatizzazione della torre vetrata è stato affidato all'utilizzo dell'unità di trattamento aria a basso consumo con recupero di calore.

La torre info-point è stata dotata di un sistema di condizionamento di due unità di trattamento aria nel locale interrato (opportuna-mente isolato e separato con porte REI); la struttura stessa della torre imponeva l'utilizzo di canali di grandezza limitata, in modo da essere posizionati nelle solette e nel cavedio che percorre a tutta altezza l'edificio. La dimensione dei condotti è stata così limitata ed è stato necessario operare una suddivisione della distribuzione dell'aria ai vari piani: dove le altezze lo consentivano sono stati installati canali tipici a sezione circolare, mentre per altri livelli è stato utilizzato il sistema di diffusione Plenum². Quest'ultimo dispositivo

permette di adottare un sistema di distribuzione a tutt'aria anche in spazi particolarmente limitati; le solette dei piani, di per sé piuttosto alte a causa della struttura in acciaio che supera luci ragguardevoli, non potevano essere ulteriormente inspessite con un controsoffitto in grado di supportare la diffusione a bocchette. Il Plenum ha soddisfatto così la richiesta distributiva inserendosi tra le travi secondarie opportunamente forate per il passaggio dell'aria a basse velocità, andando a creare una semplice controsoffittatura che ospita l'incasso dei diffusori. Lo schema distributivo è facilmente comprensibile tramite gli schemi allegati: una colonna montante (composta da mandata e ripresa) inserita nel cavedio circolare conduce l'aria ai vari piani, dove per ognuno vengono adottate le tubazioni oppure il Plenum. La porzione di soffitto centrale è dedicata al passaggio di aria di mandata, mentre un bordo perimetrale al piano ha la funzione di ospitare l'aria di ripresa. Il posizionamento dell'UTA nei piano interrato ha richiesto la progettazione di alcuni punti per la ripresa dell'aria almeno a 3m di altezza come disposto da normativa.

Per quanto riguarda la climatizzazione del fabbricato oggetto di recupero è stato utilizzato lo stesso sistema a tutt'aria, fornendolo anche in questo caso di due UTA negli interrati, per la gestione ottimale del raffrescamento ed del riscaldamento delle aree con funzioni non omogenee. Una prima unità avrà funzione di controllo per l'ala dell'edificio che ospita le aule ricreative e gli spazi dell'Associazione "Amici della Valmorea". La seconda invece interverrà per la climatizzazione del solo teatro, il quale avrà modalità di utilizzo totalmente diverse dai primi spazi. Il dimensionamento in base alle reali necessità ed ai volumi da riscaldare è stato effettuato per la sola torre, mentre per la scuola VIMA sono stati semplicemente disposti gli spazi ed i cavedi per il passaggio degli impianti. La scuola stessa è caratterizzata di per sé da ampi spazi e da altezze tali da facilitare la distribuzione di eventuali impianti a tutt'aria; a tal proposito non si è ritenuto necessario un calcolo approfondito sulle tubazioni, bensì si è rivelato necessario per la struttura alta, vista la qualità e la complessità degli spazi.

² I plenum fanno parte del sistema di distribuzione d'aria, vengono installati tra il condotto principale e i tubi flessibili oppure tra l'unità di ventilazione e i condotti per poi arrivare alle bocchette. Progettati per ottenere risultati ottimali e rendere performante la distribuzione nei condotti di ventilazione, condizionamento e riscaldamento; sono ideali per applicazioni di condizionamento e riscaldamento anche in piccoli ambienti. I plenum sono utilizzati come complemento a diffusori e griglie, sia per mandata che per ripresa e garantiscono il flusso ottimale dell'aria permettendo una regolazione accurata della portata. I plenum, inoltre, vengono normalmente forniti con isolamento acustico che garantisce livelli sonori contenuti. Questo consente di ridurre il rumore dovuto al flusso d'aria all'interno dei canali e la sua propagazione da un locale all'altro.

7.18. DATI PRINCIPALI PER IL DIMENSIONAMENTO UTA E LOCALI TECNICI TORRE INFO-POINT

n ricambi ora: 4 (per spazi pubblici)

Numero UTA impiegate :2

Dimensioni principali UTA singola per una portata d'aria di circa 10.000 m³/h:

- altezza 120 cm
- larghezza 185 cm
- lunghezza 545 cm

H locale per l'installazione UTA: 3,20 m.

Superficie in pianta necessaria per ospitare suddetta UTA: circa 70 m².

Numero di diffusori MANDATA

(portata volumica totale/velocità aria) =18195,76m³/h / 500m/s = 36,4

Numero diffusori per piano circa: 4

Per i piani interessati dall'installazione del sistema Plenum le bocchette sono state aumentate considerando la bassa velocità dell'aria (1m³/s circa) circolante

Numero di diffusori RIPRESA

(90% portata volumica totale/velocità aria) =16376,18m³/h / 500m/s = 32,75

Numero diffusori per piano circa: 3,63

Volume [m ³]	Volumi da riscaldare [m ³]	Portata volumica (singola UTA) [m ³ /h]	90% V per ripresa (singola UTA) [m ³ /h]
Piano -1	1174,40	2348,80	2113,92
Piano terra	431,28	862,57	776,32
Piano 1	328,02	656,04	590,44
Piano 2	328,02	656,04	590,44
Piano 3	765,38	1530,77	1377,69
Piano 4	328,02	656,04	590,44
Piano 5	328,02	656,04	590,44
Piano 6	568,57	1137,14	1023,43
Piano 7	297,19	594,39	534,95
Totale	4548,93	9097,87	8188,09

CANALI DI MANDATA

TRATTO A-B		TRATTO f1,1-f3-1	
Q	4000 m ³ /h = 2,53 m ³ /s	Q	1143,6 m ³ /h = 0,32 m ³ /s
w	7 m/s	w	3 m/s
A	0,36 m ²	A	0,11 m ²
d sezione circolare	0,68 m = 70 cm	d sezione circolare	0,37 m = 37 cm
TRATTO B-b1,1		TRATTO F-G	
Q	4548,9 m ³ /h = 1,26 m ³ /s	Q	3043,6 m ³ /h = 0,84 m ³ /s
w	6 m/s	w	5 m/s
A	0,21 m ²	A	0,17 m ²
d sezione circolare	0,52 m = 52 cm	d sezione circolare	0,46 m = 46 cm
TRATTO b1,1-b2,1-b4,1		TRATTO G-H	
Q	2274,5 m ³ /h = 0,63 m ³ /s	Q	2387,59 m ³ /h = 0,66 m ³ /s
w	4 m/s	w	5 m/s
A	0,16 m ²	A	0,13 m ²
d sezione circolare	0,45 m = 45 cm	d sezione circolare	0,41 m = 41 cm
TRATTO b4,1-b5,1		TRATTO H-I	
Q	1137,2 m ³ /h = 0,31 m ³ /s	Q	1731,5 m ³ /h = 0,48 m ³ /s
w	2,5 m/s	w	5 m/s
A	0,13 m ²	A	0,09 m ²
d sezione circolare	0,40 m = 40 cm	d sezione circolare	0,35 m = 35 cm
TRATTO B-C (solo colonna montante per plenum)		TRATTO I-i1,1	
Q	6749,1 m ³ /h = 1,87 m ³ /s	Q	865,8 m ³ /h = 0,24 m ³ /s
w	5 m/s	w	4 m/s
A	0,37 m ²	A	0,06 m ²
d sezione circolare	0,70 m = 68 cm	d sezione circolare	0,28 m = 28 cm
TRATTO C-D (solo colonna montante per plenum)		TRATTO i1,1-i3,1	
Q	5886,5 m ³ /h = 1,63 m ³ /s	Q	432,9 m ³ /h = 0,12 m ³ /s
w	5 m/s	w	4 m/s
A	0,33 m ²	A	0,03 m ²
d sezione circolare	0,65 m = 65 cm	d sezione circolare	0,19 m = 19 cm
TRATTO D-E (solo colonna montante per plenum)		TRATTO I-L	
Q	5230,4 m ³ /h = 1,45 m ³ /s	Q	594,4 m ³ /h = 0,16 m ³ /s
w	5 m/s	w	5 m/s
A	0,29 m ²	A	0,33 m ²
d sezione circolare	0,60 m = 60 cm	d sezione circolare	0,20 m = 20 cm
TRATTO E-F		TRATTO L-l1,1	
Q	4574,4 m ³ /h = 1,27 m ³ /s	Q	297,2 m ³ /h = 0,08 m ³ /s
w	5 m/s	w	4 m/s
A	0,25 m ²	A	0,02 m ²
d sezione circolare	0,57 m = 57 cm	d sezione circolare	0,16 m = 16 cm
TRATTO F-f1,1		TRATTO I1,1-I3,1	
Q	2287,2 m ³ /h = 0,63 m ³ /s	Q	148,6 m ³ /h = 0,41 m ³ /s
w	4 m/s	w	2,5 m/s
A	0,16 m ²	A	0,01 m ²
d sezione circolare	0,44 m = 44 cm	d sezione circolare	0,14 m = 14 cm

CANALI DI RIPRESA

TRATTO R5-R4 (canale esterno di ripresa)

Q	8188 m ³ /h = 2,27 m ³ /s
w	5,5 m/s
A	0,41 m ²
d sezione circolare	0,73 m = 73 cm

TRATTO R4-R3

Q	4094 m ³ /h = 1,14 m ³ /s
w	4,5 m/s
A	0,25 m ²
d sezione circolare	0,57 m = 57 cm

TRATTO R3-R2

Q	2047 m ³ /h = 0,57 m ³ /s
w	4 m/s
A	0,14 m ²
d sezione circolare	0,57 m = 57 cm

TRATTO R2,0-r1,1

Q	1023,5 m ³ /h = 0,28 m ³ /s
w	3 m/s
A	0,09 m ²
d sezione circolare	0,35 m = 35 cm

TRATTO r1,1-r2,1

Q	511,76 m ³ /h = 0,14 m ³ /s
w	3 m/s
A	0,05 m ²
d sezione circolare	0,25 m = 25 cm

TRATTO R2-R2,1 (solo colonna montante per plenum)

Q	6074,2 m ³ /h = 1,69 m ³ /s
w	4 m/s
A	0,42 m ²
d sezione circolare	0,73 m = 73 cm

TRATTO R2,1-R2,2 (solo colonna montante per plenum)

Q	5297,8 m ³ /h = 1,47 m ³ /s
w	4 m/s
A	0,37 m ²
d sezione circolare	0,68 m = 68 cm

TRATTO R2,2-R2,3 (solo colonna montante per plenum)

Q	4707,4 m ³ /h = 1,31 m ³ /s
w	4 m/s
A	0,33 m ²
d sezione circolare	0,64 m = 64 cm

TRATTO R2,3-R2,4

Q	4116,9 m ³ /h = 1,14 m ³ /s
w	4 m/s
A	0,28 m ²
d sezione circolare	0,60 m = 60 cm

TRATTO R2,3-r1,1

Q	2058,48 m ³ /h = 0,57 m ³ /s
w	3 m/s
A	0,19 m ²
d sezione circolare	0,49 m = 49 cm

TRATTO r1,1-r2,1

Q	1029 m ³ /h = 0,28 m ³ /s
w	3 m/s
A	0,09 m ²
d sezione circolare	0,35 m = 35 cm

TRATTO R2,4-R2,5

Q	2739,3 m ³ /h = 0,76 m ³ /s
w	4 m/s
A	0,19 m ²
d sezione circolare	0,49 m = 49 cm

TRATTO R2,5-R2,6

Q	2148,8 m ³ /h = 0,60 m ³ /s
w	4 m/s
A	0,15 m ²
d sezione circolare	0,44 m = 44 cm

TRATTO R2,6-R2,7

Q	1558,4 m ³ /h = 0,43 m ³ /s
w	4 m/s
A	0,11 m ²
d sezione circolare	0,37 m = 37 cm

TRATTO R2,7-r1,1

Q	779,2 m ³ /h = 0,43 m ³ /s
w	3 m/s
A	0,07 m ²
d sezione circolare	0,30 m = 30 cm

TRATTO r1,1-r2,1

Q	389,6 m ³ /h = 0,11 m ³ /s
w	3 m/s
A	0,03 m ²
d sezione circolare	0,21 m = 21 cm

TRATTO R2,7-R2,8

Q	534,9 m ³ /h = 0,15 m ³ /s
w	4 m/s
A	0,04 m ²
d sezione circolare	0,22 m = 22 cm

TRATTO R2,8-r1,1

Q	267,5 m ³ /h = 0,07 m ³ /s
w	3 m/s
A	0,02 m ²
d sezione circolare	0,18 m = 18 cm

TRATTO r1,1-r2,1

Q	133,74 m ³ /h = 0,04 m ³ /s
w	3 m/s
A	0,01 m ²
d sezione circolare	0,12 m = 12 cm

