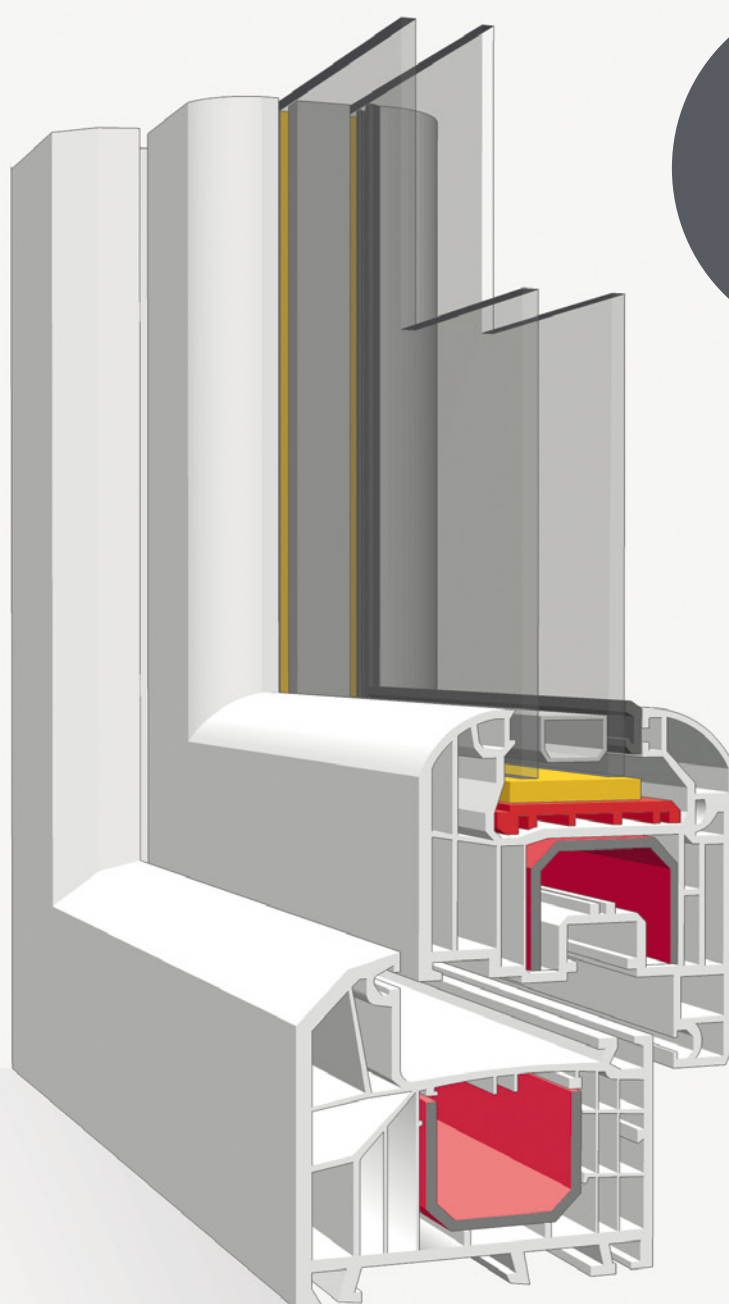


GUIDA AI SERRAMENTI

Trasmittanza infissi, taglio termico,
vetro basso emissivo



Concetti
teorici ed
esempi
pratici

NOTA

AGGIORNAMENTI del FILE

Si informano i lettori che questa guida potrebbe subire nel corso del tempo **modifiche ed aggiornamenti**.

Gli aggiornamenti saranno pubblicati nella pagina di BibLus-net che ospita l'articolo.

Si invita quindi il lettore a verificare la disponibilità di nuove release o edizioni di questo documento al seguente link:

Il numero di Edizione e revisione è riportato sulla copertina del documento, unitamente alla data di pubblicazione.

Sommario

La funzione dei serramenti	5
Materiali	6
Legno	6
Alluminio	11
PVC	13
Acciaio	13
Finestre in materiali misti	16
Alluminio-PVC	18
Pur-alluminio	19
Legno-pvc	19
Conduttività termica λ	20
Resistenza termica	22
Resistenze termiche superficiali	23
Conduttanza termica unitaria	23
Adduttanza unitaria superficiale	23
Trasmittanza termica dei serramenti	23
Vetri e caratteristiche termiche	26
Tipologie di vetro	26
Vetro basso emissivo (Low-E)	28
Vetri a controllo solare	30
Valori tipici di trasmittanza	31
Finestre e obblighi di legge	33
Edifici soggetti a riqualificazione	33
Esempi di calcolo trasmittanza serramenti	34

La scelta di serramenti opportuni è un'operazione di fondamentale importanza nella progettazione termica degli edifici, sia in caso di realizzazione di nuovi edifici che in quello di riqualificazione energetica.

Attraverso le finestre avvengono durante tutto l'arco dell'intera giornata importanti scambi energetici, che consistono in apporti e dispersioni in grado di influenzare il bilancio energetico dei fabbricati. La progettazione termotecnica dell'edificio implica la scelta dei serramenti esterni con l'obiettivo, a seconda dell'ubicazione del fabbricato, dell'esposizione e della latitudine, di ridurre i consumi globali derivanti dall'esercizio durante tutto il periodo dell'anno.

Scegliere la tipologia di infissi da installare comporta l'individuazione del giusto compromesso tra alcuni fattori quali:

- isolamento termico
- isolamento acustico
- sicurezza
- estetica
- durata

La funzione dei serramenti

I serramenti svolgono un ruolo fondamentale per quanto riguarda il comfort degli ambienti interni; essi infatti devono soddisfare una serie di requisiti legati a varie esigenze, quali:

- illuminazione: i vetri dei serramenti permettono alla luce di entrare nei nostri ambienti per consentirci di sfruttarla secondo le nostre esigenze; è compito del progettista definire la giusta superficie vetrata in funzione della dimensione del vano e della sua destinazione d'uso, al fine di garantire il corretto rapporto aeroilluminante luce/superficie del vano
- tenuta alle intemperie: il serramento deve proteggere gli interni da intemperie, vento, pioggia e neve; la protezione dagli agenti atmosferici è la funzione fondamentale per contenere i costi di riscaldamento e condizionamento e per proteggere l'ambiente interno da impurità e sostanze inquinanti, rendendolo così pulito, vivibile e sano
- resistenza meccanica: i serramenti devono avere una buona resistenza meccanica e resistere alle varie sollecitazioni, in particolare a quelle dovute al vento e agli agenti esterni
- isolamento termico: devono fornire buone prestazioni energetiche al fine di garantire comfort termico all'interno dell'unità immobiliare, contenendo i costi per il riscaldamento e il condizionamento
- ventilazione: ogni locale occupato da persone deve essere costantemente areato; la finestra ha lo scopo di assicurare i giusti ricambi d'aria per il benessere di chi occupa i locali. In particolare gli infissi devono soddisfare esigenze di ventilazione o di microventilazione con l'obiettivo di garantire:
 - il ricambio d'aria per riossigenare e rendere efficiente la respirazione delle persone
 - l'allontanamento dell'anidride carbonica emessa dall'uomo e dell'eventuale ossido di carbonio generato dalle fiamme
 - la diluizione di odori generati dalle persone, dal fumo prodotto dalle sigarette o dai contaminanti che derivano dalla cottura, dal lavaggio e dalle altre attività domestiche
 - la diminuzione dell'umidità dell'aria per evitare la condensa e la formazione delle muffe
- sicurezza: i serramenti devono garantire la giusta sicurezza nei confronti dell'eventuale ingresso da parte di malintenzionati e/o animali
- estetica: gli infissi devono soddisfare anche esigenze estetiche, per garantire il decoro e la bellezza dei locali interni; esiste una vasta gamma di colori e finiture in grado di coprire qualsiasi richiesta
- isolamento acustico: gli infissi devono proteggere gli occupanti dai rumori proveniente dall'ambiente esterno

Materiali

Esistono in commercio svariate tipologie di serramenti. I principali materiali utilizzati per i telai sono i seguenti:

- legno
- alluminio
- PVC
- acciaio
- materiali misti

Ciascuna tipologia offre caratteristiche differenti. Di seguito si analizzano in dettaglio i materiali, con particolare attenzione a vantaggi e svantaggi di ciascuno di essi.

Legno

Il legno è il materiale tradizionalmente più usato per la produzione di serramenti. Esso è caratterizzato da un basso coefficiente di trasmittanza termica, da un aspetto gradevole, dall'attitudine ad essere lavorato e dal soddisfacente comportamento in esercizio del serramento.



Infisso in legno

Le proprietà naturali del materiale sono:

- durabilità naturale
- adeguata massa volumetrica
- stabilità dimensionale in fase di esercizio
- resistenza meccanica e rigidità
- durezza superficiale

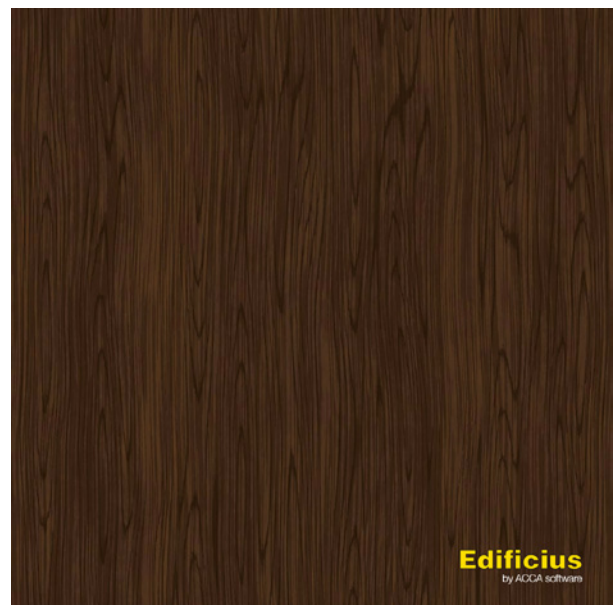
Le essenze più utilizzate sono:

- larice
- abete
- pino
- castagno
- rovere
- iroko
- hemlock
- douglas
- pitch-pine
- legni lamellari

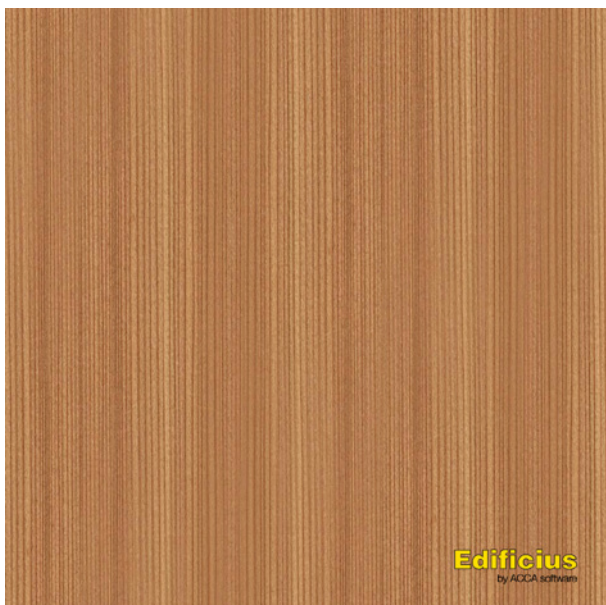
Di seguito è proposta una galleria con le immagini (texture) dei principali legni utilizzati per i telai dei serramenti (prelevate dal catalogo del software Edificius).



pino



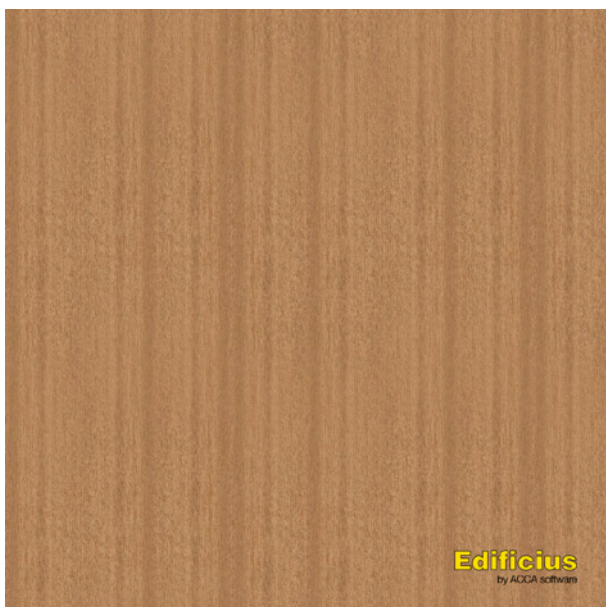
noce



larice



iroko



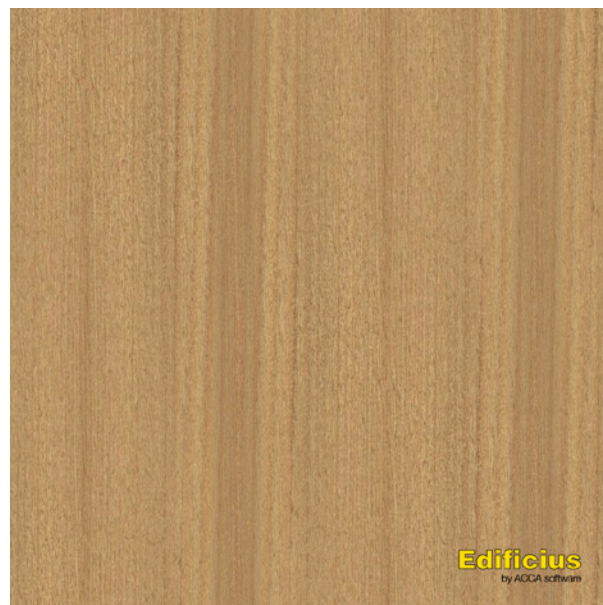
hemlock



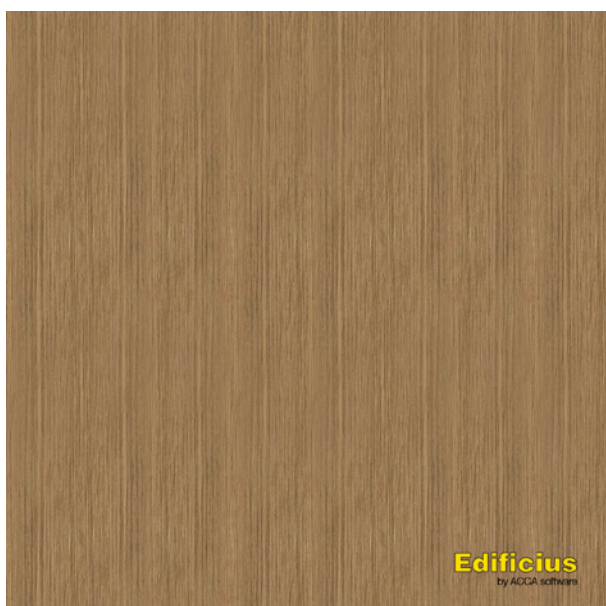
douglas



castagno



abete



rovere



pitch pine

Per migliorare la durata dell'infisso ed evitare l'insorgere di deformazioni e di fenomeni d'imbarcamento, il legno deve essere opportunamente essiccato. Inoltre, se il legno non presenta una sufficiente durabilità naturale, è indispensabile un trattamento preservante che abbia un'efficace azione contro funghi ed insetti.

I profili di legno sono gli elementi caratterizzanti le parti strutturali di un infisso e, per garantire una durata nel tempo del serramento, è necessario un corretto dimensionamento dello spessore, della larghezza media e della loro lunghezza.

Sempre più spesso si usano i legni lamellari, che garantiscono buona stabilità all'infisso, ottenuti per incollaggio di sottili elementi uniti tra loro in modo da sfalsare i nodi per controbilanciare la tendenza all'imbarcamento di ciascun elemento.

L'infisso in legno deve essere opportunamente protetto dagli agenti esterni (umidità e radiazioni ultraviolette) mediante l'uso di vernici; recentemente si stanno diffondendo materiali protettivi provenienti dalle nano-tecnologie.

Gli infissi, realizzati con cura e precisione, conservano un'ottima tenuta nel tempo e resistenza meccanica, tuttavia richiedono operazioni di manutenzione, come ad esempio il trattamento con particolari vernici o impregnanti, da effettuare mediamente ogni 5 anni.

Di seguito si riporta una tabella di riepilogo con le caratteristiche principali, i vantaggi e i limiti dei serramenti con telaio in legno.

LEGNO

PROPRIETÀ DEL MATERIALE

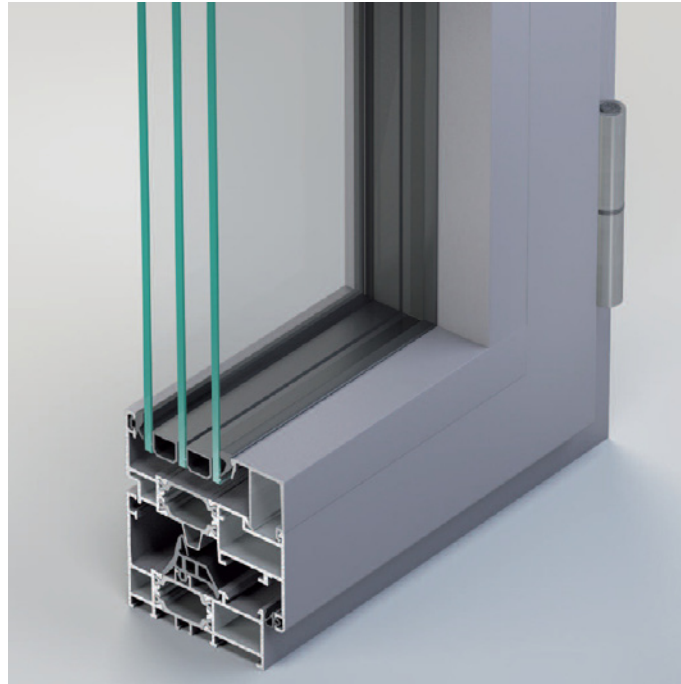
Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none">• durabilità naturale• adeguata massa volumetrica• stabilità dimensionale• resistenza meccanica• rigidità• durezza superficiale• tenuta delle viti	<ul style="list-style-type: none">• possibili deformazioni• attacco dagli agenti atmosferici• necessità di manutenzione ogni 5÷10 anni

PRESTAZIONI ENERGETICHE

Larghezza media telaio	Trasmittanza Termica U (W/m ² K) - UNI EN 10077
Legno 30 mm	2,20
Legno 50 mm	1,90
Legno 100 mm	1,42
Permeabilità all'aria	classe A3 (UNI EN 1026)
Tenuta all'acqua	classe E4 (UNI EN 1027)
Resistenza al vento	classe V3 (UNI EN 12211)

Alluminio

L'alluminio utilizzato per la fabbricazione dei profili dei serramenti è costituito da leghe di silicio e magnesio, con basse percentuali di rame. Infatti, legare l'alluminio con un altro materiale significa migliorarne le caratteristiche fisiche, di finitura e di lavorazione.



Infisso in alluminio

Altri metalli che possono formare leghe con l'alluminio sono lo zinco e il manganese.

I serramenti in alluminio possono presentarsi al naturale, ossia con l'aspetto e il colore che derivano dal processo di ossidazione anodica, oppure possono essere colorati per elettrocolorazione o verniciati con resine sintetiche.

L'alluminio ha numerose proprietà quali:

- resistenza
- leggerezza
- buone proprietà meccaniche
- buona tenuta agli agenti atmosferici

Quest'ultima proprietà fa sì che i serramenti in alluminio abbiano una buona durabilità nel tempo; tuttavia l'alluminio è un buon conduttore di calore, proprietà che non è molto utile alla realizzazione di serramenti.

Per ridurre i valori di trasmittanza dei profili si realizza il cosiddetto "taglio termico". I profilati a taglio termico si basano sul principio dell'interruzione della continuità del metallo attraverso l'inserimento di un opportuno materiale a bassa conducibilità termica in corrispondenza di una camera interna al profilato.

Il sistema più diffuso consiste nell'iniettare una schiuma poliuretanica all'interno del profilato estruso e provvedere alla successiva asportazione meccanica di strisce dell'estruso.

Relativamente alla tenuta agli agenti atmosferici la produzione attuale si avvale di infissi a "giunto aperto". Infatti, la guarnizione esterna utilizzata nei serramenti normali non è sufficiente ad evitare infiltrazioni di aria ed acqua all'interno del serramento quando, ad esempio, in presenza di elevata pressione esterna il profilo dell'anta tende ad inflettersi determinando il distacco della guarnizione dal controtelaio.

Nel caso di infissi "a giunto aperto" l'acqua, eventualmente penetrata all'interno, viene drenata attraverso fori di scarico grazie ad un fenomeno di equilibrio della pressione interna al profilato con quella esterna, che rende noto questo tipo di giunto anche con il nome di "giunto a compensazione di pressione". La ricerca degli ultimi anni agisce sull'assottigliamento dei setti, per ridurre la conduttività, su una compartizione più evoluta della camera del telaio per minimizzare le dispersioni termiche e sull'aumento dello spessore del taglio termico.

ALLUMINIO

PROPRIETÀ DEL MATERIALE

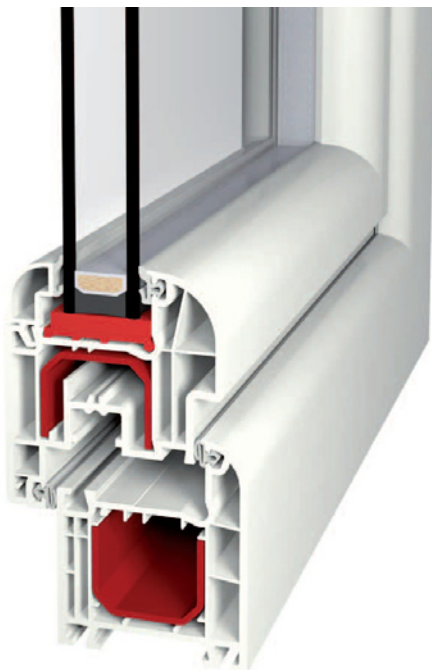
Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none">• resistenza e leggerezza• buona tenuta agli agenti atmosferici• durabilità• bassi costi di manutenzione• possibilità di avere grandi luci• lavorabilità	<ul style="list-style-type: none">• Elevata conduzione termica (necessità di taglio termico)

PRESTAZIONI ENERGETICHE

Tipo di telaio	Trasmittanza Termica U (W/m ² K)
Telaio a taglio termico	3,1 - 3,7
Senza taglio termico	7 - 5
Permeabilità all'aria	classe A3 (UNI EN 1026)
Tenuta all'acqua	classe E3 (UNI EN 1027)
Resistenza al vento	classe V3 (UNI EN 12211)

PVC

Il PVC, polivinilcloruro, è stato introdotto nel mercato negli anni '50 e si è fortemente sviluppato grazie ai costi particolarmente contenuti e alle caratteristiche di isolamento, stabilità agli urti, resistenza agli agenti atmosferici.



Infisso in PVC



Infisso in PVC

Il PVC si presenta sottoforma di polvere composta per il 57% da sale e il 43% da petrolio che, miscelata con vari additivi, viene trasformata in prodotto finito. In base al tipo e alla percentuale di tali sostanze aggiunte, si ottengono differenti formulazioni di PVC, dai materiali flessibili simili (alla gomma) ai materiali rigidi.

I profili sono ottenuti attraverso un processo di estrusione a caldo. La produzione è molto vasta e consente di avere profili di diverse dimensioni, complanari all'esterno, a gradino ecc. La camera centrale è spesso rinforzata con un profilo di acciaio zincato.

Nei serramenti in PVC l'evoluzione è consistita soprattutto nell'aumentare il numero di camere in modo da massimizzare la stabilità finale del profilo.

Acciaio

In questa tipologia di serramenti l'acciaio è impiegato sotto forma di profilati o estrusi speciali per telai e

PVC

PROPRIETÀ DEL MATERIALE

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • Impermeabilità • leggerezza • bassa conduttività termica • elevata durabilità • manutenzione ridotta • buon isolamento termico e acustico • economicità • stabilità cromatica 	<ul style="list-style-type: none"> • bassa resistenza meccanica • elevata deformabilità

PRESTAZIONI ENERGETICHE

Numero di camere	Trasmittanza Termica U (W/m ² K)
PVC una camera	2,4
PVC 2-3 camere	1,6 - 1,9
Permeabilità all'aria	classe A3/ A4 (UNI EN 1026)
Tenuta all'acqua	classe E7 (UNI EN 1027)
Resistenza al vento	classe V3 (UNI EN 12211)

di lamiere di vario spessore per i tamponamenti. I profilati di acciaio sono adatti a ricoprire luci elevate: sono indeformabili e, se muniti di opportune guarnizioni, assicurano una buona tenuta all'aria.

Il maggiore inconveniente è dato dall'ossidazione del metallo, per cui necessitano di opportuni trattamenti di protezione superficiale (protezione galvanica, cataforesi e zincatura).

Anche per i serramenti in acciaio "a risparmio energetico", come per quelli in alluminio, la produzione punta su profili a taglio termico.



Infisso in acciaio



Infissi in acciaio taglio termico

Finestre in materiali misti

E' possibile accoppiare due o più materiali al fine di sfruttare i vantaggi di ciascuno di essi e migliorare le prestazioni energetiche finali.

Gli accoppiamenti più frequenti sono riportati di seguito.

Legno-alluminio e alluminio-legno



Infisso in legno alluminio



Infisso in legno alluminio con isolante

Si tratta di uno dei sistemi più vantaggiosi, dato dall'abbinamento di legno e alluminio, in cui i due telai sono avvitati l'uno all'altro. I profili di alluminio sono principalmente usati all'esterno così da sfruttarne la resistenza agli agenti atmosferici, mentre all'interno si preferisce il legno grazie al suo aspetto estetico, alle buone caratteristiche termoisolanti e a una migliore gradevolezza al tatto dovuta all'effetto "caldo".

La funzione di elemento portante può essere svolta, a seconda dei casi, dalla parte in legno o da quella in alluminio.

In fase di dismissione il recupero dei materiali è facilitato dal fatto che gli elementi sono avvitati tra loro e non risulta pertanto complessa l'operazione di disassemblaggio.

Per aumentare l'isolamento termico è possibile l'inserimento tra il legno e l'alluminio di un profilo in polistirene reso solidale mediante l'uso di colle o in alcuni casi di speciali sistemi di ancoraggio.

Si riescono a raggiungere, grazie all'uso di particolare vetri, valori di trasmittanza molto ridotti fino a U_w pari a 0,70-0,80 W/m²K.

LEGNO-ALLUMINIO

PROPRIETÀ DEL MATERIALE

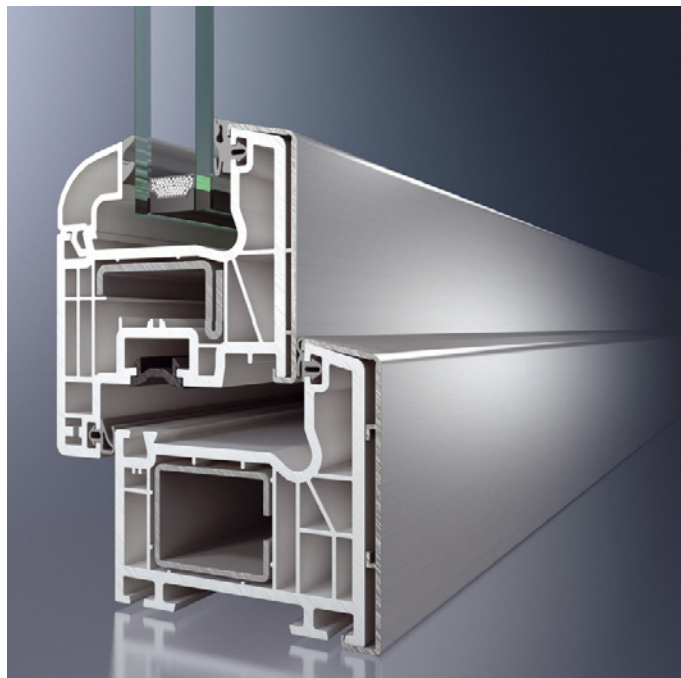
Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> Il profilo combinato, presenta una buona capacità termoisolante e fonoassorbente, la struttura interna in legno elimina il surriscaldamento per irraggiamento nei mesi estivi, aumentando il comfort abitativo ed il risparmio sul condizionamento. La struttura in legno massiccio, inoltre, consente un maggior isolamento acustico rispetto ai sistemi in metallo realizzati con profili estrusi. Vantaggi per le operazioni di manutenzione (ogni 10 anni) e la durabilità. 	<ul style="list-style-type: none"> Le dilatazioni termiche dei profili in alluminio sono facilitate con l'inserimento nei profili di una serie di giunti di dilatazione che possono provocare rumori dovuti all'assestamento soprattutto durante i periodi estivi in cui si riscontrano elevate escursioni termiche tra il giorno e la notte.

PRESTAZIONI ENERGETICHE

Larghezza media telaio	Trasmittanza Termica U (W/m ² K)
Legno/Alluminio	Valori molto ridotti
Permeabilità all'aria	classe A3
Tenuta all'acqua	classe A4
Resistenza al vento	classe V3

Alluminio-PVC

Questi infissi sono costituiti da un telaio in PVC sul quale sono fissati profili di alluminio.



Infisso in alluminio-PVC

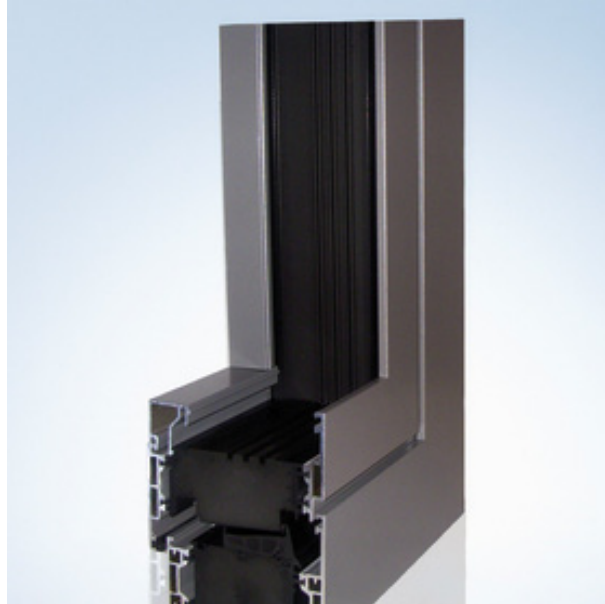


Infisso in alluminio-PVC

Il PVC ha il compito strutturale e di isolamento termico, mentre l'alluminio ha la funzione di protezione contro gli agenti esterni. L'unione è realizzata in modo da consentire il relativo scorrimento tra i due profili, a causa dei diversi valori di dilatazione termica.

Pur-alluminio

Il poliuretano svolge la funzione strutturale oltre ad avere un forte potere termo-isolante. Si realizza un sistema composto da un'anima costituita da un profilato metallico oppure con poliuretano interno e profilati metallici all'esterno.



Infisso in PUR-alluminio

Legno-pvc

Realizzato con un telaio in legno sul quale sono fissati profili in pvc con funzione di protezione verso gli agenti atmosferici. I due profili sono uniti da un dispositivo a scatto, in tal modo il pvc può dilatarsi, a causa dell'aumento di temperatura, indipendentemente dal legno.



Infisso in legno-PVC



Infisso in legno-PVC

Trasmittanza e caratteristiche termiche

Conduttività termica λ

La conduttività termica rappresenta la capacità di un materiale di condurre il calore.

In particolare, la conduttività termica è il rapporto fra il flusso di calore (cioè la quantità di calore trasferita nell'unità di tempo attraverso l'unità di superficie) e il gradiente di temperatura che provoca il passaggio del calore nel caso della conduzione termica (ovvero quando i contributi al trasferimento di calore per convezione e per irraggiamento termico siano trascurabili).

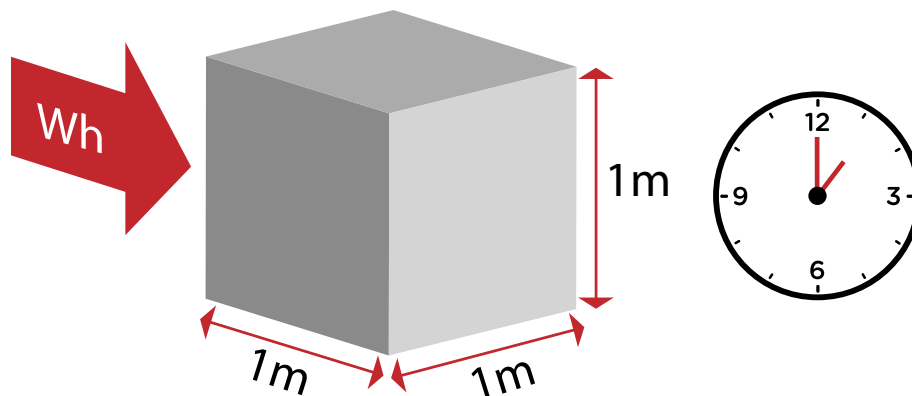
Essa dipende solo dalla natura del materiale, non dalla sua forma. La conduttività termica viene misurata come quantità di calore, espressa in Watt per ora, che attraversa uno strato di spessore pari a 1 metro con un'area di 1 m², quando la differenza di temperatura agli estremi del materiale è di un grado.

Questa grandezza viene rappresentata con la lettera greca λ (lambda) e può essere calcolata mediante la formula:

$$\lambda = W \cdot h \cdot m / (h \cdot m^2 \cdot K) - \text{espressa in W/mK}$$

dove:

- W = quantità di calore per ora
- h = tempo
- m = spessore
- m² = area
- K = differenza di temperatura misurata in gradi Kelvin • Kelvin è l'unità di misura della temperatura, basata sui gradi Celsius; 0 gradi Kelvin, ossia lo zero assoluto (-273,15° C), corrispondono alla temperatura più fredda possibile; K = °C + 273,15

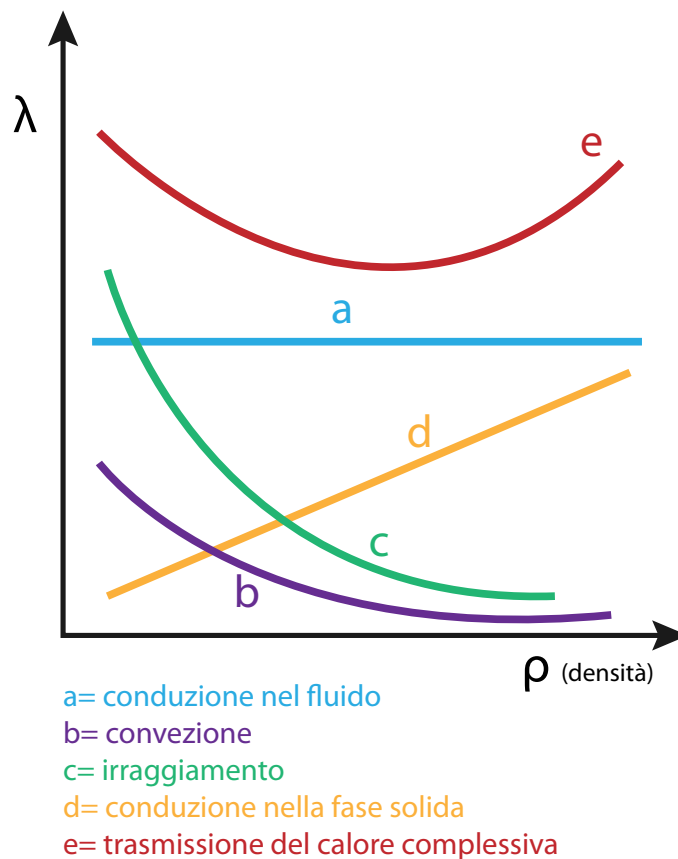


Flusso di calore e concetto di trasmittanza

Quanto più il valore di λ è basso, tanto migliore è il potere isolante del materiale. I materiali isolanti tipici hanno all'incirca valori di $\lambda = 0,01 \div 0,06 \text{ W/m K}$.

Nel grafico successivo si può osservare il contributo dei singoli effetti al trasferimento di calore totale attraverso un materiale isolante.

Andamento della conduttività in funzione della densità



Alle basse densità prevale il contributo radiativo e quello convettivo, mentre con l'aumentare della densità tali contributi diminuiscono e aumenta quello conduttivo della fase solida.

Ecco i valori tipici della conduttività per alcuni materiali.

PRESTAZIONI ENERGETICHE	
Materiale	λ (W/m·K)
Acciaio	50
Alluminio	209
Bronzo	64
Legno (Abete)	0,126
Legno (Quercia)	0,18
Legno Truciolato	0,079
Pvc Antiurto	0,162
Poliuretano	0,025
Vetro	1
Aria	0,026
Argon	0,01772
Krypton	0,00949
Ferro	73
Rame	386
Piombo	35
Stagno	64
Pvc	0,12 - 0,17

Resistenza termica

La resistenza termica rappresenta la capacità di un materiale di opporsi al flusso di calore che tende ad attraversarlo.

Nel caso di strati omogenei la resistenza termica R è determinata dal rapporto tra spessore dello strato e conducibilità termica λ del materiale di cui è composto lo strato stesso.

Quindi, R si determina mediante la formula:

$$R = d/\lambda \text{ (espressa in m}^2 \text{ K/W)}$$

dove:

- λ = conducibilità termica
- d = spessore del materiale (in metri)

La resistenza termica è direttamente proporzionale allo spessore e inversamente proporzionale alla conducibilità termica.

Resistenze termiche superficiali

La resistenza termica superficiale può essere interna o esterna. La resistenza termica interna R_{si} è un valore caratteristico relativo allo scambio termico dall'aria della stanza alla superficie interna dell'elemento edilizio, mentre R_{se} è il valore caratteristico relativo allo scambio termico dalla superficie esterna dell'elemento edilizio all'aria esterna.

Le resistenze termiche superficiali dipendono dalla direzione del flusso di calore (ascendente, orizzontale o discendente).

Maggiore è la resistenza termica superficiale, minore è la quantità di calore scambiata fra l'elemento edilizio e l'aria.

Conduttanza termica unitaria

La conduttanza termica rappresenta il flusso di calore scambiato unicamente per via conduttiva all'interno del solido in esame.

I valori di conduttanza dei materiali sono riportati nelle apposite norme di riferimento (UNI 10355) oppure sono ricavabili dai certificati di prova forniti direttamente dai produttori.

Adduttanza unitaria superficiale

L'adduttanza unitaria superficiale indica il coefficiente di scambio termico per irraggiamento e convezione tra l'ambiente interno e la superficie del componente edilizio h_i (espressa in $W/m^2 K$) e tra la superficie del componente edilizio e l'ambiente esterno h_e (espressa in $W/m^2 K$).

Trasmittanza termica dei serramenti

La trasmittanza termica di un serramento rappresenta la media pesata tra la trasmittanza termica del telaio e di quella della vetrata, più un contributo aggiuntivo, la trasmittanza termica lineare Ψ_g , dovuto all'interazione tra i due componenti e alla presenza del distanziatore, applicato lungo il perimetro visibile dalla vetrata.

Le variabili che influenzano il calcolo della trasmittanza termica sono quindi:

- la tipologia di vetro
- la tipologia di telaio
- la tipologia di un eventuale distanziatore

Per il calcolo si procede combinando in parallelo la trasmittanza degli elementi che costituiscono la chiusura, pesandoli rispetto all'area e aggiungendo a questo contributo l'effetto del ponte termico determinato dall'interfaccia vetro-telaio e localizzato in corrispondenza del distanziatore.

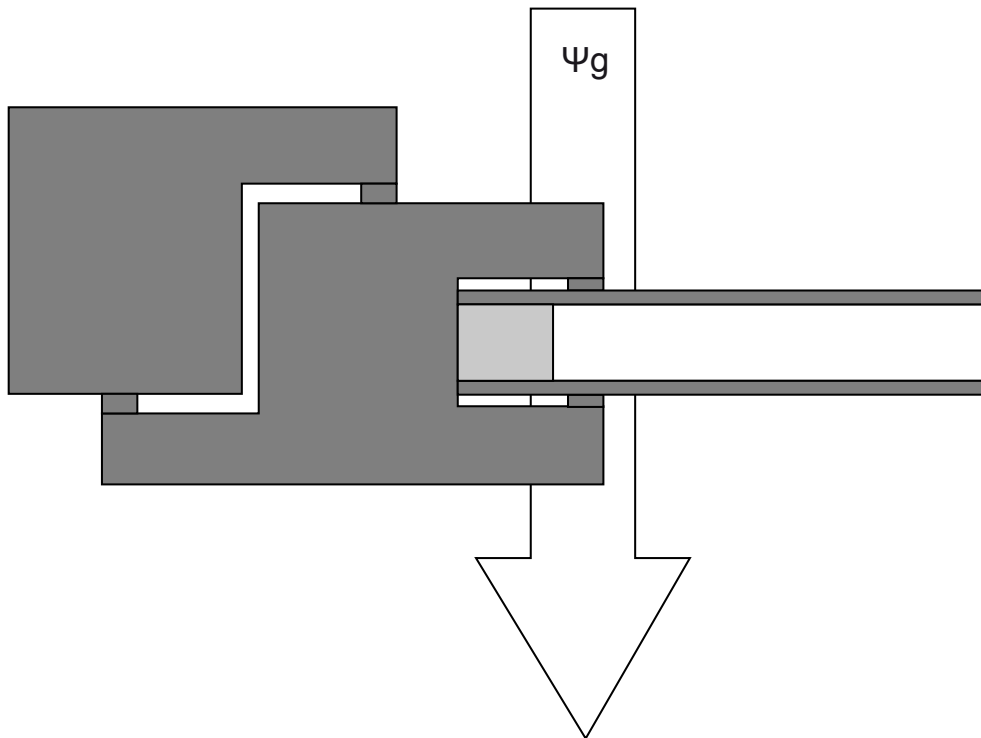
L'effetto del distanziatore viene contabilizzato in presenza di vetri doppi o tripli.

La trasmittanza delle chiusure trasparenti U_w viene calcolata secondo quanto riportato nella UNI EN ISO 10077-1: 2007 ed in particolare:

$$U_w = (A_g U_g + A_t U_t + l_g \Psi_g) / A_w$$

dove:

- U_w è la trasmittanza termica del serramento - espressa in $W/(m^2K)$
- A_w è l'area del serramento o dimensione del vano finestra considerata esternamente - espressa in m^2
- A_g è l'area del vetro - espressa in m^2
- U_g è la trasmittanza termica del vetro - espressa in $W/(m^2K)$
- A_t è l'area del serramento (telaio) - espressa in m^2
- U_t è la trasmittanza termica del telaio - espressa in $W/(m^2K)$
- l_g è il perimetro del vetro - espresso in m
- Ψ_{gg} è la trasmittanza termica lineare del distanziatore - espressa in $W/(mK)$



Flusso di calore e concetto di trasmittanza

La trasmittanza lineare Ψ_g tiene conto della conduzione termica aggiuntiva dovuta all'interazione tra il telaio, la vetrata ed il distanziatore. Tale termine, che costituisce un fattore di perdita energetica, è condizionato principalmente dalla conduttività del materiale del distanziatore, ma anche dal materiale del telaio e dalla tipologia della vetrata utilizzata.

Nella tabella successiva sono riportati i valori previsti dalla norma UNI EN ISO 10077-1, di trasmittanza termica Ψ_g lineare per vetrate installate sul profilo in PVC.

Vetrata doppia o tripla, vetro non rivestito, intercapedine con aria o gas	Vetrata doppia con bassa emissività, vetrata tripla con due rivestimenti a bassa emissività, intercapedine con aria o gas
$\Psi_g = 0,04 \text{ W/mK}$	$\Psi_g = 0,06 \text{ W/mK}$

Ecco i valori tipici di trasmittanza per i telai più frequenti

TRASMITTANZA TERMICA SOLO DEI TELAI UF	
Materiale	U (W/m ² ·K)
Legno	1,5 - 1,8
Legno (mm 20 - 50)	1,90 - 2,60
Alluminio senza taglio termico	5,2 - 7
Alluminio con taglio termico	2,4 - 3,9
Pvc (una camera)	2,8
Pvc (2 - 3 camere)	2,0 - 2,2
Materiali misti (Alluminio - Legno)	1,7
Poliuretano con anima di metallo	2,6
Poliuretano con una camera	2,4

Vetri e caratteristiche termiche

I serramenti possono essere composti da varie tipologie di vetri.

Tipologie di vetro

I vetri singoli e sottili sono ormai, oltre che sconsigliati, quasi spariti dalla produzione di serramenti e soppiantati dal vetro camera.



Vetro singolo

Il vetro camera è generalmente formato da due o tre lastre di vetro separate da opportune intercapedini, solitamente riempite d'aria o altri gas.



Vetro camera

Le lastre possono essere formate da vetro monolitico o da vetro stratificato, costituito da due lastre incollate con una speciale pellicola detta PVB, che ne aumenta la resistenza.

La struttura dei vetri viene solitamente indicata con 3 numeri, come ad esempio "4-9-4", che sta ad indicare che il vetro interno ha spessore 4 mm, l'intercapedina è di 9 mm e il vetro esterno è spesso 4 mm.

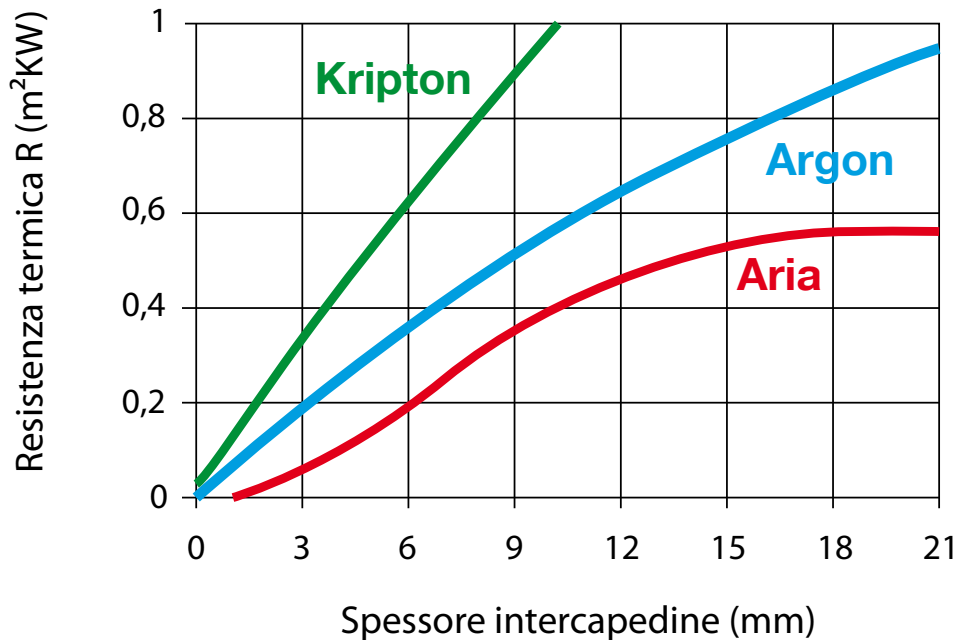
Al variare degli spessori e dei materiali utilizzati variano le prestazioni energetiche della vetrata.

La presenza dell'intercapedina è un fattore fondamentale per migliorare il flusso termico tra interno ed esterno: essa, infatti, impedisce al calore di fuoriuscire durante l'inverno e, viceversa, di entrare in estate.

Nell'intercapedina, al posto dell'aria è possibile inserire gas nobili (più pesanti dell'aria) come argon e kripton. Questi rallentano ancora di più il flusso di calore da una lastra all'altra.

Nell'illustrazione successiva è riportato il valore della resistenza termica dell'intercapedina al variare dello spessore e del gas di riempimento usato. Si nota come i risultati migliori si ottengono con il gas Kripton.

RESISTENZA TERMICA DELLE INTERCAPEDINI CON GAS



Vetro basso emissivo (Low-E)

La ricerca e lo sviluppo tecnologico in campo vetrario hanno permesso di raggiungere elevatissimi livelli di isolamento termico per il vetrocamera, abbassandone notevolmente la trasmittanza termica. Questo è stato possibile, oltre alla sostituzione dell'aria con gas nobili, operando sulle componenti radiative della vetrata isolante mediante particolari vetri dotati di depositi selettivi.

La riduzione della componente radiativa del vetrocamera si ottiene modificando le caratteristiche spettrofotoniche dei vetri, tramite il deposito molecolare di ossidi e metalli particolarmente selettivi in grado di riflettere la radiazione puramente termica.

In pratica, con l'uso dei vetri a "bassa emissività" si riesce a riflettere verso l'interno parte del calore emesso come radiazione termica dai corpi contenuti nei locali abitati, riducendo notevolmente la dispersione termica. Il calore viene riflesso dalla lastra trattata analogamente a quanto accade con uno specchio che riflette la radiazione puramente luminosa.

Il vetro basso emissivo altro non è che un vetro isolante, costituito da due o più lastre distanziate da uno o più profili distanziatori.

Un vetro isolante differisce da un vetro semplice, perché dotato di un particolare trattamento, grazie a cui si riescono a contenere le dispersioni.

Il vetro di partenza è sempre un vetro float, cui però si aggiungono 4 diversi tipi di strati:

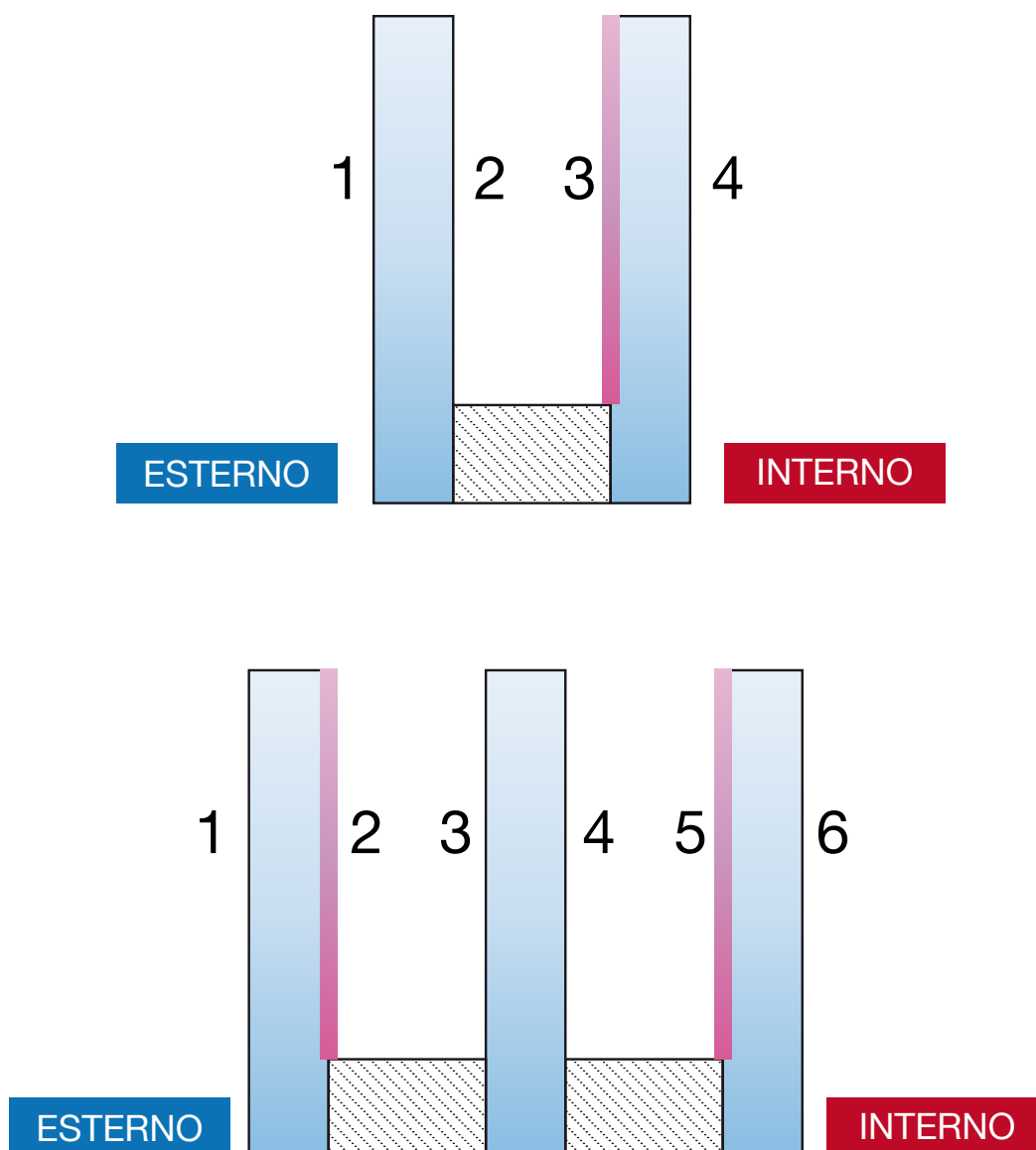
- strato di adesione
- strato d'argento
- strato selettivo
- strato di riempimento

Questo trattamento del vetro non interferisce minimamente sull'entrata della radiazione solare; si riesce quindi a favorire anche gli apporti energetici esterni importanti nei mesi invernali.

Nella figura successiva viene rappresentato il principio di funzionamento dei vetri basso emissivi, con l'indicazione dei flussi energetici.

Nel caso di vetro doppio il trattamento si applica solo su una delle due facce interne del vetro.

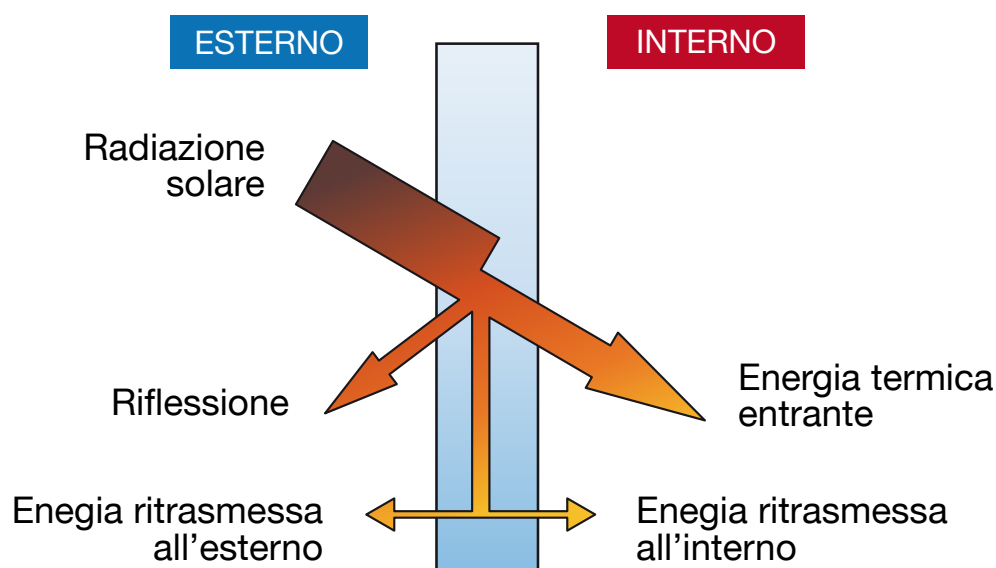
Non ci sono differenze sostanziali nell'inserire il trattamento in faccia due o tre, ma si è soliti inserirlo in faccia 3 nel caso di doppio vetro, e facce 2 e 5 nel caso di triplo.



Applicazione trattamento vetro basso emissivo

Vetri a controllo solare

Il vetro a controllo solare è un prodotto ad elevato contenuto tecnologico che consente il passaggio della luce solare attraverso una finestra, operando contemporaneamente la riflessione all'esterno di gran parte del calore solare.



In particolare, la componente radiativa solare ad onda corta (IR-corta) viene schermata dal vetro a controllo solare riducendo il flusso termico in ingresso.

Ciò è possibile grazie ad un particolare strato, denominato coating, di metalli trasparenti di spessore microscopico applicati su una superficie del vetro che è in grado di riflettere il calore verso l'esterno, che consente di avere delle prestazioni di riflessione e/o assorbimento molto più elevate rispetto a quelle dei vetri tradizionali, non coatizzati. Un altro vantaggio offerto dai vetri a controllo solare è la riduzione riflesso abbagliante causato dalla luce solare diretta.

Il vetro a controllo solare è indicato in situazioni dove un eccessivo apporto di calore solare può costituire un problema in varie applicazioni come ad esempio verande di ampie dimensioni, passerelle pedonali vetrate, facciate di edifici.

Valori tipici di trasmittanza

Ecco i valori di trasmittanza per la varie tipologie di vetro e infissi.

TRASMITTANZA TERMICA DEI VETRI UV							
Tipo	Vetro	Dimensioni (in mm)	U (W/m ² K)				
			-	Aria	Argon	Krypton	
Vetrata semplice	monolitico - non trattato	4	5,8				
	monolitico - non trattato	6 - 8	5,7				
	monolitico - non trattato	10	5,6				
	vetro con trattamento superficiale (medio emissivo)	6 - 8	4,3				
Doppie vetrate	vetro senza trattamento superficiale (vetro normale)	4 - 6 - 4		3,3	3,0	2,8	
		4 - 9 - 4		3	2,8	2,6	
		4 - 12 - 4		2,9	2,7	2,6	
		4 - 15 - 4		2,7	2,6	2,6	
		4 - 20 - 4		2,7	2,6	2,6	
	vetro con trattamento superficiale (medio emissivo)	4 - 6 - 4		2,9	2,6	2,2	
		4 - 9 - 4		2,6	2,3	2,0	
		4 - 12 - 4		2,4	2,1	2,0	
		4 - 15 - 4		2,2	2,0	2,0	
	vetro con trattamento superficiale (basso emissivo)	4 - 6 - 4		2,7	2,3	1,9	
		4 - 9 - 4		2,3	2,0	1,6	
		4 - 12 - 4		1,9	1,7	1,5	
		4 - 15 - 4		1,8	1,6	1,6	
	vetro con trattamento superficiale (emissività ≤ 0,05)	4 - 20 - 4		1,8	1,7	1,6	
		4 - 6 - 4		2,5	2,1	1,5	
		4 - 9 - 4		2,0	1,6	1,3	
		4 - 12 - 4		1,7	1,3	1,1	
	Triple vetrate	vetro senza trattamento superficiale (vetro normale)	4 - 15 - 4		1,5	1,2	1,1
			4 - 20		1,5	1,2	1,2
			4 - 6 - 4 - 6 - 4		2,3	2,1	1,8
vetro con trattamento superficiale (medio emissivo)		4 - 9 - 4 - 9 - 4		2,0	1,9	1,7	
		4 - 12 - 4 - 12 - 4		1,9	1,8	1,6	
		4 - 6 - 4 - 6 - 4		2,0	1,7	1,4	
vetro con trattamento superficiale (basso emissivo)		4 - 9 - 4 - 9 - 4		1,7	1,5	1,2	
		4 - 12 - 4 - 12 - 4		1,5	1,3	1,1	
		4 - 6 - 4 - 6 - 4		1,8	1,5	1,1	
vetro con trattamento superficiale (emissività ≤ 0,05)		4 - 9 - 4 - 9 - 4		1,4	1,2	0,9	
		4 - 12 - 4 - 12 - 4		1,2	1,0	0,8	
		4 - 6 - 4 - 6 - 4		1,6	1,3	0,9	
		4 - 9 - 4 - 9 - 4		1,2	0,9	0,7	
		4 - 12 - 4 - 12 - 4		1,0	0,8	0,5	

TRASMITTANZA TERMICA DEGLI INFISSI U_w			
Tipo di vetratura	Spessore intercapedine (con aria) in mm	Tipo infisso	U ($W/m^2 \cdot K$)
Vetro semplice	-	legno	5,0
		metallo	5,8
		PVC	5,0
Doppio vetro	da 4,5 a 7	legno	3,3
		metallo	4,7
		PVC	3,3
	da 7 a 10	legno	3,0
		metallo	3,8 - 3,9
		PVC	3,0
	da 10 a 14	legno	2,4 - 2,6
		alluminio - senza taglio termico	3,8 - 4,6
		alluminio - con taglio termico	2,9 - 3,2
		materiali misti (alluminio/legno)	2,5
		PVC	2,4 - 2,6

Finestre e obblighi di legge

Il **dm requisiti minimi (decreto 26 giugno 2015)** definisce i requisiti e le prescrizioni per gli interventi su edifici esistenti e per quelli su edifici di nuova costruzione.

In particolare vengono definiti i valori limite di trasmittanza che devono avere gli infissi in caso di interventi di riqualificazione energetica.

Edifici soggetti a riqualificazione

La trasmittanza termica U massima delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati soggette a riqualificazione è riportata nella seguente tabella.

VALORI LIMITE		
Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015	2021
A e B	3,20	3,00
C	2,40	2,00
D	2,10	1,80
E	1,90	1,40
F	1,70	1,00

- Nel caso in cui fossero previste aree limitate di spessore ridotto, quali sottofinestre e altri componenti, i limiti devono essere rispettati con riferimento alla trasmittanza media della rispettiva facciata.
- Nel caso di strutture delimitanti lo spazio climatizzato verso ambienti non climatizzati, i valori limite di trasmittanza devono essere rispettati dalla trasmittanza della struttura diviso per il fattore di correzione dello scambio termico tra ambiente climatizzato e non climatizzato, come indicato nella norma UNI TS 11300-1 in forma tabellare.
- Nel caso di strutture rivolte verso il terreno, i valori limite di trasmittanza devono essere rispettati dalla trasmittanza equivalente della struttura tenendo conto dell'effetto del terreno calcolata secondo UNI EN ISO 13370.
- I valori di trasmittanza delle precedenti tabelle 1, 2 e 3, si considerano comprensive dei ponti termici all'interno delle strutture oggetto di riqualificazione (ad esempio ponte termico tra finestra e muro) e di metà del ponte termico al perimetro della superficie oggetto di riqualificazione.

Esempi di calcolo trasmittanza serramenti

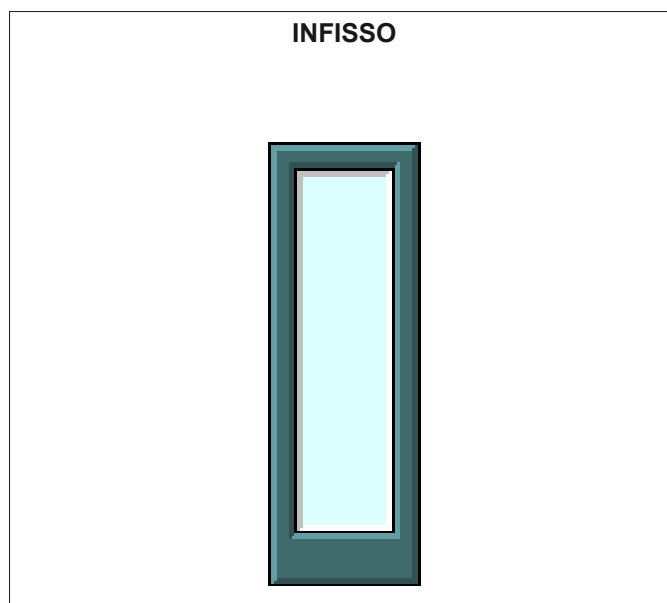
Di seguito proponiamo alcuni esempi di calcolo della trasmittanza di strutture composte.

Al riguardo è stato utilizzato il software TerMus di ACCA (la versione TerMus-G gratuita consente il calcolo della trasmittanza e della verifica di Glaser).

CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI FINESTRATI

Codice Struttura: WN.02.001
Descrizione Struttura: Porta-finestra con telaio in legno ad una anta vetro singolo
Dimensioni: L = 0.80 m; H = 2.20 m

SERRAMENTO SINGOLO								
DESCRIZIONE	Ag [m ²]	Af [m ²]	Lg [m]	Ug [W/m ² K]	Uf [W/m ² K]	kl [W/mK]	Uw [W/m ² K]	Fg [-]
INFISSO	1.140	0.620	5.000	5.751	2.541	0.000	4.620	0.85
Ponte Termico Infisso-Parete: = 0 [W/mK]								
Fonte - Uf: da Normativa; Ug: da Normativa								
Ag = Area vetro; Af = Area telaio; Lg = Lunghezza perimetro superficie vetrata; Ug = Trasmittanza termica superficie vetrata; Uf = Trasmittanza termica telaio; kl = Trasmittanza lineica distanziatore (nulla se singolo vetro); Uw = Trasmittanza termica totale serramento; Fg = Trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale.								

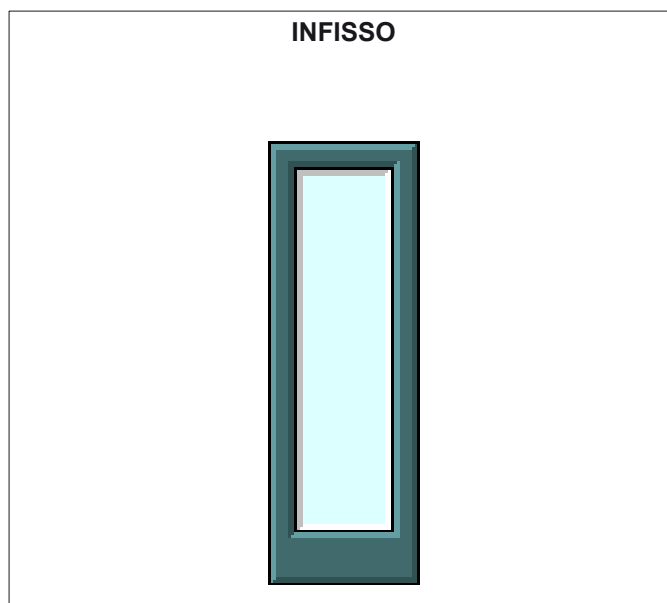


COEFFICIENTE RIDUZIONE AREA TELAIO	0.3523
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	0.130 m ² K/W
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	0.040 m ² K/W
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	7.700 W/m ² K
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	25.000 W/m ² K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	0.216 m²K/W
TRASMITTANZA TOTALE	4.620 W/m²K
TRASMITTANZA VETRO TOTALE	5.751 W/m²K

CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI FINESTRATI

Codice Struttura: WN.02.001
Descrizione Struttura: Porta-finestra con telaio in legno ad una anta e vetrocamera con aria
Dimensioni: L = 0.80 m; H = 2.20 m

SERRAMENTO SINGOLO								
DESCRIZIONE	Ag [m ²]	Af [m ²]	Lg [m]	Ug [W/m ² K]	Uf [W/m ² K]	kl [W/mK]	Uw [W/m ² K]	Fg [-]
INFISSO	1.140	0.620	5.000	3.302	2.541	0.060	3.204	0.75
Ponte Termico Infisso-Parete: = 0 [W/mK]								
Fonte - Uf: da Normativa; Ug: da Normativa								
Ag = Area vetro; Af = Area telaio; Lg = Lunghezza perimetro superficie vetrata; Ug = Trasmittanza termica superficie vetrata; Uf = Trasmittanza termica telaio; kl = Trasmittanza lineica distanziatore (nulla se singolo vetro); Uw = Trasmittanza termica totale serramento; Fg = Trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale.								

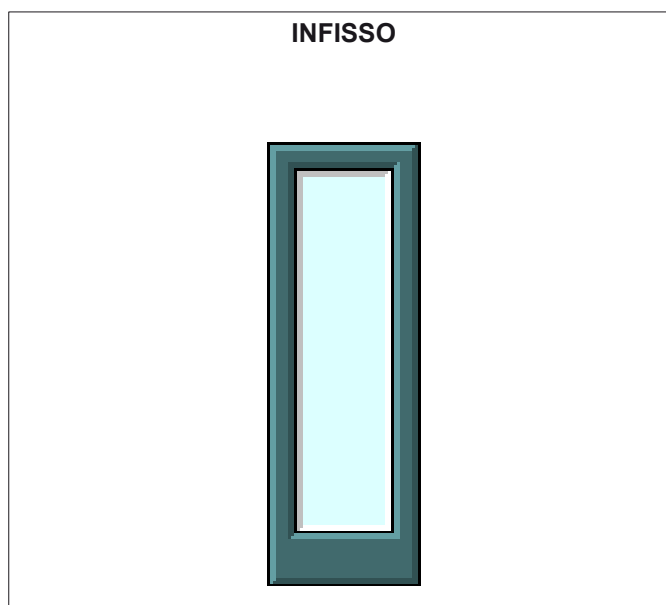


COEFFICIENTE RIDUZIONE AREA TELAIO	0.3523
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	0.130 m ² K/W
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	0.040 m ² K/W
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	7.700 W/m ² K
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	25.000 W/m ² K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	0.312 m²K/W
TRASMITTANZA TOTALE	3.204 W/m²K
TRASMITTANZA VETRO TOTALE	3.302 W/m²K

CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI FINESTRATI

Codice Struttura: WN.02.001
Descrizione Struttura: Porta-finestra con telaio in legno ad una anta e vetrocamera con Argon e trattamento basso emissivo
Dimensioni: L = 0.80 m; H = 2.20 m

SERRAMENTO SINGOLO								
DESCRIZIONE	Ag [m ²]	Af [m ²]	Lg [m]	Ug [W/m ² K]	Uf [W/m ² K]	kl [W/mK]	Uw [W/m ² K]	Fg [-]
INFISSO	1.140	0.620	5.000	1.902	2.541	0.080	2.354	0.67
Ponte Termico Infisso-Parete: = 0 [W/mK]								
Fonte - Uf: da Normativa; Ug: da Normativa								
Ag = Area vetro; Af = Area telaio; Lg = Lunghezza perimetro superficie vetrata; Ug = Trasmittanza termica superficie vetrata; Uf = Trasmittanza termica telaio; kl = Trasmittanza lineica distanziatore (nulla se singolo vetro); Uw = Trasmittanza termica totale serramento; Fg = Trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale.								

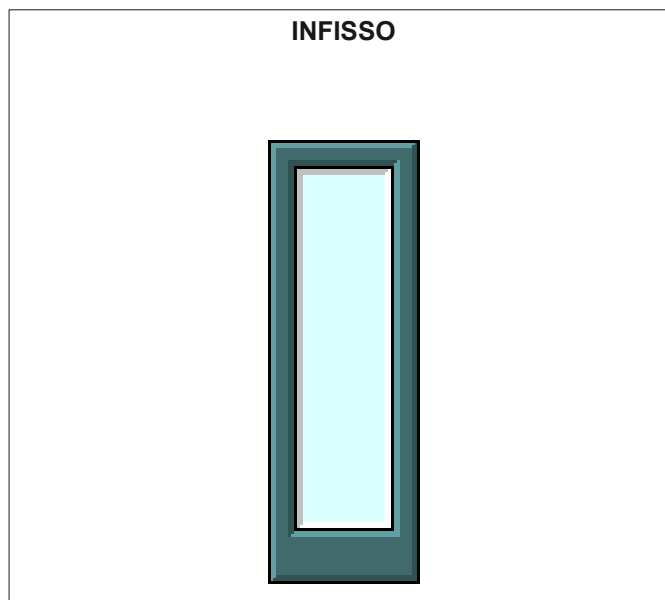


COEFFICIENTE RIDUZIONE AREA TELAIO	0.3523
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	0.130 m ² K/W
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	0.040 m ² K/W
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	7.700 W/m ² K
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	25.000 W/m ² K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	0.425 m²K/W
TRASMITTANZA TOTALE	2.354 W/m²K
TRASMITTANZA VETRO TOTALE	1.902 W/m²K

CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI FINESTRATI

Codice Struttura: WN.02.001
Descrizione Struttura: Porta-finestra con telaio in alluminio taglio termico ad una anta e vetrocamera con Argon e trattamento basso emissivo
Dimensioni: L = 0.80 m; H = 2.20 m

SERRAMENTO SINGOLO								
DESCRIZIONE	Ag [m ²]	Af [m ²]	Lg [m]	Ug [W/m ² K]	Uf [W/m ² K]	kl [W/mK]	Uw [W/m ² K]	Fg [-]
INFISSO	1.140	0.620	5.000	1.902	4.574	0.110	3.156	0.67
Ponte Termico Infisso-Parete: = 0 [W/mK]								
Fonte - Uf: da Normativa; Ug: da Normativa								
Ag = Area vetro; Af = Area telaio; Lg = Lunghezza perimetro superficie vetrata; Ug = Trasmittanza termica superficie vetrata; Uf = Trasmittanza termica telaio; kl = Trasmittanza lineica distanziatore (nulla se singolo vetro); Uw = Trasmittanza termica totale serramento; Fg = Trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale.								

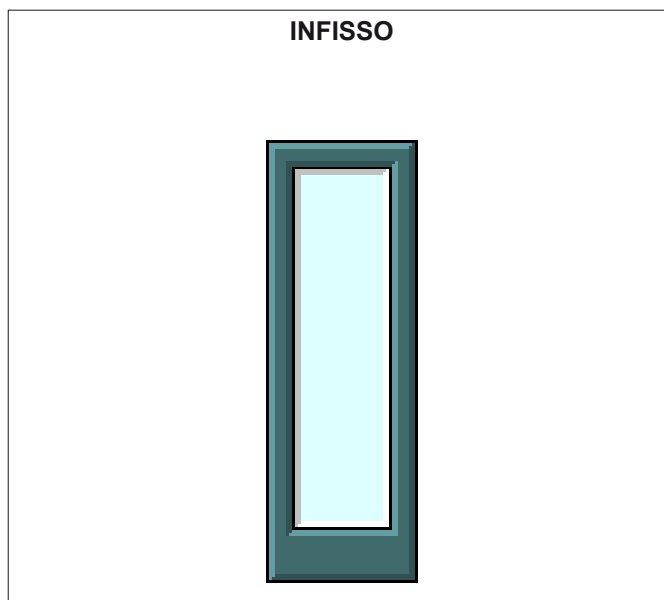


COEFFICIENTE RIDUZIONE AREA TELAIO	0.3523
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	0.130 m ² K/W
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	0.040 m ² K/W
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	7.700 W/m ² K
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	25.000 W/m ² K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	0.317 m²K/W
TRASMITTANZA TOTALE	3.156 W/m²K
TRASMITTANZA VETRO TOTALE	1.902 W/m²K

CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI FINESTRATI

Codice Struttura: WN.02.001
Descrizione Struttura: Porta-finestra con telaio in alluminio taglio termico ad una anta e vetrocamera con Argon e trattamento basso emissivo
Dimensioni: L = 0.80 m; H = 2.20 m

SERRAMENTO SINGOLO								
DESCRIZIONE	Ag [m ²]	Af [m ²]	Lg [m]	Ug [W/m ² K]	Uf [W/m ² K]	kl [W/mK]	Uw [W/m ² K]	Fg [-]
INFISSO	1.140	0.620	5.000	0.800	2.801	0.080	1.732	0.50
Ponte Termico Infisso-Parete: = 0 [W/mK]								
Fonte - Uf: da Normativa; Ug: da Normativa								
Ag = Area vetro; Af = Area telaio; Lg = Lunghezza perimetro superficie vetrata; Ug = Trasmittanza termica superficie vetrata; Uf = Trasmittanza termica telaio; kl = Trasmittanza lineica distanziatore (nulla se singolo vetro); Uw = Trasmittanza termica totale serramento; Fg = Trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale.								



COEFFICIENTE RIDUZIONE AREA TELAIO	0.3523
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	0.130 m ² K/W
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	0.040 m ² K/W
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	7.700 W/m ² K
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	25.000 W/m ² K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	0.577 m²K/W
TRASMITTANZA TOTALE	1.732 W/m²K
TRASMITTANZA VETRO TOTALE	0.800 W/m²K