

PRESTAZIONI TERMICHE DI INFISSI IN LEGNO: ANALISI NUMERICA E RISULTATI SPERIMENTALI

R. Mariani*, E. Moretti*, M. Barbanera*

* Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Perugia
Via G. Duranti 67, 06125 Perugia, Italia

ABSTRACT

I fattori che influenzano il valore globale di trasmittanza termica di un infisso sono molteplici, riconducibili sia alla geometria del sistema sia alle proprietà dei materiali.

Nel presente lavoro è stata effettuata un'analisi numerica bidimensionale, ai sensi della norma UNI EN ISO 10077-2:2004, mediante il codice di calcolo Fluent, su un nodo di due tipologie di infissi in legno. Le simulazioni sono state ripetute variando l'essenza legnosa; sono state considerate 12 essenze diverse, la cui conducibilità termica è stata ricavata per interpolazione lineare tra i valori di alcuni legni presenti nella norma UNI 10351:1994 in relazione alla densità. E' stata quindi determinata la trasmittanza del telaio simulando la presenza di un pannello opaco di proprietà note al posto del vetro. Successivamente è stata calcolata la trasmittanza termica lineare dovuta all'accoppiamento vetro – telaio. I valori calcolati sono stati impiegati per determinare la trasmittanza termica globale di un infisso di dimensioni standard, ai sensi della UNI EN ISO 10077-1:2007, e confrontati con i limiti normativi attualmente in vigore. Infine, nel caso del telaio in pino, il valore di trasmittanza globale è stato confrontato con il valore misurato in camera calda, ai sensi della Norma UNI EN ISO 12567-1:2002.

INTRODUZIONE

L'efficienza energetica degli edifici è argomento di grande interesse nell'attuale panorama legislativo italiano ed europeo e costituisce uno strumento significativo nella riduzione dei gas serra ai fini dell'ottenimento degli obiettivi fissati dal Protocollo di Kyoto.

La Direttiva Europea 2002/91/UE [1] ed i recenti Decreti Attuativi [2, 3] emanati nel nostro Paese impongono limiti sempre più restrittivi ai valori di trasmittanza termica dei componenti opachi e vetrati dell'edificio e in generale al sistema edificio – impianto.

In questo contesto, data la notevole influenza degli infissi sul consumo energetico globale degli edifici, diventa di primaria importanza da un punto di vista tecnico, con implicazioni anche di carattere economico, determinare in modo accurato le prestazioni termiche delle chiusure trasparenti.

Con riferimento agli infissi in legno, come nel presente lavoro, fissate le caratteristiche del vetrocamera e le dimensioni della chiusura trasparente, la trasmittanza globale del sistema dipende dalla trasmittanza del telaio e dalla trasmittanza termica lineare dovuta all'accoppiamento vetro – telaio. Risulta dunque interessante determinare la trasmittanza del telaio considerando l'effettiva geometria dello stesso e non solo lo spessore medio come unico parametro che influenza il risultato; inoltre è interessante indagare l'influenza dell'essenza legnosa sul valore di trasmittanza, dato che in alcuni casi può non essere sufficiente distinguere soltanto tra legni duri e legni teneri come previsto dalla normativa tecnica [4].

Obiettivo del presente lavoro è simulare il comportamento termico di due tipologie di infissi in legno, al variare dell'essenza legnosa; in particolare sono state considerate 12 essenze diverse la cui conducibilità termica è stata ricavata per interpolazione lineare tra i valori noti di alcuni legni

presenti nella norma UNI 10351:1994 [4] in relazione alla loro densità.

E' stata calcolata la trasmittanza termica lineare dell'accoppiamento vetro – telaio; i valori calcolati sono stati impiegati per determinare la trasmittanza termica globale di un infisso di dimensioni standard, ai sensi della UNI EN ISO 10077-1:2007, e confrontati con i limiti normativi attualmente in vigore [5].

Infine, nel caso di telaio in pino, il valore di trasmittanza globale calcolato è stato confrontato con un valore misurato in laboratorio, con il metodo della camera calda, ai sensi della UNI EN ISO 12567-1:2002 [6].

METODOLOGIA DI CALCOLO

Normativa di riferimento

Il calcolo della trasmittanza termica degli infissi è stato effettuato ai sensi della Norma UNI EN ISO 10077-1:2007; essa specifica i metodi di calcolo della trasmittanza termica di finestre e porte costituite da vetrate o pannelli opachi inseriti in telai con o senza chiusure e si applica a:

- diversi tipi di lastre trasparenti (vetri o plastiche, vetrate singole o multiple, con o senza rivestimenti basso emissivi, con intercapedini riempite di aria o di altri gas);
- diversi tipi di telai (di legno, di plastica, di metallo con o senza taglio termico, di metallo con connessioni puntiformi o qualsiasi altra combinazione di materiale);
- dove appropriato, la resistenza termica aggiuntiva dovuta a chiusure oscuranti di diverso tipo, in funzione della loro permeabilità all'aria.

Il calcolo non tiene in considerazione:

- gli effetti della radiazione solare;
- il passaggio di calore causato dalle infiltrazioni d'aria;
- il fenomeno della condensazione del vapor d'acqua;
- la ventilazione nelle intercapedini d'aria delle finestre doppie e accoppiate.

Sono inoltre esclusi dal calcolo gli effetti dei ponti termici in corrispondenza del fermavetro o dell'interfaccia tra il telaio della finestra o porta e il resto dell'involucro edilizio. Nel caso di finestre singole, la trasmittanza termica si calcola mediante la formula [5]:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + I_g \Psi_g}{A_g + A_f} \quad (1)$$

dove:

U_g è la trasmittanza termica del materiale trasparente (W/m^2K);

U_f è la trasmittanza termica del telaio (W/m^2K);

Ψ_g è la trasmittanza termica lineare dovuta agli effetti termici combinati del materiale trasparente, del distanziatore e del telaio (W/mK);

A_g è l'area del materiale trasparente (o del pannello opaco) ed è la più piccola delle aree visibili, viste da entrambi i lati; si trascura qualsiasi sovrapposizione delle guarnizioni (m^2);

I_g è il perimetro totale del materiale trasparente (o del pannello opaco) ed è la somma del perimetro visibile delle lastre trasparenti della finestra. Se i perimetri su entrambi i lati della lastra sono diversi, si deve considerare il maggiore dei due (m);

A_f è l'area del telaio ed è la maggiore tra le due aree proiettate viste da entrambi i lati (m^2).

Per quanto riguarda i valori numerici di ingresso, la trasmittanza della lastra trasparente deve essere determinata in conformità con la EN 673, la EN 674 o la EN 675 [7, 8, 9].

La trasmittanza termica del telaio deve essere determinata mediante misura in camera calda o calcolo numerico in conformità alla UNI EN ISO 10077-2 [10], sostituendo la lastra trasparente con un materiale caratterizzato da una conducibilità termica non superiore a $0,04 W/mK$. In mancanza di informazioni, la norma fornisce dei prospetti e dei grafici da cui è possibile dedurre i valori di trasmittanza del telaio. I valori indicati nei prospetti si basano su una grande quantità di valori misurati o valutati analiticamente tramite metodi di calcolo numerici. I valori della trasmittanza lineare, che tiene conto dell'interazione telaio - lastra, sono tabulati in funzione della tipologia di telaio, di materiale trasparente e di distanziatore o possono essere ottenuti tramite calcoli numerici in conformità alla UNI EN ISO 10077-2. Poiché le caratteristiche geometriche degli infissi sono note e così anche la trasmittanza termica delle diverse tipologie di vetrocamera considerate, certificata in base alla UNI EN 673, si è proceduto alla determinazione di U_f e Ψ_g mediante l'applicazione della UNI 10077-2, effettuando tutte le simulazioni necessarie alla caratterizzazione degli infissi con il codice di calcolo termofluidodinamico Fluent 6.3.

Descrizione delle simulazioni numeriche effettuate

Sono state esaminate due diverse tipologie di telaio, una dello spessore medio di 69,5 mm (tipologia A), l'altra dello spessore medio di 57,0 mm (tipologia B), al variare dell'essenza legnosa; in particolare sono state considerate le seguenti essenze: pino, douglas, iroko, hemlok, castagno, rovere, meranti, abete, mogano, larice, okoumè, frassino.

Si è inoltre fatto riferimento a tre vetrocamera usualmente installati in ciascuna tipologia di telaio, con distanziatore in alluminio:

Tipologia A

1. 4-15(aria)-4basso emissivo;

2. 4-15(argon)-4basso emissivo;

3. 6/7-12(aria)-6/7;

Tipologia B

1. 4-12(aria)-4basso emissivo;

2. 4-12(argon)-4basso emissivo;

3. 6/7-12(aria)-6/7.

E' stato sottoposto a calcolo un nodo del telaio in legno di Tipo A (fig. 1) e un nodo del telaio in legno di Tipo B (fig. 2).

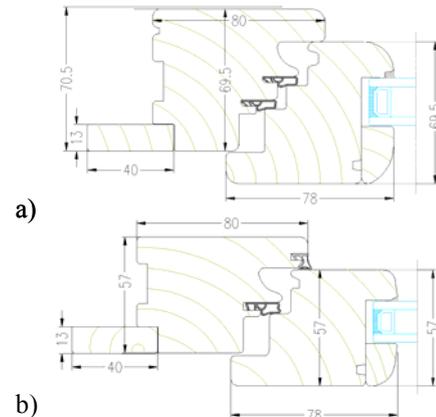


Fig. 1 - Nodo sottoposto a calcolo: a) telaio A, b) telaio B

Modellazione delle sezioni di calcolo

Le sezioni di calcolo sono state modellate con GAMBIT, il programma di interfaccia geometrica e di generazione di mesh di FLUENT. Le figure 2 e 3 riportano i modelli impiegati nelle simulazioni per la determinazione della trasmittanza del telaio, le figure 4 - 7 riportano i modelli impiegati nelle simulazioni per la determinazione della trasmittanza lineare.

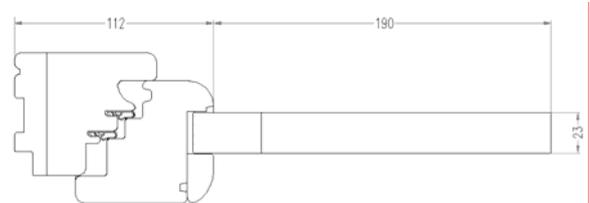


Fig. 2 - Modello del nodo sottoposto a calcolo (telaio A)

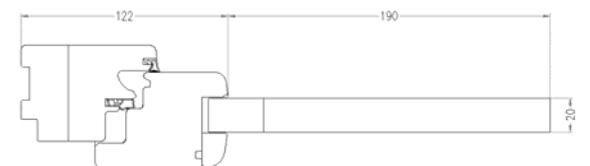


Fig. 3 - Modello del nodo sottoposto a calcolo (telaio B)

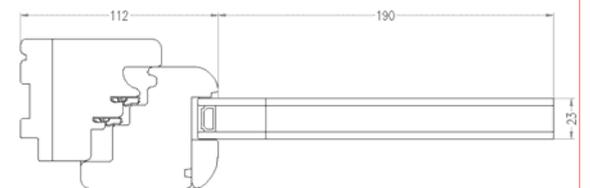


Fig. 4 - Modello del nodo sottoposto a calcolo (telaio A, vetrocamera 1. e 2.)

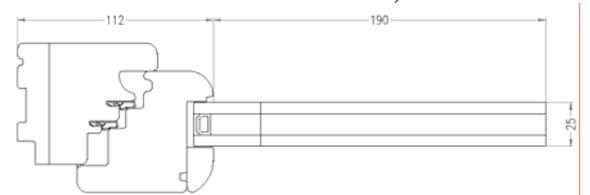


Fig. 5 - Modello del nodo sottoposto a calcolo (telaio A, vetrocamera 3.)

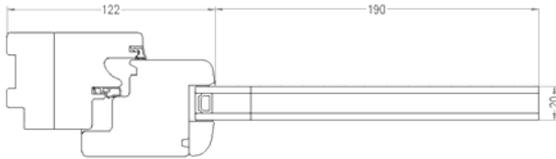


Fig. 6 - Modello del nodo sottoposto a calcolo (telaio B, vetrocamera 1. e 2.)

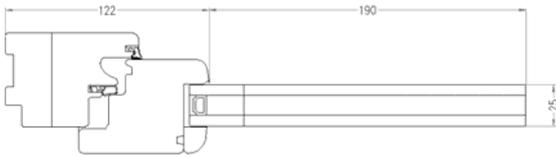


Fig. 7 - Modello del nodo sottoposto a calcolo (telaio B, vetrocamera 3.)

Parametri e condizioni di calcolo

Ai fini del calcolo della trasmittanza del solo telaio è stato considerato un pannello isolante di proprietà note in sostituzione del vetro; sia nel caso della trasmittanza del telaio che della trasmittanza lineare sono state assunte condizioni adiabatiche in corrispondenza della superficie finale del pannello o del vetro e del lato del telaio a contatto con la muratura (fig 8 e 9). La tab. 1 riporta i valori di temperatura esterna ed interna impostati nelle simulazioni [10].

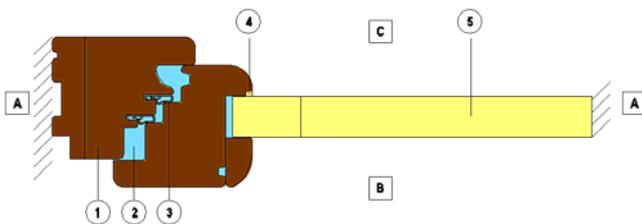


Fig. 8 - Schema delle condizioni di calcolo imposte per il calcolo della trasmittanza del telaio

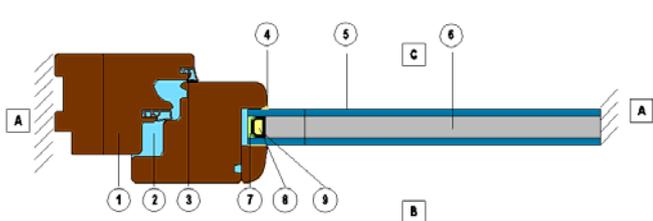


Fig. 9 - Schema delle condizioni di calcolo imposte per il calcolo della trasmittanza lineare

Tab. 1 - Valori di temperatura esterna ed interna impostati nelle simulazioni [10]

		T (°C)
A	Condizioni adiabatiche	-
B	Interno	20
C	Esterno	0

La tabella 2 riporta la conducibilità termica dei materiali impiegati nelle simulazioni. La conducibilità delle diverse essenze legnose è stata determinata per interpolazione lineare dei valori tabulati nella UNI 10351:1994 in base alla densità di ciascun legno; per gli altri materiali si è fatto riferimento ai valori tabulati nella UNI EN ISO 10077-2:2004.

Per i coefficienti di resistenza alla convezione termica naturale sono stati assunti i seguenti valori tratti dalla norma di riferimento [10]:

- lato interno in condizioni normali (superficie piana) $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- lato interno giunzione tra due superfici $R_{si} = 0,20 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- lato esterno per tutti i tipi di superficie $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Tab. 2 - Proprietà dei materiali assunte nei calcoli (con riferimento alla numerazione di figura 8 e 9)

	Materiale	λ (W/mK)
1	Abete, Okoumè	0,12
	Douglas, Pino, Castagno	0,15
	Hemlok, Larice	0,16
	Iroko, Mogano	0,17
	Rovere, Meranti, Frassino	0,18
2	Cavità d'aria*	-
3	TPE espanso	0,25
4	Silicone	0,15
5	Pannello isolante/Vetro	0,035/1,00
6	Intercapedine d'aria/argon**	-
7	Sigillante polisolfuro	0,40
8	Sali disidratanti	0,13
9	Distanziatore in alluminio	160

*La conducibilità apparente di ciascuna cavità, non ventilata o debolmente ventilata, è funzione della sua geometria ed è stata calcolata secondo quanto previsto dalla UNI EN ISO 10077- 2:2004.

**Il calcolo della conducibilità equivalente dell'aria nell'intercapedine del vetrocamera è stato effettuato secondo quanto previsto dalla UNI EN ISO 10077-2:2004.

Calcolo della trasmittanza termica del telaio

Il calcolo della trasmittanza termica del telaio è stato effettuato secondo la relazione [10]:

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p b_p}{b_f} \quad (2)$$

in cui:

U_f è la trasmittanza termica del telaio ($\text{W/m}^2\text{K}$);

L_f^{2D} è la conducibilità termica della sezione (W/mK) data dal rapporto tra la densità di flusso termico Φ e la differenza di temperatura ΔT ;

U_p è la trasmittanza dell'area centrale del pannello ($\text{W/m}^2\text{K}$);

b_p è la larghezza visibile del pannello (m);

b_f è la proiezione della larghezza del telaio (m).

Si riportano i risultati relativi alle diverse essenze legnose per entrambi i telai (tab. 3 e 4).

La figura 10 mostra il confronto, a parità di spessore medio del telaio, tra i valori determinati secondo l'Appendice D della Norma UNI EN ISO 10077-1:2007 e con il metodo numerico. La curva contrassegnata con il numero 1 rappresenta il valore di trasmittanza (Y) al variare dello spessore medio (X) del telaio per i legni duri, la curva contrassegnata con il numero 2 si riferisce ai legni teneri (Appendice D).

Si può notare come tutti i valori determinati con il metodo numerico, per entrambe le tipologie di telaio, siano al di sotto delle due curve, con differenze che vanno da un minimo del 15% ad un massimo del 30%.

Tab. 3 – Risultati delle simulazioni, telaio A e B

	Telaio A	Telaio B
U_p (W/m ² K)	1,210	1,350
b_f (m)	0,112	0,122
b_p (m)	0,190	
ΔT (K)	20	
Φ (W/m)		
Abete, Okoumè	7,317	8,483
Douglas, Pino, Castagno	7,751	8,998
Hemlok, Larice	7,887	9,157
Iroko, Mogano	8,018	9,310
Rovere, Meranti, Frassino	8,145	9,459
L_f^{2D} (W/mK)		
Abete, Okoumè	0,366	0,424
Douglas, Pino, Castagno	0,388	0,450
Hemlok, Larice	0,394	0,458
Iroko, Mogano	0,401	0,466
Rovere, Meranti, Frassino	0,407	0,473

Tab. 4 – Trasmittanza del telaio A e B al variare dell'essenza

Tipologia di legno	U_f (W/m ² K)			
	Telaio A		Telaio B	
Metodo numerico	App. D 10077-1	Metodo numerico	App. D 10077-1	
Abete, Okoumè	1,21	1,78	1,37	1,85
Douglas, Pino, Castagno	1,41		1,59	
Hemlok, Larice	1,47	2,10	1,65	2,28
Iroko, Mogano	1,53		1,71	
Rovere, Meranti, Frassino	1,58		1,77	

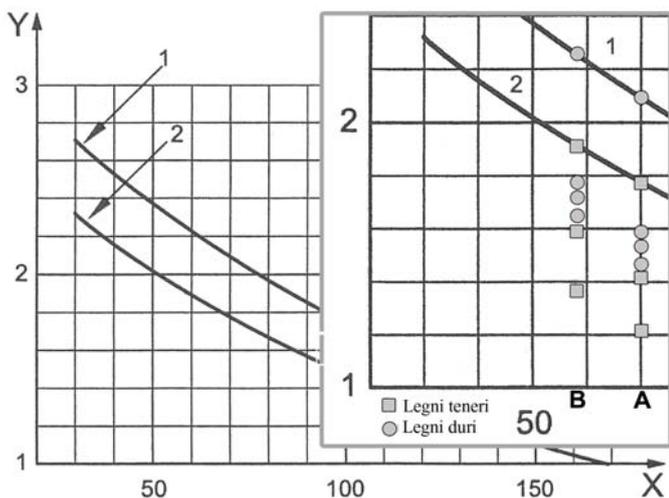


Fig. 10 – Confronto tra i risultati ottenuti con l'Appendice D della UNI EN ISO 10077-1:2007 e il metodo numerico

Calcolo della trasmittanza termica lineare

Il calcolo della trasmittanza termica lineare è stato effettuato secondo la relazione [10]:

$$\Psi = L_{\psi}^{2D} - U_f b_f - U_g b_g \quad (3)$$

in cui:

Ψ è la trasmittanza termica lineare (W/mK);

L_{ψ}^{2D} è la conducibilità termica della sezione (W/mK) data dal rapporto tra la densità di flusso termico Φ e la differenza di temperatura ΔT ;

U_f è la trasmittanza termica del telaio (W/m²K);

b_f è la proiezione della larghezza del telaio (m);

U_g è la trasmittanza dell'area centrale del vetro (W/m²K);

b_g è la larghezza visibile del vetro (m).

Le simulazioni sono state effettuate per ciascun vetrocamera, variando la tipologia di legno del telaio; poiché i valori calcolati di ψ differiscono tra loro al massimo di 0,002 W/mK, si è scelto di assumere un unico valore per la trasmittanza lineare, indipendentemente dalla tipologia di legno e pari al valore più elevato, cioè relativo alla simulazione con il telaio in rovere/meranti/frassino.

Si riportano nelle tabelle 5 e 6 i risultati relativi alle due tipologie di telaio e alle tre tipologie di vetrocamera.

Dal confronto con il valore ricavato in Appendice E dalla UNI EN ISO 10077-1 per telai in legno, distanziatore in alluminio e vetri basso-emissivi, pari a 0,08, si può notare come il valore ricavato numericamente sia minore nel caso del telaio A per tutte e tre le tipologie di vetrocamera, ma sempre maggiore nel caso del telaio B (tab. 6).

Tab. 5 – Risultati delle simulazioni, telaio A e B

	Telaio A	Telaio B
U_g (W/m ² K)		
1	1,4	1,6
2	1,1	1,2
3	1,6	1,6
U_f rovere/meranti/frassino (W/m ² K)	1,770	1,770
b_f (m)	0,112	0,122
b_g (m)	0,190	
ΔT (K)	20	
Φ (W/m)		
1	10,246	12,038
2	9,248	10,625
3	11,360	12,130
L_{ψ}^{2D} (W/mK)		
1	0,512	0,601
2	0,462	0,531
3	0,568	0,606

Tab. 6 – Trasmittanza lineare del telaio A e B al variare del vetro

Tipologia di vetrocamera	ψ (W/mK)		
	Telaio A	Telaio B	UNI EN ISO 10077-1
1	0,069	0,081	0,08
2	0,076	0,087	
3	0,071	0,086	

Calcolo della trasmittanza degli infissi e confronto con i limiti normativi

Il calcolo della trasmittanza U_w per mezzo dell'equazione 1 è stato effettuato su un infisso di dimensioni standard (1,23x1,48 m); i dati geometrici impiegati sono riassunti nella tabella 7; si riporta inoltre un prospetto riassuntivo dei risultati ottenuti (tab. 8).

Se la trasmittanza degli infissi fosse stata calcolata solo in base ai dati contenuti nella UNI EN ISO 10077-1, si sarebbero ottenuti i risultati riportati nella tabella 9. Si può notare come per tutte le tipologie di infisso la trasmittanza calcolata a partire dai dati ricavati con il metodo numerico sia

sempre minore di quella calcolata utilizzando come dati di input i valori in appendice alla UNI EN ISO 10077-1.

Tab. 7 – Dati geometrici

Dimensioni infisso: 1,23x1,48 m			
Telaio	A _g (m ²)	A _f (m ²)	I _g (m)
A	1,013	0,795	6,584
B	0,973	0,835	6,464

Tab. 8 – Prospetto riassuntivo dei risultati ottenuti

Telaio A							
		1. U _g = 1,4		2. U _g = 1,1		3. U _g = 1,6	
Essenze	U _f	ψ _g	U _w	ψ _g	U _w	ψ _g	U _w
Abete, Okoumè	1,21	0,069	1,57	0,076	1,43	0,071	1,69
Pino, Douglas, Castagno	1,41		1,66		1,51		1,78
Hemlok, Larice	1,47		1,68		1,54		1,80
Iroko, Mogano	1,53		1,71		1,57		1,83
Rovere, Meranti, Frassino	1,58		1,73		1,59		1,85
Telaio B							
		1. U _g = 1,6		2. U _g = 1,2		3. U _g = 1,6	
Essenze	U _f	ψ _g	U _w	ψ _g	U _w	ψ _g	U _w
Abete, Okoumè	1,37	0,081	1,78	0,087	1,59	0,086	1,80
Pino, Douglas, Castagno	1,59		1,88		1,69		1,90
Hemlok, Larice	1,65		1,91		1,72		1,93
Iroko, Mogano	1,71		1,94		1,75		1,96
Rovere, Meranti, Frassino	1,77		1,97		1,77		1,99

Tab. 9 – Trasmittanza infissi secondo la UNI EN ISO 10077-1

Telaio A							
		1. U _g = 1,4		2. U _g = 1,1		3. U _g = 1,6	
Essenze	U _f	ψ _g	U _w	ψ _g	U _w	ψ _g	U _w
Legni duri	2,10	0,08	2,00	0,08	1,83	0,08	2,11
Legni teneri	1,78		1,86		1,69		1,97
Telaio B							
		1. U _g = 1,6		2. U _g = 1,2		3. U _g = 1,6	
Essenze	U _f	ψ _g	U _w	ψ _g	U _w	ψ _g	U _w
Legni duri	2,28	0,08	2,20	0,08	1,98	0,08	2,20
Legni teneri	1,85		2,00		1,79		2,00

Per entrambe le tipologie di telaio, nel caso di essenza in pino, sono state effettuate delle prove sperimentali in camera calda ai sensi della UNI EN ISO 12567-1:2002; sono stati ottenuti i seguenti valori di trasmittanza:

- telaio A, vetrocamera 4-15(aria)-4basso emissivo: 1,47 W/m²K;
- telaio B, vetrocamera 4-12(aria)-4basso emissivo: 1,57 W/m²K.

I valori misurati risultano più bassi rispetto ai rispettivi valori calcolati con il metodo numerico rispettivamente dell'11% per il telaio A e del 16% per il telaio B.

I valori di trasmittanza termica degli infissi ricavati nei vari casi possono essere confrontati con i limiti normativi attualmente in vigore per le chiusure trasparenti [11, 12] (fig.

11 – 14). Si è scelto di effettuare il confronto nel caso più restrittivo, relativo alla zona climatica F; nelle figure sono stati evidenziati i valori limite relativi alla suddetta zona:

- D.P.R. 59 del 2.04.2009: U < 2,0 W/m²K;
- Decreto 26.01.2010 (detrazioni 55%): U < 1,6 W/m²K.

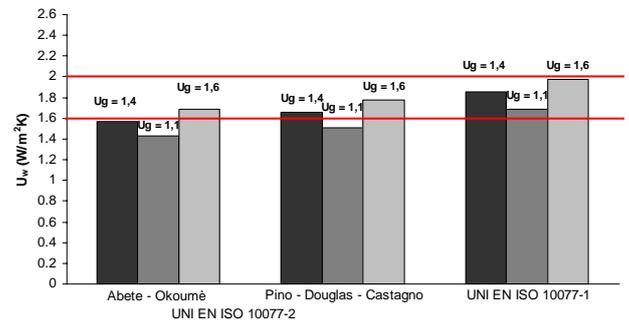


Fig. 11 – Telaio A, legni teneri: confronto con i limiti normativi

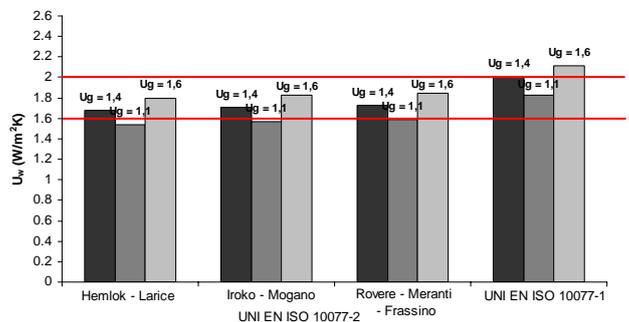


Fig. 12 – Telaio A, legni duri: confronto con i limiti normativi

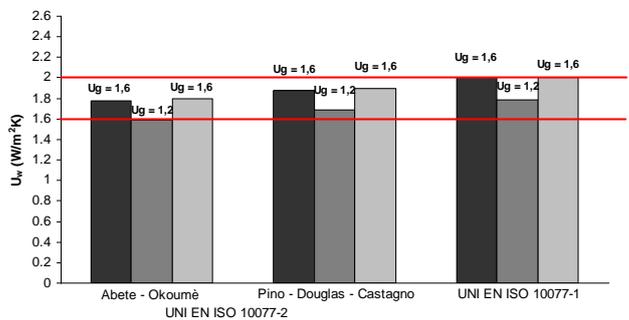


Fig. 13 – Telaio B, legni teneri: confronto con i limiti normativi

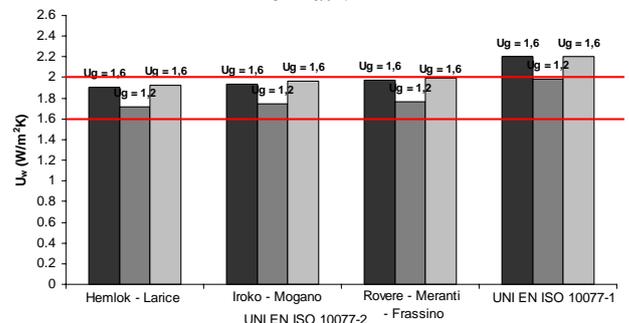


Fig. 14 – Telaio B, legni duri: confronto con i limiti normativi

Si può osservare che:

Telaio A – Legni teneri (fig. 11)

- la trasmittanza globale dell'infisso calcolata sia a partire dai dati ricavati con il metodo numerico che da quelli tabulati nella UNI EN ISO 10077-1 è sempre al di sotto del valore limite stabilito dal D.P.R. 59;

- nel caso in cui si voglia accedere agli incentivi fiscali per interventi di riqualificazione energetica, soltanto effettuando il calcolo con i dati ricavati dal metodo numerico e considerando l'installazione di vetrocamera con trasmittanza pari a $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, si riesce a rispettare il limite imposto dal Decreto;

Telaio A – Legni duri (fig. 12)

- il valore limite imposto dal D.P.R. 59 è sempre rispettato tranne il caso in cui si effettui il calcolo a partire dai dati forniti dalla UNI 1007-1 con un vetrocamera di trasmittanza pari a $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- si ha il rispetto del limite per gli incentivi fiscali solo con l'installazione del vetrocamera più performante e considerando i valori ricavati dall'analisi numerica;

Telaio B – Legni teneri (fig. 13)

- in tutti i casi si ha il rispetto del D.P.R. 59 per la zona climatica F, scelta come riferimento;
- in nessun caso si ha il rispetto del limite per ottenere gli incentivi fiscali;

Telaio B – Legni duri (fig. 14)

- se si fosse determinata la trasmittanza dell'infisso con i dati di Letteratura forniti dalla UNI EN ISO 10077-1 (Appendice D ed E), non si sarebbe ottenuto il rispetto del limite imposto dal D.P.R. 59; considerando i dati ottenuti con il metodo numerico si ha sempre il rispetto del limite;
- in nessun caso si ha il rispetto del limite per ottenere gli incentivi fiscali.

CONCLUSIONI

E' stata effettuata l'analisi numerica bidimensionale su due tipologie di telai in legno, uno dello spessore medio di 69,5 mm, l'altro di 57,0 mm, al fine di valutare, a parità di vetrocamera installato e di dimensioni della chiusura trasparente, l'influenza sulla trasmittanza globale dell'infisso di diverse essenze legnose di cui può essere costituito il telaio. In particolare sono state considerate dodici essenze legnose e tre tipologie di vetrocamera per ciascuna tipologia di telaio.

I risultati delle simulazioni hanno evidenziato che l'applicazione dell'Appendice D della Norma UNI EN ISO 10077-1 sovrastima, seppur a favore di sicurezza, la trasmittanza del telaio del 15 – 30% a seconda dei casi considerati; ciò comporta in generale valori di trasmittanza globale dell'infisso più elevati; le misure effettuate in camera calda su infissi con telaio in legno di pino hanno prodotto valori di trasmittanza ancora più bassi, inferiori di circa il 15% rispetto al metodo numerico.

Dal confronto tra i valori di trasmittanza globale ricavati impiegando i dati di Letteratura e il metodo numerico con i limiti normativi attualmente in vigore, avendo scelto come riferimento le prescrizioni più restrittive (zona climatica F), si è potuto constatare come con l'applicazione del primo procedimento di calcolo sia necessario scartare alcune combinazioni vetro – telaio, in quanto non si ottiene il rispetto del limite.

In alcune situazioni diventa pertanto di primaria importanza una valutazione accurata delle prestazioni termiche degli infissi, che tenga conto della geometria del sistema e delle proprietà dei materiali.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Dott. Francesco Bianchi per l'effettuazione delle prove sperimentali in camera calda.

NOMENCLATURA

Simbolo	Grandezza	Unità di misura
b	Larghezza	m
A	Superficie	m ²
I	Perimetro	m
L ^{2D}	Conducibilità termica	W/mK
T	Temperatura	°C, °K
U	Trasmittanza termica	W/m ² K
λ	Conducibilità termica	W/mK
Δ	Differenza	-
Φ	Densità di flusso termico	W/m
ψ	Trasmittanza termica lineare	W/mK

Pedici

f	telaio
g	vetro
p	pannello
w	infisso
ψ	lineare

BIBLIOGRAFIA

- [1] Direttiva 2002/91/CE, 16 dicembre 2002, *relativa al rendimento energetico nell'edilizia*.
- [2] D.lgs 19/08/05 n. 192, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*.
- [3] D.lgs 29 dicembre 2006 n. 311, *Disposizioni correttive ed integrative al D.L. 192/2005 recante attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*.
- [4] UNI 10351:1994, *Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore*.
- [5] UNI EN ISO 10077-1:2007, *Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità*.
- [6] UNI EN ISO 12567-1:2002, *Isolamento termico di finestre e porte - Determinazione della trasmittanza termica con il metodo della camera calda - Finestre e porte complete*.
- [7] UNI EN 673:2005, *Vetro per edilizia - Determinazione della trasmittanza termica (valore U) - Metodo di calcolo*.
- [8] UNI EN 674:1999, *Vetro per edilizia - Determinazione della trasmittanza termica (valore U) - Metodo della piastra calda con anello di guardia*.
- [9] UNI EN 675:1999, *Vetro per edilizia - Determinazione della trasmittanza termica (valore U) - Metodo dei termoflussimetri*.
- [10] UNI EN ISO 10077-2:2004, *Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo numerico per i telai*.
- [11] DPR 59/09, *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*.
- [12] DECRETO 26 gennaio 2010, *Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici*, GU n. 35 del 12-2-2010.
- [13] Dietenberger, Green *et al.*, *Wood handbook: wood as an engineering material*, Madison, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. General technical report FPL.
- [14] P. Blanusa, W. P. Goss *et al.*, *Comparison between ASHRAE and ISO thermal transmittance calculation methods*, Energy and Buildings 39, pp. 374-384, 2007.
- [15] K. Duer, S. Svendsen *et al.*, *Energy labelling of glazing and windows in Denmark : calculated and measured values*, Solar Energy, Vol. 73, pp. 23-31, 2002.