



UX55

Il risparmio energetico
e l'isolamento termico
in edilizia:
il ruolo dei serramenti nel
D.Lgs. 192/05 e nel
D.M. 2/04/98

Il risparmio energetico e l'isolamento termico in edilizia: il ruolo dei serramenti nel D.Lgs. 192/05 e nel D.M. 2/04/98

4 settembre 2006

Il settore edilizio utilizza circa il 40% dell'energia consumata in Italia [residenziale e terziario]. La maggior parte di questa energia viene utilizzata per il riscaldamento e per il condizionamento e più del 10% viene dispersa attraverso i componenti finestrati. Decisivo è pertanto il ruolo dei serramenti nel bilancio energetico di un edificio. In quest'ottica il **Decreto Legislativo n°192 del 19 agosto 2005**, attuativo della direttiva europea 2001/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, pone l'accento anche sull'**involtucro edilizio**, con particolare attenzione ai **componenti trasparenti e finestrati** pretendendo da essi **meno dispersioni** e un **maggior livello di isolamento termico**.

Sono pertanto significative le implicazioni per il mercato dei serramenti e delle facciate continue legate all'ottemperanza di questo decreto. Nel quadro delineato dal Decreto Legislativo n°192, il **Decreto Ministeriale del 2 aprile 1998**, cogente da maggio 2000, riafferma il suo ruolo confermando l'obbligo per il Costruttore di attestare le caratteristiche energetiche dei serramenti.

L'**UX55**, diviso in due parti, si propone come guida all'applicazione del decreto 192/05 e delle altre disposizioni legislative di riferimento per i serramenti. Nella prima parte di questo documento il Costruttore troverà dettagli per ottemperare agli obblighi normativi mentre nella seconda strumenti tecnici per progettare serramenti conformi alle nuove disposizioni legislative in ambito di risparmio energetico e modalità per valutarne e certificare le prestazioni termiche.

Questo documento è poi completato da un efficace **Cd-Rom UX56 - D.Lgs. 192/05 e D.M. 2/04/98: Strumenti informatici** contenente semplici strumenti informatici che semplificano gli aspetti pratici per ottemperare agli obblighi normativi permettendo, al contempo, di verificare la bontà della progettazione termica dei propri serramenti: dalla valutazione della prestazione termica dei serramenti in termini di trasmittanza termica a quella del rischio di insorgenza del fenomeno della condensa superficiale. Ma non solo: il software **Missione risparmio energetico** permette di confrontare, in termini di risparmio economico, serramenti realizzati con componenti a prestazioni termiche differenti.

Con UX55 ancora una volta UNCSAAL mette a disposizione dei propri Soci un valido mezzo per semplificare e trasformare in opportunità di mercato un obbligo normativo.

A cura dell'Ufficio Tecnico UNCSAAL: Ing. Lara Bianchi - Arch. Marco Lissoni - Ing. Paolo Rigone

Questo documento sostituisce integralmente il documento tecnico UNCSAAL:

Documento 10 - Termotrasmittanza dei serramenti e contributo degli schermi [maggio 1997]

Fa parte integrante di questo documento il Cd-Rom UX56 - D.Lgs. 192/05 e D.M. 2/04/98: Strumenti informatici contenente:

- Elenco dei comuni di Italia con indicazione della zona climatica di appartenenza [rif. Decreto Legislativo 26 agosto 1993 n°412];
- Dichiarazione di conformità alla legislazione nazionale in ambito di risparmio energetico e isolamento termico in edilizia [D.Lgs. 192/05 e nel D.M. 2/04/98]
- Software "Verifica D.Lgs. 192/05"
- Software "Missione risparmio energetico"
- Testo del documento tecnico UX55;
- Comunicazione ad UNCSAAL da parte del Ministero dell'Industria e del Commercio dell'Artigianato relativa alla possibilità di certificare la trasmittanza termica dei serramenti a mezzo di metodo semplificato [nota: la norma UNI 10345 citata è sostituita dalla norma UNI EN ISO 10077-1].
- Testi delle principali disposizioni legislative di riferimento [D.Lgs. 192/05; D.M. 2/04/98; Circolare 23/05/06]

Avvertenze: Si consiglia di verificare nell'Area Prodotti Editoriali del sito web www.uncsaal.it l'eventuale esistenza di versione più aggiornata di questo documento.

In assenza di autorizzazione scritta da parte di UNCSAAL non è consentita né la riproduzione né la diffusione con qualsiasi strumento di questo documento o parti di esso. UNCSAAL declina ogni responsabilità per l'uso non autorizzato del presente documento.

INDICE DEL DOCUMENTO TECNICO UX55

Parte 1 - L'applicazione delle normative per i serramenti

1. Il contenimento dei consumi energetici negli edifici: il quadro legislativo di riferimento	3
2. Il decreto legislativo n°192 del 19 agosto 2005	3
2.1 Ambiti di applicazione del decreto legislativo n°192 del 19 agosto 2005	3
2.2 Applicazione del decreto legislativo n°192 del 19 agosto 2005 in REGIME TRANSITORIO	6
3. Le certificazioni dei serramenti	9
4. Sintesi sugli obblighi per il Progettista e il Costruttore di serramenti	14

Parte 2 - Approfondimenti tecnici

5 Valutazione della prestazione termica posseduta dai serramenti	16
5.1 Trasmittanza termica dei telai metallici U_F	21
5.2 Trasmittanza termica delle vetrazioni U_G	22
6 Il contributo degli schermi alla prestazione termica dei serramenti	23
7 Il contributo degli apporti solari alla prestazione termica dei serramenti	28
8 Progettazione di serramenti a prestazione termica	29
9 Bilancio energetico delle superfici vetrate	36
10 Verifica della condensa superficiale	39

Bibliografia	43
---------------------	-----------

Parte 1: L'applicazione delle normative per i serramenti

1. Il contenimento dei consumi energetici negli edifici: il quadro legislativo di riferimento

In Italia, parlando di energia, ambiente e serramenti il quadro legislativo di riferimento è rappresentato dalle seguenti disposizioni:

La Legge del 9 gennaio 1991 n°10, Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.

Fissa i contenuti relativi alla progettazione energetica degli edifici con gli obiettivi principali di favorimento dell'uso razionale dell'energia, di riduzione dei consumi energetici in edilizia, di miglioramento delle condizioni di comfort per l'utenza all'interno degli ambienti abitativi. Tra gli strumenti atti a raggiungere tali obiettivi rientrano invece una progettazione attenta ai fattori climatici ed ambientali e al benessere igrotermico, una corretta gestione energetica degli edifici, la certificazione energetica degli edifici.

Il decreto legislativo 19 agosto 2005 n°192 Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

Cogente dal 8 ottobre 2005, il D.Lgs. 192/05 stabilisce criteri, condizioni e modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica e di far conseguire all'Italia gli obiettivi nazionali di riduzione dell'emissione dei gas serra stabiliti dal Protocollo di Kyoto.

Il Decreto del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato del 2 aprile 1998 Modalità di certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti ad essi connessi.

Vigente dal 5 maggio 2000, il decreto ministeriale 2 aprile 1998 sancisce l'obbligo per i produttori di componenti di edifici o d'impianti di fornire una certificazione energetica di tutti quei prodotti di cui la commercializzazione e l'utilizzo sono rivolti all'ottenimento del risparmio energetico.

Il decreto rientra nel quadro della normativa tecnica d'attuazione della legge 10/91 rendendo attuativi gli articoli 32 e 34 della legge 10/91 di cui i contenuti di seguito:

- Articolo 32: "ai fini della commercializzazione, le caratteristiche e le prestazioni energetiche dei componenti degli edifici e degli impianti devono essere certificate secondo modalità stabilite con proprio decreto dal Ministero dell'Industria, Commercio e Artigianato di concerto con il Ministero dei Lavori Pubblici, entro 120 giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge. ...".
- Articolo 34: "L'inosservanza delle prescrizioni di cui all'art. 32 è punita con la sanzione amministrativa non inferiore a 5 milioni e non superiore a 50 milioni di lire, fatti salvi i casi di responsabilità penale."

2. Il decreto legislativo n°192 del 19 agosto 2005

2.1 Ambiti di applicazione del decreto legislativo n°192 del 19 agosto 2005

Relativamente ai serramenti, il D.Lgs. 192/05 si applica, con **specifiche condizioni**, agli interventi di:

1. **Nuova costruzione** [applicazione integrale a tutto l'edificio];
2. **Ristrutturazione integrale degli elementi edilizi** costituenti l'involucro di edifici esistenti con superficie utile superiore ai 1000 mq [applicazione integrale a tutto l'edificio];
3. **Demolizione e ricostruzione** in manutenzione straordinaria di edifici esistenti con superficie utile superiore ai 1000 mq [applicazione integrale a tutto l'edificio];
4. **Ampliamento** dell'edificio volumetricamente superiore al 20% [applicazione al solo volume ampliato];
5. **Ristrutturazioni** totali o parziali e manutenzione straordinaria dell'involucro edilizio in edifici di superficie utile inferiore ai 1000 metri quadrati [applicazione limitata al rispetto di specifici parametri, livelli prestazionali e prescrizioni].

Nota: Relativamente all'ambito di applicazione 5), la modalità di attuazione di tale applicazione dovrà essere definita a livello di specifici decreti attuativi del D.Lgs. 192/05. Allo stato attuale non sono stati ancora emanati i decreti attuativi menzionati.

All'atto pratico il D.Lgs. 192/05 **non si applica agli interventi di manutenzione ordinaria**. Sono le disposizioni legislative locali (Regolamenti Edilizi) a definire le tipologie di intervento. Ne deriva pertanto che, a seconda dei Comuni, la sostituzione di serramenti può essere considerata un intervento di manutenzione straordinaria, e pertanto soggetto all'applicazione del decreto, oppure di manutenzione ordinaria, non soggetta cioè all'applicazione del decreto.

Inoltre sono **escluse** dall'applicazione del decreto legislativo 19 agosto 2005 n°192 le seguenti categorie di edifici:

- **Gli immobili “vincolati”** (ricadenti nell'ambito della disciplina della parte seconda e dell'articolo 136, comma 1, lettere b) e c), del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, recante il codice dei beni culturali e del paesaggio): trattasi di quegli immobili che si distinguono per la loro non comune bellezza e che possiedono un aspetto caratteristico avente valore estetico e tradizionale.
- **I fabbricati industriali, artigianali e agricoli non residenziali quando gli ambienti sono riscaldati per esigenze del processo produttivo o utilizzando reflui energetici del processo produttivo non altrimenti utilizzabili;**
- **I fabbricati isolati con una superficie utile totale inferiore a 50 metri quadrati.**

Uno degli aspetti più importanti introdotti dal D.Lgs. 192/05 è comunque l'obbligo di dotare, entro un anno dall'entrata in vigore del decreto, di **attestato di certificazione energetica** gli edifici di nuova costruzione, gli edifici esistenti con superficie utile superiore ai 1000 mq il cui involucro abbia subito ristrutturazione integrale oppure che abbiano subito interventi di demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria [cfr. Fig. 1]. Tale documento, da redigere nel rispetto delle prescrizioni del D. Lgs. 192/05, attesta la **prestazione energetica** (o efficienza energetica o rendimento energetico) ed eventualmente alcuni parametri energetici caratteristici dell'edificio.

La **prestazione energetica** rappresenta la quantita' annua di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e l'illuminazione. Tale quantita' viene espressa da uno o piu descrittori che tengono conto di molteplici fattori: gli aspetti climatici (clima interno ed esterno), le caratteristiche termiche dell'edificio, il tipo di impianto di riscaldamento e di produzione dell'acqua calda sanitaria, l'impianto di condizionamento dell'aria e di ventilazione, l'impianto di illuminazione, la posizione e l'orientamento dell'edificio, la ventilazione naturale, i sistemi solari passivi e protezione solare, la ventilazione naturale e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, di sistemi di cogenerazione e di riscaldamento e condizionamento a distanza.

Il livello di **prestazione energetica** dell'edificio viene espresso a mezzo di "classi energetiche" connotate dalle lettere alfabetiche A, B, C, D, E, F, G e funzione del valore di due parametri indicatori: il fabbisogno energetico specifico dell'involucro e il fabbisogno di energia primaria dell'edificio.

Classe A: fabbisogno energetico $\leq 30 \text{ KWh/m}^2\text{anno}$

Classe B: fabbisogno energetico $\leq 50 \text{ KWh/m}^2\text{anno}$

Classe C: fabbisogno energetico $\leq 70 \text{ KWh/m}^2\text{anno}$

Classe D: fabbisogno energetico $\leq 90 \text{ KWh/m}^2\text{anno}$

Classe E: fabbisogno energetico $\leq 120 \text{ KWh/m}^2\text{anno}$

Classe F: fabbisogno energetico $\leq 160 \text{ KWh/m}^2\text{anno}$

Classe G: fabbisogno energetico $> 160 \text{ KWh/m}^2\text{anno}$

L' attestato **di certificazione energetica**, che ha validità di 10 anni a partire dalla data di rilascio e che deve essere aggiornato ognualvolta l'edificio o gli impianti subiscono degli interventi che modificano la prestazione energetica inizialmente dichiarata, deve essere accompagnato all'atto di compravendita nel caso di compravendita di un immobile oppure di una singola unità immobiliare e deve essere messo a disposizione del locatore (oppure consegnato) in caso di locazione

Negli edifici pubblici o adibiti ad uso pubblico, con metratura utile totale che supera i 1000 metri quadrati, deve essere affisso in luogo visibile al pubblico.

Fig. 1 - Esempio di attestato di certificazione energetica di un edificio

ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA		
Tipo di edificio		
Anno di costruzione		
Ubicazione		
Proprietario		
Località		
Progettista		
Classe di consumo	Fabbisogno di calore (%)	Energia primaria (%)
A	30 kWh/mq anno	
B	50 kWh/mq anno	B 43
C	70 kWh/mq anno	D 67
D	90 kWh/mq anno	
E	120 kWh/mq anno	
F	160 kWh/mq anno	
G	160 kWh/mq anno	
Fabbisogno di calore (fabbisogno energetico specifico per riscaldamento)	43,2	KWh/mq anno
Energia specifica primaria per produzione acqua calda	13,4	KWh/mq anno
Energia primaria specifica per usi termici (fabbisogno energetico specifico per riscaldamento)	67,4	KWh/mq anno
Energia primaria specifica globale (comprende energia per riscaldamento, produzione di acqua calda e usi elettrici)	174,8	KWh/mq anno
Comune di Milano	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Attestato N. 0005/2006 </div>	
	31 agosto 2006	

2.2 Applicazione del decreto legislativo n°192 del 19 agosto 2005 in REGIME TRANSITORIO

Fino all'entrata in vigore dei decreti attuativi previsti dall'articolo 4 del D.Lgs. 192/05 (fine del regime transitorio), sono da considerarsi di riferimento la legge n°10 del 9 gennaio 1991, come modificata dal D.Lgs. 192/05 e dalle norme attuative, e le disposizioni dell'**Allegato I** del D.Lgs. 192/05.

L'Allegato I del D.Lgs. 192/05 medesimo prevede due metodi di verifica, uno **analitico (metodo 1)** e uno **semplificato (metodo 2)**.

Per entrambi i metodi è necessario conoscere la **zona climatica** di appartenenza del Comune di Italia in cui è ubicato l'edificio di progetto o di destinazione dei serramenti. L'elenco dei Comuni d'Italia con indicazione della *zona climatica* di appartenenza è contenuto nel Decreto Legislativo 26 agosto 1993 n°412.

Il Cd-Rom UX56 - *D.Lgs. 192/05 e D.M. 2/04/98: Strumenti informatici* contiene versione informatica dell'*elenco dei Comuni d'Italia con le rispettive zone climatiche di appartenenza* e ulteriori approfondimenti sull'origine delle zone climatiche

Il **metodo 1** si applica alle seguenti categorie di interventi

- **Nuova costruzione;**
- **Ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l'involucro di edifici esistenti con superficie utile superiore ai 1000 mq;**
- **Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti con superficie utile superiore ai 1000 mq.**
- **Ampliamento dell'edificio volumetricamente superiore al 20%**

e prevede che il Progettista calcoli in prima battuta il valore del parametro **FEP (Fabbisogno Energetico Primario)** per il periodo invernale relativo al solo riscaldamento degli ambienti.

Successivamente il Progettista deve verificare che il valore calcolato rispetti i limiti definiti dal D.Lgs. 192/05 [cfr. Tab. 1] espressi in funzione:

- delle *caratteristiche volumetriche dell'edificio (rapporto tra la superficie che delimita il volume riscaldato verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento e il volume lordo delle parti di edificio riscaldate definito dalle superfici che lo delimitano; S/V)*
- della *zona climatica* a cui appartiene il Comune in cui è ubicato l'edificio.

Nota: Il FEP rappresenta la quantità di energia primaria globalmente richiesta per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto in regime di attivazione continuo e tiene conto delle dispersioni dell'involucro, della ventilazione, degli apporti gratuiti e del rendimento globale medio stagionale degli impianti. Introdotti nuovi limiti sulle trasmittanze termiche dei componenti opachi e trasparenti.

Tab. 1 - Valori limite del FEP stabiliti dal D.Lgs. 192/05 (metodo di verifica 1)

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica									
	A		B		C		D		E	
	<i>fin</i> a 600 GG	<i>a</i> 601 GG	<i>a</i> 900 GG	<i>a</i> 901 GG	<i>a</i> 1400 GG	<i>a</i> 1401 GG	<i>a</i> 2100 GG	<i>a</i> 2101 GG	<i>a</i> 3000 GG	<i>a</i> 3000 GG
$\leq 0,2$	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55
$\geq 0,9$	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145

Il metodo 2 (semplificato) si applica nei seguenti casi:

- **Nuova costruzione** [in alternativa al metodo 1];
- **Ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l'involucro di edifici esistenti con superficie utile superiore ai 1000 mq** [in alternativa al metodo 1];
- **Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti con superficie utile superiore ai 1000 mq** [in alternativa al metodo 1];
- **Ampliamento dell'edificio volumetricamente superiore al 20%** [in alternativa al metodo 1];
- **Ristrutturazioni totali o parziali e manutenzione straordinaria dell'involucro edilizio**

e prevede che:

- **vengano rispettati i limiti di trasmittanza termica sulle chiusure opache** [cfr. Tab. 2], **sulle chiusure trasparenti** [cfr. Tab. 3], **e sulle vetrazioni imposti dal D.Lgs. 192/05** [cfr. Tab. 4] definiti dal D.Lgs. 192/05 in funzione della zona climatica a cui appartiene il Comune in cui è ubicato l'edificio.
- **venga rispettato il limite sul rendimento globale stagionale degli impianti imposti dal D.Lgs. 192/05**

Tab. 2 - Limiti sulla trasmittanza termica U delle chiusure opache espressa in W/m²K imposti dal decreto legislativo 19 agosto 2005 n°192.

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2009 U (W/m ² K)
A	0,85	0,72
B	0,64	0,54
C	0,57	0,46
D	0,50	0,40
E	0,46	0,37
F	0,44	0,35

Tab. 3 - Limiti della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi espressa in W/m²K imposti dal decreto legislativo 19 agosto 2005 n°192.

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2009 U (W/m ² K)
A	5,5	5,0
B	4,0	3,6
C	3,3	3,0
D	3,1	2,8
E	2,8	2,5
F	2,4	2,2

Tab. 4 - Valori limite della trasmittanza termica centrale U dei vetri comprensive in W/m²K imposti dal decreto legislativo 19 agosto 2005 n°192.

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2009 U (W/m ² K)
A	5,0	5,0
B	4,0	3,0
C	3,0	2,3
D	2,6	2,1
E	2,4	1,9
F	2,3	1,6

Nota: Variante al metodo 2 semplificato

Il metodo 2 semplificato può essere applicato anche a edifici con strutture verticali opache con trasmittanza superiore (fino ad un massimo del 30%) rispetto ai limiti indicati in tabella 2 purchè si adottino chiusure trasparenti di trasmittanza inferiore almeno del 30% rispetto ai limiti indicati nella tabella 3.

Le regioni e le province sono obbligate a recepire la direttiva 2002/91/CE. Possono tuttavia imporre limiti di trasmittanza termica più severi rispetto a quelli indicati dal D.Lgs. 192/05 in funzione della zona climatica.

E' il caso, per esempio, del Comune di Carugate (MI), appartenente alla *zona climatica E*, che ha imposto un limite sulla trasmittanza termica delle chiusure trasparenti di 2,4 W/mqK che risulta pertanto più severo di quello imposto dal D.Lgs. 192/05 (2,8 W/mqK).

I dettami del decreto legislativo 19 agosto 2005 n°192 si applicano per le regioni e le province autonome finchè non abbiano provveduto al recepimento della direttiva. Il settore dell'energia è infatti stato delegato alle regioni con la **Legge 24/11/2000 n° 340 Disposizioni per la delegificazione di norme e per la semplificazione di procedimenti amministrativi** (legge Bassanini).

L'articolo 15 del Decreto legislativo 19 agosto 2005 n°192 contiene indicazioni in merito ai compiti che spettano ai vari attori che intervengono nel processo edilizio (progettista, direttore dei lavori, costruttore, proprietario o conduttore dell'immobile) e alle sanzioni previste per eventuali inadempienze agli stessi.

Il comma 16 dell'Allegato I del D.Lgs. 192/05 indica infatti che i calcoli e le verifiche richieste sono da eseguire utilizzando metodi che garantiscono risultati conformi alle migliori tecniche. Conseguentemente le procedure e i metodi di calcolo descritti dalle norme tecniche dell'UNI, dalle norme tecniche europee elaborate dal CEN e da organismi istituzionali nazionali riconosciuti (per esempio le università, il CNR, l'ENEA) sono da considerare validi ai fini del decreto legislativo 19 agosto 2005 n°192. Possono essere considerati conformi anche altri metodi purchè sia dimostrato che i risultati ottenibili sono pari o migliori a quelli derivabili con i metodi precedentemente elencati.

In sintesi

I serramenti sono coinvolti direttamente dal D.Lgs. 192/05 se si applica il metodo 2 (semplificato) che limita la prestazione termica, in termini di trasmittanza termica, degli stessi e delle vetrazioni ivi previste [cfr. Allegato C - Tab. 4a e 4b del D.Lgs. 192/05]

La valutazione della trasmittanza termica dei serramenti secondo la metodologia semplificata descritta dalla norma UNI EN ISO 10077-1 è da considerarsi conforme ai sensi del D.Lgs. 192/05.

Sono pertanto da considerare valide le seguenti metodologie di valutazione delle prestazioni termiche, in termini di trasmittanza termica [W/m²K], dei telai metallici, delle vetrazioni e dei serramenti nel loro complesso:

telai metallici:

- **Calcolo agli elementi finiti secondo la UNI EN ISO 10077-2**
- **Prova in laboratorio in camera calda secondo la metodologia descritta dalla norma UNI EN 12412-2;**
- **Metodo semplificato contenuto nella UNI EN ISO 10077-1**

Vetrazioni:

- **Prova in laboratorio in camera calda secondo le metodologie descritte dalle norme UNI EN 674 e 675;**
- **Metodo semplificato descritto dalle norme UNI EN ISO 10077-1 e UNI EN 673**

Serramenti nel loro complesso (telaio + vetratura)

- **Prova in laboratorio in camera calda secondo la metodologia descritta dalla norma EN ISO 12567-1;**
- **Metodo semplificato ai sensi UNI EN ISO 10077-1**

→ Il software "Verifica D.Lgs. 192/05" contenuto nel **Cd-Rom UX56 - D.Lgs. 192/05 e D.M. 2/04/98: Strumenti informatici** permette di valutare la trasmittanza termica dei serramenti secondo la metodologia semplificata descritta dalla norma UNI EN ISO 10077-1 e di verificare che tale prestazione termica sia conforme D.Lgs. 192/05 per l'applicazione di cui trattasi. A tale scopo è pertanto necessario conoscere il Comune di Italia in cui si prevede che i serramenti vengano installati.

→ Ulteriori approfondimenti sui metodi di valutazione delle prestazioni termiche dei serramenti, conformi al D.Lgs. 192/05, sono contenuti nel paragrafo **5 Valutazione della prestazione termica dei serramenti** della **Parte 2** di questo documento

3 Le certificazioni dei serramenti

Il **Decreto Ministeriale 2 aprile 1998** sancisce l'obbligo per i produttori fornire una **certificazione** di quei componenti edili la cui commercializzazione e l'utilizzo sono rivolti all'ottenimento del risparmio energetico.

Tra i componenti soggetti a certificazione energetica ai sensi del D.M. 2/04/98 compaiono anche:

- I serramenti e le chiusure trasparenti o traslucide con valore di trasmittanza termica complessiva inferiore a 5 W/m²K
- I vetri isolanti
- i vetri a controllo solare
- i vetri bassoemissivi
- gli elementi trasparenti di materiale plastico

La **certificazione** può essere costituita da una **dichiarazione**¹ del Produttore in cui attesta le caratteristiche e le prestazioni energetiche del prodotto e dichiara che dette caratteristiche sono state determinate mediante prove effettuate presso un laboratorio o certificate da un organismo di certificazione di prodotto accreditato specificando quale è stata la metodologia di prova seguita.

Per i **serramenti e le chiusure trasparenti o traslucide con valore di trasmittanza termica complessiva inferiore a 5 W/m²K** il D.M. 2/04/98 richiede la certificazione delle seguenti caratteristiche energetiche:

la **trasmittanza termica complessiva del serramento** (vetro+telaio)

la **permeabilità all'aria**

la **trasmmissione luminosa** (anche se questa si riferisce ad una caratteristica ottico-luminosa e non energetica).

Per i **vetri isolanti, i vetri a controllo solare, i vetri bassoemissivo, gli elementi trasparenti di materiale plastico** il D.M. 2/04/98 richiede la certificazione delle seguenti caratteristiche energetiche:

la **trasmittanza termica**

la **trasmmissione luminosa**

il **fattore solare**

Nota: Nel testo del decreto non viene data una precisa definizione di "Produttore" nei confronti del serramento inteso come prodotto finito; ovvero non si capisce se quest'ultimo è il Costruttore di serramenti od invece il Gammista-Estrusore produttore dei profili o il Vettore produttore dei vetri che vengono inseriti nel serramento. Dal momento che però viene richiesta un'attestazione di prestazioni energetiche sul prodotto finito (il serramento "costruito"), risulta ragionevole, e in linea con gli scopi del decreto, interpretare che sia il Costruttore dei serramenti, ovvero colui che fornisce il prodotto finito, a dover rilasciare la certificazione energetica.

¹ Il decreto 2 aprile 1998 definisce i concetti di "certificazione" e "dichiarazione" in questi termini:

Certificazione: "atto mediante il quale un organismo riconosciuto come indipendente rispetto all'oggetto in questione (organismo notificato, organismo di certificazione di sistema di qualità, organismo di certificazione di prodotto, laboratorio), dichiara che un prodotto o componente ha determinate caratteristiche o prestazioni energetiche ed è conforme alla specifica tecnica corrispondente."

Dichiarazione del produttore:

"l'attestazione da parte di quest'ultimo, o del suo mandatario stabilito nell'Unione europea delle caratteristiche e prestazioni energetiche di un prodotto o componente, come certificate da un organismo indipendente."

Ai sensi di legge il Produttore dovrebbe allegare alla dichiarazione che rilascia i certificati di prova di laboratorio che attestino i valori delle caratteristiche energetiche (trasmittanza termica, permeabilità all'aria e trasmissione luminosa) possedute dai serramenti ma fino a quando il Ministero non emanerà un documento interpretativo del decreto, il Costruttore di serramenti potrà anche **non** eseguire le prove di permeabilità all'aria, di trasmittanza termica e di trasmissione luminosa sull'intero serramento e **limitarsi** a:

Permeabilità all'aria Allegare utilizzati nella costruzione dei serramenti a meno che il Costruttore di serramenti non abbia già (o comunque intenda farlo) eseguito la prova di laboratorio per testare la classe di permeabilità all'aria dell'intero serramento (esiste infatti la norma UNI EN 1026 *Finestre - Metodi di prova delle finestre – Prova di permeabilità all'aria* che codifica la metodologia di prova per eseguire il test sull'intero serramento).

Trasmissione luminosa Allegare, in relazione alla specifica soluzione adottata, i certificati di prova rilasciati dal Vettore produttore dei vetri inseriti nei serramenti.

Trasmittanza termica Stimare la trasmittanza termica posseduta dai serramenti utilizzando il metodo semplificato descritto dalla norma **UNI EN ISO 10077-1** *Trasmittanza termica di finestre, porte e schermi - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1. Metodo semplificato*.
Allegare i certificati di prova di laboratorio rilasciati dal Produttore dei profilati che attestino il valore di trasmittanza termica posseduto dai profilati utilizzati. Allegare i certificati di prova di laboratorio rilasciati dal Vettore produttore dei vetri che certifichino il valore di trasmittanza termica posseduto dai vetri impiegati.

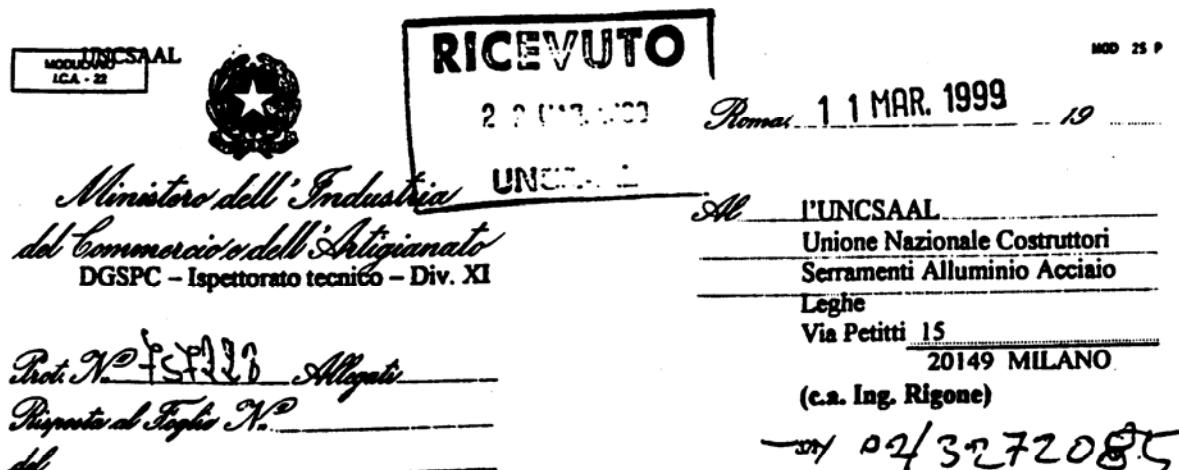
Al momento il Costruttore dei serramenti agisce correttamente seguendo tali procedure in quanto il Ministero non ha ancora emanato un documento interpretativo del D.M. 2/04/98. Inoltre tale procedura è avvalorabile dalle considerazioni che seguono:

Trasmissione luminosa è corretto limitarsi ad allegare, in relazione alla specifica soluzione adottata, i certificati di prova rilasciati dal Vettore produttore dei vetri inseriti nei serramenti in quanto la trasmissione luminosa è caratteristica conferita unicamente dalla tipologia della vetratura utilizzata.

Trasmittanza termica E' corretto limitarsi ad allegare i certificati di prova rilasciati dal Produttore dei profilati inseriti nei serramenti in quanto la certificazione sulla base di *"prestazioni determinate mediante prove effettuate presso un laboratorio"*, come richiesto dal decreto, appare percorribile con difficoltà dal momento che la trasmittanza termica complessiva di un serramento è funzione non solo delle prestazioni termiche specifiche dei componenti costituenti (vetro e telaio) ma anche del rapporto delle loro superfici.
Sarebbe dunque necessario sottoporre a prova tutti i serramenti che devono essere inseriti in un edificio, o, per lo meno, un campione rappresentativo di un insieme di serramenti uniforme per dimensioni e materiali utilizzati.
L'UNCSAAL ha fatto specifica richiesta al Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato ottenendo un'autorizzazione ufficiale affinché i Costruttori di serramenti possano dichiarare la trasmittanza termica posseduta dai loro prodotti stimandone il valore per mezzo di metodologie semplificate. All'epoca è stato chiesto che venisse considerata valida la metodologia di calcolo descritta dalla norma UNI 10345 attualmente sostituita dalla norma UNI EN ISO 10077-1 che non ha ne ha modificato la sostanza [cfr. Fig. 2].

Permeabilità all'aria Anche se esiste una norma che codifica la metodologia di prova per stabilire la classe di permeabilità all'aria del serramento (la UNI EN 1026 *Finestre e porte - Permeabilità all'aria - Metodo di prova*) può ritenersi ancora corretto, in attesa di circolare esplicativa del decreto 2 aprile 1998, limitarsi ad allegare i certificati di prova rilasciati dal Gammista-Estrusore produttore dei profilati impiegati in quanto le prestazioni in termini di permeabilità all'aria dell'intero serramento sono principalmente dipendenti dalla prestazione offerta dal profilato, fatte salve corretta costruzione e posa dei serramenti.

Fig. 2 - Comunicazione ad UNCSAAL da parte del Ministero dell'Industria e del Commercio dell'Artigianato relativa alla possibilità di certificare la trasmittanza termica dei serramenti a mezzo di metodo semplificato [nota: la norma UNI 10345 citata è sostituita dalla norma UNI EN ISO 10077-1].



Il decreto in oggetto, in vigore dal dicembre 1998, prevede come noto, l'obbligo della certificazione – con le limitazioni di cui al comma 2 dell'art. 2 – per le classi di componenti di cui all'Allegato A, relativamente alle sole caratteristiche e prestazioni energetiche riportate nello stesso allegato.

Qualora il prodotto rientri anche in altre direttive europee (le citate 90/396, 92/42) va anche certificato secondo quanto previsto nelle stesse e nei relativi decreti di attuazione.

Per la direttiva 89/106, la situazione è nota: non essendo disponibili norme armonizzate europee e permanendo l'attuale situazione di stallo, il produttore potrà far ricorso a normative nazionali (od europee), se esistenti ricorrendo alla procedura di cui all'art. 3. Questa Amministrazione potrà valutare, a richiesta di eventuali organismi interessati, la possibilità di concessione di autorizzazione per determinati prodotti, sulla base del possesso delle attrezzature di prova e della competenza tecnica.

Quanto sopra da un punto di vista generale.

Nel caso specifico dei serramenti di alluminio si ritiene condivisibile la procedura prospettata; ricorso alla unica norma nazionale esistente (la UNI 10345) per il calcolo dei valori di trasmittanza termica complessiva, sulla base dei valori di trasmittanza termica di ciascun singolo componente, attestati da un organismo già autorizzato o da autorizzare secondo quanto indicato sopra. Il produttore del serramento rilascerà quindi al proprio cliente una dichiarazione secondo quanto indicato all'art. 3.

IL DIRIGENTE
(Ing. Vincenzo Monaco)

La comunicazione ad UNCSAAL da parte del Ministero dell'Industria e del Commercio dell'Artigianato di cui alla Fig. 2 è contenuta anche nel Cd-Rom UX56 - D.Lgs. 192/05 e D.M. 2/04/98: *Strumenti informatici*

La **dichiarazione di conformità** [cfr. **Facsimile 1** e **Facsimile 2**], deve essere fornita per ogni singolo edificio che si realizza in virtù della specificità dei singoli interventi; inoltre se variano i valori delle caratteristiche energetiche dei serramenti all'interno di uno stesso intervento devono essere rilasciate più dichiarazioni di conformità. In realtà per quanto riguarda la permeabilità all'aria, la classe varierà se varierà il sistema di profilati utilizzato, per la trasmissione luminosa il cambiamento è legato alla variazione della tipologia di vetrazione mentre i valori di trasmittanza termica sono legati non solo ai valori di trasmittanza termica di profilati e vetri ma anche alle dimensioni del serramento.

Ai sensi dell'articolo 3, comma 4, del D.M. 02/04/1998, le aziende in possesso della certificazione di qualità aziendale ai sensi delle norme della serie UNI EN ISO 9000 possono omettere, nella dichiarazione di conformità al decreto succitato, il riferimento al laboratorio presso il quale sono state effettuate le prove.

La richiesta della dichiarazione di conformità al decreto 2 aprile del 1998 è obbligatoria per:

- tutti gli interventi ad eccezione di quelli classificati come manutenzione ordinaria.
- i casi in cui la vendita dei serramenti è legata a documenti commerciali che citano le caratteristiche considerate energetiche dal DM 2 Aprile 1998 (*trasmittanza termica, permeabilità all'aria, trasmissione luminosa*)
- i casi in cui il nome commerciale del prodotto venduto fa riferimento alle suddette caratteristiche.

Ciò si desume dal Comma 2 dell'Articolo 2 del DM 2 aprile 1998 che cita espressamente:
"Ai fini del presente decreto, l'obbligo di certificazione è limitato ai casi in cui nella denominazione di vendita nell'etichetta o nella pubblicità sia fatto riferimento alle caratteristiche e prestazioni di cui all'allegato A, ovvero siano usate espressioni che possono indurre l'acquirente a ritenere il prodotto destinato a qualsivoglia utilizzo ai fini del risparmio di energia".

In realtà le cose sono un po' più complicate e meno riduttive di quanto possa sembrare ad una prima lettura dell'articolo di legge, in quanto la frase "*... ovvero siano usate espressioni che possono indurre l'acquirente a ritenere il prodotto destinato a qualsivoglia utilizzo ai fini del risparmio di energia*" implica che anche le offerte riportanti frasi del tipo "*serramenti in alluminio costituiti da profili a taglio termico*" oppure "*vetri isolanti*" debbano essere intese come espressioni che inducono l'acquirente a ritenere il prodotto destinato ai fini del risparmio energetico.

In definitiva, dunque, la non obbligatorietà della certificazione energetica, è individuabile solamente per quei casi di mera sostituzione di infissi nella vendita dei quali non è stato fatto, in alcun modo, riferimento alle caratteristiche energetiche e non sono state impiegate espressioni inerenti il risparmio energetico.



Il Cd-Rom UX56 - *D.Lgs. 192/05 e D.M. 2/04/98: Strumenti informatici* contiene versione informatica personalizzabile dei facsimile 1 e 2

Facsimile 1 - Dichiarazione di conformità al D.M. 2 aprile 1998 e al D.Lgs. 192/05

Dichiarazione di Conformità alla legislazione nazionale in ambito di risparmio energetico in edilizia [D.M. 2 aprile 1998 e D.Lgs. 192/05]

Il sottoscritto [nome e cognome], titolare [oppure legale rappresentante] dell'azienda [ragione sociale] ubicata in [indirizzo completo]

DICHIARA

che i serramenti e le vetrazioni, di cui alla fornitura [inserire eventuali riferimenti alla commessa di cui trattasi], prodotti nello stabilimento di, in data sono conformi a quanto previsto dalla legge 10/91 art. 32, dal DM 2 aprile 1998 e dal D.Lgs. 192/05 e che:

1. ai sensi del D.Lgs. 19/08/2005 n°192, i serramenti di fornitura sono impiegabili in edifici ubicati in Comuni appartenenti alle zone climatiche
2. la trasmittanza termica complessiva dei serramenti è stata determinata mediante metodologia di calcolo semplificato così come previsto dalla norma UNI EN ISO 10077-1 e corrisponde a W/m²K. Tale valore è stato determinato numericamente sulla base dei singoli valori di trasmittanza termica dei componenti costituenti il serramento così come dichiarati dalla ditta produttrice dei profili per finestra serie e dalla società produttrice dei vetricamera tipo;
3. la trasmissione luminosa dei serramenti è pari al, così come dichiarato dalla ditta fornitrice dei vetricamera;
4. la permeabilità all'aria dei serramenti corrisponde alla classe, così come definita dalla norma UNI EN 12207 e come risulta dal certificato di prova n°..... Il test di permeabilità all'aria è stato eseguito secondo la metodologia prevista dalla norma UNI EN 1026 presso il laboratorio in data e per conto della ditta produttrice dei profili per finestra serie
5. la trasmittanza termica delle vetrazioni è pari così come dichiarato dalla ditta fornitrice
6. la trasmissione luminosa delle vetrazioni è pari al così come dichiarato dalla ditta fornitrice
7. il fattore solare delle vetrazioni è pari al così come dichiarato dalla ditta fornitrice
8. la conduttanza termica delle vetrazioni è pari al così come dichiarato dalla ditta fornitrice

Si allegano alla presente dichiarazione di conformità i seguenti documenti:

1. determinazione numerica della trasmittanza termica complessiva dei serramenti eseguita secondo la metodologia di calcolo semplificata descritta dalla norma UNI EN ISO 10077-1;
2. certificazione, da parte del produttore dei vetri camera, dei valori di trasmittanza termica, della trasmissione luminosa, di fattore solare e di conduttanza termica dei prodotti vetrari facenti parte della presente fornitura;
3. certificazione, da parte del produttore dei profili per finestra serie, dei valori di trasmittanza termica dei prodotti facenti parte della presente fornitura;
- 4 certificazione, da parte del produttore dei profili per finestra serie, della classe di permeabilità all'aria dei prodotti facenti parte della presente fornitura;

Luogo e data

Timbro e firma

Facsimile 2 - ALLEGATO alla Dichiarazione di Conformità alla legislazione nazionale in ambito di risparmio energetico in edilizia [D.M. 2 aprile 1998 e al D.Lgs. 192/05]

ALLEGATO ALLA DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ ALLA LEGISLAZIONE NAZIONALE IN AMBITO DI RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA [D.Lgs. 192/05 e D.M. 2 aprile 1998]

Determinazione numerica della trasmittanza termica complessiva dei serramenti secondo la metodologia semplificata descritta dalla norma UNI EN ISO 10077/1 *Trasmittanza termica di finestre, porte e schermi - Parte 1 Metodo semplificato*

La trasmittanza termica U_W dei serramenti oggetto della presente dichiarazione di conformità è stata determinata numericamente secondo la seguente espressione

$$U_W = \frac{(A_G U_G + A_F U_F + L_G \Psi_1)}{(A_G + A_F)} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

dove:

U_G trasmittanza termica dell'elemento vetrato in $\text{W/m}^2\text{K}$;

U_F trasmittanza termica del telaio metallico in $\text{W/m}^2\text{K}$;

Ψ_1 la trasmittanza lineare in W/mK (da considerarsi solo nel caso del vetro camera) dovuta alla presenza del distanziatore posto tra i due vetri, misurata in W/mK .

L_G perimetro della vetrazione in metri

A_G area della vetrazione in m^2 ;

A_F l'area del telaio in m^2 definita come l'area della proiezione della superficie del telaio su un piano parallelo al vetro. Corrisponde all'area più grande tra l'area della superficie frontale interna e l'area della superficie frontale esterna.

In base alle caratteristiche geometriche dei serramenti in oggetto (così come da disegno allegato, cfr. ALLEGATO), ai valori di trasmittanza termica del telaio e del vetro camera (così come dichiarati dai rispettivi produttori, cfr. ALLEGATI e) ed ai valori tabellati della norma UNI EN ISO 10077-1 il valore della trasmittanza termica complessiva dei serramenti in oggetto risulta pari a $\text{W/m}^2\text{K}$.

Luogo e data

Timbro e firma

4. Sintesi sugli obblighi per il Progettista e il Costruttore di serramenti

Alla luce del quadro normativo delineato dal D.Lgs. 192/05 e dal D.M. 2/04/98, il **Progettista/Direttore dei lavori** dovrà:

- Eseguire le verifiche sui parametri e sui requisiti prescritti dalla legge 10/91 e dal D.Lgs. 192/05. I risultati di tale verifiche devono essere inseriti in una relazione tecnica da allegare, unitamente al progetto dell'edificio (o dell'intervento previsto sull'edificio), al permesso di costruzione (ex concessione edilizia) o altro documento necessario in funzione del tipo di intervento sull'edificio da presentare in Comune.
- Indicare in capitolato o in richiesta di fornitura il valore delle caratteristiche energetiche che i serramenti e le vetrazioni di fornitura dovranno possedere (trasmittanza termica, permeabilità all'aria, trasmissione luminosa, fattore solare, conduttanza termica).
- Verificare che il valore di trasmittanza termica dei serramenti e delle vetrazioni richiesti non comporti formazione di condensa nelle condizioni progettuali.
- Chiedere al Costruttore dei serramenti** di fornitura la dichiarazione di conformità prevista dal D.M. 2/04/98 per le caratteristiche energetiche (trasmittanza termica, di permeabilità all'aria e di trasmissione luminosa) possedute dai serramenti e dalle vetrazioni forniti.
- Chiedere al Costruttore dei serramenti** di fornitura di dichiarare l'ambito di impiego dei serramenti di fornitura in interventi soggetti ad applicazione del D.Lgs. 192/05

Alla luce del quadro normativo illustrato, il **Costruttore di serramenti** dovrà:

- Fornire i serramenti e le vetrazioni con le caratteristiche energetiche (trasmittanza termica, permeabilità all'aria, trasmissione luminosa, fattore solare, conduttanza termica) richieste in capitolato o nella richiesta di fornitura
- Verificare che la trasmittanza termica posseduta dai suoi manufatti rispecchi i limiti previsti dal decreto legislativo 19 agosto 2005 n°192 se destinati ad interventi soggetti all'ambito di applicazione dello stesso. In caso che la verifica abbia esito negativo darne tempestiva comunicazione in forma scritta alla Committenza o chi per essa (Progettista, Direttore dei Lavori, ecc.)
- **Rilasciare la dichiarazione di conformità** in cui attesta i valori delle caratteristiche energetiche possedute dai serramenti forniti in conformità a quanto prescritto dal D.M. 2/04/98.
- Indicare l'ambito di impiego dei serramenti di fornitura in interventi soggetti ad applicazione del D.Lgs. 19/08/2005 n°192. All'atto pratico deve indicare le zone climatiche in cui possono essere inseriti i serramenti oggetto di fornitura.

Da sapere

Il Cd-Rom UX56 - D.Lgs. 192/05 e D.M. 2/04/98: Strumenti informatici contiene questi utili strumenti informatici per ottemperare agli obblighi normativi facilmente e velocemente:

Elenco dei comuni di Italia con indicazione della zona climatica di appartenenza [rif. Decreto Legislativo 26 agosto 1993 n°412]

Facsimile dei documenti:

- **Dichiarazione di Conformità alla legislazione nazionale in ambito di risparmio energetico e isolamento termico in edilizia [D.Lgs. 192/05 e nel D.M. 2/04/98]**
- **ALLEGATO ALLA DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ ALLA LEGISLAZIONE NAZIONALE IN AMBITO DI RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA [D.LGS. 192/05 E D.M. 2 APRILE 1998]** - Determinazione numerica della trasmittanza termica complessiva dei serramenti secondo la metodologia semplificata descritta dalla norma UNI EN ISO 10077/1 Trasmittanza termica di finestre, porte e schermi - Parte 1 Metodo semplificato

Software **Verifica D.Lgs. 192/05**: permette di valutare la trasmittanza termica dei serramenti secondo la metodologia semplificata descritta dalla norma UNI EN ISO 10077-1 e di verificare che tale prestazione termica sia conforme D.Lgs. 192/05 per l'applicazione di cui trattasi.

Software **Missoione risparmio energetico**: permette di valutare verificare se sussiste il rischio di insorgenza del fenomeno di condensa superficiale su serramenti e vetrazioni di progetto per l'applicazione in oggetto e di valutare la dispersione termica annuale e i relativi costi.

Testo del documento tecnico **UX55 Il risparmio energetico e l'isolamento termico in edilizia: il ruolo dei serramenti nel D.Lgs. 192/05 e nel D.M. 2/04/98**

Comunicazione ad UNCSAAL da parte del Ministero dell'Industria e del Commercio dell'Artigianato relativa alla possibilità di certificare la trasmittanza termica dei serramenti a mezzo di metodo semplificato [**Nota: la norma UNI 10345 citata è sostituita dalla norma UNI EN ISO 10077-1**].

Testi delle principali disposizioni legislative di riferimento [D.Lgs. 192/05; D.M. 2/04/98; Circolare 23/05/06]

Parte 2 - Approfondimenti tecnici

5 Valutazione della prestazione termica posseduta dai serramenti

La **trasmittanza termica** rappresenta il parametro più significativo per la valutazione del comportamento termico di un prodotto edilizio: minore è il suo valore migliore è la prestazione termica posseduta dal componente stesso.

Per i serramenti questo parametro può essere stimato mediante **calcolo (semplificato o numerico agli elementi finiti)** oppure direttamente effettuando **prove di laboratorio**.

Per la valutazione tramite *calcolo semplificato* esiste uno strumento tecnico normativo preciso, la norma europea **UNI EN ISO 10077-1** che ha sostituito la norma UNI 10345 *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Trasmittanza termica dei componenti edilizi finestrati - Metodo di calcolo* del 1993.

E' possibile anche valutare in termini più precisi la trasmittanza termica dei serramenti a mezzo di prova in laboratorio secondo la procedura descritta dalla norma tecnica europea EN ISO 12567-1.

Le metodologie di valutazione della prestazione termica dei serramenti menzionate sono da considerarsi valide ai fini della conformità al D.Lgs. 192/05 e al DM 2/04/98.

Il comma 16 dell'Allegato I del D.Lgs. 192/05 indica infatti che le procedure e i metodi di calcolo descritti dalle norme tecniche dell'UNI, dalle norme tecniche europee elaborate dal CEN e da organismi istituzionali nazionali riconosciuti (per esempio le università, il CNR, l'ENEA) sono da considerare validi ai fini del D.Lgs. 192/05. Possono essere considerati conformi anche altri metodi purchè sia dimostrato che i risultati ottenibili sono pari o migliori a quelli derivabili con i metodi precedentemente elencati.

La stima della trasmittanza termica U_w dei serramenti nel loro complesso (telaio e vetrage) tramite *procedura di calcolo semplificata* tiene conto della **trasmittanza termica del telaio**, della **trasmittanza termica del vetro** e, nel caso di presenza di vetrocamera, della **trasmittanza termica del distanziatore tra le due lastre vetrate**:

$$f1 \quad U_w = \frac{(A_G U_G + A_F U_F + L_G \Psi_l)}{(A_G + A_F)} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

dove:

U_G trasmittanza termica dell'elemento vetrato in $\text{W/m}^2\text{K}$;

U_F trasmittanza termica del telaio metallico in $\text{W/m}^2\text{K}$;

Ψ_l la trasmittanza lineare in W/mK (da considerarsi solo nel caso del vetro camera) dovuta alla presenza del distanziatore posto tra i due vetri; si ricava in funzione del tipo di vetro e del materiale del telaio [cfr. Tab. 5]; tale valore si considera nullo per vetri singoli. Questo parametro è introdotto per tenere conto della *dispersione termica perimetrale* che si verifica in prossimità del bordo dei vetrocamera per la presenza del distanziatore. Può essere determinato anche a mezzo del metodo agli elementi finiti descritto dalla norma UNI EN 10077-2.

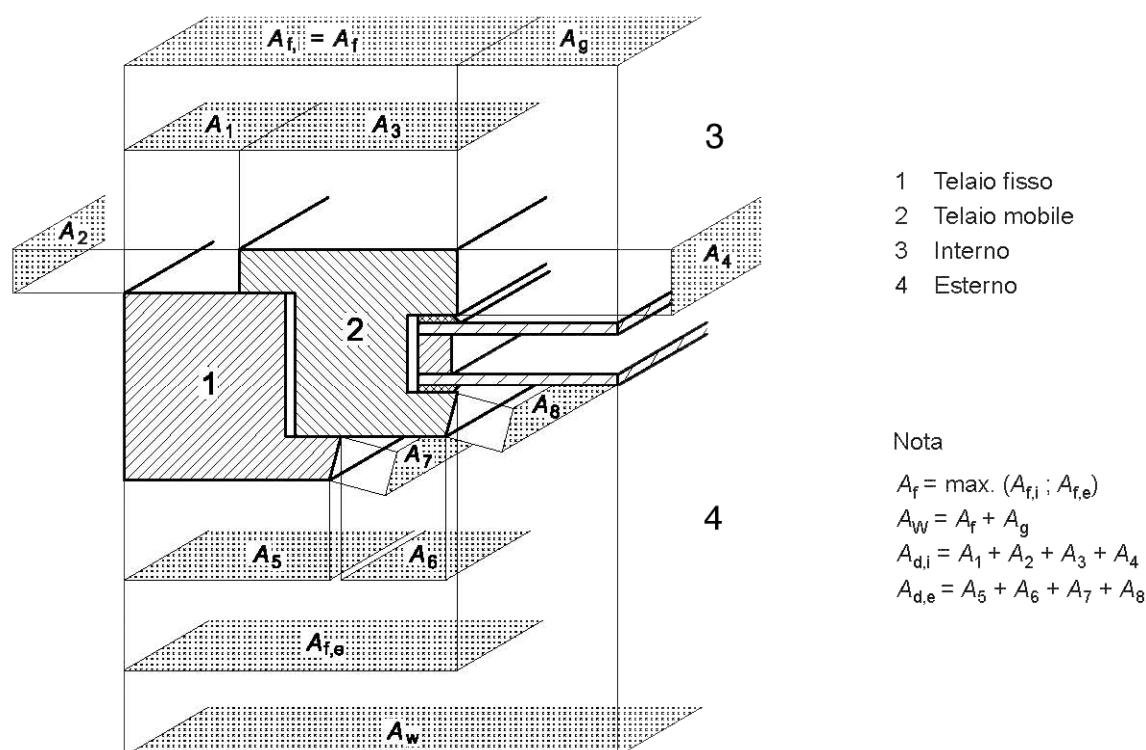
L_G perimetro della vetrage in metri; se il perimetro visto dall'interno differisce da quello visto dall'esterno deve essere assunto il valore maggiore delle lunghezze perimetrali.

A_G area della vetrage in m^2 ;

A_F l'area del telaio in m^2 definita come l'area della proiezione della superficie del telaio su un piano parallelo al vetro. Corrisponde all'area più grande tra l'area della superficie interna A_{FI} e l'area della superficie frontale esterna A_{FE} . La figura 3 esemplifica cosa si intende per i due tipi di superficie citati.

Tab. 5 - Trasmittanza termica lineare Ψ_e di distanziatori metallici per vetro camera (fonte: UNI EN ISO 10077-1 *Finestre, porte e schermi – Trasmittanza termica - Part. 1 – Metodo di calcolo semplificato*).

Materiale del telaio	Vetro doppio o triplo, con vetro senza rivestimento, intercapedine con aria o gas	Vetro doppio con un rivestimento bassoemisivo o triplo con due rivestimenti bassoemisivi, intercapedine con aria o gas
Metallo con taglio termico	0,06	0,08
Metallo senza taglio termico	0	0,02
Legno o plastica	0,04	0,06

Fig. 3 - Definizione dell'area del telaio ai fini del calcolo della trasmittanza complessiva del serramento (fonte: UNI EN ISO 10077-1 *Finestre, porte e schermi – Trasmittanza termica - Part. 1 – Metodo di calcolo semplificato*).

Quando in uno stesso serramento sono presenti tamponamenti trasparenti in combinazione con **pannelli opachi** la formula f1 deve essere così modificata:

$$f2 \quad U_W = \frac{(A_G U_G + A_P U_P + A_F U_F + L_G \Psi_I + L_P \Psi_P)}{(A_G + A_F + A_P)} \quad (W/m^2K)$$

dove i nuovi parametri sono:

- U_P trasmittanza termica del pannello opaco in W/m^2K ;
 L_P perimetro del pannello opaco in metri;
 A_P area del pannello in m^2 .
 Ψ_P (psi) trasmittanza termica lineare in $W/m K$

Con calcolo semplificato può essere valutata anche la trasmittanza termica di **serramenti doppi** U_{WD} (costituiti cioè da telai fissi separati, cfr. Fig. 4):

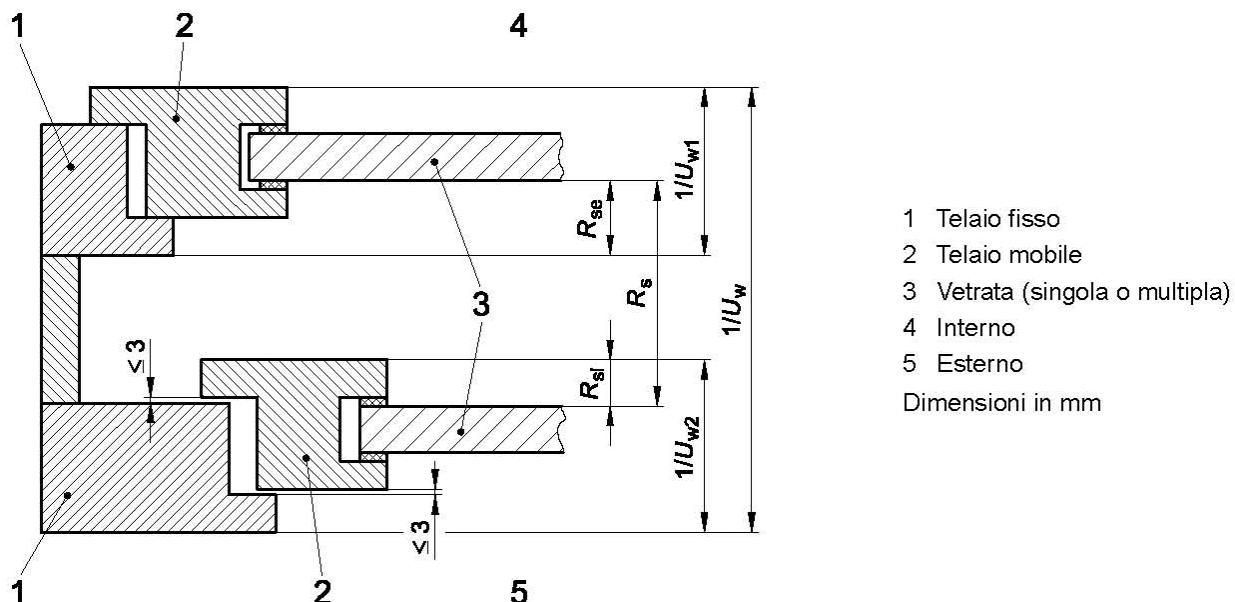
$$f3 \quad U_{WD} = \frac{1}{\left(\frac{1}{U_{W1}} - R_{SI} + R_S - R_{SE} + \frac{1}{U_{W2}} \right)} \quad (W/m^2K)$$

dove:

- U_{W1} trasmittanza termica della finestra esterna calcolata secondo la formula f1, in W/m^2K .
 U_{W2} trasmittanza termica della finestra interna calcolata secondo la formula f1 in W/m^2K .
 R_{SI} resistenza termica superficiale interna della finestra esterna quando prevista da sola. Per serramenti verticali o con un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale compreso tra 60° e 90° ed emissività tipica della vetratura $\varepsilon \geq 0,8$ il valore di R_{SI} può essere posto pari a 0,13 m^2K/W . Per differenti emissività delle superfici interne delle vetrature ($\varepsilon < 0,8$) R_{SI} deve essere calcolato secondo il metodo di calcolo descritto nella norma UNI EN 673.
 R_{SE} resistenza termica superficiale esterna della finestra interna quando prevista da sola. E' da assumersi pari a 0,04 m^2K/W per serramenti verticali o con un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale compreso tra 60° e 90° ed emissività tipica della vetratura $\varepsilon \geq 0,8$. Per differenti emissività delle superfici esterne delle vetrature ($\varepsilon < 0,8$) R_{SE} deve essere calcolato secondo il metodo di calcolo descritto nella norma UNI EN 673.
 R_S resistenza termica dello spazio compreso tra le due finestre (intercapedine d'aria) in m^2K/W [cfr. Tab. 6].

Nota: La formula f3 non è da considerarsi attendibile nel caso in cui l'anta mobile e il telaio fisso della finestra interna superi i 3 mm e se non sono state prese misure per prevenire l'eccessivo ricambio d'aria con l'aria esterna [cfr. Fig. 4].

Fig. 4 - Schema di serramento doppio (fonte: UNI EN ISO 10077-1 *Finestre, porte e schermi – Trasmittanza termica - Part. 1 – Metodo di calcolo semplificato*).



Tab. 6 - Valori di R_s in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$, resistenza termica di intercapedini d'aria non ventilate per serramenti combinati e doppi (fonte: UNI EN ISO 10077-1 *Finestre, porte e schermi – Trasmittanza termica - Part. 1 – Metodo di calcolo semplificato*).

Spessore intercapedine (mm)	Una sola superficie trattata con emissività normale				Entrambi le superfici non trattate
	$\varepsilon = 0,10$	$\varepsilon = 0,20$	$\varepsilon = 0,40$	$\varepsilon = 0,80$	
6	0,211	0,190	0,163	0,132	0,127
9	0,298	0,259	0,211	0,162	0,154
12	0,376	0,316	0,247	0,182	0,173
15	0,446	0,363	0,276	0,197	0,186
50	0,406	0,335	0,260	0,189	0,179
100	0,376	0,315	0,247	0,182	0,173
300	0,333	0,284	0,228	0,171	0,163

Nota:

I valori della tabella valgono per serramenti verticali o con un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del componente trasparente compreso tra 90° e 60° , per intercapedini d'aria non ventilate e con entrambe le superfici senza trattamenti superficiali o con solo una superficie con uno strato di basso emissivo, una temperatura media del componente trasparente di 283 K (stagione di riscaldamento) e una differenza di temperatura di 15 K tra le due superfici più esterne.

Vediamo infine che la norma UNI EN ISO 10077-1 propone anche un metodo semplificato per stimare la trasmittanza termica di **serramenti accoppiati** U_{WD} (caratterizzati dalla presenza di un telaio fisso unico, cfr. Fig. 5):

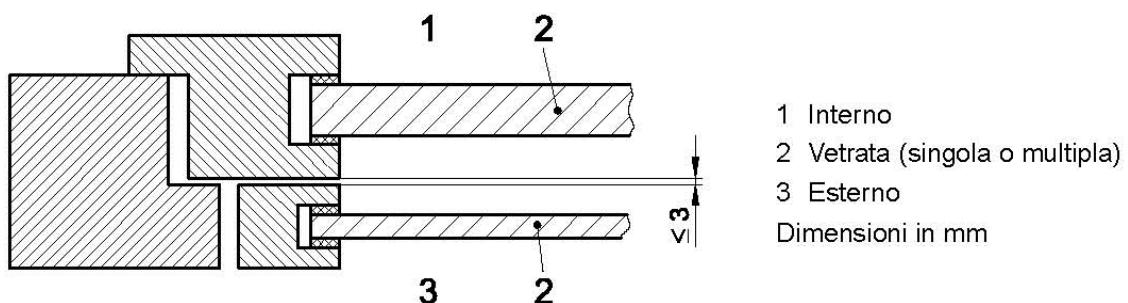
$$f4 \quad U_{WA} = \frac{1}{\left(\frac{1}{U_{G1}} - R_{SI} + R_S - R_{SE} + \frac{1}{U_{G2}} \right)} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

dove:

- U_{G1} trasmittanza termica della vetratura esterna;
- U_{G2} trasmittanza termica della vetratura interna;
- R_{SI} resistenza termica superficiale interna della vetratura esterna quando applicata da sola. Per serramenti verticali o con un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale compreso tra 60° e 90° ed emissività tipica della vetratura $\varepsilon \geq 0,8$ il valore di R_{SI} può essere posto pari a 0,13 $\text{m}^2\text{K/W}$. Per differenti emissività delle superfici interne delle vetrature ($\varepsilon < 0,8$) R_{SI} deve essere calcolato secondo il metodo di calcolo descritto nella norma UNI EN 673;
- R_S resistenza termica dello spazio compreso tra le due finestre (intercapedine d'aria) in $\text{m}^2\text{K/W}$ [cfr. Tab. 6];
- R_{SE} resistenza termica superficiale esterna della finestra interna. E' da assumersi pari a 0,04 $\text{m}^2\text{K/W}$ per serramenti verticali o con un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale compreso tra 60° e 90° ed emissività tipica della vetratura $\varepsilon \geq 0,8$. Per differenti emissività delle superfici esterne delle vetrature ($\varepsilon < 0,8$) R_{SE} deve essere calcolato secondo il metodo di calcolo descritto nella norma UNI EN 673.

Nota: La formula f4 non è da considerarsi attendibile nel caso in cui la distanza tra i telai accoppiati superi i 3 mm e se non sono state prese misure per prevenire l'eccessivo ricambio d'aria con l'aria esterna [cfr. Fig. 5].

Fig. 5 - Schema di serramento accoppiato (fonte: UNI EN ISO 10077-1 *Finestre, porte e schermi – Trasmittanza termica - Part. 1 – Metodo di calcolo semplificato*).



5.1 Trasmittanza termica dei telai metallici U_f

Il valore di trasmittanza termica del telaio U_f può essere desunto da:

- Calcolo agli elementi finiti secondo la UNI EN ISO 10077-2. Tali calcoli oltre a fornire il valore di trasmittanza permettono di conoscere la distribuzione delle temperature nel nodo calcolato;
- Prova in laboratorio in camera calda secondo la metodologia descritta dalla norma UNI EN 12412-2;
- Metodo semplificato contenuto nella UNI EN ISO 10077-1 basato sulle caratteristiche geometriche del profilo a taglio termico e in particolare sulla distanza tra i profili in alluminio.

Per i **telai metallici**, la procedura semplificata descritta dalla UNI EN ISO 10077-1 prevede che la trasmittanza termica del telaio U_f sia ricavabile dalla formula:

$$f5 \quad U_f = 1/(R_{Si} A_{f,i} / A_{d,i} + R_f + R_{Se} A_{f,e} / A_{d,e})$$

dove:

$A_{f,i}$ = Area interna proiettata del telaio

$A_{d,i}$ = Area interna sviluppata del telaio

$A_{f,e}$ = Area esterna proiettata del telaio

$A_{d,e}$ = Area esterna sviluppata del telaio

R_{Si} = resistenza superficiale interna del telaio

R_{Se} = resistenza superficiale esterna del telaio

R_f = resistenza termica del telaio.

La resistenza termica del telaio R_f è data da:

$$f6 \quad R_f = 1/ U_{f0} - 0,17$$

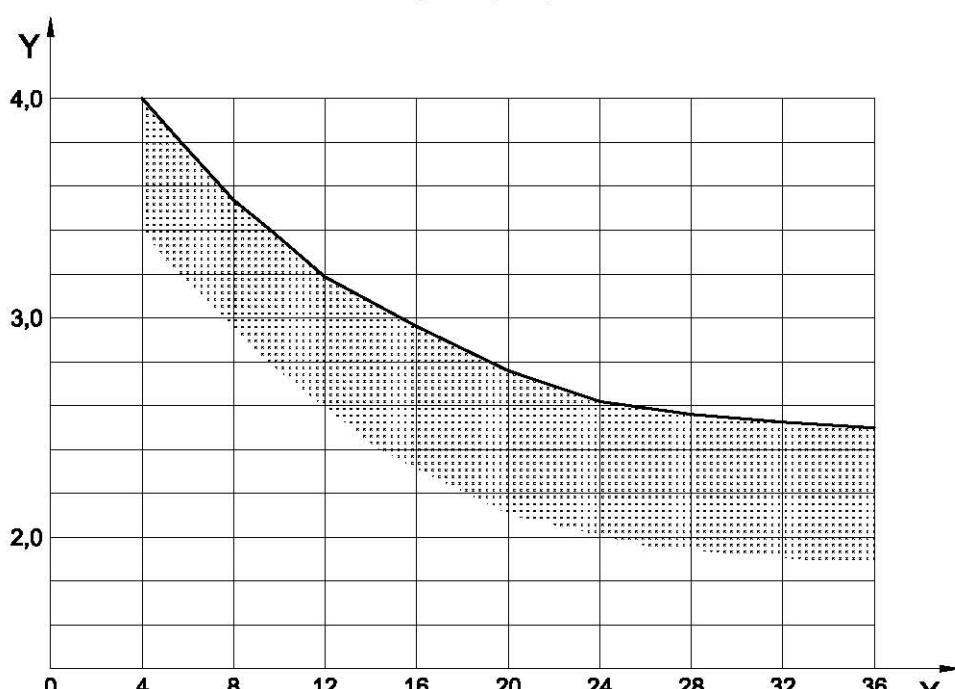
dove:

- per i telai d'alluminio senza taglio termico si usa $U_{f0} = 5,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

- per i telai metallici con tagli termici corrispondenti alle sezioni illustrate nella norma, con le limitazioni date sulla condutività termica e le larghezze delle interruzioni termiche, i valori di U_{f0} si ricavano dalla banda in grassetto della figura 6.

Fig. 6 - Valori di trasmittanza termica U_{f0} in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ per profili a taglio termico. L'area grigia indica un'insieme di valori ottenuti tramite misurazioni, effettuate in diversi paesi, della differenza di temperatura superficiale attraverso il telaio (fonte: UNI EN ISO 10077-1 *Finestre, porte e schermi – Trasmittanza termica - Part. 1 – Metodo di calcolo semplificato*).

X La più piccola distanza tra sezioni opposte di alluminio, d , in mm
Y Trasmittanza termica, U_f , in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



5.2 Trasmittanza termica delle vetrazioni U_G

Per stimare la trasmittanza termica U_G delle vetrazioni, è possibile eseguire delle prove in laboratorio le cui principali metodologie sono riportate nelle norme UNI EN 674 e UNI EN 675 e nel progetto di norma prEN 1098.

In assenza però di misure sperimentali, le norme UNI EN ISO 10077-1 e UNI EN 673 propongono una formula di calcolo che stima in termini semplificati la trasmittanza termica U_G delle vetrazioni, sia costituite da lastre singole sia costituite da più lastre:

$$f7 \quad U_G = \frac{1}{R_{SE} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^{n-1} R_{s,j} + R_{SI}} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

dove:

R_{SE} resistenza termica superficiale esterna quando prevista da sola. E' da assumersi pari a 0,04 m²K/W per serramenti verticali o con un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale compreso tra 60° e 90° ed emissività tipica della vetrata $\varepsilon \geq 0,8$. Per differenti emissività delle superfici esterne delle vetrazioni ($\varepsilon < 0,8$) R_{SE} deve essere calcolato secondo il metodo di calcolo descritto nella norma UNI EN 673.

d spessore della lastra vetrata in metri;

n numero di lastre costituenti il componente trasparente.

λ (lambda) conduttività termica della lastra vetrata. Per un vetro sodo-calcico è pari a 1 mK/W;
 R_{SI} resistenza termica superficiale interna quando prevista da sola. Per serramenti verticali o con un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale compreso tra 60° e 90° ed emissività tipica della vetrata $\varepsilon \geq 0,8$ il valore di R_{SI} può essere posto pari a 0,13 m²K/W. Per differenti emissività delle superfici interne delle vetrazioni ($\varepsilon < 0,8$) R_{SI} deve essere calcolato secondo il metodo di calcolo descritto nella norma UNI EN 673.

$R_{s,j}$ resistenza termica dell'intercapedine J in m²K/W [cfr. Tab. 7].

L'emissività di un corpo è definita come il rapporto tra la radiazione emessa dalla sua superficie e la radiazione che emetterebbe il corpo nero, avente la stessa temperatura. L'emissività di un corpo può avere un valore compreso tra zero e l'unità e per vetri normali (sodo-calcici senza depositi superficiali di ossido) si può utilizzare un valore di ε pari a 0,837. La norma UNI EN 673 contiene un criterio per calcolare l'emissività corretta di vetri con depositi superficiali di ossidi.

Tab. 7 - Resistenza termica di intercapedini R_s di lastre vetrate in funzione dello spessore e dell'emissività delle superfici in m²K/W (fonte: UNI EN ISO 10077-1 *Finestre, porte e schermi – Trasmittanza termica - Part. 1 – Metodo di calcolo semplificato*).

Spessore intercapedine d in mm	Aria: emissività				Argon: emissività			
	$\varepsilon = 0,2$	$\varepsilon = 0,4$	$\varepsilon = 0,8$	Superfici e non trattata	$\varepsilon = 0,2$	$\varepsilon = 0,4$	$\varepsilon = 0,8$	Superfici e non trattata
6	0,19	0,16	0,13	0,13	0,26	0,21	0,16	0,15
9	0,26	0,21	0,16	0,16	0,34	0,26	0,19	0,18
12	0,32	0,25	0,18	0,17	0,40	0,30	0,21	0,20
15	0,36	0,28	0,20	0,19	0,45	0,32	0,22	0,21
50	0,34	0,26	0,19	0,18	-	-	-	-
100	0,31	0,25	0,18	0,17	-	-	-	-

Dal prospetto 8 si può vedere come variano i valori di trasmittanza termica per doppi e tripli vetri isolanti al variare dell'emissività delle lastre e del tipo di gas; per prendere visione dei valori relativi a vetrazioni di altri spessori si suggerisce di consultare il testo integrale della norma UNI EN ISO 10077-1.

Tab. 8 - Trasmittanza termica in $\text{W/m}^2\text{K}$ per vetri isolanti (fonte: UNI EN ISO 10077-1 *Finestre, porte e schermi – Trasmittanza termica - Part. 1 – Metodo di calcolo semplificato*).

Componente trasparente				Tipo di gas nell'intercapedine			
Tip	Vetro	Emissività normale	Dimensioni in mm	Aria	Argon	Krypton	SF6
Doppio vetro	Vetro normale	0,89	4-12-4	2,9	2,7	2,6	3,1
			4-15-4	2,7	2,6	2,6	3,1
	Una lastra a bassa emissività	$\leq 0,4$	4-12-4	2,4	2,1	2,0	2,7
			4-15-4	2,2	2,0	2,0	2,7
	Una lastra a bassa emissività	$\leq 0,2$	4-12-4	1,9	1,7	1,5	2,4
			4-15-4	1,8	1,6	1,6	2,5
	Una lastra a bassa emissività	$\leq 0,1$	4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3
			4-15-4	1,6	1,4	1,3	2,3
	Una lastra a bassa emissività	$\leq 0,05$	4-12-4	1,7	1,3	1,1	2,2
			4-15-4	1,5	1,2	1,1	2,2
Triplo vetro	Due lastre di vetro normale	0,89	4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0
	Due lastre a bassa emissività	$\leq 0,4$	4-12-4-12-4	1,5	1,3	1,1	1,6
	Due lastre a bassa emissività	$\leq 0,2$	4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,4
	Due lastre a bassa emissività	$\leq 0,1$	4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2
	Due lastre a bassa emissività	$\leq 0,05$	4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1

6 Il contributo degli schermi alla prestazione termica dei serramenti

La resistenza termica di una lastra di vetro è fortemente influenzata dalle resistenze liminari sia interne sia esterne ed è quindi ovvio che la presenza di elementi di schermatura contribuisca a modificare lo scambio termico (e conseguentemente tali valori di resistenza liminare) aumentandone la sua resistenza termica.

Pertanto è possibile considerare per i serramenti una **resistenza termica aggiuntiva** che tiene conto della presenza di **schermi esterni** (tapparelle, persiane, ecc.) e della **permeabilità all'aria** del serramento: si esprime cioè la prestazione termica dei serramenti a schermi chiusi tramite la cosiddetta **trasmittanza termica notturna U_{ws}** :

$$f8 \quad U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

dove:

U_w trasmittanza termica del serramento in $\text{W/m}^2\text{K}$

ΔR (delta R) resistenza termica aggiuntiva in $\text{m}^2\text{K/W}$ dovuta alla presenza degli schermi chiusi il cui valore può essere definito in funzione della permeabilità e della resistenza termica R_{sh} degli schermi secondo le seguenti espressioni valide per $R_{sh} < 0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$:

Schermo a permeabilità molto elevata

$$F9 \quad \Delta R = 0,08 \quad (\text{m}^2\text{K/W})$$

Schermo ad elevata permeabilità

$$f10 \quad \Delta R = 0,25 R_{sh} + 0,09 \quad (\text{m}^2\text{K/W})$$

Schermo a media permeabilità (è il caso per esempio di schermi ad ante cieche, veneziane in legno con stecche piene sovrapposte, chiusure avvolgibili in legno, plastica oppure metallo con stecche intelacciate).

$$f11 \quad \Delta R = 0,55 R_{sh} + 0,11 \quad (\text{m}^2\text{K/W})$$

Schermo a bassa permeabilità
 f12 $\Delta R = 0,80 R_{sh} + 0,14$ (m²K/W)

Schermo impermeabile
 f13 $\Delta R = 0,95 R_{sh} + 0,17$ (m²K/W)

Per le tende interne o esterne si può considerare nulla la resistenza termica ($R_{sh}=0$). Il prospetto 9 riporta i valori della trasmittanza termica addizionale ΔR dovuta alla presenza delle tipologie di schermi più comuni (per i valori riferiti ad ulteriori tipologie si consiglia di consultare la norma UNI EN ISO 10077-1).

La permeabilità all'aria degli schermi può essere invece definita in funzione del parametro $b_{sh}=b_1+b_2+b_3$, somma delle distanze laterali tra lo schermo e il vano [cfr. Fig. 7 e Tab. 10], che rappresenta lo spazio totale effettivo ai bordi tra la chiusura e il suo contorno.

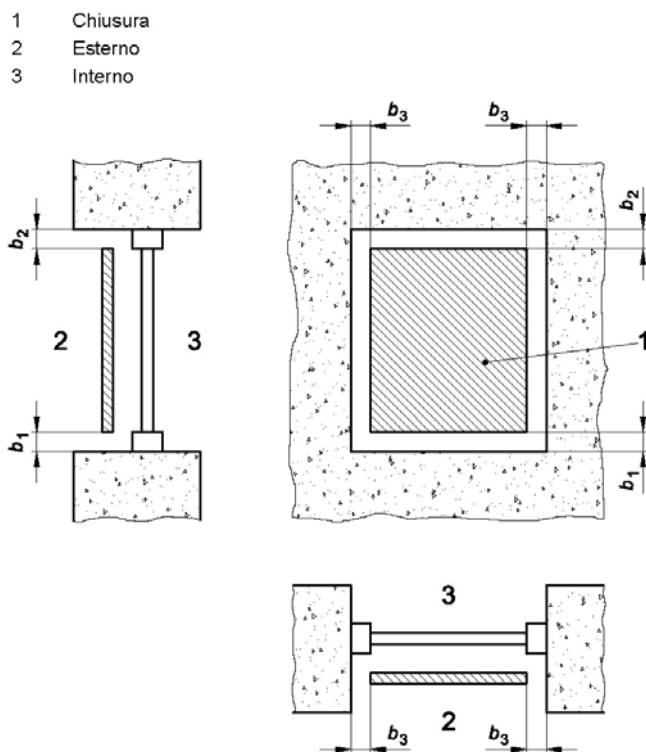
Il parametro b_3 è relativo ad un solo lato del serramento poiché gli spazi laterali influenzano meno la permeabilità rispetto a quelli superiori ed inferiori; nel caso di spazi laterali differenti tra loro, il valore b_3 può essere calcolato con la loro media aritmetica.

Per gli avvolgibili a permeabilità molto bassa b3 e b1 possono essere considerati uguali a zero se le guide sono dotate di guarnizioni di tenuta mentre b2 può essere considerato nullo se l'entrata del telo nel cassonetto è dotata di guarnizioni in entrambi i lati oppure la parte finale del telo viene pressata mediante un apposito dispositivo contro un materiale sigillante sulla superficie interna della parete esterna del cassonetto.

Sperimentalmente viene attribuita ad uno schermo la permeabilità molto bassa (classe 5) se la portata d'aria attraverso la chiusura ad una differenza di pressione di 10 Pa risulta minore o uguale a 10 m³/hm².

Tab. 9 - Valore di trasmittanza termica addizionale ΔR per finestre a schermi chiusi

Tipo di schermo	Resistenza termica R_{sh} dello schermo in m ² K/W	Resistenza termica addizionale ΔR in m ² K/W in funzione della permeabilità all'aria dello schermo		
		Alta permeabilità	Media permeabilità	Bassa permeabilità
Avvolgibile in alluminio	0,01	0,09	0,12	0,15
Avvolgibile in legno o in PVC senza riempimento di materiale isolante	0,10	0,12	0,16	0,22

Fig. 7 - Definizione delle distanze b_1 , b_2 e b_3 tra lo schermo e il vano**Tab. 10 - Relazione tra le classi di permeabilità all'aria delle chiusure oscuranti e lo spazio totale effettivo ai bordi tra la chiusura e il suo contorno b_{sh}** (fonte: UNI EN ISO 10077-1 *Finestre, porte e schermi – Trasmittanza termica - Part. 1 – Metodo di calcolo semplificato*).

Classe	Permeabilità della chiusura	b_{sh} mm
1	Permeabilità molto elevata	$b_{sh} > 35$
2	Permeabilità all'aria elevata	$15 \leq b_{sh} < 35$
3	Permeabilità all'aria media	$8 \leq b_{sh} < 15$
4	Permeabilità all'aria bassa	$b_{sh} \leq 8$
5	A tenuta	$b_{sh} \leq 3$ e $b_1 + b_3 = 0$ oppure $b_2 + b_3 = 0$

Nota 1 Per le classi di permeabilità 2 e superiori non dovrebbero esserci delle aperture all'interno della chiusura stessa.
 Nota 2 Per le chiusure appartenenti alla classe di permeabilità 5 si applicano i seguenti criteri:

- Chiusure avvolgibili
Gli spazi ai bordi laterali e inferiore sono considerati uguali a zero se ci sono guarnizioni rispettivamente nelle guide laterali e nella doga finale. Lo spazio superiore è considerato uguale a zero se la fessura d'ingresso dell'avvolgibile nel cassonetto è dotata di lingue di tenuta o guarnizioni del tipo a spazzolino su entrambi i lati della chiusura o se il lato terminale della chiusura è compresso da un apparato (molla) contro un materiale sigillante sulla superficie interna del lato esterno del cassonetto dell'avvolgibile.
- Altre chiusure
L'effettiva presenza di guarnizioni sui tre lati e di uno spazio sul quarto lato minore di 3 mm.

La trasmittanza termica notturna assume importanza nella valutazione dell'*energia termica mensile U_m* scambiata dall'involtro di edificio, il cui valore finale risulta mediato sulla variazione della trasmittanza termica dei serramenti nel tempo (periodo diurno e notturno) secondo la legge seguente:

$$f14 \quad U_m = (U_w t' + U_{ws} t'') / (t' + t'')$$

dove:

U_w	trasmittanza termica nel periodo t' (periodo diurno; ipotesi di schermi aperti)
U_{ws}	trasmissione termica nel periodo t'' (periodo notturno; ipotesi di schermi chiusi)
t'	periodo in cui la trasmittanza del componente è pari a U_w (periodo diurno)
t''	periodo in cui la trasmittanza del componente è pari a U_{ws} (periodo notturno)

Valutazione della prestazione termica posseduta dalle facciate continue

Anche per le facciate continue, in alternativa alla prova in laboratorio, esiste un metodo semplificato di valutazione della trasmittanza. Tale procedura è descritta dal progetto di norma prEN 13947 che è ancora in corso di ultimazione. Appena il testo della norma prEN 13947 sarà definitivo l'Ufficio Tecnico UNCSAAL appronterà specifico documento tecnico illustrativo.

Esistono anche altri parametri legati al comportamento termico dei materiali e alla trasmissione del calore.

La resistenza termica R

La resistenza termica rappresenta l'opposizione esercitata da un corpo a lasciarsi attraversare dal calore ed è strettamente legato alla trasmittanza termica in quanto ne esprime il suo inverso:

$$f15 \quad R = \frac{1}{U} \quad (m^2 K/W \text{ oppure } m^2 h^\circ C/Kcal)$$

Per un oggetto edilizio composto da più elementi la resistenza totale è data dalla somma (in serie) dei singoli valori di resistenza:

$$f16 \quad R_{tot} = \sum_{i=1}^n R_i \quad (m^2 K/W \text{ oppure } m^2 h^\circ C/Kcal)$$

dove:

n numero degli elementi costituenti l'oggetto edilizio di cui si vuole calcolare la resistenza termica complessiva R_{tot} , caratterizzati ciascuno da una resistenza termica R_i .

Nel caso di pareti o strati di parete di materiale omogeneo la resistenza termica dipende dalla conducibilità termica λ (lambda) [cfr. Tab. 11] e dallo spessore s . In accordo con il fenomeno fisico che quantifica aumenta all'aumentare dello spessore dell'elemento e diminuisce all'aumentare della conducibilità λ .

$$f17 \quad R_{parete} = \frac{d}{\lambda} \quad (m^2 K/W \text{ oppure } m^2 h^\circ C/Kcal)$$

Con riferimento alla f 23: la resistenza di una parete multistrato varrà:

$$f18 \quad R_{tot} = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (m^2 K/W \text{ oppure } m^2 h^\circ C/Kcal)$$

La dilatazione termica

Il fenomeno della dilatazione termica consiste nella variazione delle dimensioni di un corpo conseguente ad una variazione di temperatura. Per la maggior parte dei materiali ad aumenti della temperatura corrispondono allungamenti mentre variazioni negative provocano restringimenti.

A seconda della forma dei corpi si possono distinguere tre tipi di dilatazione termica: *lineare* se una dimensione è prevalente rispetto alle altre due (ed è quella, per esempio, che interessa i profilati in alluminio dei telai dei serramenti), *superficiale* se due dimensioni sono predominanti (è il caso per esempio delle lamiere di copertura) e *cubica* quando non esistono dimensioni prevalenti (per esempio una sfera). In corrispondenza poi dei tre tipi di dilatazione citati si definiscono per ogni sostanza tre coefficienti di dilatazione.

Approfondendo il fenomeno della dilatazione lineare, precisiamo che il coefficiente di dilatazione lineare α rappresenta l'allungamento unitario per un aumento di temperatura di un grado centigrado, come si evince facilmente dalle formule che seguono; la prima è nota come *Binomio di dilatazione lineare*:

$$f19 \quad L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (\text{mm})$$

$$f20 \quad \alpha = \frac{L}{\Delta T \cdot L_0} \quad (\text{mm/m}^\circ\text{C})$$

dove:

L allungamento/accorciamento subito a causa della variazione di temperatura ΔT in mm;

L_0 lunghezza iniziale del corpo in m

α coefficiente di dilatazione lineare del materiale in mm/m $^\circ$ C [cfr. Tab. 12]

ΔT variazione di temperatura in $^\circ$ C

Tab. 11 - Valori della conduttività termica λ (lambda) di alcuni materiali (fonte: UNI 10351 *Materiali da costruzione – Conduttività termica e permeabilità al vapore*)

Materiale	Conduttività λ (W/mK)
Metalli	
Acciaio	52
Acciaio inossidabile	17
Argento	420
Alluminio	220
Leghe di alluminio	160
Bronzo	65
Ferro puro	80
Ghisa	50
Nichel	65
Ottone	110
Piombo	35
Rame	380
Zinco	110
Vetro	
Vetro cellulare espanso	0,055÷0,66
Vetro per finestre	1,0

Tab. 12 - Valori del coefficiente di dilatazione termica lineare α (alfa) di alcuni materiali

Materiale	Coefficiente di dilatazione termica lineare α (mm/m°C)
Acciaio	0,012
Acciaio inossidabile	0,016
Alluminio	0,024
Argento	0,019
Bronzo	0,0182
Ghisa	0,0112
Granito	0,005
Guarnizioni	0,05÷0,185
Legno	0,0035
Ottone	0,0188
Piombo	0,029
Piombo	0,0286
Rame	0,017
Vetro	0,0086

Applicando la formula f26 si ricava, per esempio, che una barra di alluminio (dal prospetto 6 si ricava $\alpha_{alluminio}=0,024$ mm/m°C) lunga 2 metri a 20 °C, sottoposta ad una temperatura di 50°C (l'escursione termica ΔT risulta pertanto pari a +30°C), presenterà un allungamento di 1,44 mm ($L=2\cdot0,024\cdot30=1,44$ mm). Questo allungamento è chiaramente modesto; valori maggiormente significativi si hanno per corpi di lunghezza iniziale elevata e sbalzi di temperatura superiori. Analogamente si possono valutare gli accorciamenti dovuti a diminuzione di temperatura.

Il fenomeno delle dilatazioni deve essere comunque tenuto in considerazione soprattutto quando si progettano oggetti edilizi costituiti da elementi caratterizzati da differenti coefficienti di dilatazione. Di fatto il collegamento tra elementi che al variare della temperatura si dilatano o restringono in misura differente può essere la causa dell'insorgenza di sforzi meccanici che, nei casi peggiori, possono provocare anche la rottura.

7 Il contributo degli apporti solari alla prestazione termica dei serramenti

Durante la stagione invernale **le dispersioni termiche** attraverso l'involucro devono essere limitate in misura più o meno elevata in funzione del contesto progettuale, normativo ed esigenziale. Anche la quantità d'aria che fuoriesce dai serramenti rappresenta una dispersione termica.

Un contributo positivo invece alla diminuzione dei consumi energetici per il riscaldamento e l'illuminazione artificiale negli edifici è rappresentato dall'**energia solare** che viene trasmessa agli ambienti abitativi attraverso i serramenti. Di fatto, in un edificio, conformemente alle diverse tipologie costruttive, circa il 10÷20% del totale dell'energia dispersa è da attribuirsi ai serramenti, mentre il contributo energetico solare è dovuto nella quasi totalità ai serramenti stessi.

Tale contributo vantaggioso viene denominato **apporto gratuito** o **apporto passivo solare** e il suo sfruttamento è reso possibile dal fenomeno della trasmissione del calore e dalla caratteristica del vetro di essere trasparente (ovvero di non impedirne il passaggio) alla radiazione solare di lunghezza d'onda compresa tra 0,3 μm e 3 μm . Nell'edificio, i corpi all'interno degli ambienti dotati di finestre, colpiti dalla radiazione solare, aumentano la loro temperatura ed in funzione di questa emettono a loro volta verso l'ambiente interno energia sotto forma di radiazioni infrarosse di lunghezza d'onda nettamente superiori a 3 μm alle quali il vetro risulta opaco. Mentre solo una minima parte del calore generatosi viene disperso per conduzione attraverso il vetro, la maggior parte dell'energia rimane quindi intrappolata all'interno dell'ambiente costruito dando origine al cosiddetto **effetto serra** la cui intensità dipende dall'**esposizione**, dalla **stagione**, dall'**ora del giorno** ed ovviamente dalla **trasparenza del vetro** stesso.

Nonostante nella stagione invernale l'apporto gratuito solare rappresenti un fattore positivo, si rivela tuttavia necessario limitare la penetrazione dell'irraggiamento solare all'interno degli ambienti abitativi al fine di evitare che si generino situazioni di **malessere igrotermico**, dovuto all'aumento eccessivo della temperatura interna dell'aria, oppure condizioni di **malessere ottico-luminoso** legate ai fenomeni di abbagliamento.

Pertanto sfruttare l'apporto energetico gratuito solare significa comunque trovare un equilibrio tra requisiti talvolta contrastanti: garantire un contributo energetico positivo durante il periodo invernale; ridurre il rischio del surriscaldamento estivo; garantire un adeguato livello di illuminamento naturale in modo tale da minimizzare il consumo di energia elettrica per illuminazione artificiale.

La norma UNI 10344 fa dipendere l'apporto gratuito attraverso i serramenti dall'*entità della radiazione solare* incidente sulle diverse pareti dell'involucro edilizio, dalle caratteristiche geometriche e termofisiche dei componenti edilizi sia opachi sia trasparenti, secondo la formula:

$$f21 \quad Q_s = N \sum_{j=1}^e q_{s,j} \cdot \left(\sum_{i=1}^v A_{e,i} \right)$$

dove:

N numero dei giorni del mese;

e numero delle esposizioni;

v numero delle superfici per esposizione

qs irradiazione globale giornaliera mensile incidente sulla parete con esposizione j. Dati sono tabulati nella norma UNI 10349 *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – dati climatici*.

A_{e,i} area equivalente della superficie con esposizione j. Questa superficie rappresenta quella porzione di serramento che è in grado di trasformare l'irraggiamento solare in energia utile all'ambiente interno per mantenere la temperatura di comfort necessaria. L'area equivalente dipende da alcuni fattori quali la presenza di *ostruzioni* all'edificio naturali o dovute alla presenza di altre costruzioni, la presenza di *schermi esterni e/o interni*, la *trasmissione solare*.

La UNI 10344 riconosce che anche le parti cieche contribuiscono alla riduzione delle dispersioni energetiche e pertanto prevede che anche per i componenti opachi possa essere calcolato l'*apporto energetico gratuito* sulla base dell'area equivalente.

8 Progettazione di serramenti a prestazione termica

Alla duplice esigenza di **limitare le dispersioni termiche** e di **sfruttare gli apporti solari**, la tecnologia serramentistica sta rispondendo con prodotti dai livelli prestazionali delle caratteristiche energetiche (ovvero quei parametri, quali la **trasmittanza termica**, la **permeabilità all'aria**, la **trasmissione luminosa**, il **fattore solare**, che definiscono il comportamento energetico dei serramenti) sempre più elevati.

Entrando nel dettaglio del *comportamento termico* dei serramenti vediamo che esso è dovuto alle proprietà termiche dei due principali materiali componenti, l'alluminio e il vetro.

La perdita di calore per convezione, conduzione ed irraggiamento attraverso i profilati metallici costituenti i telai dei serramenti è uno dei principali problemi da risolvere (anche se da non sopravvalutare poiché la dispersione termica è in rapporto alla superficie) in quanto i metalli sono materiali ad elevata conducibilità [cfr. § 6]. Livelli di isolamento termico superiori, confrontabili con quelli posseduti dal legno e dal PVC, sono offerti dalla tipologia di profilati a taglio termico. Il taglio termico è una tecnologia oramai consolidata e affermata sul mercato per i profilati in alluminio e ancora in fase di sviluppo per quelli in acciaio.

Attribuire la prestazione termica dei profilati a taglio termico alla **distanza tra le parti metalliche** è in realtà limitativo. La tecnologia di interruzione di ponte termico più diffusa per i profilati metallici è quella realizzata tramite barrette in poliammide, per cui il valore di isolamento termico è influenzato non solo dalla lunghezza delle barrette ma anche dal loro spessore (riducendolo si riduce la conduzione), dalla loro **forma** (alcune forme possono ostacolare gli scambi radiativi), dalle **dimensioni delle camere** che si vengono a creare, dalla **forma e dalle dimensioni delle guarnizioni** (per interrompere la trasmissione di calore sia per moti convettivi sia per irraggiamento tra le due parti in alluminio), dallo **spessore delle parti metalliche**, delle eventuali **sostanze di riempimento** delle camere (per ridurre gli scambi radiativi). Oltre al miglioramento delle prestazioni termiche il taglio termico ha il gran vantaggio di **ridurre la formazione di condensa superficiale** dal momento che la temperatura superficiale interna raggiunge temperature più alte. Il taglio termico trova ottimale applicazione anche nelle zone calde, in quanto nella stagione che va da giugno a settembre, può far risparmiare energia nella climatizzazione degli edifici (si tenga presente che una frigoria costa molto di più di una caloria) soprattutto in quelli industriali o caratterizzati da grandi vetrate. Competitivi nei livelli di prestazione termica e di limitazione dei fenomeni condensativi con i profilati metallici a taglio termico risultano i profilati in *alluminio-legno*, di cui si sta sviluppando anche la tecnologia a taglio termico, e quelli in *acciaio inossidabile*. Questi ultimi devono le proprietà di isolamento alla bassa conducibilità termica che connota questo metallo (si ricorda che la conducibilità dell'acciaio inossidabile è di 17 W/mK mentre quella dell'alluminio di 160 W/mK).

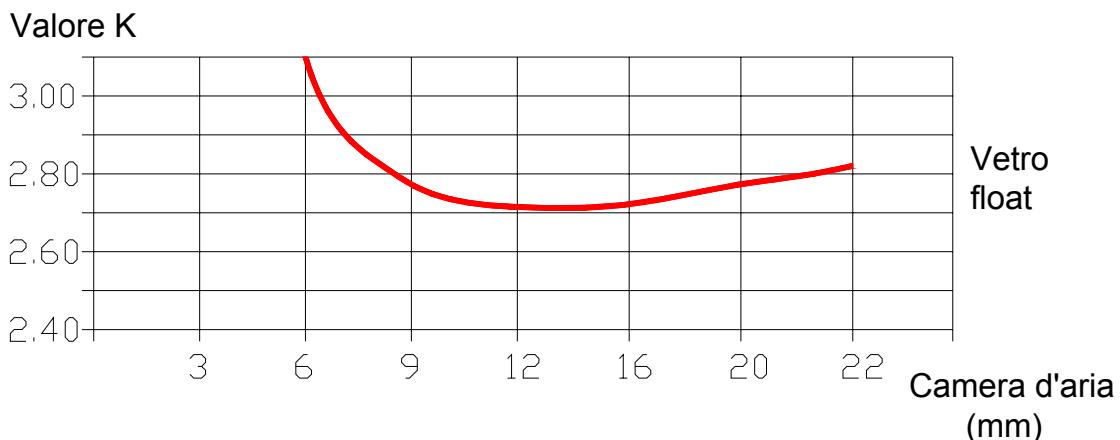
Ma è soprattutto il **vetro** a svolgere un ruolo fondamentale in quanto responsabile della trasmissione della radiazione solare all'interno degli edifici e in virtù del fatto che la dispersione termica è funzione delle aree delle superfici.

I **vetri isolanti (vetri camera o doppi vetri)** rappresentano la tipologia di vetri che offre le migliori prestazioni termiche. La concezione dei vetri isolanti risale agli inizi degli anni '70 e da allora l'industria vetraria ha messo a punto accorgimenti e soluzioni tecnologiche finalizzati all'ottenimento di livelli di isolamento termico sempre più spinti.

L'aumento dello spessore dell'intercapedine, la riduzione dei moti convettivi e l'introduzione di gas inerti a bassa conducibilità all'interno dell'intercapedine, la concezione di nuove tipologie di intercalare, l'introduzione dei rivestimenti basso-emissivi e selettivi sono le principali strategie tecnologiche di controllo delle prestazioni termiche delle vetrazioni.

Aumentare lo **spessore dell'intercapedine** favorisce, a parità di spessore e tipologia delle lastre vetrate, la resistenza termica del vetrocamera ma oltre ai 15 mm aumentano gli scambi convettivi nell'intercapedine che, favorendo gli scambi di calore per convezione, vanificano l'incremento di isolamento termico. Compartimentando con setti realizzati in materiale plastico trasparente oppure introducendo materiale isolante trasparente allo stato di gel è possibile ridurre i moti convettivi internamente alle intercapedini.

Fig. 8 - Andamento della variazione della trasmittanza termica di vetro camera in funzione delle dimensioni dell'intercapedine. Si osservi che si ha la migliore prestazione in intercapedine da 12 mm e che aumentando lo spessore non si hanno miglioramenti della prestazione (fonte: Aliotti E., Farè G., *Un flash sui vetri isolanti*, UNCSAAL, Milano, 1996)



Un'altra soluzione è quella di riempire l'intercapedine con *gas inerti*, caratterizzati da bassi valori di conducibilità termica. Tornando al prospetto 4 si può vedere come varia il valore della trasmittanza termica del vetrocamera, a parità di spessore di lastre accoppiate, passando dall'intercapedine riempita con aria a quella riempita con *argon*.

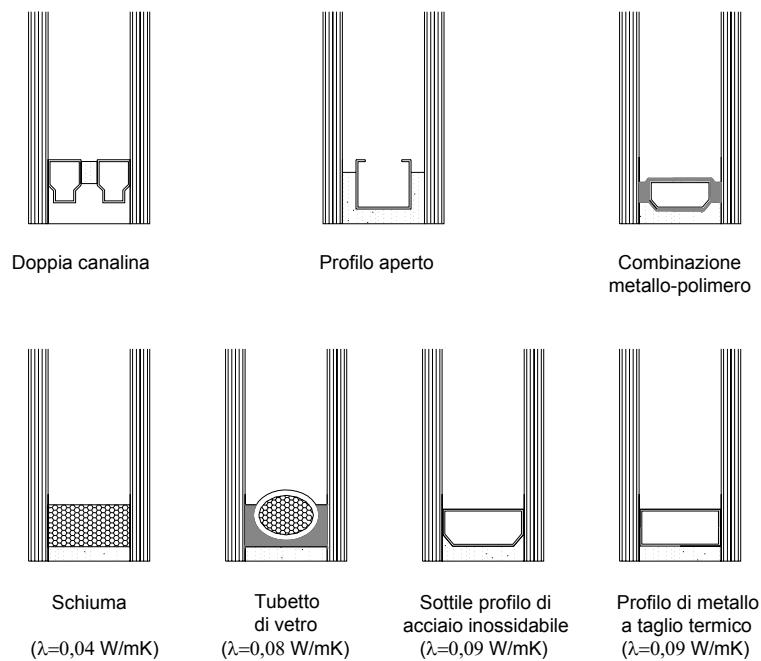
Infine facciamo presente che anche la realizzazione del vuoto all'interno dell'intercapedine consente di raggiungere prestazioni termiche superiori.

I vetrocamera sono costituiti da due lastre vetrate il cui accoppiamento e la cui distanza sono mantenuti lungo il perimetro dalla presenza di un elemento, detto **intercalare o distanziatore**. La morfologia e il materiale costituente di questo elemento è importante in quanto la sua presenza causa una caduta della prestazione termica complessiva della vetrata isolante in corrispondenza dei bordi (**ponte termico perimetrale**) e portare all'insorgenza del fenomeno di condensa superficiale all'interfaccia. Si è già esplicitato di come sia tenuto in considerazione dalla formula per il calcolo della trasmittanza termica complessiva del serramento (cfr. formula f7).

Le tipologie di distanziatori maggiormente impiegate sono *canaline in alluminio* ma negli ultimi anni la tecnologia vetraria ha sviluppato nuove tecnologie di intercalari (in acciaio, metallo a taglio termico, fibre di vetro, plastica, butile, schiuma) al fine di limitare il fenomeno del ponte termico perimetrale [cfr. Fig. 9 e Tab. 13].

La tabella 14 evidenza come aumenta, rispetto al valore misurato al centro, la trasmittanza termica di varie tipologie di vetrocamera in prossimità del bordo per effetto del ponte termico perimetrale in presenza di un intercalare metallico e di uno isolato.

Fig. 9 - Schemi esemplificativi di alcune tipologie di distanziatore per vetrocamera (fonte: Aliotti E., Farè G., *Un flash sui vetri isolanti*, UNCSAAL, Milano, 1996)



Tab. 13 - Valori sperimentali della conducibilità λ di intercalari di diversi materiali (fonte: Aliotti E., Farè G., *Un flash sui vetri isolanti*, UNCSAAL, Milano, 1996)

Intercalare	Densità (kg/m ³)	λ (W/mK)
Intercalare in alluminio 2 mm	967	1,35
Intercalare in acciaio 20 mm	1457	1,07
Intercalare in acciaio inossidabile	1042	0,37
Intercalare in ABS 15 mm + foglio d'alluminio	750	0,52
Polycarbonato + foglio d'alluminio	745	0,50
Intercalare in butile 12 mm	1156	0,63
Intercalare espanso 12 mm	852	0,30

Tab. 14 - Differenza dei valori di trasmittanza termica di varie tipologie di vetrocamera valutate in prossimità del bordo con intercalare metallico e isolato (fonte: Aliotti E., Farè G., *Un flash sui vetri isolanti*, UNCSAAL, Milano, 1996)

Tipologie di vetrocamera	Valori tipici di trasmittanza termica (W/m ² K) misurata <i>al centro</i> della vetrazione	Valori tipici di trasmittanza termica (W/m ² K) misurati nella zona perimetrale della vetrazione in presenza di distanziatore metallico	Valori tipici di trasmittanza termica (W/m ² K) misurati nella zona perimetrale della vetrazione in presenza di distanziatore isolato
Vetrocamera con inteposta aria	2,78	3,40	2,91
Vetrocamera bassoemissivo con inteposta aria	1,99	3,83	2,21
Vetrocamera bassoemissivo con inteposto argon	1,70	2,62	1,97
Vetrocamera a tripla vetrazione con inteposta aria	1,76	2,67	2,02
Vetrocamera a tripla vetrazione bassoemissivo con inteposta aria	1,36	2,36	1,69
Vetrocamera a tripla vetrazione bassoemissivo con inteposto argon	1,19	2,23	1,56
Vetrocamera a quadrupla vetrazione bassoemissivo con inteposto gas krypton	0,62	1,73	1,12

Fig. 10 – Influenza sul valore di trasmittanza termica lineare Ψ della tipologia di distanziatore [isolato - in acciaio inossidabile - in alluminio] per diversi tipi di telaio [in alluminio – in PVC – in legno] del serramento (fonte: Technoform Bautec Italia).

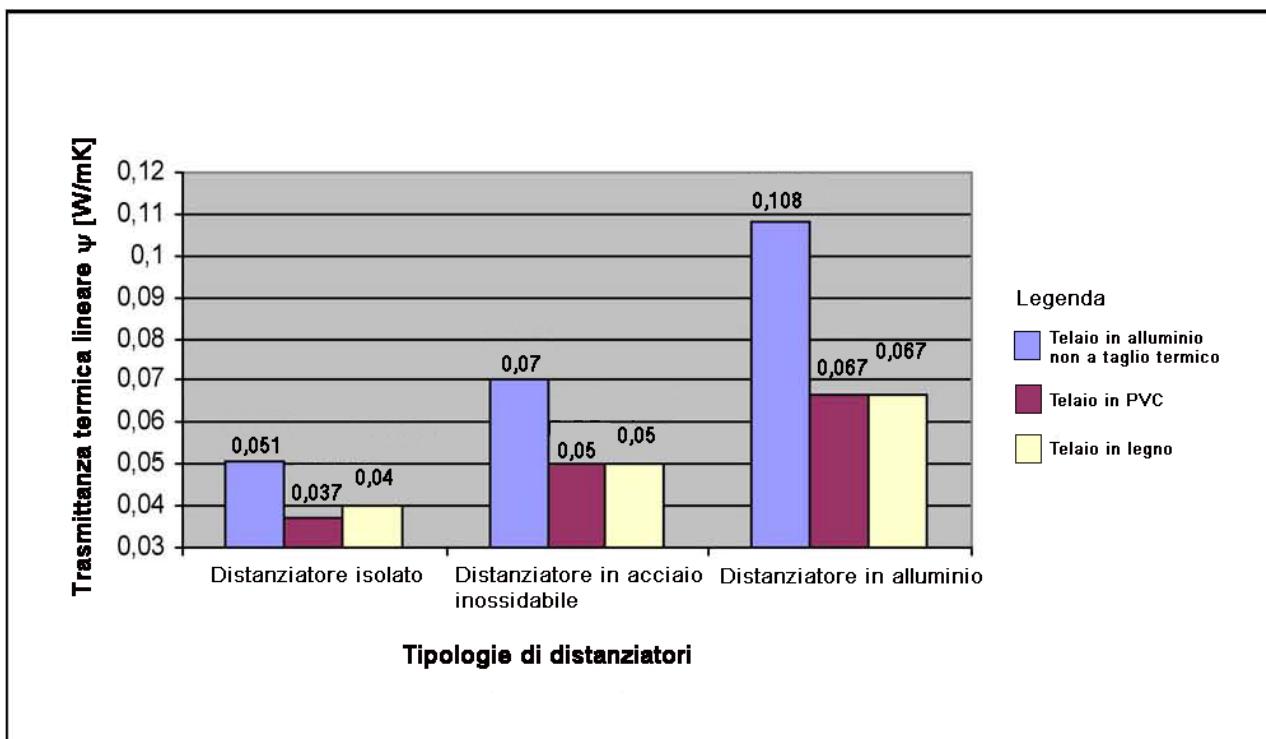
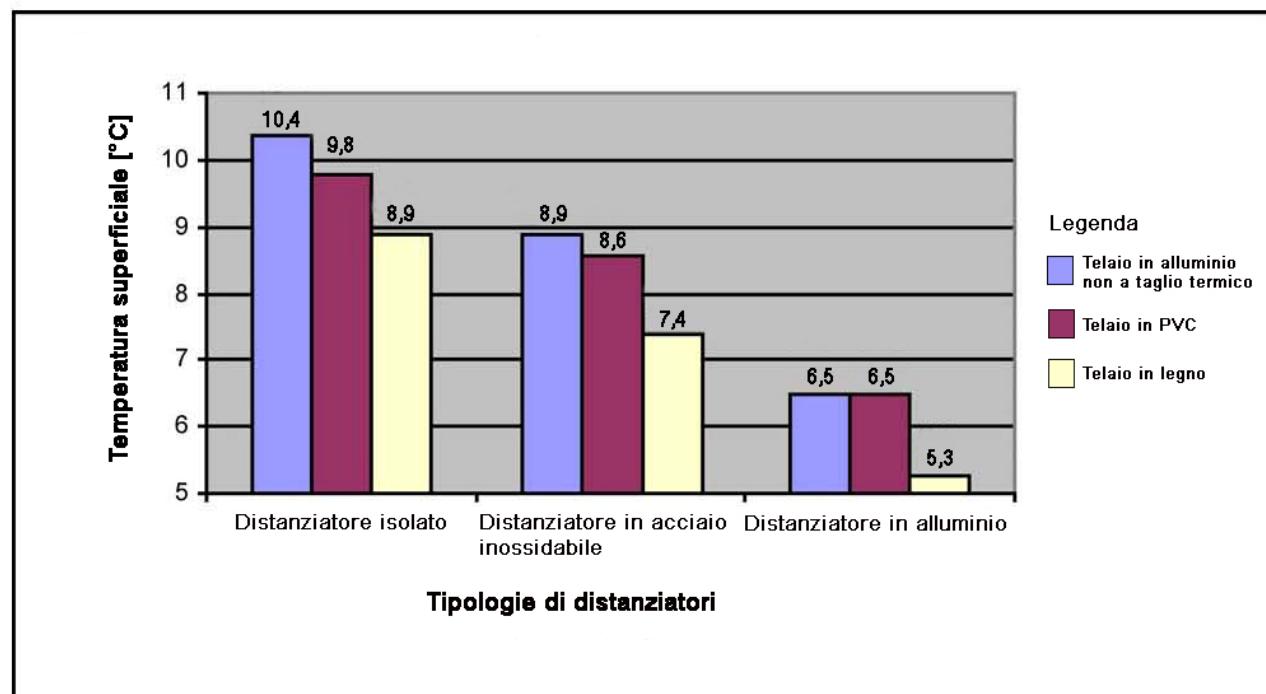


Fig. 11 – Influenza sulle temperature superficiali delle vetrazioni in corrispondenza del distanziatore in funzione della tipologia dello stesso [isolato - in acciaio inossidabile - in alluminio] per diversi tipi di telaio [in alluminio – in PVC – in legno] del serramento (fonte: Technoform Bautec Italia).



Un ottimale sfruttamento degli apporti solari è consentito dall'impiego di particolari tipologie di vetri come i **basso-emissivi e i selettivi**.

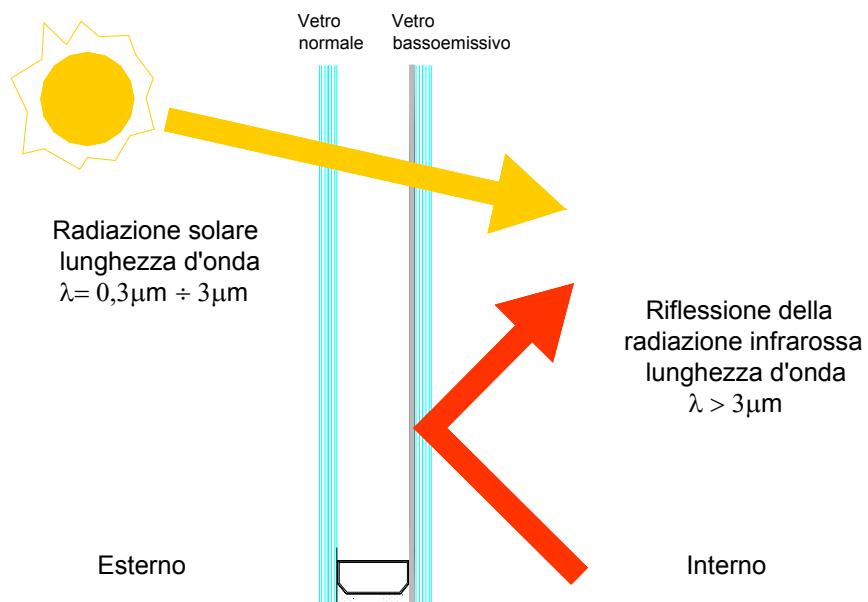
I vetri *basso emissivi* condividono con i *riflettenti* la tecnologia produttiva che prevede la deposizione a freddo di ossidi sulla lastra (magnetron sputtering) ma le prestazioni offerte sono totalmente dissimili. Sono infatti totalmente trasparenti e non presentano alcuna colorazione o effetto specchiante. Lo strato di ossidi depositato sulle lastre è molto delicato e sensibile all'umidità e pertanto nei vetricamera la superficie trattata deve essere rivolta all'interno dell'intercapedine.

La caratteristica principale dei *vetri bassoemissivi* ($\epsilon \leq 0,3$) è l'*alto potere riflettente* della radiazione infrarossa lunga che consente di mantenere all'interno degli ambienti l'energia irradiata dai corpi non incandescenti [cfr. Fig. 12]. Inoltre *valori elevati di fattore solare* e di *trasmissione luminosa* e *minimi di trasmittanza termica*, rendono questa tipologia di vetri particolarmente adatta ai climi freddi e a tutte quelle applicazioni in cui è esigenza preminente minimizzare le dispersioni termiche dovute a differenze di temperatura elevate tra ambiente interno ed esterno. Le prestazioni termiche di un vetro singolo a bassa emissività competono con quelle di un vetro camera con lastre normali, mentre una doppia vetrata con lastre bassoemissive raggiunge i valori delle vetrature triple [cfr. Tab. 4]. Altri vantaggi di questa tipologia di vetri sono rappresentati dalla temperatura della lastra interna che, essendo molto vicina a quella dell'ambiente interno, permette di limitare lo spiacevole fenomeno della *determinazione asimmetrica radiativa*² e di ridurre la formazione di condensa superficiale.

In alcuni climi, quali per esempio quello mediterraneo in cui si hanno sostanziali variazioni di temperatura nelle diverse stagioni, l'opportunità di sfruttare gli apporti solari in inverno deve essere mediata con la necessità di limitare la penetrazione dell'irraggiamento solare in estate. In inverno, causa le elevate differenze di temperatura tra interno ed esterno, sono infatti premianti soluzioni con bassa trasmittanza termica ed elevato fattore solare mentre in estate, vista la minima differenza di temperatura tra interno ed esterno, sono indicati bassi fattori solari per ridurre gli apporti solari mentre l'influenza della trasmittanza termica non è molto rilevante.

In questi casi è opportuno adottare vetri basso emissivi con fattori solari più bassi oppure accoppiarli con una lastra riflettente. La soluzione migliore è però rappresentata dai cosiddetti *vetri selettivi* in cui coesistono le proprietà dei vetri riflettenti (*basso fattore solare*) a quelle dei bassoemissivi (*alta trasmissione luminosa, bassa emissività, bassa trasmittanza termica*) ottimizzando il bilancio dei flussi radiativi solari. Le caratteristiche dei vetri selettivi sono ancora ottenute mediante la deposizione di più strati di metalli e di ossidi metallici e pertanto valgono gli stessi accorgimenti operativi visti per i bassoemissivi.

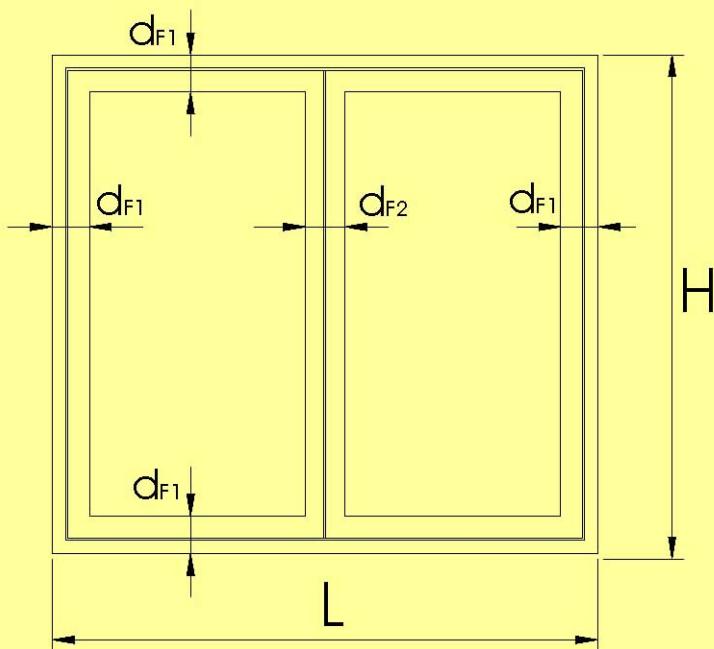
Fig. 12 - Principali caratteristiche delle vetrature basso-emissive



² Con il termine di *determinazione asimmetrica radiativa* si intendono quegli effetti negativi dovuti agli scambi termici radiativi differenziati tra il lato dell'organismo umano orientato verso superfici calde (l'interno dell'ambiente) e quello orientato verso superfici fredde: è il caso negli uffici di persone sedute in prossimità di finestre. Se la differenza di scambio supera certi valori i soggetti avverteranno una sensazione di malessere.

Confronto tra le prestazioni termiche offerte da serramenti costruiti con profilati in alluminio *interi* (*non isolati*) e con profilati a taglio termico

Fig. 13 Esempio di finestra a due battenti



dati (cfr. Fig. 13):

$$L=1,20 \text{ m}$$

$$H=1,30 \text{ m}$$

$$A_{\text{tot}}=L \times H=1,20 \cdot 1,30=1,56 \text{ m}^2$$

$$d_{F1}=0,105 \text{ m}$$

$$d_{F2}=0,109 \text{ m}$$

$$U_G=2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A_F=2 d_{F1} H + d_{F2} H + 2 d_{F1} (L - d_{F1} - d_{F1} - d_{F2}) = 2 \cdot 0,105 \cdot 1,30 + 0,109 \cdot 1,30 + 2 \cdot 0,105 \cdot (1,20 - 0,105 - 0,105 - 0,109) = 0,273 + 0,1417 + 0,18501 = 0,6 \text{ m}^2$$

$$L_G=4 (H - d_{F1} - d_{F1}) + 2 (L - d_{F1} - d_{F1} - d_{F2}) = 4 (1,30 - 2 \cdot 0,105) + 2 (1,20 - 0,105 - 0,105 - 0,109) = 4,36 + 1,762 = 6,122$$

$$A_G = A_{\text{tot}} - A_F = 1,56 - 0,6 = 0,96 \text{ m}^2$$

La trasmittanza termica dell'intero serramento U_w ipotizzando che il telaio sia costituito da profilati *interi* (*non isolati*) risulta pari a:

$$U_w = \frac{(A_G U_G + A_F U_F + L_G \Psi_1)}{(A_G + A_F)} = \frac{(0,96 \cdot 2,9 + 0,60 \cdot 5,9 + 6,122 \cdot 0)}{(A_G + A_F)} = 4,05 \text{ W/m}^2\text{K}$$

dove per U_F e Ψ_1 [cfr. Tab. 6] sono stati inseriti i valori proposti dalla norma UNI EN ISO 10077-1.

Con un telaio a taglio termico di termotrasmittanza $U_F=3 \text{ W/m}^2\text{K}$, a parità di vetrage e caratteristiche dimensionali, la trasmittanza termica complessiva si abbassa del 22%.

$$U_w = \frac{(A_G U_G + A_F U_F + L_G \Psi_1)}{(A_G + A_F)} = \frac{(0,96 \cdot 2,9 + 0,60 \cdot 3 + 6,122 \cdot 0,06)}{(A_G + A_F)} = 3,17 \text{ W/m}^2\text{K}$$

dove il valore di Ψ_1 è stato ancora estrapolato dalla norma 10077/1 [cfr. Tab. 6].

Impiegando invece sistemi ad elevate prestazioni termiche (per esempio con $U_F=2 \text{ W/m}^2\text{K}$) si ottiene un miglioramento dell'ordine del 50%.

I valori di trasmittanza termica calcolati si riferiscono alla condizione "diurna" cioè con schermi alzati. Nell'ipotesi di schermo in alluminio con bassa permeabilità all'aria abbassato (con resistenza termica aggiuntiva $\Delta R=0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$ ricavato dalla tabella 7), si avrebbe un incremento della prestazione termica del 38% rispetto al serramento con telaio intero/non isolato ($U_{\text{W}} \text{ diurna} = 4,05 \text{ W/m}^2\text{K}$) e del 32% rispetto al serramento con telaio a taglio termico ($U_{\text{W}} \text{ diurna} = 3,17 \text{ W/m}^2\text{K}$).

$$U_{\text{ws}} = \frac{1}{\frac{1}{U_{\text{w}}} + \Delta R} = \frac{1}{\frac{1}{4,05} + 0,15} = 2,52 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{\text{ws}} = \frac{1}{\frac{1}{U_{\text{w}}} + \Delta R} = \frac{1}{\frac{1}{3,17} + 0,15} = 2,15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

9 Bilancio energetico delle superfici vetrate

E' possibile stimare il contributo della prestazione termica dei vetri al risparmio energetico valutando il bilancio dei flussi energetici positivi Q_a (apporti termici solari) e negativi Q_d (dispersioni di calore) in un periodo attraverso le vetrazioni.

$$f22 \quad Q = Q_a - Q_d \quad (\text{W})$$

$$f23 \quad Q_a = S \cdot I_t \cdot FS \quad (\text{W})$$

dove:

S aree delle superfici vetrate impiegate per esposizione data (in m^2);

I_t irraggiamento solare medio per esposizione data (i valori sono estrapolabili dalla UNI 10349 oppure da tabelle sperimentali)

FS fattore solare delle vetrazioni impiegate

$$f24 \quad Q_d = S \cdot U \cdot \Delta T \cdot N \cdot h \quad (\text{W})$$

dove:

S aree delle superfici vetrate impiegate per esposizione data (in m^2);

U trasmittanza termica delle superfici vetrate impiegate (in $\text{W/m}^2\text{K}$);

ΔT è la differenza di temperatura tra l'ambiente interno, convenzionalmente fissata a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e la temperatura esterna media giornaliera T_{em} i cui valori sono riportati dalla UNI 10379 [cfr. Tab. 15]

$$\Delta T = T_{\text{in}} - T_{\text{em}}$$

N numero dei giorni della stagione di riscaldamento riportati dalla UNI 10379 [cfr. Tab. 15]

h numero delle ore di riscaldamento

Tab. 15 - Dati climatici medi stagionali (fonte: UNI 10379 *Riscaldamento degli edifici – Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato – Metodo di calcolo e verifica*)

Località	T _{em} °C	N	Località	T _{em} °C	N	Località	T _{em} °C	N
Agrigento	11,5	121	Genova	10,5	166	Pavia	5,8	183
Alessandria	5,5	183	Gorizia	7,6	183	Potenza	7,0	183
Ancona	9,1	166	Grosseto	9,4	166	Ravenna	6,7	183
Aosta	4,3	183	Imperia	10,1	137	Reggio Calabria	12,0	121
Ascoli Piceno	8,4	166	Isernia	7,7	166	Reggio Emilia	6,0	183
L'Aquila	6,3	183	Crotone	10,5	121	Ragusa	10,3	137
Arezzo	8,5	183	Lecco	8,0	183	Rieti	7,2	183
Asti	5,2	183	Lodi	6,0	183	Roma	10,3	166
Avellino	8,1	166	Lecce	10,6	137	Rimini	7,6	183
Bari	10,3	137	Livorno	10,1	166	Rovigo	6,5	183
Bergamo	7,3	183	Latina	9,9	137	Salerno	12,4	137
Belluno	4,9	183	Lucca	8,8	166	Siena	7,5	166
Benevento	8,7	137	Macerata	7,1	166	Sondrio	5,6	183
Bologna	7,3	183	Messina	12,6	121	La Spezia	9,3	166
Brindisi	10,8	137	Milano	6,8	183	Siracusa	12,3	121
Brescia	6,8	183	Mantova	6,3	183	Sassari	10,2	137
Bolzano	6,1	183	Modena	6,5	183	Savona	9,8	166
Cagliari	11,9	137	Massa-Carrara	9,2	166	Taranto	10,8	137
Campobasso	7,1	183	Matera	10,2	166	Teramo	7,9	166
Caserta	10,6	137	Napoli	12,0	137	Trento	9,3	183
Chieti	8,7	166	Novara	6,0	183	Torino	5,6	183
Caltanissetta	9,7	166	Nuoro	8,6	166	Trapani	12,0	121
Cuneo	5,8	200	Oristano	11,2	137	Terni	9,0	166
Como	7,2	183	Palermo	12,1	121	Trieste	8,1	166
Cremona	6,0	183	Piacenza	5,4	183	Treviso	7,0	183
Cosenza	9,9	137	Padova	6,7	183	Udine	7,4	183
Catania	11,8	121	Pescara	9,9	166	Varese	4,6	183
Catanzaro	9,9	137	Perugia	7,5	183	Verbania	7,0	183
Enna	7,7	183	Pisa	9,3	166	Vercelli	5,4	183
Ferrara	6,3	183	Pordenone	6,5	183	Venezia	7,6	183
Foggia	9,2	166	Prato	8,7	166	Vicenza	6,9	183
Firenze	8,2	166	Parma	6,4	183	Verona	6,6	166
Forlì	6,8	166	Pesaro - Urbino	6,9	166	Viterbo	8,5	166
Frosinone	7,8	183	Pistoia	8,2	166			

T_{em} valore medio stagionale della temperatura dell'aria esterna
 N numero di giorni della stagione di riscaldamento

Confrontiamo ora a titolo esemplificativo come influisce sul bilancio energetico attraverso una parete vetrata esposta a Sud nel periodo di riscaldamento l'impiego di vetrazioni a prestazioni differenti considerando un periodo di riscaldamento giornaliero di 14 ore.

dati progettuali:

Area superficie vetrata: 20 m²

Esposizione: Sud

Localizzazione dell'edificio: Roma

I_t (su una superficie verticale esposta a Sud a Roma)=76909 W/m²

$T_{in} = 20^{\circ}\text{C}$

$T_{em} = 10,3^{\circ}\text{C}$ [da Tab. 15]

$N = 166$ [da Tab. 15]

$h = 14$

$$\Delta T \cdot N \cdot 14h = (20 - 10,3) \cdot 166 \cdot 14 = 22543 \text{ W}$$

1) Ipotizzando di impiegare un vetro singolo da 5 mm caratterizzato da $U=5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $FS=0,84$ dalla formula f28 risulta:

$$Q = S \cdot (I_t \cdot FS - U \cdot \Delta T \cdot N \cdot h) = 20 \cdot (76909 \cdot 0,84 - 5,8 \cdot 22543) = 20 \cdot (64603 - 130749) = - 1322920 \text{ W} \quad (\text{energia persa})$$

2) Ipotizzando di impiegare un vetrocamera 5/12/4 con intercapedine d'aria connotato da $U=2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $FS=0,74$ dalla formula f28 risulta:

$$Q = S \cdot (I_t \cdot FS - U \cdot \Delta T \cdot N \cdot h) = 20 \cdot (76909 \cdot 0,74 - 2,9 \cdot 22543) = 20 \cdot (56913 - 65375) = - 169240 \text{ W} \quad (\text{energia persa})$$

3) Impiegando invece un vetrocamera 5/15/4 costituito da una lastra normale, un'intercapedine d'aria e una lastra bassoemissiva ($\varepsilon=0,30$) per cui si può considerare $U=2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $FS=0,71$ il bilancio energetico risulta:

$$Q = S \cdot (I_t \cdot FS - U \cdot \Delta T \cdot N \cdot h) = 20 \cdot (76909 \cdot 0,71 - 2,3 \cdot 22543) = 20 \cdot (54605 - 51849) = + 55120 \text{ W} \quad (\text{energia guadagnata})$$

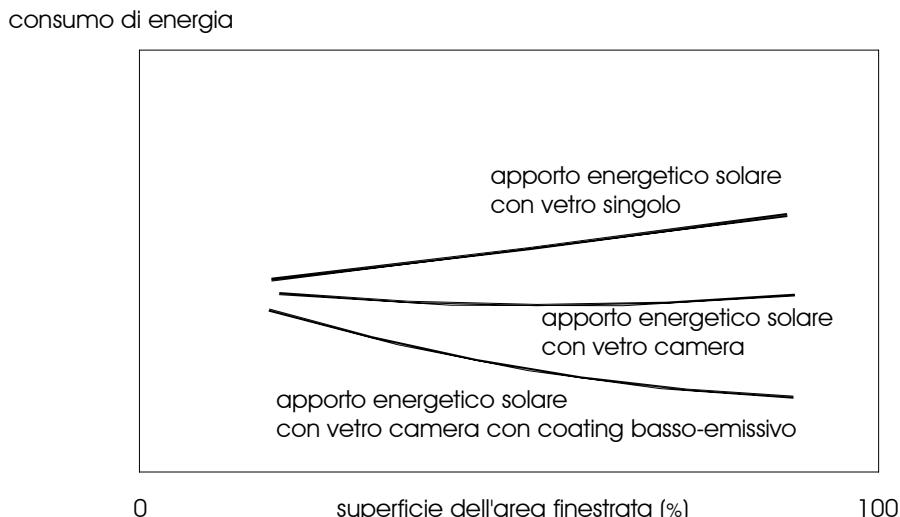
Pensando invece di adottare un vetrocamera con trasmittanza termica ancora più bassa ($U=1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$), prestazione che si può ottenere per esempio riempiendo l'intercapedine di argon oppure inserendo una lastra ad emissività inferiore, si ottiene:

$$Q = S \cdot (I_t \cdot FS - U \cdot \Delta T \cdot N \cdot h) = 20 \cdot (76909 \cdot 0,71 - 1,9 \cdot 22543) = 20 \cdot (54605 - 42812) = + 235860 \text{ W} \quad (\text{energia guadagnata})$$

Osserviamo dagli esempi precedenti come il bilancio energetico sia negativo utilizzando un vetro singolo e come invece l'adozione di un vetrocamera permetta di abbattere le dispersioni quasi totalmente. Con l'introduzione di una lastra bassoemissiva addirittura è ottenibile un guadagno di energia anziché una dispersione, che si fa ancora più consistente all'aumentare della prestazione di isolamento termico delle vetrazioni adottate.

Tenendo presente che, se l'apporto solare è correttamente sfruttato, il consumo di energia tende ad essere proporzionale alla superficie vetrata con il seguente comportamento, aumenta all'aumentare della superficie vetrata se si utilizza un vetro singolo, rimane pressoché invariato con l'impiego di vetrocamera e invece diminuisce con l'inserimento nel vetrocamera di una lastra bassoemissiva [cfr. Fig. 14].

Fig. 14 - Relazione tra il consumo di energia, superficie dell'area finestrata e contributo solare (fonte: Aliotti E., Bianchi L., Rigone P., UX12 *Energia e serramenti: gli apporti solari*, UNCSAAL, Milano, 1998)



10 Verifica della condensa superficiale

La formazione di **condensa superficiale** sui serramenti può avere negative conseguenze sia estetiche sia funzionali non solo sulle superfici direttamente interessate dal fenomeno condensativo ma anche su quelle limitrofe (la parete sottostante, la pavimentazione, ecc.).

Naturalmente il fenomeno condensativo di cui ci si deve preoccupare è quello che si verifica in condizioni igrotermiche *normali* (ovvero quelle sulla cui base sono state effettuate le verifiche e le scelte prestazionali sui componenti in fase di progettazione) e in ambienti abitativi in cui non può essere considerato accettabile. E' chiaro infatti che formazione di condensa in condizioni igrotermiche anomale oppure in specifici ambienti (bagni, cucine) sono da considerarsi accettabili.

La prima conseguenza estetica spiacevole della condensa sulle vetrature è la limitazione della visibilità ma la condensa sui telai è ancora più pericolosa in quanto, essendo meno visibile, può venire più facilmente trascurata.

Frequentemente l'insorgere del fenomeno condensativo sui serramenti è da attribuire ad errori progettuali: livelli di isolamento termico richiesto ai serramenti non correttamente rispondenti alle effettive condizioni igrotermiche degli ambienti abitativi, presenza di ponti termici in corrispondenza dell'interfaccia serramento-murario oppure vetratura-profilo, impianto di riscaldamento tarato in maniera erronea.

E' comunque possibile verificare, seppur indicativamente, la possibilità di formazione di *condensa superficiale* su una superficie (valutazioni più sofisticate si può ricorrere ai programmi informatici disponibili sul mercato). Tale verifica consiste nel calcolare la **temperatura superficiale interna** dell'elemento e confrontarla con la **temperatura di rugiada dell'aria** (è quella a cui ha inizio il fenomeno condensativo) conoscendo le condizioni interne di *temperatura* e di *umidità relativa*. Se la temperatura di rugiada risulta maggiore o uguale alla temperatura superficiale interna è possibile la formazione di condensa superficiale.

La **temperatura di rugiada** può essere ricavata sulla base del **Diagramma di Mollier dell'aria umida**, conoscendo la temperatura e il tasso di umidità relativa dell'ambiente interno (il prospetto 14 costituisce un pratico strumento per ricavarla) mentre la *temperatura superficiale interna* t_s di una superficie può essere calcolata con la formula seguente:

$$f35 \quad t_s = t_i - \frac{U}{h_i} (t_i - t_e) \quad (K)$$

dove:

t_i temperatura dell'ambiente interno in Kelvin;

t_e temperatura dell'ambiente esterno in Kelvin;

U trasmittanza termica in W/m^2K dell'oggetto edilizio di cui si vuole calcolare la temperatura superficiale interna;

h_i coefficiente di scambio superficiale in W/m^2K . Per i componenti trasparenti avevamo già visto che questo valore è funzione dell'emissività della lastra secondo la formula seguente:

$$f36 \quad h_i = 3,6 + 4,4 \cdot e/0,837$$

Per i componenti opachi invece la norma UNI 10344 *Riscaldamento degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia* suggerisce di adottare un valore pari a $7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Applicando il procedimento esposto vediamo che in un edificio a Milano (temperatura esterna di progetto $t_e = 5^\circ\text{C}$) in cui si ipotizzi che vengano mantenuti costanti la temperatura a 20°C e l'umidità relativa al 70% (valore alto), la temperatura delle superfici interne delle pareti perimetrali deve risultare maggiore della temperatura di rugiada di $14,4^\circ\text{C}$ [cfr. 15] affinché non si verifichi condensa.

Per soddisfare tale limite la trasmittanza termica del telaio metallico e della vetrazione di un serramento non dovrà superare rispettivamente il valore di $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ e di $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ come si evince dai calcoli seguenti in cui tutte le temperature sono espresse in Kelvin (si ricorda: $1\text{K}=1^\circ\text{C}+273,15$).

- **Telaio metallico:**

Trattasi di superficie opaca rivolta verso l'ambiente interno per cui $h_i=7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ (da UNI 10344)

$$t_s = t_i - \frac{U}{h_i} (t_i - t_e) \geq t_{\text{rugiada}} = 287,55 \text{ K}$$

$$U \leq h_i \frac{(t_i - t_{\text{rugiada}})}{(t_i - t_e)} = 7,7 \frac{(293,15 - 287,55)}{(293,15 - 268,15)} = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tale valore di trasmittanza termica può essere ottenuto con profilati in alluminio a *taglio termico*. Con gli stessi dati progettuali su un telaio in alluminio *intero (non isolato)* si innescherebbe il fenomeno condensativo in quanto la temperatura superficiale risulterebbe di gran lunga inferiore alla temperatura di rugiada come è facile dimostrare.

$$U_F=7,0 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ [trasmittanza telaio intero (non isolato)]}$$

$$t_s = t_i - \frac{U}{h_i} (t_i - t_e) = 293,15 - \frac{7,0}{7,7} (293,15 - 268,15) = 270,42 \text{ K} \leq t_{\text{rugiada}} = 14,4^\circ\text{C} = 287,55 \text{ K}$$

Le figure 14 e 15 rappresentano l'andamento sperimentale delle temperature in un profilato intero (non isolato) ed in uno a taglio termico.

- **Vetrazione:**

Avevamo già visto nella formula f36 che per una vetrazione sodo-calcica si può considerare un'emissività di 0,837, da cui il coefficiente superficiale di scambio risulta pari a $h_i=3,6+4,4 \cdot 0,837=8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$t_s = t_i - \frac{U}{h_i} (t_i - t_e) \geq t_{\text{rugiada}} = 287,55 \text{ K}$$

$$U \leq h_i \frac{(t_i - t_{\text{rugiada}})}{(t_i - t_e)} = 8 \frac{(293,15 - 287,55)}{(293,15 - 268,15)} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Guardando i valori di trasmittanza termica per vetrate isolanti riportati nel prospetto 4 vediamo che valori di trasmittanza così bassi sono posseduti, per esempio, da vetrocamera 4-12-4 con una lastra bassoemissiva ($\epsilon \leq 0,2$) e intercapedine riempita d'argon oppure da vetrocamera 4-15-4 con una lastra bassoemissiva ($\epsilon \leq 0,2$) e intercapedine riempita con aria.

Si osservi che i valori di trasmittanza massima ammissibile ottenuti per le condizioni ipotizzate di temperatura e umidità per il telaio e la vetrazione sono molto simili. Al fine di evitare fenomeni condensativi, è giusto infatti "distribuire" in uguale misura le prestazioni sui componenti.

Il fatto che l'espressione della prestazione termica complessiva del serramento sia una media pesata delle prestazioni termiche dei singoli componenti non deve indurre nell'errore di "affidare" l'isolamento termico ad un unico componente purché la verifica sulla prestazione complessiva sia soddisfatta. Le inevitabili dispersioni attraverso il componente più debole vanificherebbero il contributo del componente altamente isolante e potrebbero provocare la formazione di condensa. E questo risulta vero sia nella distribuzione delle prestazioni tra i componenti del serramento (vetro/telaio) sia tra il serramento e la parete destinata ad accoglierlo (non è sensato inserire un serramento isolante in una parete che non lo è).

Tab. 14 - Valutazione della temperatura di rugiada.

Temperatura dell'aria (°C)	Umidità massima (G/m ³)	ΔT in °C (raffreddamento dell'aria prima di arrivare al punto di rugiada con un determinato tasso di umidità relativa)						
		30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
-20°	0.9	-	9.1	7.0	5.2	3.7	2.3	1.1
-15	1.4	12.3	9.6	7.3	5.4	3.8	2.5	1.2
-10	2.14	12.9	9.9	7.6	5.7	3.9	2.5	1.2
-8	2.54	13.0	10.1	7.7	5.7	4.0	2.5	1.2
-6	2.99	13.4	10.3	7.8	5.8	4.1	2.6	1.3
-4	3.51	13.5	10.4	7.9	5.9	4.1	2.6	1.3
-2	4.13	13.7	10.6	8.1	6.0	4.2	2.6	1.3
0	4.8	13.9	10.7	8.1	6.0	4.2	2.7	1.3
2	5.6	14.3	11.0	8.5	6.4	4.6	3.0	1.5
4	6.4	14.7	11.4	8.9	6.7	4.9	3.1	1.5
6	7.3	15.1	11.8	9.2	7.0	5.1	3.2	1.5
8	8.3	15.6	12.2	9.6	7.3	5.1	3.2	1.5
10	9.4	16.0	12.6	10.0	7.4	5.2	3.3	1.6
12	10.7	16.5	13.0	10.1	7.5	5.3	3.3	1.6
14	12.1	16.9	13.4	10.3	7.6	5.4	3.4	1.7
16	13.9	17.4	13.6	10.4	7.8	5.5	3.5	1.7
18	15.4	17.8	13.8	10.6	7.9	5.6	3.5	1.7
20	17.3	18.1	14.0	10.7	8.0	5.6	3.6	1.7
22	19.4	18.4	14.2	10.9	8.1	5.7	3.6	1.7
24	21.8	18.6	14.4	11.1	8.2	5.8	3.7	1.8
26	24.4	18.9	14.7	11.2	8.4	5.9	3.7	1.8
28	27.2	19.2	14.9	11.4	8.5	6.0	3.8	1.8
30	30.3	19.5	15.1	11.6	8.6	6.1	3.8	1.8

Noti la *temperatura* (la colonna a sinistra) e il *tasso di umidità relativa* (la riga) di un ambiente la temperatura di rugiada si ricava sottraendo dalla temperatura interna il valore di ΔT che rappresenta il raffreddamento dell'aria necessario per arrivare a tale punto di rugiada in funzione della percentuale di umidità relativa presente nell'ambiente in esame. Per esempio in un ambiente la cui temperatura interna è di 20°C e il tasso di umidità relativa del 70% il fenomeno condensativo avrà inizio in corrispondenza dei 14,4 °C (temperatura di rugiada= $T_i - \Delta T = 20^\circ\text{C} - 5,6^\circ\text{C} = 14,4^\circ\text{C}$).



Il software "Missione risparmio energetico" contenuto nel Cd-Rom UX56 - D.Lgs. 192/05 e D.M. 2/04/98: *Strumenti informatici* permette di valutare verificare se sussiste il rischio di insorgenza del fenomeno di condensa superficiale su serramenti e vetrazioni di progetto per l'applicazione in oggetto.

Fig. 15 - Andamento sperimentale delle temperature in un profilato intero/non isolato (fonte: Technoform Bautec Italia)

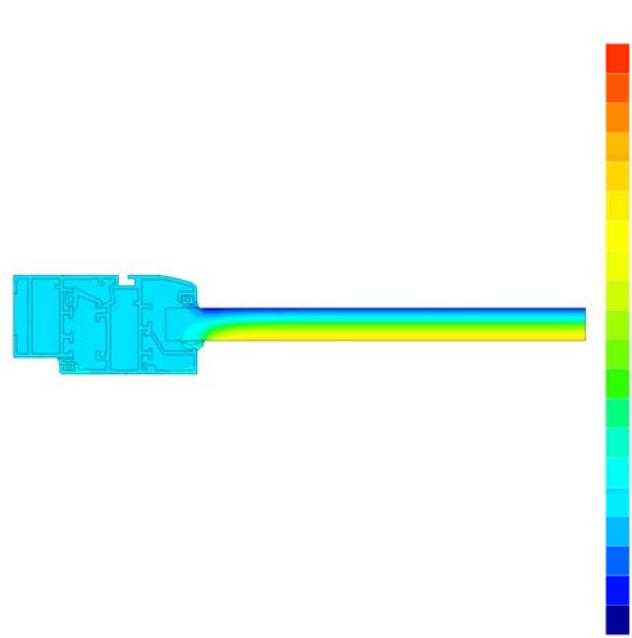
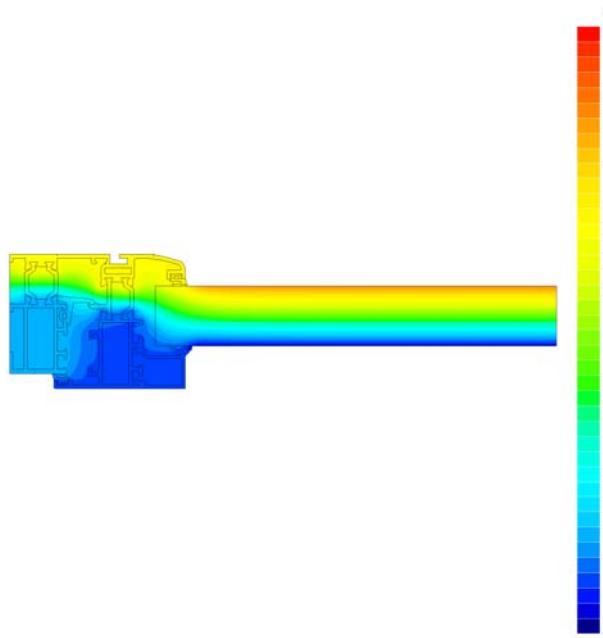


Fig. 16 - Andamento sperimentale delle temperature in un profilato a taglio termico (fonte: Technoform Bautec Italia)



Bibliografia:

Bianchi L. - *I serramenti metallici* [in elaborazione]

Documento 10 - Termotrasmittanza dei serramenti e contributo degli schermi [maggio 1997]

Aliotti E., Farè G., *Un flash sui vetri isolanti*, UNCSAAL, Milano, 1996

Aliotti E., Bianchi L., Rigone P., *UX12 Energia e serramenti: gli apporti solari*, UNCSAAL, Milano, 1998

Legislazione nazionale di riferimento:

Decreto Legge del 9 gennaio 1991 n°10, *Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*

Decreto legislativo 26 agosto 1993 n°412 *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'articolo 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n°10.*

Decreto del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato del 2 aprile 1998 *Modalità di certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti ad essi connessi*

Decreto legislativo 19 agosto 2005 n°192 *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*

Circolare 23-05-06 "Chiarimenti e precisazioni riguardanti le modalità applicative del decreto legislativo sul D.Lgs. 192, di attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia"

Legge del 24 novembre 2000 n° 340 *Disposizioni per la delegificazione di norme e per la semplificazione di procedimenti amministrativi (legge Bassanini).*

Norme tecniche di riferimento:

UNI EN 673 Vetro in edilizia – Determinazione della trasmittanza termica (valore U) – Metodo di calcolo

UNI EN 674 Vetro per edilizia – Determinazione della trasmittanza termica (valore U) – Metodo della piastra calda con anello di guardia

UNI EN 675 Vetro per edilizia – Determinazione della trasmittanza termica (valore U) – Metodo dei termoflussimetri

UNI EN 1026 Finestre e porte - Metodi di prova delle finestre – Prova di permeabilità all'aria

prEN 1098 Vetro per edilizia – Determinazione della trasmittanza termica (valore U) – Metodo della camera calda tarata e con anello di guardia.

UNI EN ISO 10077-1 Finestre, porte e schermi – Trasmittanza termica - Part. 1 – Metodo di calcolo semplificato

prEN 10077-2 Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Numerical method for frames (ISO/DIS 10077-2)

UNI 10344 Riscaldamento degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia

UNI 10349 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – dati climatici

UNI 10379 Riscaldamento degli edifici – Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato – Metodo di calcolo e verifica

UNI 10351 Materiali da costruzione – Conduttività termica e permeabilità al vapore

EN ISO 12567-1 Thermal performance of windows and doors — Determination of thermal transmittance by hot box method — Part 1: Complete windows and doors (ISO 12567-1:2000)

prEN 12412-2 Windows, doors and shutters - Determination of thermal transmittance by hot box method – Frames.

prEN 13947 Thermal trasmittance of curtain walling - Calculation of thermal trasmittance - Simplified method



UNCSAAL

 **FEDERVARIE**

Federazione delle
Associazioni Nazionali
di Categorie Industriali Varie

 **F.I.C.**
Federazione Industrie
Prodotti Impianti
e Servizi per
le Costruzioni

20154 Milano
Via Chieti 8
Tel. 02 3192061
Fax 02 34537610
uncsaal@uncsaal.it

www.uncsaal.it

UX55

30,00 €

Unione Nazionale Costruttori Serramenti Alluminio Acciaio Leghe
Italian Architectural Aluminium and Steel Manufacturers Association