



Versione 1 – settembre 2012

DAL LAMBDA DICHIARATO λ_D AL LAMBDA DI PROGETTO λ



Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
via Savona 1/B, 20144 Milano - tel 02 89415126 - fax 02 58104378
www.anit.it - info@anit.it

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta senza l'autorizzazione scritta di ANIT.

INDICE

0.	ABSTRACT.....	2
1.	PREMESSA.....	3
2.	LEGISLAZIONE EUROPEA E NAZIONALE	4
3.	NORMATIVA SULLA MARCATURA CE E LAMBDA DICHIARATO	7
4.	VARIAZIONE DEL LAMBDA per T e UR: UNI EN ISO 10456	10
5.	LAMBDA DI PROGETTO.....	13
6.	CHIARIMENTI UNI 10351	16
7.	NORMATIVA ESTERA.....	17

Tutti i diritti sono riservati.

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta senza l'autorizzazione scritta di ANIT.

Le informazioni relative al contenuto di questa pubblicazione sono da ritenersi indicative.

Sul sito www.anit.it nella sezione "Manualetti" sono disponibili altri documenti di approfondimento.

Edito da TEP srl, Via Savona 1/B – 20144 Milano – settembre 2012

0. ABSTRACT

I progettisti termotecnici ai fini del rispetto delle regole di efficienza energetica (relazione ex-legge 10), per la certificazione energetica degli edifici e per le valutazioni necessarie all'accesso agli incentivi del 55%, devono determinare quale valore di conduttività termica λ dei materiali isolanti impiegare.

Per i prodotti di polistirene espanso sinterizzato EPS esiste la norma di prodotto UNI EN 13163 che indica al fabbricante come determinare la conduttività termica dichiarata λ_D necessaria ai fini della marcatura CE del materiale.

La norma di prodotto dell'EPS e l'obbligatorietà della marcatura CE, sono i risultati dell'attuazione della direttiva europea 89/106 sui prodotti da costruzione. I produttori di EPS hanno quindi l'obbligo di determinare la conduttività termica dichiarata λ_D .

Il progettista ha a disposizione il valore di λ_D che rappresenta il 90% della produzione con una confidenza del 90% sul valore dichiarato; il valore di λ dichiarato deriva da misure di laboratorio condotte su campioni di materiale considerato invecchiato.

Il valore di conduttività termica λ_D dichiarato dal produttore deve essere trasformato in valore di conduttività di progetto λ in accordo con la norma di riferimento UNI EN ISO 10456.

Il progettista è tenuto quindi a valutare le condizioni di progetto di temperatura e umidità in cui il materiale isolante potrà trovarsi in opera, determinando il valore di λ che potrebbe migliorare o peggiorare a seconda delle condizioni ipotizzate.

Il processo descritto rappresenta la regola dell'arte a livello nazionale: il produttore segue le regole della legislazione vigente per la determinazione del λ dichiarato e il progettista sulla base di questi valori impiega la norma di riferimento UNI EN ISO 10456 per la determinazione del λ di progetto.

1. PREMESSA

Il presente documento chiarisce l'uso dei valori di conduttività termica λ dichiarati dai produttori da parte dei progettisti termotecnici ai fini del rispetto delle regole di efficienza energetica (relazione ex-legge 10) e per la certificazione energetica degli edifici.

Nei vari capitoli si affronta, oltre all'iniziale inquadramento legislativo, la caratterizzazione della conduttività termica dei prodotti isolanti in polistirene espanso sinterizzato EPS nei vari passaggi che portano dalla produzione, alla commercializzazione, alla progettazione sino all'uso in opera.

La tematica è relativamente complessa poiché il contesto legislativo nazionale deriva dal recepimento della direttiva europea 02/91 sull'efficienza energetica in edilizia e dal recepimento della direttiva europea 89/106 sui prodotti da costruzione.

Parallelamente ai recepimenti legislativi di carattere nazionale sono presenti le normative su come effettuare le misure e i calcoli. Molte norme sono di carattere nazionale, altre di carattere europeo o internazionale.

2. LEGISLAZIONE EUROPEA E NAZIONALE

Quali sono le leggi che governano la commercializzazione dei materiali isolanti in edilizia?

I materiali isolanti in quanto prodotti da costruzione e stabilmente presenti all'interno dell'involucro edilizio rientrano nella casistica dei provvedimenti relativi alla direttiva 89/106 (denominata anche CPD) dei prodotti da costruzione. La direttiva prescrive, al fine della tutela del consumatore e della corretta circolazione in territorio comunitario delle merci (con l'eliminazione o la riduzione delle barriere tecniche), che i prodotti da costruzione devono indicare in modo uniforme, univoco e standardizzato le caratteristiche per le quali vengono venduti nel mercato dell'edilizia.

Nella realizzazione dell'edificio devono essere garantiti i seguenti requisiti: resistenza meccanica e stabilità, sicurezza in caso di incendio, igiene salute e ambiente, sicurezza nell'impiego, protezione acustica e risparmio energetico ed isolamento termico. L'attuazione del rispetto dei requisiti è concretizzata per mezzo delle norme di prodotto armonizzate che stabiliscono come ogni produttore valuta e dichiara le prestazioni rispetto ai requisiti.

La direttiva è del 1989 e quindi i decreti di recepimento nazionale sono diversi e realizzati nell'arco di vent'anni. Ad oggi la direttiva è sostituita dal regolamento nr.305 del 2011 che andrà a integrare e modificare nel futuro alcuni criteri per la corretta commercializzazione dei materiali da costruzione.

La direttiva europea è stata attuata per mezzo di leggi nazionali: l'immagine 1 mostra i principali riferimenti legislativi relativi alla direttiva 89/106 per quanto riguarda i materiali isolanti con l'attuazione della stessa messa in atto dal DPR 93/246 integrato dal DPR 97/499.

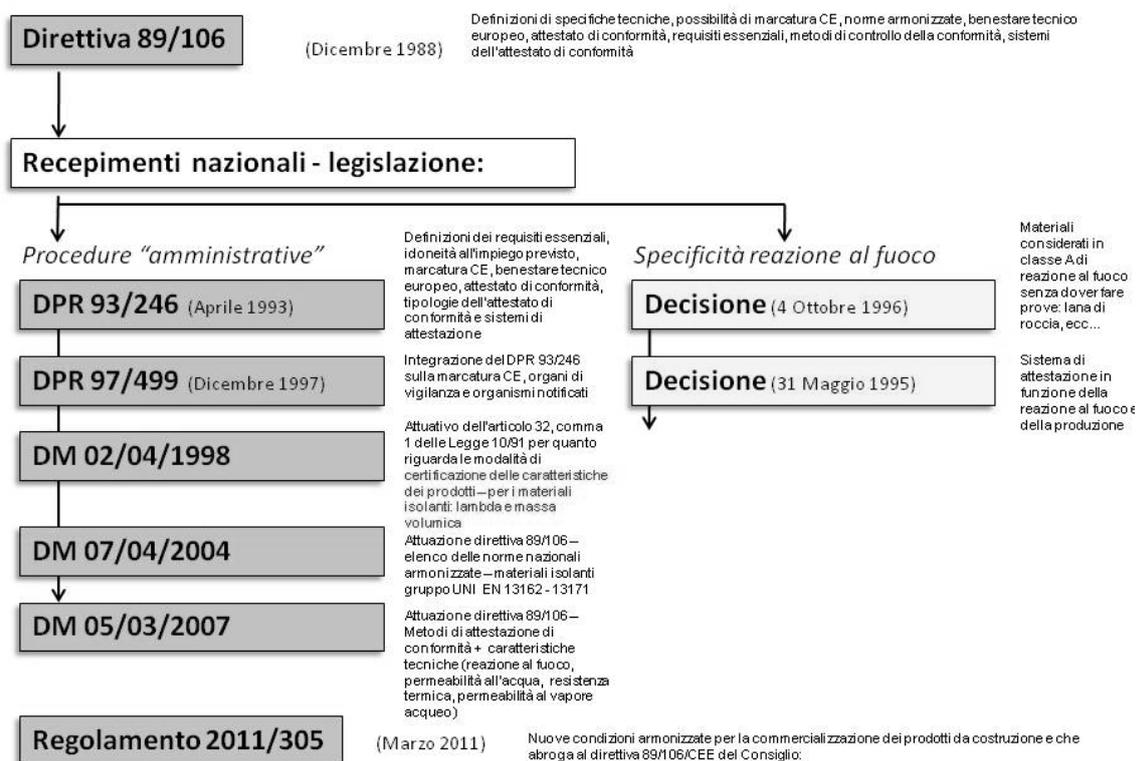


Immagine 1: schema di attuazione della direttiva europea 89/106 sui prodotti da costruzione e altre leggi riguardanti la commercializzazione dei prodotti da costruzione

Cosa dice la direttiva europea CPD per la corretta commercializzazione?

L'attuazione della direttiva europea sui materiali da costruzione affronta due punti fondamentali per la loro commercializzazione:

- come commercializzare il materiale;
- come valutare le prestazioni e come dichiararle.

La direttiva si applica infatti ai materiali da costruzione nei casi in cui devono garantire il rispetto di uno o più requisiti essenziali: per i materiali isolanti il requisito essenziale principale è quello di risparmio energetico ed isolamento termico al quale si affianca anche la sicurezza in caso di incendio.

Come accennato in precedenza, il regolamento attuativo della direttiva europea è il DPR 93/246 integrato dal DPR 97/499 che introduce la **condizione per i prodotti di essere idonei all'impiego previsto per poter essere immessi sul mercato.**

Il produttore di materiali isolanti deve attestare l'idoneità all'impiego del proprio materiale rispetto al requisito essenziale di isolamento termico con uno dei seguenti strumenti: la marcatura CE, il benessere tecnico europeo o l'attestato di conformità. Il criterio di base di queste tipologie di attestazione dell'idoneità è l'aver fatto testare i prodotti da enti indipendenti rispetto al produttore, in accordo con le norme di riferimento per le prove e di monitorare la conformità di quanto prodotto con quanto dichiarato.

Il polistirene espanso sinterizzato EPS e la marcatura CE

Quando un prodotto può essere marcato CE? I materiali isolanti per edilizia che hanno una norma armonizzata (gruppo UNI EN 13162-13172) possono e devono essere marcati CE; il polistirene espanso sinterizzato ha l'obbligo di marcatura CE in quanto esiste la norma di prodotto UNI EN 13163 – Isolanti termici per l'edilizia – prodotti di polistirene espanso ottenuti in fabbrica – specificazione. L'applicazione e l'uso delle norme armonizzate è sancito dal DM 07/04/2004 attuativo della direttiva 89/106 che richiama l'elenco delle norme e specifica la fine del periodo di coesistenza delle disposizioni legislative nazionali preesistenti.

Il quadro legislativo di riferimento è oggetto di ulteriori integrazioni con la pubblicazione del DM 05/03/2007 dedicato all'individuazione dei prodotti e dei relativi metodi di controllo della conformità di "Isolanti termici per l'edilizia". Nel decreto, riguardante i prodotti con norma di prodotto precedentemente specificati, vengono definiti due aspetti: quale sistema di attestazione della conformità deve essere impiegato in relazione all'euroclasse di reazione al fuoco del prodotto e quali caratteristiche tecniche devono essere dichiarate obbligatoriamente a cura del fabbricante (tabella prevalentemente in accordo con le appendici ZA delle norme di prodotto). In sostanza per gli usi soggetti ai requisiti di reazione al fuoco e per tutti gli usi, per i materiali presenti in tabella, è obbligatorio indicare la reazione al fuoco per mezzo delle euro classi, la permeabilità all'acqua, **la resistenza termica** e la permeabilità al vapore acqueo.

Ma quali sono i contenuti di una norma di prodotto? Una norma armonizzata entra nel dettaglio di quali sono i requisiti del prodotto per tutte le applicazioni (es. resistenza termica e conduttività) e quali i requisiti per applicazioni specifiche indicando la norma di riferimento per il metodo di prova e il modo di classificare la prestazione con dei livelli o delle classi. Stabilito il comportamento di un materiale in merito a determinati requisiti il passaggio successivo è assicurare la conformità di quanto prodotto rispetto a quanto dichiarato; per potere valutare la conformità, il produttore realizza forme di controllo della produzione in fabbrica e prove su campioni prelevati in fabbrica in accordo con la norma UNI EN 13172 – valutazione della conformità per isolanti termici per edilizia - e in accordo con la norma stessa di prodotto.

Per poter valutare la conformità vi sono diversi sistemi di attestazione come descritto in tabella:

Sistema attestazione	1+	1	2+	2	3	4
Emissione dell'attestazione	Organo notificato	Organo notificato	Produttore	Produttore	Produttore	Produttore
Prelievi periodici dei campioni	Organo notificato	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Sorveglianza continua del processo	Organo notificato	Organo notificato	Produttore	Produttore	Produttore	Produttore
Scelta dei campioni	Organo notificato	Organo notificato	Organo notificato	Organo notificato	Produttore	Produttore
Esecuzione delle prove	Organo notificato	Produttore				

Tabella 1: sistemi di attestazione per valutare la conformità

In generale il sistema di attestazione dei requisiti per i produttori di materiali isolanti è il terzo con prove iniziali tipo realizzate da laboratorio esterno accreditato e notificato e controllo della produzione in fabbrica da parte del produttore. Il sistema di attestazione della conformità diventa maggiormente "severo" (e quindi si sposta verso il livello 1) e richiede il controllo di organismi esterni anche in fase di produzione quando entra in gioco il requisito di reazione al fuoco e il prodotto e la sua reazione al fuoco è influenzabile durante il processo produttivo.

In sintesi l'EPS è soggetto alla marcatura CE in accordo con la norma di prodotto UNI EN 13163. La norma di prodotto descrive come determinare la prestazione rispetto al requisito di isolamento termico: la conduttività termica λ ; oltre a determinare come si valuta il requisito viene descritto anche come valutare il λ dichiarato λ_D . Nei capitoli successivi viene descritto tale procedimento.

3. NORMATIVA SULLA MARCATURA CE E LAMBDA DICHIARATO

Stabilito l'inquadramento generale della legislazione e della normativa vigente, segue un approfondimento sul requisito principale dei materiali isolanti omogenei, la conduttività termica λ . L'approfondimento riguarda nello specifico la conduttività termica del polistirene espanso sinterizzato EPS.

Condizioni di prova

Per poter valutare in modo standard e confrontabile la conduttività termica di un materiale isolante è necessario stabilire le condizioni della misura che sono in accordo con le indicazioni della norma di prodotto armonizzata UNI EN 13163 per quanto riguarda l'EPS.

Il produttore di EPS deve determinare il valore di conduttività termica misurando in laboratorio il comportamento del materiale in accordo con le norme riferimento, mentre per gli aspetti legati alle condizioni di prova, i materiali devono essere testati in condizioni di invecchiamento, a 10 °C di temperatura media di riferimento e dopo essere stati stagionati in un ambiente a 23 °C e il 50% di umidità relativa (UNI EN 13163).

La caratterizzazione termica del materiale attraverso la misura della conduttività termica è quindi realizzata in condizioni cautelative rispetto alle condizioni ambientali invernali che si possono verificare: il materiale sarà in condizioni più asciutte (in inverno) e probabilmente lavorerà a temperature inferiori (e quindi con una migliore conduttività termica).

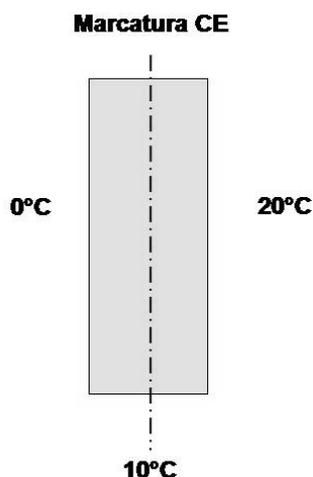


Immagine 2: temperatura di riferimento per i campioni di materiali isolanti per il valore di lambda della marcatura CE (UNI EN 13163)

La norma UNI EN ISO 10456 prevede condizioni di prova aggiuntive oltre quelle descritte per il valore di lambda dichiarato λ_D (condizioni di prova I a), II a) e b)):

	Condizioni di prova			
	I (10°C)		II (23°C)	
	a)	b)	a)	b)
Temperatura di riferimento	10 °C	10 °C	23 °C	23 °C
Umidità	u_{asciutto}	$u_{23,50}$	u_{asciutto}	$u_{23,50}$
Invecchiamento	si	si	si	si

Tabella 2: condizioni di prova per la misura della conduttività termica

Dove per u si intende il contenuto di umidità nel materiale espresso in massa [kg/kg] nelle condizioni di stagionatura indicata (asciutto o a 23°C e 50% di umidità relativa).

Determinazione dei valori dichiarati dal produttore

Una volta determinato come effettuare le prove, il passaggio successivo è poter determinare un valore di lambda che sia rappresentativo della produzione. In accordo con il punto 4 e con l'appendice A (normativa) della UNI EN 13163 si descrivono i passaggi per la determinazione del lambda dichiarato dal fabbricante.

Il produttore ai fini del rispetto della norma di prodotto **deve determinare** un valore di lambda che rappresenti il 90% della produzione con un intervallo di confidenza sul dato del 10% ovvero il valore del singolo prodotto non deve discostarsi di più del 10% dal valore dichiarato; è il cosiddetto valore di conduttività termica al frattile del 90% con livello di confidenza del 90%.

Per potere determinare il valore di $\lambda_{90/90}$ il produttore esegue delle prove dirette di conduttività e ottiene almeno dieci risultati di prove; con i dati a disposizione può calcolare, attraverso un'equazione di modellazione statistica, la rappresentatività dei valori misurati per il 90% della produzione con il livello di confidenza del 90%; l'equazione dipende da quante misure sono state realizzate e dalla variabilità dei valori ottenuti:

$$\lambda_{90/90} = \lambda_{mean} + k \cdot s_{\lambda}$$

Dove:

λ_{mean} : è il valore medio della conduttività dei risultati ottenuti

s_{λ} : è il valore di deviazione standard $s_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum (\lambda_i - \lambda_{mean})^2}{n - 1}}$

k : coefficiente dipendente dal numero di prove effettuate

Il valore rappresentativo dipende quindi dal valore medio di quelli misurati aumentato di una quota parte che considera la deviazione standard e il numero di misure effettuate.

Dal valore di $\lambda_{90/90}$ si deriva il valore di lambda dichiarato λ_D .

I valori di lambda dichiarato λ_D **vengono calcolati** sulla base di almeno dieci risultati di prove per la conduttività termica ottenuti da misurazioni dirette e nelle condizioni di prova descritte dalla normativa: temperatura media di 10°C e stagionatura al 50% di umidità relativa e temperatura dell'aria a 23°C. Nel caso le condizioni di prova siano svolte a temperatura media differente dai 10°C e con una condizione di stagionatura differente da quella indicata il valore di λ_D può essere calcolato sulla base del valore di $\lambda_{90/90}$ per mezzo di modifiche realizzabili in accordo con la norma UNI EN ISO 10456. Il produttore che quindi esegue 10 misure può valutare il lambda 90/90 che corrisponde al lambda dichiarato se le condizioni di stagionatura e di temperatura media sono identiche a quelle richieste per il lambda dichiarato.

Cosa rappresenta il valore del lambda dichiarato λ_D dal produttore?

Il valore di lambda dichiarato dal produttore λ_D è il valore atteso nel corso di una vita di esercizio economicamente ragionevole in condizioni normali, valutato tramite dati misurati in condizioni di riferimento.

Una volta determinato il valore dichiarato λ_D è responsabilità del produttore dimostrare la conformità del prodotto ai valori dichiarati con una serie di attività di controllo dirette e indirette in accordo con la propria norma di prodotto e con la norma relativa alla valutazione di conformità (UNI EN 13172).

Esempio di calcolo del lambda dichiarato λ_D

Segue un esempio di calcolo del lambda dichiarato λ_D da parte di un fabbricante di EPS (in accordo con le indicazioni presenti in allegato B (informativo) della norma UNI EN ISO 10456):

Il fabbricante ha a disposizione 10 misure dirette di conduttività termica alle seguenti condizioni di prova:

- 10°C di temperatura media
- stagionatura ambientale a 23°C e al 50% di umidità relativa

I valori misurati sono (valori che devono essere espressi con almeno tre cifre significative non contando gli zeri a sinistra della prima cifra):

Misura i-esima	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ misura	0,0295	0,0298	0,0296	0,0292	0,0295	0,0306	0,0298	0,0295	0,0305	0,0300

Tabella 3: risultati di misure di laboratorio di conduttività termica di 10 campioni

Il valore medio di lambda λ_{mean} è pari a:

$$\lambda_{mean} = \frac{\sum \lambda_i}{10} = 0.0298 \text{ [W/mK]}$$

Il valore di deviazione standard s delle misure è pari a:

$$s_\lambda = \sqrt{\frac{\sum (\lambda_i - \lambda_{mean})^2}{n-1}} = 0.000429$$

Il valore k relativo al numero di misure si ricava dalla tabella presente nel prospetto A.1. dell'appendice A della norma UNI EN 13163. Nel nostro caso è pari a $k = 2.07$.

Numero n di misurazioni	fattore k
10	2,07
11	2,01
12	1,97
13	1,93
[...]	1,90
50	1,56
500	1,36
2000	1,32

Tabella 4: fattore k in relazione al numero di misurazioni

Il calcolo del valore di lambda 90/90 è quindi realizzato secondo l'equazione statistica:

$\lambda_{90/90} = \lambda_{mean} + k \cdot s_\lambda$ ed è quindi pari a $\lambda_{90/90} = 0.0298 + 2.07 \cdot 0.000429 = 0.031$ tenuto conto che il valore deve essere arrotondato verso l'alto al più prossimo 0.001 [W/mK].

Il valore che il produttore ha determinato sulla base delle misure è effettivamente rappresentativo del 90% dei prodotti con una confidenza del 90% sul valore. Il produttore per poter determinare da questo valore il lambda dichiarato λ_D deve determinare il valore rispetto alle condizioni di stagionatura e di prova indicate nel capitolo 4; In questo caso, le modalità di stagionatura e la temperatura media di prova sono identiche a quelle previste dalla UNI EN 13163 quindi il valore di $\lambda_{90/90}$ coincide con il valore di λ_D (ovvero 0.031).

4. VARIAZIONE DEL LAMBDA per T e UR: UNI EN ISO 10456

Il valore di conduttività termica precedentemente determinato dipende dalla temperatura a cui lavora il materiale e all'umidità in esso presente. Ma le condizioni di progetto sono paragonabili alle condizioni di riferimento del λ_D ?

Si può affermare che i valori di conduttività termica dei materiali da costruzione impiegati per la valutazione della trasmittanza termica U sono generalmente validi per applicazioni standard invernali alla temperatura di riferimento di 10°C.

I materiali usati in edilizia infatti rispondono alle seguenti variazioni di conduzione termica:

- al crescere della temperatura il materiale conduce maggiormente il calore;
- al sostituirsi di umidità all'aria contenuta all'interno del materiale la conducibilità termica cresce poiché l'umidità (acqua in forma fluida o aeriforme) conduce maggiormente il calore rispetto all'aria.

Il grafico che segue mostra il comportamento in termini quantitativi per un EPS con un lambda dichiarato di 0.04: al crescere della temperatura nel materiale, il materiale diventa maggiormente conduttivo; al diminuire della temperatura il materiale è maggiormente isolante.

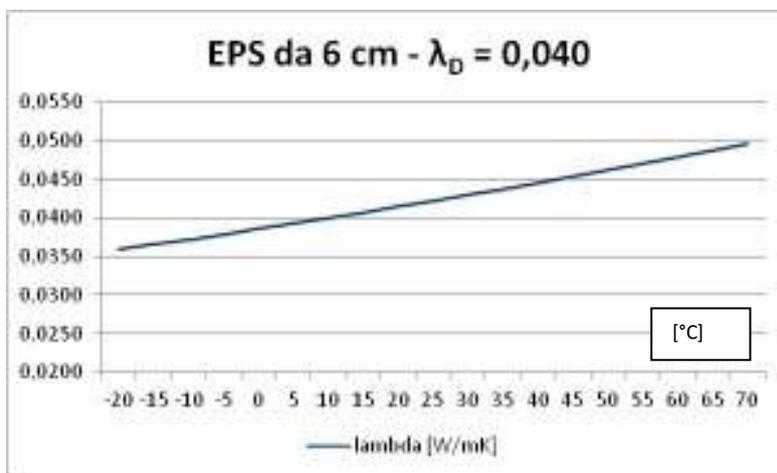


Grafico 1: conducibilità termica di un pannello in EPS al variare della temperatura media con un valore di lambda dichiarato $\lambda_D = 0,040$ W/mK

La norma UNI EN ISO 10456 descrive come effettuare le valutazioni di variazione del lambda in funzione delle condizioni di temperatura e umidità relativa; è infatti la norma di riferimento per i produttori e per i progettisti.

Poter effettuare queste considerazioni, per i materiali di cui si dispongono i dati caratterizzanti il comportamento, consente:

- per il fabbricante, di determinare il lambda dichiarato di un prodotto a partire dal valore di lambda 90/90 valutato in condizioni di prova differenti da quelle richieste per il lambda dichiarato;
- per il progettista, di determinare il lambda di progetto potendo variare le condizioni di impiego del materiale in termini di temperatura media e di umidità relativa.

La variazione del lambda è determinata attraverso equazioni esponenziali che riproducono il comportamento del materiale al variare delle condizioni di temperatura e umidità relativa.

Vengono forniti i procedimenti per convertire i valori ottenuti per un insieme di condizioni iniziali (condizione 1) ad una altra serie di condizioni (2) secondo le espressioni seguenti che sono applicabili per temperature ambiente di progetto comprese tra -30°C e +60°C e con una temperatura media di applicazione massima di 30°C. Il lambda modificato λ_2 è quindi valutato come:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_m$$

Dove F_T è il fattore di conversione per temperatura e F_m di umidità. Per poter valutare i fattori è necessario conoscere le condizioni iniziali (collegate al valore di lambda iniziale) e quelle finali, oltre che il tipo di materiale; ogni materiale infatti “reagisce” con un proprio comportamento. Seguono alcuni valori che mostrano come il comportamento alla temperatura varia a seconda dello spessore e della conducibilità termica:

materiale	Conducibilità [W/mK]	f_t (1/K)	f_ψ (m ³ /m ³)
Polistirene espanso EPS			
40<d<100	0,032	0,0030	4
	0,035	0,0033	
	0,040	0,0036	
	0,045	0,0038	
	0,050	0,0041	
d>100	0,032	0,0030	4
	0,035	0,0032	
	0,040	0,0034	
	0,053	0,0037	

Tabella 5: coefficienti di conversione di umidità e temperatura per EPS ricavati dalla tabella 4 dell'appendice A – UNI EN ISO 10456

Fattore di conversione per la temperatura F_T :

$$F_T = e^{f_t \cdot (T_2 - T_1)}$$

Per la determinazione del fattore di conversione per l'umidità F_m è possibile esprimere le condizioni con un dato di:

massa su massa [kg/kg]

$$F_m = e^{f_u \cdot (u_2 - u_1)}$$

o in volume su volume [m³/m³]

$$F_m = e^{f_\psi \cdot (\psi_2 - \psi_1)}$$

Nel paragrafo precedente si è descritto come il produttore determina il valore di lambda 90/90 che rappresenta il valore di lambda dichiarato poiché le condizioni di temperatura e umidità sono quelle di riferimento.

Nel caso le misure siano state effettuate in condizioni differenti da quelle di riferimento è possibile modificare il valore di lambda 90/90 ottenendo il valore del lambda dichiarato come mostrato nel prossimo esempio.

Esempio di calcolo del lambda dichiarato λ_D dal lambda 90/90 $\lambda_{90/90}$

Segue un esempio di calcolo del lambda dichiarato λ_D da parte di un fabbricante di EPS in accordo con le indicazioni presenti nella norma UNI EN ISO 10456:

Il fabbricante ha a disposizione 10 misure dirette di conduttività termica alle seguenti condizioni di prova:

- 25°C di temperatura media
- stagionatura ambientale a 23°C e al 50% di umidità relativa

Il valore medio di lambda λ_{mean} è pari a:

$$\lambda_{mean} = \frac{\sum \lambda_i}{10} = 0.0307 \text{ [W/mK]}$$

Il valore di deviazione standard s delle misure è pari a:

$$s_\lambda = \sqrt{\frac{\sum (\lambda_i - \lambda_{mean})^2}{n-1}} = 0.000432$$

Il valore k relativo al numero di misure si ricava dalla tabella presente nel prospetto A.1. dell'appendice A della norma UNI EN 13163. Nel nostro caso è pari a $a = 2.07$.

Il calcolo del valore di lambda 90/90 è quindi realizzato secondo l'equazione statistica:

$\lambda_{90/90} = \lambda_{mean} + k \cdot s_\lambda$ ed è quindi pari a $\lambda_{90/90} = 0.0307 + 2.07 \cdot 0.000432 = 0.032$ tenuto conto che il valore deve essere arrotondato verso l'alto al più prossimo 0.001 [W/mK].

Il produttore per poter determinare da questo valore il lambda dichiarato λ_D deve determinare il valore rispetto alle condizioni di stagionatura e di prova indicate precedentemente: la stagionatura è in accordo, la temperatura media di prova è di 25°C e quindi differente dal valore di riferimento a 10°C.

Il passaggio successivo è quindi ricondurre, attraverso il calcolo, il valore ottenuto a quello di prova di 10°C determinando il coefficiente correttivo di conversione per la temperatura F_T dell'equazione:

$$F_T = e^{f_T \cdot (T_2 - T_1)} = 0.982$$

dove:

f_T è pari a 0.0030 (1/K), ricavato dalle tabelle della norma UNI EN ISO 10456

$T_1 = 25 \text{ °C}$ e $T_2 = 10 \text{ °C}$

Il valore quindi di lambda 90/90 a 25°C di temperatura media è pari a 0.032 mentre il valore a 10 °C è migliore e pari a:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T = 0.0306 \text{ [W/mK]}$$

Il valore risultante è la conduttività termica dichiarata $\lambda_D = 0.031$ [W/mK].

5. LAMBDA DI PROGETTO

Il progettista termotecnico ai fini del rispetto delle regole di efficienza energetica (relazione ex-legge 10), della certificazione energetica e del dimensionamento degli impianti, affronta il calcolo della trasmittanza termica U in accordo con la norma UNI EN ISO 6946.

La norma al punto 5.1, descrivendo il calcolo di resistenza termica degli strati omogenei, indica che la resistenza termica di ogni strato omogeneo è pari a:

$$R_t = \frac{s}{\lambda} \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

Dove s è lo spessore in metri e λ è la conduttività termica di progetto del materiale, calcolata in conformità alla UNI EN ISO 10456 oppure ricavata da valori tabulati.

Come descritto nei capitoli precedenti, il valore di lambda che il fabbricante determina è il valore di conduttività termica dichiarata λ_D dal quale il progettista termotecnico deve quindi valutare la conduttività termica di progetto λ . La norma di riferimento nazionale per valutare il lambda di progetto è la UNI EN ISO 10456; l'altra possibilità è ricorrere a valori di conduttività termica di progetto tabulati. Per quanto riguarda questo aspetto a livello nazionale è in vigore la vecchia norma UNI 10351, del 1994, che presenta effettivamente dei valori tabulati di conduttività termica di progetto (che partono da valori dei produttori maggiorati per ottenere il valore di progetto). La norma è ormai datata e i valori che indica sono riferiti a differenti condizioni di misura in essere all'epoca precedente alla pubblicazione della norma, ovvero a 20°C di temperatura media, e a differenti condizioni di stagionatura.

L'aumento del numero e di tipologie di materiali isolanti, la vetustà dei dati indicati, la variazione delle condizioni di misura e infine l'avvento della marcatura CE, che ha reso la determinazione dei valori di lambda 90/90 e dei valori di lambda dichiarati molto raffinata, ha comportato che per la scelta del valore di lambda di progetto si operi nella maniera riassunta nell'immagine 3. L'utilizzo della norma UNI 10351/1994 è limitato a casi molto specifici quali: in fase di progettazione prima della scelta effettiva del prodotto o in fase di diagnosi di edifici esistenti laddove non fosse possibile reperire dati più certi.

La valutazione del lambda di progetto sopra descritta è possibile solo con le seguenti condizioni:

- il produttore commercializza il materiale determinando e indicando il valore di lambda dichiarato λ_D
- il prodotto è presente e descritto all'interno delle norme UNI EN ISO 10456 nel caso il progettista operi in condizioni di progetto diverse da quelle del lambda dichiarato (e peggiori in termini di resa del materiale).

Le condizioni sopra descritte sono in essere per quanto riguarda il materiale isolante polistirene espanso sinterizzato EPS che ha una norma di prodotto (UNI EN 13163), è sotto l'obbligo di marcatura CE (che comporta l'indicazione del lambda dichiarato e tutto il processo di conformità dei prodotti rispetto a quanto dichiarato) ed è un materiale compreso nella norma UNI EN ISO 10456.



Immagine 3: determinazione del lambda dichiarato da parte del fabbricante in blu e del lambda di progetto da parte del progettista in rosso

Per poter meglio comprendere la valutazione del lambda di progetto segue un esempio di valutazione.

Esempio di calcolo del lambda di progetto λ dal lambda dichiarato λ_D

Segue un esempio di calcolo del lambda di progetto λ dal dichiarato λ_D di un prodotto in EPS da parte di un progettista termotecnico in accordo con le indicazioni presenti nella norma UNI EN ISO 10456.

Il progettista ha a disposizione il valore di lambda dichiarato λ_D che rappresenta il prodotto invecchiato alle seguenti condizioni di prova:

- 10°C di temperatura media;
- stagionatura ambientale a 23°C e al 50% di umidità relativa (ovvero un ambiente con un'umidità assoluta pari a 8 g vapore acqueo/kg aria secca).

Il progettista sviluppa i calcoli per una parete isolata dall'esterno per un edificio sito ad Aosta. La temperatura media dell'aria esterna nel mese più sfavorevole, gennaio, è pari a $T_{ae} = -0.3$ °C. La concentrazione di vapore esterna media è pari a circa 3 g di vapore acqueo su 1 kg di aria secca (-0.3 °C e 80% di umidità relativa).

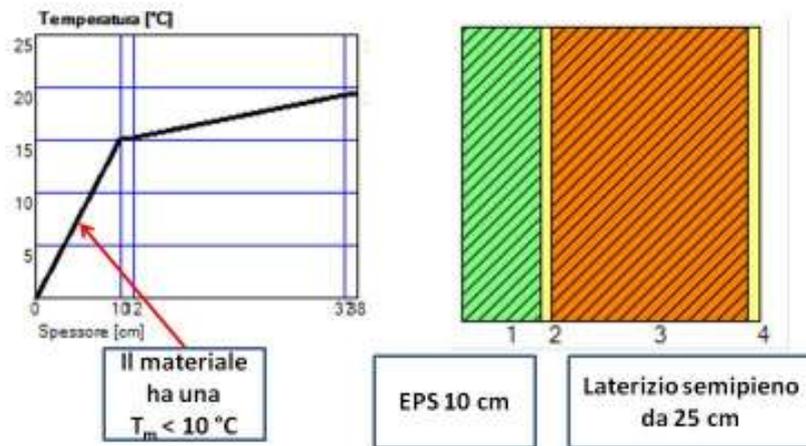


Immagine 4: determinazione del valore di temperatura media T_m nel mese più severo ad Aosta con temperatura esterna media mensile pari a $T_{oe} = -0.3 \text{ °C}$

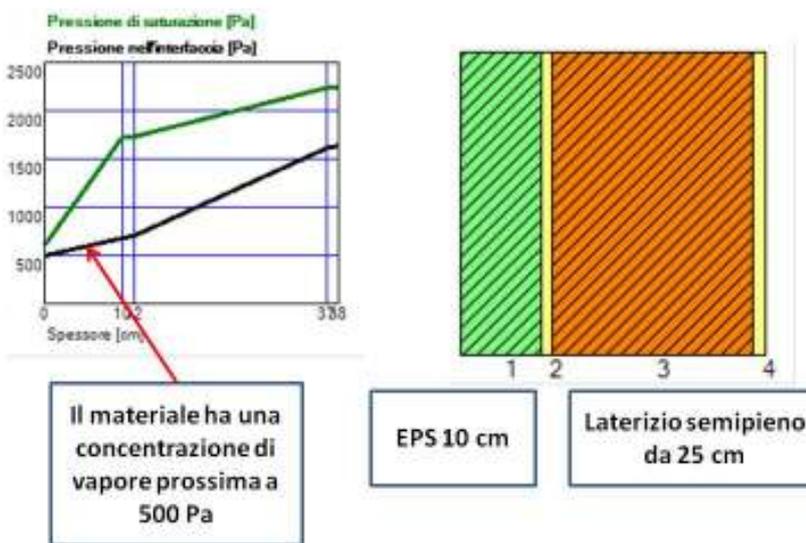


Immagine 5: determinazione del valore di concentrazione di vapore nel mese più freddo ad Aosta con umidità relativa all'esterno pari a $UR=80\%$

Il progettista sulla base delle condizioni di progetto può valutare che:

- la temperatura media in condizioni di progetto come evidenziato in immagine 4 è inferiore a quella di riferimento del λ_D dichiarato dal produttore $\lambda_D (10^\circ\text{C})$. Il materiale lavorerà quindi in condizioni "migliori" ovvero con una minore capacità di conduzione del calore;
- la concentrazione di vapore di progetto come evidenziato in immagine 5 è prossima a quella esterna e quindi con valori di presenza di umidità molto inferiori rispetto a quelli di stagionatura del materiale ($UR 50\%$). Il materiale lavorerà quindi in condizioni "migliori" poiché è più mediamente più asciutto.

Sulla base delle valutazioni di cui sopra, in accordo con la norma UNI EN ISO 10456 il progettista stabilisce che il valore di progetto può essere pari a quello dichiarato dal produttore e quindi il $\lambda_p = \lambda_D$ ovvero $\lambda = 0.031 \text{ [W/mK]}$. Nel caso in cui tali condizioni non siano rispettate, occorre modificare il λ come indicato nell'esempio di pagina 12

6. CHIARIMENTI UNI 10351

Come evidenziato in precedenza, il carattere delle norme richiamate è nazionale, europeo e internazionale (UNI EN ISO). L'uso della norma rappresenta la regola dell'arte ed è volontario, a meno che la norma non sia richiamata direttamente dal legislatore.

Per esempio, per il percorso di rispetto dei limiti di efficienza energetica, il DPR 59/09 (art. 3 comma 1) indica molto chiaramente che i calcoli di fabbisogno energetico primario devono essere realizzati in accordo con la norma UNI TS 11300-1 che richiama al suo interno per la parte di componenti opachi la norma UNI EN ISO 6946, la norma UNI 10351 e la marcatura CE.

Come indicato in precedenza la norma UNI 10351 indica al suo interno dei valori tabulati di lambda di progetto per i materiali isolanti omogenei come indicato nell'estratto dell'immagine 6.

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_b \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
— espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi	10	3,6 a 9	3,6 a 9	0,051	10	0,059
	15	2,5 a 8	2,5 a 8	0,043	10	0,047
	20	} 1,8 a 4,5	} 1,8 a 4,5	0,040	10	0,044
	25			0,039	10	0,042
	30			0,036	10	0,042

Immagine 6: estratto della tabella della norma UNI 10351

L'uso da parte del progettista termotecnico dei valori di lambda di progetto λ presenti nelle tabelle della norma per i materiali isolanti è sconsigliato per gli aspetti indicati in precedenza e in particolare per la vetustà dei valori presenti.

Si segnala che la norma è attualmente in revisione e che le attuali tabelle (valide per l'edilizia esistente) saranno integrate con prospetti contenenti i valori tabulati di lambda dichiarati λ_D derivati dall'attuale produzione e indicati dai produttori.

7. NORMATIVA ESTERA

Obblighi in Germania, la norma DIN 4108-4

La norma tedesca e di carattere non europeo DIN 4108-4 è parte del pacchetto normativo che è necessario in Germania per il rispetto dei valori di fabbisogno energetico primario degli edifici. La norma è una banca dati di caratteristiche igrotermiche di materiali da costruzione. Nella norma sono infatti presenti valori di lambda λ e valori di permeabilità al vapore μ acqueo per i materiali da costruzione.

In Germania per poter impiegare un valore di lambda di progetto è necessario seguire le indicazioni presenti nella norma tedesca DIN 4108-4. La norma permette, e in particolare nelle indicazioni della tabella 2 riguardanti i materiali isolanti, di impiegare due tipologie di lambda di progetto:

- una prima tipologia (tipologia 1) indica il valore del lambda di progetto λ_b che deriva dal valore di lambda dichiarato dal fabbricante λ_D (determinato sulla base dal valore di lambda $\lambda_{90/90}$) al quale viene applicata una maggiorazione forfettaria del 20%
- la seconda tipologia (tipologia 2) determina il valore del lambda di progetto λ_d derivandolo da un valore di lambda denominato "limite" λ_{grenz} al quale viene applicata una maggiorazione forfettaria del 5%

Segue un estratto della tabella 2 per il polistirene espanso sinterizzato:

riga	materiale	Tipologia 1		Tipologia 2	
		lambda dichiarato λ_D	lambda di progetto λ_b	lambda limite λ_{grenz}	lambda di progetto λ_d
5.1	EPS (DIN EN 13163)	0.030	0.036	0.0290	0.030
		0.031	0.037	0.0299	0.031
		0.032	0.038	0.0309	0.032
		0.033	0.040	0.0319	0.033
		0.034	0.041	0.0329	0.034

Tabella 6: estratto della tabella 2 della norma DIN4108-4

Come è evidente dalla tabella la scelta della tipologia 2 del lambda di progetto comporta un valore minore rispetto alla scelta tipologica 1. Questo risultato è coerente con le due ipotesi che sono contenute dietro alla scelta della tipologia 2:

- il valore limite di lambda è minore
- la maggiorazione è solo del 5%

Le due ipotesi sono valide, e quindi è valido l'uso nella progettazione di tali valori in Germania, se il fabbricante ha in essere dei processi di controllo relativi alla produzione più severi rispetto ai controlli relativi alla marcatura CE (per il lambda dichiarato) e se tali controlli sono sostenuti da enti e soggetti esterni alla produzione. Da qui il valore di maggiorazione molto contenuto e del solo 5%. Nel caso si usi il lambda di progetto della tipologia 2 si è in presenza quindi di produttori che hanno sull'etichetta della marcatura CE un marchio aggiuntivo caratterizzato dalla lettera maiuscola con dieresi \ddot{U} a garanzia di maggiore controllo esterno.

L'eventuale applicazione di normative estere (come la DIN 4108-4) non si configura come regola dell'arte nazionale poichè non recepite dal nostro ente normativo e non in accordo con le norme nazionali ed europee attualmente in vigore.