

L'EPS :  
I RAPPORTI TRA  
 $\lambda$  E  $\rho$

## INDICE

|   |        |
|---|--------|
| 1. Introduzione.....  | 3      |
| 2. Obiettivi.....   | 6      |
| 3. Riferimenti normativi.....   | 8      |
| 3.1. <b>UNI EN 13163</b> .....  | 8      |
| 3.2. Conduttività termica secondo UNI EN 13163.....   | 9      |
| 3.3. <b>UNI 10351</b> .....   | 12     |
| 4. Metodologia.....   | 13     |
| 4.1. Conduttività termica e densità.....  | 15     |
| 5. Elaborazione e analisi dati.....   | 20     |
| 6. Considerazioni.....  | 23     |
| 7. <b>UNI EN ISO 10456</b> .....  | 24     |
| 7.1. Premessa.....  | 24     |
| 7.2. Metodi e condizioni di prova.....  | 26     |
| 7.3. Determinazione dei valori dichiarati.....  | 27     |
| 7.4. Determinazione dei valori di progetto.....   | 29     |
| 7.5. Conversione dei dati disponibili.....  | 30     |
| 7.6. Coefficienti di conversione.....   | 32     |
| 7.7. Esempi di calcolo.....   | 34     |
| 7.8. Calcoli statistici.....  | 38     |
| 7.9. Materiali con conducibilità termica migliorata.....  | 40     |
| 8. Conclusioni.....   | 42     |
| 8.1. Prospetto 1, 2, 3 di <b>UNI EN 12524</b> .....   | 44     |
| <br>Appendice A: Valori raccolti dichiarati dal produttore.....                                     | <br>51 |
| Appendice B: Valori ordinati per densità.....   | 53     |
| Appendice C: Valori dichiarati dal produttore ordinati per tipo di EPS secondo<br>UNI EN 13163..... | <br>55 |

## 1. INTRODUZIONE

La caratteristica più importante dell'EPS (Polistirene espanso sinterizzato) è la sua bassa conduttività termica, che lo rende uno dei materiali più usati per l'isolamento termico nell'edilizia e nella tecnica frigorifera. Questa proprietà deriva direttamente dal fatto che l'EPS è costituito per il 96-99% di aria, chiusa in cellette di struttura e dimensioni tali da limitarne i moti convettivi, cosicché la trasmissione del calore può avvenire solo per conduzione (che è molto bassa nell'aria) e per irraggiamento (che si riduce all'aumentare della densità e dunque al moltiplicarsi degli schermi costituiti dalle pareti delle celle).

Poiché l'aria interna è in equilibrio con quella esterna, la caratteristica di conduttività termica non varia nel tempo, come avviene con altri espansi, che contengono nelle celle altri gas.

La conduttività termica dell'EPS dipende invece da altri fattori, di cui di seguito ne viene illustrato un breve accenno.

### I. CONDUTTIVITA' TERMICA $[\lambda]$

La capacità isolante di un materiale viene misurata dal coefficiente di conducibilità termica (indicata solitamente con  $\lambda$ ) e risulta quindi una delle proprietà fisiche di maggior importanza per la caratterizzazione dei materiali da costruzione nel settore dell'isolamento termico.

Definisce l'attitudine di un materiale, omogeneo e isotropo, a trasmettere il calore per conduzione e la definizione di materiale isolante si basa infatti sulle caratteristiche di quest'ultimo a diminuire il passaggio di calore fra due ambienti a differente temperatura.

Nello specifico la conduttività termica di un materiale misura la quantità di calore che attraversa in 1 secondo 1 metro quadrato di materiale spesso 1 metro, in presenza di una differenza di temperatura di 1K tra l'esterno e l'interno. Per tal motivo è definita come il rapporto tra il flusso di calore ed il gradiente di temperatura:

$$\lambda = \frac{|\phi_q|}{|\text{grad}T|} \quad \text{espressa in} \quad \left[ \frac{W}{mK} \right] \quad (1)$$

Mentre la conducibilità termica è una caratteristica del materiale, e quindi funzione della massa volumica, la resistenza termica (che viene espressa il  $[m^2 KW^{-1}]$ ) dipende dalla geometria del manufatto e in particolare per le lastre piane è legata allo spessore  $d$  mediante la relazione:  $R = d / \lambda$

## II. MASSA VOLUMICA $[\rho]$

La conduttività aumenta in modo significativo al diminuire della massa volumica, indicata anche con il termine di densità, al di sotto di  $30 \text{ Kg}/m^3$ . L'aumentata dimensione delle celle e quindi il minor numero di schermi che il flusso termico deve attraversare fanno aumentare la trasparenza nell'infrarosso e quindi la quantità di calore che passa per irraggiamento. Oltre i  $50 \text{ Kg}/m^3$  la conduttività aumenta lentamente per il maggior contributo della conduzione nella parte solida del materiale.

Il valore minimo di  $\lambda$  si trova tra  $30$  e  $50 \text{ Kg}/m^3$ , cioè al limite superiore della massa volumica dei prodotti commerciali; mentre il limite inferiore di questa non dovrebbe scendere al di sotto dei  $15 \text{ Kg}/m^3$  per non peggiorare troppo questa caratteristica.

## III. TEMPERATURA $[T]$

La conduttività aumenta con la temperatura, seguendo l'andamento della conduttività dell'aria contenuta. L'andamento è regolare e praticamente lineare per l'EPS di più di  $15 \text{ Kg}/m^3$ . Non si evidenziano inoltre le singolarità alle basse temperature mostrate da altri espansi, dovute al cambiamento di fase del gas contenuto nelle celle. Si evidenzia invece in linea generale un bassissimo valore di  $\lambda$  alle temperature più basse, che permette interessanti applicazioni.

## IV. UMIDITA'

L'influenza del contenuto di umidità sulla conduttività dell'EPS è trascurabile nel campo delle umidità pratiche delle applicazioni edilizie corrette ( $>0,15\%$  in volume), per effetto del basso assorbimento d'acqua e della resistenza alla diffusione del vapore.

## V. SPESSORE [ $d$ ]

A causa del diverso contributo che, al variare della massa volumica e dello spessore, danno al trasporto di calore la conduzione (lineare) e l'irraggiamento (non lineare), la conduttività termica misurata su lastre dello stesso materiale, ma di diverso spessore, da risultati diversi. In linea generale si può affermare che l'effetto è sensibile per l'EPS da  $15 \text{ Kg}/m^3$  e ancora rilevabile sull'EPS da  $20 \text{ Kg}/m^3$ , mentre per masse volumiche superiori non è più avvertibile. L'effetto è poi importante sugli spessori più bassi, ma la misura è praticamente costante sopra i 100 mm.

## **2. OBIETTIVI**

Nel presente studio si focalizza l'attenzione sulla conducibilità termica dell'EPS e sulla relativa densità del materiale considerato, da cui essa non può prescindere.

All'interno del panorama normativo italiano, nello specifico dell'isolamento termico in campo edilizio si riscontrano diverse norme tecniche a cui riferirsi.

In particolare, nel lavoro qui esposto sono stati presi in analisi i seguenti riferimenti normativi specifici, i quali verranno meglio approfonditi successivamente:

- **UNI EN 13163:** Isolanti termici per edilizia. Prodotti di polistirene espanso (EPS) ottenuti in fabbrica.
- **UNI 10351:** Materiali da costruzione. Conducibilità termica e permeabilità al vapore.

La UNI 10351 fa parte di un gruppo di norme tecniche atte a valutare il fabbisogno energetico per il riscaldamento di edifici e quindi rientra nel calcolo della prestazione termica di essi, calcolo che non può prescindere da una corretta conoscenza dei valori di conducibilità dei materiali costituenti la struttura. E' infatti pubblicata a supporto della UNI 10344 "Riscaldamento degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia", attualmente non più in vigore e sostituita dalla UNI EN 832.

Un'ulteriore campo d'applicazione piuttosto recente tra l'altro, riguarda l'ambito della certificazione dell'efficienza energetica degli edifici, introdotta e divenuta obbligatoria con l'entrata in vigore del Decreto Legislativo n° 311 "Disposizioni correttive e integrative al decreto Legislativo 19 agosto 2005 n° 192, recante attuazione della direttiva europea 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia" del 29 dicembre 2006, pubblicato il primo febbraio 2007 nella G.U. (Suppl. Ordinario n°26).

La UNI 10351 infatti è inserita tra i riferimenti normativi riportati nel suddetto Dlgs e in quanto tale viene utilizzata a supporto per redigere la certificazione energetica degli edifici.

Analogamente la norma UNI EN 13163 nel considerare tutte le specificazioni riguardanti i prodotti in EPS per questo specifico impiego (caratteristiche meccaniche, fisiche, ecc...)

valuta il comportamento termico. Fornisce in merito una procedura per l'individuazione della conducibilità del materiale considerato da dichiarare nella marcatura CE, unico valore visibile al progettista o più in generale all'utente finale.

Più nel dettaglio i valori contemplati sono:

|             |              |  |
|-------------|--------------|--|
| $\lambda_D$ | UNI EN 13163 | <u>Conduttività termica dichiarata</u> : valore riferito ad un calcolo statistico su tutti i lotti di produzione, riportato sulla Marcatura CE del prodotto. E' considerato il valore atteso nel corso di una vita di esercizio in condizioni normali. |
| $\lambda_t$ | UNI 10351    | <u>Conduttività termica tabulata</u> : valori di riferimento presi in considerazione dalla norma suddetta in relazione alla densità del materiale considerato.   |
| $\lambda_u$ | UNI 10351    | <u>Conduttività termica di progetto</u> : ricavata applicando l'opportuna maggiorazione prevista dalla norma UNI 10351. E' il valore utile da utilizzare per il calcolo tecnico della prestazione termica di un edificio.                              |

**Prospetto 1-Definizione dei valori di conduttività termica considerati nei riferimenti normativi citati**

### **3. RIFERIMENTI NORMATIVI**

#### **3.1 NORMA UNI EN 13163**

La norma specifica i requisiti per i prodotti di polistirene espanso ottenuti in fabbrica, con o senza rivestimenti e che sono utilizzati per l'isolamento termico degli edifici.

Il nuovo sistema di specificazione per il polistirene espanso EPS secondo l'attuale norma europea non è più a "classi chiuse" (come secondo la UNI 7819 + F.A.1) ma bensì a "classi aperte". Le caratteristiche vengono dichiarate sotto forma di "codici di designazione" che riportano a specifici livelli (limiti superiori o inferiori di una proprietà) o classi (combinazioni di due livelli in cui il valore di una proprietà può rientrare).

Nello specifico i prodotti EPS sono divisi in tipi, di cui EPS S può essere utilizzato solo per applicazioni destinate a non supportare carico e EPS T possiede specifiche proprietà di isolamento acustico.

La classificazione viene effettuata in base allo sforzo di compressione al 10% di deformazione ed alla resistenza a flessione, prevedendo 16 classi. Ciascun tipo dunque, eccetto EPS S, deve soddisfare due condizioni differenti allo stesso tempo allo scopo di garantire una prestazione adeguata del prodotto.

**Tabella 1: Classificazione dei prodotti in EPS secondo UNI EN 13163**

| <b>Tipo</b> | <b>Resistenza a compressione al 10% di deformazione [KPa]</b> | <b>Resistenza a flessione [KPa]</b> |
|-------------|---|-------------------------------------|
| EPS S       | -   | 50                                  |
| EPS 30      | 30  | 50                                  |
| EPS 50      | 50  | 75                                  |
| EPS 60      | 60  | 100                                 |
| EPS 70      | 70  | 115                                 |
| EPS 80      | 80  | 125                                 |
| EPS 90      | 90  | 135                                 |
| EPS 100     | 100   | 150                                 |
| EPS 120     | 120   | 170                                 |
| EPS 150     | 150   | 200                                 |
| EPS 200     | 200   | 250                                 |
| EPS 250     | 250   | 350                                 |
| EPS 300     | 300   | 450                                 |
| EPS 350     | 350   | 525                                 |
| EPS 400     | 400   | 600                                 |
| EPS 500     | 500   | 750                                 |



Come si può notare l'attuale designazione dell' EPS in lastre non specifica la massa volumica, come invece prevedeva la norma UNI 7819, ora non più in vigore. Quest'ultima infatti suddivideva i prodotti in EPS in 5 classi in base alla densità appunto e ne determinava di conseguenza le caratteristiche fisico-meccaniche imponendo valori limiti.

### 3.2 CONDUETTIVITA' TERMICA SECONDO UNI EN 13163

Come citato in precedenza, la conduttività termica è una proprietà fortemente influenzata dalla densità del materiale e fondamentale per un prodotto come lastre di polistirene espanso (EPS) destinati in impieghi in edilizia per isolamento termico.

Secondo la normativa europea 13163 la conduttività e la resistenza termica rientrano infatti tra i requisiti caratteristici da determinare per tutte le applicazioni. La sua misura deve esser condotta secondo il EN 12667 o, per prodotti ad elevato spessore, ( $d > 100$  mm), il EN 12939 che richiamano la norma ISO 8301 come metodo di analisi.

Suddetto valore di conduttività deve esser dichiarato dal fabbricante alla temperatura di riferimento di  $10^{\circ}\text{C}$  (283 K) e deve essere misurato nelle seguenti condizioni:

- temperatura media di  $(10 \pm 0,3)^{\circ}\text{C}$ ,
- dopo condizionamento in atmosfera a  $23^{\circ}\text{C}$  e 50% U.R.

Per le prove iniziali di tipo sul prodotto (ITT), il produttore deve avere almeno 10 misurazioni dirette della conduttività termica o della resistenza termica e per l'ottenimento del valore dichiarato può utilizzare anche dati registrati. Le misurazioni devono essere condotte a intervalli regolari distribuiti in almeno 12 mesi; se sono disponibili meno di 10 misurazioni il periodo può essere esteso per un massimo di 3 anni purché prodotto e processo di ottenimento non siano significativamente variati. Per nuovi prodotti le determinazioni devono essere effettuate in modo uniformemente distribuito in un periodo non minore di 10 giorni.

Secondo la suddetta norma i valori dichiarati di conduttività termica,  $\lambda_{90/90}$ , devono essere derivati dai valori calcolati,  $\lambda$ , che sono determinati utilizzati secondo le seguenti formule:

$$\lambda_{90/90} = \lambda_{mean} + k \cdot s_{\lambda} \quad (2)$$

$$s_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda_{mean})^2}{n-1}} \quad (3)$$

dove:

$\lambda_{90/90}$  = conduttività termica 90/90 dichiarata (90% frattile con livello di confidenza 90%),

$\lambda_{mean}$  = conduttività termica media dei valori misurati,

k = fattore funzionale del numero di misurazioni disponibili,

$s_{\lambda}$  = deviazione standard o scarto quadratico medio delle n misurazioni disponibili.

Per l'espressione dei risultati i valori della conduttività termica dichiarata  $\lambda_D$  devono essere arrotondati per eccesso al più vicino mW/mK e dichiarati in intervalli di 1 mW/mK.

La conduttività termica dichiarata dipende dunque da due fattori:

- la deviazione standard delle misurazioni,
- il numero di misurazioni.

Sempre secondo la norma i valori di k, per un intervallo di tolleranza unilaterale del 90% con un livello di confidenza del 90%, risultano i seguenti:

| Numero n di misurazioni | Fattore K |
|-------------------------|-----------|
| 10                      | 2,07      |
| 11                      | 2,01      |
| 12                      | 1,97      |
| 13                      | 1,93      |
| 14                      | 1,90      |
| 15                      | 1,87      |
| 16                      | 1,84      |
| 17                      | 1,82      |
| 18                      | 1,80      |
| 19                      | 1,78      |
| 20                      | 1,77      |
| 50                      | 1,56      |
| 100                     | 1,47      |
| 500                     | 1,36      |
| 2000                    | 1,32      |

**Tabella 2-Fattore K secondo UNI EN 13163**

Analizzando la relazione (2) si osserva che al fine di poter dichiarare una conduttività minore i fattori su cui è possibile intervenire risultano:

- s: indice statistico di dispersione che misura la variabilità e quindi l'ampiezza della distribuzione dei dati. Una bassa deviazione standard delle misurazioni è indice di una produzione con caratteristiche costanti nel tempo che si può ottenere mediante un opportuno "controllo di produzione di fabbrica" (F.P.C., vedere EN 13172).
- K: siccome il suddetto fattore diminuisce all'aumentare delle misurazioni disponibili, come si attesta nella tabella sopra riportata, per poter dichiarare una "bassa" conduttività (che comporta un miglioramento della capacità di isolamento termico del materiale) bisognerebbe disporre del maggior numero possibile di misurazioni dirette.

### 3.3 NORMA UNI 10351

La norma UNI 10351 “Materiali da costruzione: conduttività termica e permeabilità al vapore”, si occupa di definire i parametri termodinamici per una serie di materiali da costruzione e per altri elementi come l’aria e l’acqua che possono essere di interesse nella progettazione termoigrometrica.

La norma inoltre prescrive che nei calcoli tecnici del fabbisogno termico per il riscaldamento degli edifici si debbano impiegare non i valori di riferimento di  $\lambda$ , sopra definiti, bensì dei valori maggiorati, detti valori utili di calcolo, per tener conto delle effettive condizioni di esercizio, dell’umidità di equilibrio in opera, dell’invecchiamento, delle tolleranze di spessore e della qualità della posa in opera.

Poiché la conduttività è fortemente influenzata dalla densità del materiale, la norma riporta i valori di  $\lambda$  di diversi materiali da costruzione a varie densità.

Ricorrendo a coefficienti peggiorativi, il valore utile di conduttività riportato nella norma è maggiore dal 5% al 50% del valore medio misurato per quel materiale: ciò comporta quindi l’utilizzo di valori largamente cautelativi per il calcolo progettuale (per es. per il calcolo del coefficiente di trasmissione termica [U] )

Per l’EPS sinterizzato la maggiorazione  $m$  prevista è del 10 % e applicandola si ottiene la conduttività di progetto  $\lambda_{utile}$  .

Di seguito, a titolo esplicativo, si riporta un estratto del prospetto considerando solo il materiale da costruzione d’interesse per la suddetta analisi:

| Materiale  | $\rho$               | $\lambda_t$ | $m$ | $\lambda_{utile}$ |
|--|----------------------|-------------|-----|-------------------|
|  | [Kg/m <sup>3</sup> ] | [W/mk]      | %   | [W/mk]            |
| EPS in lastre ricacate da blocchi<br>(conforme a UNI 7819, le masse volumiche sono quelle nominali indicate nella norma) | 15                   | 0,041       | 10% | 0,045             |
|  | 20                   | 0,037       | 10% | 0,041             |
|  | 25                   | 0,036       | 10% | 0,04              |
|  | 30                   | 0,036       | 10% | 0,04              |

Tabella 3-Prospetto estratto da UNI 10351 per EPS

#### 4. METODOLOGIA

La base iniziale del presente lavoro consiste nel reperimento di valori-caratteristiche tecniche di prodotti in EPS esistenti sul mercato destinati a questo specifico impiego.

Per tal motivo sono state contattate diverse aziende associate AIPE che, mediante la loro preziosa collaborazione, hanno fornito alcune delle caratteristiche tecniche dichiarate per alcuni dei loro prodotti per l'isolamento termico in EPS, realizzati in conformità con l'attuale normativa vigente.

Nel dettaglio si è pervenuti al tipo di EPS e ai relativi valori di conduttività termica  $[\lambda_D]$  e, in alcuni casi è stata pure rintracciata:

- la massa volumica apparente corrispondente  $[\rho_a]$  ( o più semplicemente densità  $[\rho_{prod}]$  ),
- la resistenza alla diffusione del vapore  $[\mu]$ , l'assorbimento d'acqua per immersione a lungo periodo,
- l'assorbimento d'acqua per immersione totale a lungo periodo;
- la permeabilità al vapor d'acqua  $[\delta]$ .

Nel prospetto seguente si forniscono alcune indicazioni principali, in modo particolare la norma di riferimento in accordo alla quale la caratteristica viene determinata.

| Caratteristica                                | Simbolo | Unità di misura  | Norma di riferimento | Note  |
|---|---------|------------------|----------------------|---|
| Densità                                       | $\rho$  | $\frac{Kg}{m^3}$ |                      | IL valore indicato è quello dichiarato dall'azienda produttrice per cui non si è in grado di fornire nessuna informazione in merito. Per completezza si nomina la EN 1602 per la determinazione della massa volumica apparente, come citato dalla UNI EN 13163. |
| Fattore di resistenza di diffusione al vapore | $\mu$   | Adimens.         | EN 12086             | Parametro che definisce il comportamento igrotermico e determinato come rapporto fra lo spessore d'aria che offre la stessa resistenza al passaggio del vapore e lo spessore di materiale in questione.   |

|  |          |                                 |          |  |
|--|----------|---------------------------------|----------|--|
| <b>Assorbimento d'acqua a lungo periodo per immersione</b> |          | % Vol.                          | EN 12087 | Rappresenta, più che un comportamento in una situazione che non si verifica in pratica, un indice della buona saldatura tra le perle espanse.  |
| <b>Permeabilità al vapor acqueo</b>                        | $\delta$ | $\frac{mg}{Pa \cdot h \cdot m}$ | EN 12086 | Misura la q.tà di vapore trasmessa per unità di tempo riferita a 1m. di spessore attraverso un'area unitaria quando la differenza di pressione tra le due facce è di 1Pa. Si ricava dal fattore di resistenza alla diffusione del vapore e caratterizza il materiale dal punto di vista igrometrico. |

**Prospetto 2-Descrizione caratteristiche reperite da aziende produttrici**

L'elenco completo di tutte le informazioni reperite è riportato nell'**Appendice A**, in cui, per motivi di privacy, sono state volutamente emesse le aziende produttrici, e sostituite con denominazioni generiche di "Azienda A", "Azienda B", ecc... rendendo così impossibile risalire al prodotto specifico realizzato e alle sue distinte tecniche.

Poiché la conduttività termica è fortemente influenzata dalla densità del materiale ed entrambi i parametri sono necessari al fine della trattazione in esame, ci si è avvalsi del metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN 13163, in quanto fornisce una relazione di dipendenza tra le succitate grandezze.

#### 4.1 CONDUTTIVITA' TERMICA E DENSITA'

L'appendice B.2.3 della norma UNI EN 13163 riporta una relazione tra la conduttività termica media  $\lambda_{mean}$  e la massa volumica apparente, ritenuta valida per prodotti la cui densità cade all'interno del seguente range:

$$8Kg/m^3 \leq \rho_a \leq 55Kg/m^3$$

La regressione proposta risulta:

$$\lambda_{mean} = 0,025314 \frac{W}{mK} + 5,1743 \cdot 10^{-5} \frac{Wm^2}{KgK} \cdot \rho_a + \frac{0,173606 \frac{WKg}{m^4K}}{\rho_a} \quad (4)$$

Sulla base di questa sono state calcolate le densità di tutti quei prodotti di cui non ci è stata fornita dall'azienda produttrice.

Per raggiungere l'obiettivo, considerando la (2) e la (4) si presupporrebbe la conoscenza del valore  $\lambda_{mean}$ , valore sconosciuto in quanto è il risultato di misurazioni dirette specifiche.

Da prove sperimentali il valore dello scarto quadratico medio  $s$  risulta essere 0,00005, ovvero con un ordine di grandezza di  $10^{-5}$ , mentre il numero di misurazioni effettuate nella maggior parte dei casi, se non nella totalità dei casi riscontrati, è il minore possibile, ovvero  $n^\circ = 10$  a cui corrisponde un fattore  $K = 2,07$ .

Sostituendo gli opportuni valori nella (2) si evidenzia come il valore  $\lambda_D$  coincida pressoché con  $\lambda_{mean}$ . Alla base di queste considerazioni il valore di densità viene quindi calcolato partendo da  $\lambda_D$  e non da  $\lambda_{mean}$  come invece la relazione (4) specifica, poiché si è assunto  $\lambda_D = \lambda_{mean}$

Per indagare con maggior attenzione e scrupolosità l'influenza del dato sperimentale  $s$  sono state fatte diverse ipotesi variandone l'ordine di grandezza in modo da stabilirne l'incidenza.

A titolo esemplificativo si illustra la tabella seguente in modo da attestare quanto esposto.

|                 | <b>n°prove</b> | <b>K</b> | <b>s</b> |
|-----------------|----------------|----------|----------|
| <b>1° prova</b> | 10             | 2,07     | 0,00005  |
| <b>2° prova</b> | 10             | 2,07     | 0,0005   |

| N° | AZIENDA   | TIPO EPS  | Densità dichiarata   | Conduttività termica dichiarata | 1° Prova                    |                  | 2° Prova                     |                  |
|----|-----------|-----------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------------------|------------------|
|    |           |           |                      |                                 | $\lambda_{mean}$ non approx | $\lambda_{mean}$ | $\lambda_{mean}$ non approx. | $\lambda_{mean}$ |
|    |           |           |                      |                                 | [W/mk]                      | [W/mk]           | [W/mk]                       | [W/mk]           |
|    |           | UNI 13163 | [Kg/m <sup>3</sup> ] | [W/mk]                          | [W/mk]                      | [W/mk]           | [W/mk]                       | [W/mk]           |
| 1  | AZIENDA N | EPS 100   | 20                   | 0,035                           | 0,0348965                   | 0,035            | 0,033965                     | 0,034            |
| 2  |           | EPS 150   | 25                   | 0,033                           | 0,0328965                   | 0,033            | 0,031965                     | 0,032            |
| 3  |           | EPS 200   | 30                   | 0,033                           | 0,0328965                   | 0,033            | 0,031965                     | 0,032            |
| 4  |           | EPS 250   | 35                   | 0,032                           | 0,0318965                   | 0,032            | 0,030965                     | 0,031            |
| 5  | AZIENDA I | EPS 80 E  | 15                   | 0,038                           | 0,0378965                   | 0,038            | 0,036965                     | 0,037            |
| 6  |           | EPS 100 E | 18                   | 0,035                           | 0,0348965                   | 0,035            | 0,033965                     | 0,034            |
| 7  |           | EPS 120 E | 20                   | 0,034                           | 0,0338965                   | 0,034            | 0,032965                     | 0,033            |
| 8  |           | EPS 150 E | 25                   | 0,034                           | 0,0338965                   | 0,034            | 0,032965                     | 0,033            |
| 9  |           | EPS 200 E | 30                   | 0,033                           | 0,0328965                   | 0,033            | 0,031965                     | 0,032            |
| 10 |           | EPS 250 E | 35                   | 0,033                           | 0,0328965                   | 0,033            | 0,031965                     | 0,032            |

Tabella 4-Influenza dei fattori “K” ed “s”

Da quanto dimostrato, l'assunzione  $\lambda_D = \lambda_{mean}$  risulta accettabile solo e unicamente nel caso in cui la deviazione standard della distribuzione statistica dei valori risulta 0,00005, ovvero con un ordine di grandezza di  $10^{-5}$ . In parte questo è dovuto all'approssimazione con la quale la conduttività termica deve essere dichiarata (0,001 W/mK) che non permette di apprezzarne la differenza, e nel caso specifico una diminuzione, seppur minima (che comporterebbe sopravvalutare la capacità isolante del materiale considerato seppur in modo pressoché trascurabile).

La colonna “2°prova” della suddetta tabella attesta infatti che nel qual caso tale parametro sia diverso, per esempio un ordine di grandezza maggiore ( $\approx 10^{-4}$ ), non risulterebbe corretta l'assunzione fatta in quanto confrontando i valori di  $\lambda_{mean}$  così ottenuti, questi risultano minori ( $\lambda_{mean} < \lambda_D$ ). In tal caso si incorrerebbe nell'errore di una sovrastima delle capacità isolanti del materiale.

Sulla base della regressione sopra riportata è possibile determinare il valore di conduttività termica in funzione del valore di densità corrispondente di un determinato prodotto in EPS.

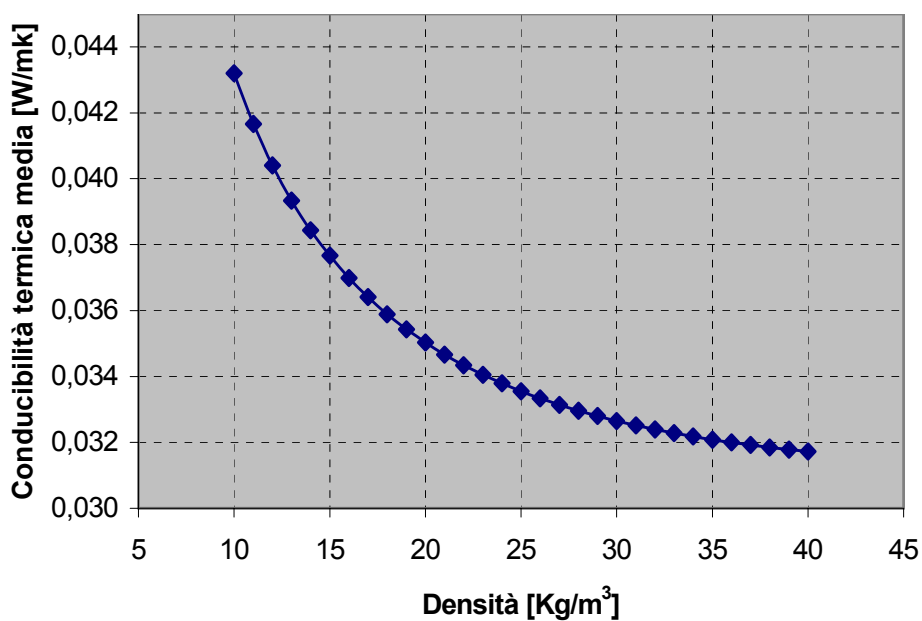
Di seguito si illustrano i risultati in tabella a cui segue una visualizzazione grafica degli stessi per meglio evidenziarli, considerando solo l'intervallo di densità interessato.

Nel rispetto della considerazione esposta precedentemente, tutti i valori di conduttività derivanti da una procedura di calcolo e quindi anche questi in questione, sono stati arrotondati per eccesso al più vicino mW/mK e dichiarati in intervalli di 1 mW/mK.



| Densità              | $\lambda_{mean}$ |
|----------------------|------------------|
| [Kg/m <sup>3</sup> ] | [W/mk]           |
| 10                   | 0,044            |
| 11                   | 0,042            |
| 12                   | 0,04             |
| 13                   | 0,04             |
| 14                   | 0,039            |
| 15                   | 0,038            |
| 16                   | 0,037            |
| 17                   | 0,037            |
| 18                   | 0,036            |
| 19                   | 0,036            |
| 20                   | 0,035            |
| 21                   | 0,035            |
| 22                   | 0,035            |
| 23                   | 0,034            |
| 24                   | 0,034            |
| 25                   | 0,034            |
| 26                   | 0,034            |
| 27                   | 0,034            |
| 28                   | 0,033            |
| 29                   | 0,033            |
| 30                   | 0,033            |
| 31                   | 0,033            |
| 32                   | 0,033            |
| 33                   | 0,033            |
| 34                   | 0,033            |
| 35                   | 0,032            |

**Tabella 5-Densità vs conduttività termica media secondo UNI EN 13163**



**Grafico 1-Densità vs conduttività termica media secondo UNI EN 13163**

Sulla base di quanto esposto è possibile effettuare un confronto puramente indicativo tra i valori  $\lambda$  e  $\rho$  calcolati con la succitata regressione e quelli dichiarati dalle aziende, considerando esclusivamente i valori per cui vengono forniti entrambi i parametri di conduttività termica e di densità corrispondente.

Inoltre per completezza e per rendere più rappresentativa la distribuzione di valori dichiarati dalle aziende si indica per ciascuna coppia di valori  $(\lambda, \rho)$  riscontrata, il numero di quante volte essa è presente. Nel caso in cui il dato non presenti alcuna specificazione numerica si sottintende che esso compaia una sola volta.

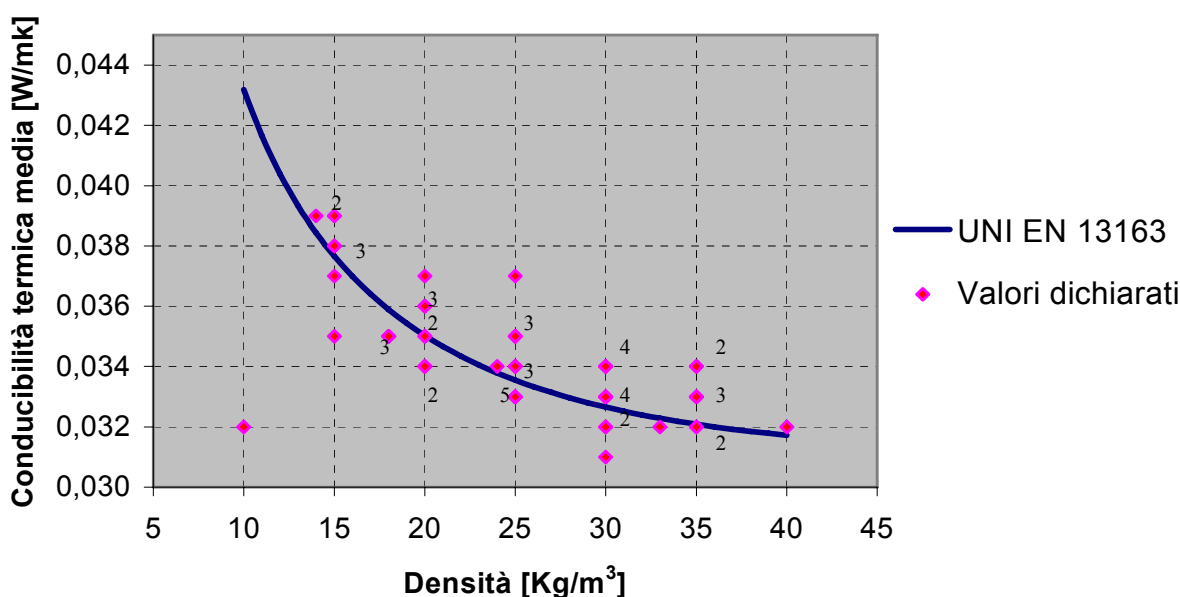


Grafico 2-Confronto valori dichiarati con regressione norma UNI EN 13163

Nell'appendice B si riportano i valori raccolti ordinati per densità.

Nello specifico i valori tabulati riguardano i dati di:

- densità  $[\rho_{prod}]$ : valore dichiarato dal produttore;
- densità con regress. di norma  $[\rho_r]$ : densità calcolata con la regressione secondo appendice B.2.3 della norma UNI EN 13163, anche i prodotti il cui valore di densità è comunque specificato dal produttore;
- densità  $[\rho]$ : valori di densità utilizzati per l'elaborazione del presente studio che considera il valore dichiarato dal produttore e, in assenza di esso, il valore calcolato con il metodo proposto.

Per poter effettuare un confronto tra i valori calcolati in Tab.5 con quelli corrispondenti indicati nel prospetto della norma UNI 10351 si raggruppano nel modo seguente:

| Densità              | $\lambda_{mean}$ |
|----------------------|------------------|
| [Kg/m <sup>3</sup> ] | [W/mk]           |
| 15                   | 0,038            |
| 20                   | 0,035            |
| 25                   | 0,034            |
| 30                   | 0,033            |
| 35                   | 0,032            |

Tabella 6-Estratto da Tab. 7

Si potrebbe quindi pensare di utilizzare questa relazione per specificare i valori di riferimento  $\lambda_t$  da riportare nella UNI 10351.

La tabella seguente e il grafico successivo operano un confronto diretto tra i dati succitati:

| $\rho$               | UNI 10351   |     |                   | UNI 13163        |
|----------------------|-------------|-----|-------------------|------------------|
|                      | $\lambda_t$ | m   | $\lambda_{utile}$ | $\lambda_{mean}$ |
| [Kg/m <sup>3</sup> ] | [W/mk]      | %   | [W/mk]            | [W/mk]           |
| 15                   | 0,041       | 10% | 0,045             | 0,038            |
| 20                   | 0,037       | 10% | 0,041             | 0,035            |
| 25                   | 0,036       | 10% | 0,04              | 0,034            |
| 30                   | 0,036       | 10% | 0,04              | 0,033            |

Tabella 7-  $\rho$  vs  $\lambda$  : UNI 10351 e UNI EN 13163 a confronto

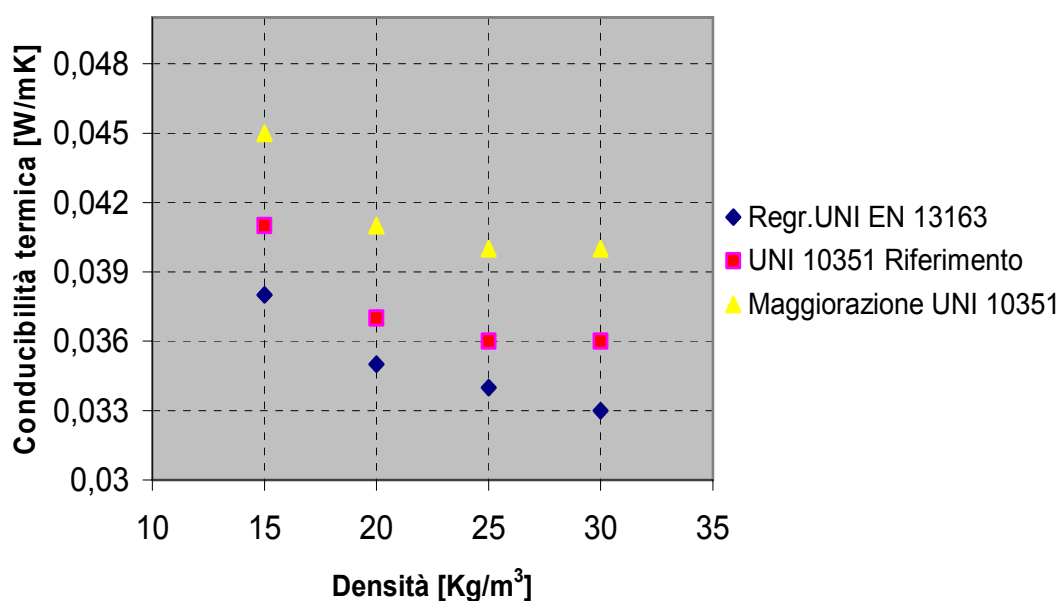


Grafico 3-Confronto valori conduttività termica

## 5. ELABORAZIONE E ANALISI DATI

Una prima elaborazione dei dati prevede una classificazione per tipo di EPS secondo UNI EN 13163 indicando per ciascuno di essi, l'intervallo dei valori riscontrati, sia di densità che di conduttività termica.

Per agevolare la classificazione si fa riferimento all'appendice C, in cui si riportano i valori dichiarati raccolti ordinati e raggruppati per tipo di EPS.

Si precisa nuovamente che i valori considerati nella trattazione fanno riferimento ai valori dichiarati dal produttore che hanno collaborato e, in mancanza di essi, a quelli calcolati mediante la procedura normata. (anche se vi sono in alcuni casi notevole discrepanza).

| TIPO      | RANGE DI VALORI |                      |
|-----------|-----------------|----------------------|
|           | $\lambda_D$     | $\rho$               |
| UNI 13163 | [W/mk]          | [Kg/m <sup>3</sup> ] |
| EPS S     | 0,042           | 11                   |
| EPS 30    | 0,032-0,044     | 10--13               |
| EPS 50    | 0,035-0,039     | 15                   |
| EPS 70    | 0,036-0,040     | 13-18                |
| EPS 80    | 0,037-0,039     | 15-16                |
| EPS 100   | 0,033-0,037     | 18-28                |
| EPS 120   | 0,034-0,036     | 18-25                |
| EPS 150   | 0,033-0,037     | 20-28                |
| EPS 200   | 0,031-0,035     | 20-36                |
| EPS 250   | 0,032-0,034     | 28-36                |
| EPS 300   | 0,032           | 35-40                |

**Tabella 8-Classificazione per tipo di EPS. Range di valori**

Al fine di rendere più raffinata l'analisi, la stessa classificazione sotto riportata presenta i valori minimi e massimi di densità (definendone così il range) e di conduttività termica medi, quest'ultimi pesati sul numero di valori dichiarati dalle aziende.

| TIPO<br>UNI 13163 | Valore<br>medio di $\lambda_D$ | Valore<br>medio di $\lambda_D$ | $\rho$               |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|
|                   | [W/mk]                         | [W/mk]                         | [Kg/m <sup>3</sup> ] |
| EPS S             | 0,042                          | 0,042                          | 11                   |
| EPS 30            | 0,038                          | 0,038                          | 10--13               |
| EPS 50            | 0,037                          | 0,037                          | 15                   |
| EPS 70            | 0,0384                         | 0,039                          | 13-18                |
| EPS 80            | 0,03783                        | 0,038                          | 15-16                |
| EPS 100           | 0,03553                        | 0,036                          | 18-28                |
| EPS 120           | 0,0345                         | 0,035                          | 18-25                |
| EPS 150           | 0,03405                        | 0,035                          | 20-28                |
| EPS 200           | 0,03283                        | 0,033                          | 20-36                |
| EPS 250           | 0,03311                        | 0,034                          | 28-36                |
| EPS 300           | 0,032                          | 0,032                          | 35-40                |

**Tabella 9-Classificazione per tipo EPS. Valori medi**

Per effettuare un confronto più agevole a prescindere dal tipo di EPS considerato, rimanendo così in linea con la UNI 10351 che specifica la conduttività termica solo in funzione di alcuni valori specifici di densità (essendo stata redatta molti anni prima dell'entrata in vigore nel 2003 della UNI EN 13163), si procede valutando per ogni densità riscontrata (dichiarata o in mancanza di essa calcolata con la regressione) il range di valori di  $\lambda_D$  corrispondente (presentando i valori minimi e massimi).

| Densità              | Range di<br>valori di $\lambda_D$ |
|----------------------|-----------------------------------|
| [Kg/m <sup>3</sup> ] | [W/mK]                            |
| 10                   | 0,032-0,044                       |
| 11                   | 0,042                             |
| 13                   | 0,040                             |
| 14                   | 0,039                             |
| 15                   | 0,035-0,039                       |
| 16                   | 0,037                             |
| 18                   | 0,035-0,036                       |
| 20                   | 0,034-0,037                       |
| 24                   | 0,034                             |
| 25                   | 0,033-0,037                       |
| 28                   | 0,033                             |
| 30                   | 0,031-0,034                       |
| 33                   | 0,032                             |
| 35                   | 0,032-0,034                       |
| 36                   | 0,032                             |
| 40                   | 0,032                             |

**Tabella 10-Classificazione secondo densità (intervallo di valori)**

Si presenta quindi la stessa classificazione, specificando per ogni densità riscontrata il valore medio di conduttività termica pesato sul numero di valori dichiarati dalle aziende. Al fine di evidenziare anche le più minime differenze si è inserita un'ulteriore colonna che riporta il valore di conduttività termico medio non approssimato. Si ricorda che i valori di conducibilità medi, così come tutti i valori in studio nell'analisi proposta derivanti da calcoli, sono stati arrotondati per eccesso al più prossimo 0,001 W/(mK) in accordo alla UNI EN 13163 (paragrafo 4.2.1 della norma specificata.)

| $\rho$               | Valore medio di $\lambda_D$ | Valore medio di $\lambda_D$ |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| [Kg/m <sup>3</sup> ] | [W/mk]                      | [W/mk]                      |
| 10                   | 0,038                       | 0,038                       |
| 11                   | 0,042                       | 0,042                       |
| 13                   | 0,04                        | 0,04                        |
| 14                   | 0,039                       | 0,039                       |
| 15                   | 0,03775                     | 0,038                       |
| 16                   | 0,036                       | 0,036                       |
| 18                   | 0,0356                      | 0,036                       |
| 20                   | 0,0353                      | 0,036                       |
| 24                   | 0,034                       | 0,034                       |
| 25                   | 0,034083                    | 0,035                       |
| 28                   | 0,033                       | 0,033                       |
| 30                   | 0,033                       | 0,033                       |
| 33                   | 0,032                       | 0,032                       |
| 35                   | 0,033                       | 0,033                       |
| 36                   | 0,032                       | 0,032                       |
| 40                   | 0,032                       | 0,032                       |

**Tabella 11-Classificazione per densità (valore medio)**

Dalla Tab. 11 si estrapola il seguente prospetto che considera unicamente i valori di densità contemplati nella UNI 10351, in modo tale da permettere una diretta analisi comparativa.

| $\rho$               | Valore medio di $\lambda_D$ | Valore medio di $\lambda_D$ |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| [Kg/m <sup>3</sup> ] | [W/mk]                      | [W/mk]                      |
| 15                   | 0,03775                     | 0,038                       |
| 20                   | 0,0353                      | 0,036                       |
| 25                   | 0,03408                     | 0,035                       |
| 30                   | 0,033                       | 0,033                       |
| 35                   | 0,033                       | 0,033                       |
| 40                   | 0,032                       | 0,032                       |

**Tabella 12-Classificazione per densità**

## 6. CONSIDERAZIONI

Riprendendo la relazione (2) e le considerazioni esposte nel paragrafo 4.1 si focalizza l'attenzione sui parametri  $s$  e  $K$  che inficiano il valore di conduttività termica da dichiarare.

La tabella riporta i due casi estremi:

- a. si dispone del maggior numero possibile di misurazioni dirette a scapito della costanza delle caratteristiche nella produzione,
- b. a un'ottima produzione di fabbrica, attestata da una deviazione standard bassa, si affianca un numero di prove minimo che comporta un aumento di  $\lambda_D$  molto ridotto rispetto al caso precedente.

|        | <b>n°prove</b> | <b>K</b> | <b>s</b> | <b>Ks</b> |
|--------|----------------|----------|----------|-----------|
| caso a | 2000           | 1,32     | 0,0005   | 0,00066   |
| caso b | 10             | 2,07     | 0,00005  | 0,0001    |

Si evidenzia un diverso contributo al variare dei parametri considerati e si attesta l'importanza di avere una stretta distribuzione di valori, indice di caratteristiche costanti nel tempo, a discapito invece del numero di misurazioni dirette da effettuare.

Questo poiché la minimizzazione del prodotto  $Ks$  prevede, in linea con quanto normato e con quanto riscontrato sperimentalmente, all'incirca un dimezzamento di  $K$  (da  $\approx 2$  a  $\approx 1$ ) e una diminuzione di ben un ordine di grandezza del parametro  $s$  (da  $10^{-5}$  a  $10^{-4}$ ).

A fronte di una maggior incidenza della deviazione standard, per dichiarare una più "bassa" conduttività termica del materiale considerato, sarebbe quindi più opportuno privilegiare la qualità della produzione di fabbrica piuttosto che effettuare le prove di misurazioni su un numero di campioni più elevato.

## **7. UNI EN ISO 10456**

### **7.1 PREMESSA**

Esaminando ulteriormente l'ambito trattato nel presente elaborato, quale l'isolamento termico nel settore dell'edilizia, ed estendendo la visione al panorama normativo europeo ed internazionale, non può esser esente il riferimento alla norma UNI EN ISO 10456:2001.

Si riprende in esame il già citato Decreto Legislativo n° 311 "Disposizioni correttive e integrative al decreto Legislativo 19 agosto 2005 n° 192, recante attuazione della direttiva europea 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia"

I calcoli e le verifiche necessari al rispetto del suddetto decreto sono eseguiti utilizzando metodi che garantiscano risultati conformi alle migliori regole tecniche e tra queste si considerano rispondenti a tale requisito le normative UNI e CEN vigenti. Tra i riferimenti normativi a cui rimanda lo stesso decreto compare la norma UNI 10351 precedentemente discussa.

Viene però precisata la possibilità di utilizzo di altri metodi, procedure e specifiche tecniche, motivandone l'uso, e in virtù di questa considerazione si rende doveroso trattare, o quanto meno specificare, l'esistenza di un'ulteriore norma, la sopra citata UNI EN ISO 10456, in vigore a livello internazionale, che permette la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto per i materiali nel settore edilizio.

Per completezza nelle pagine seguenti si estrapolano i punti salienti della norma internazionale citata riportando a titolo esplicativo tre esempi di calcolo, come del resto opera la stessa 10456.

### **UNI EN ISO 10456**

La norma specifica i metodi per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto per materiali e prodotti per l'edilizia.

Fornisce i procedimenti per convertire i valori ottenuti per un insieme di condizioni in quelli validi per un altro insieme di condizioni. Questi procedimenti sono da considerarsi validi e attendibili per temperature ambiente di progetto comprese tra  $-30^{\circ}\text{C}$  e  $+60^{\circ}\text{C}$ .



In particolare la norma propone di valutare l'effetto dovuto dalla temperatura e dall'umidità, fornendo degli appositi coefficienti di conversione e le procedure per tenerne conto, mentre non fornisce i coefficienti di conversione per l'effetto dell'invecchiamento o altri effetti quali la convezione o il costipamento.

Ai fini della presente norma si forniscono di seguito i termini e le definizioni impiegate:

➤ **valore termico dichiarato**

E' il valore atteso di una proprietà (considerando il presente studio ci si rifà alla conducibilità termica dichiarata) di un materiale o prodotto per l'edilizia (per es. lastre in EPS) che può essere:

1. valutato da dati misurati in condizioni di riferimento di temperatura e umidità;
2. dato per un frattile e livello di confidenza definiti,
3. corrispondente ad una durata prevista in esercizio in condizioni normali.

➤ **valore termico di progetto**

E' il valore della proprietà termica di un materiale o prodotto per l'edilizia in condizioni specificate esterne ed interne che possa esser considerato come tipico delle prestazioni del materiale o prodotto quando incorporato in un componente per edilizia.

| <b>Simbolo</b> | <b>Grandezza</b>   | <b>Unità</b> |
|----------------|--|--------------|
| $F_A$          | Fattore di conversione per l'invecchiamento                |              |
| $F_m$          | Fattore di conversione per la temperatura                  |              |
| $F_T$          | Fattore di conversione per l'umidità                       |              |
| $f_T$          | Coefficienti di conversione per la temperatura             | 1/K          |
| $f_u$          | Coefficienti di conversione per l'umidità massa su massa   | Kg/Kg        |
| $f_\psi$       | Coefficienti di conversione per l'umidità volume su volume | $m^3 / m^3$  |
| R              | Resistenza termica   | $m^2k / W$   |
| T              | Temperatura  | K            |
| $\lambda$      | Conducibilità termica                                      | $W / (mK)$   |
| u              | Contenuto di umidità massa su massa                        | Kg/Kg        |
| $\psi$         | Contenuto di umidità volume su volume                      | $m^3 / m^3$  |

**Prospetto 3- Simboli, grandezze e unità usati nella UNI EN ISO 10456**

## 7.2 METODI E CONDIZIONI DI PROVA

I valori misurati derivano dall'utilizzo dei seguenti metodi, o metodi nazionali equivalenti:

- piastra calda con anello di guardia, secondo la ISO 8302 (o UNI 7745+A 113),
- termoflussometro, secondo la ISO 8301 (o UNI 7891),
- scatola calda, secondo la ISO 8990.

Per evitare conversioni, la norma sottolinea l'importanza di eseguire le misurazioni nelle condizioni corrispondenti all'insieme di condizioni prescelto dato nella tabella 13.

La temperatura media di prova dovrebbe essere scelta in modo che l'introduzione dei coefficienti di temperatura non introduca una variazione di più del 2% del valore misurato.

Si richiedono le condizioni seguenti di prova:

- spessore e massa volumica misurate per l'identificazione,
- temperatura media di prova,
- contenuto di umidità del provino durante la prova.

Per i materiali invecchiati, è opportuno indicare l'età del provino e le procedure di condizionamento prima della prova.

### 7.3 DETERMINAZIONE DEI VALORI DICHIARATI

Il valore dichiarato deve essere dato per uno degli insiemi di condizioni a o b con una temperatura di riferimento di 10°C (I) o 23°C (II) riportati nel prospetto seguente:

| Proprietà   | Insieme di condizioni |                    |                    |                    |
|---|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | I (10°C)              |                    | II (23°C)          |                    |
|   | a                     | b                  | a                  | b                  |
| <b>Temperatura di riferimento</b>   | 10°C                  | 10°C               | 23°C               | 23°C               |
| <b>Umidità</b>  | U <sub>secco</sub>    | U <sub>23,50</sub> | U <sub>secco</sub> | U <sub>23,50</sub> |
| <b>Invecchiamento</b>   | invecchiato           | invecchiato        | invecchiato        | invecchiato        |
| U <sub>secco</sub> è un basso contenuto di umidità ottenuto mediante essiccamento           |                       |                    |                    |                    |
| U <sub>23,50</sub> è il contenuto di umidità all'equilibrio con aria a 23°C ed U.R. del 50% |                       |                    |                    |                    |

**Tabella 13 - Condizioni a cui riferire il valore dichiarato**

Il valore dichiarato deve essere determinato ad uno spessore sufficientemente elevato da trascurare l'effetto dello spessore, oppure i valori dichiarati per spessori minori devono essere basati su misurazioni a quegli spessori.

I dati misurati devono essere:

- valori misurati direttamente secondo i metodi di prova precedentemente citati, sia
- ottenuti indirettamente facendo uso di una correlazione stabilita con una proprietà collegata quale la massa volumica.

Se non tutti i dati sono stati misurati con lo stesso insieme di condizioni, questi devono essere ricondotti ad un insieme di condizioni opportune con le relative procedure. Quindi deve essere calcolata una stima del valore singolo e in fondo al paragrafo si menzionano le norme internazionali sulla statistica a supporto.

Per quanto riguarda l'espressione dei valori, le linee guida sono le stesse ritrovate nella UNI EN 13163 inizialmente analizzata, per cui nessun valore deve essere arrotondato a meno di tre cifre significative e il valore dichiarato, che è il valore stimato del valore singolo statistico, viene arrotondato secondo le già note regole:

- a) per la conduttività termica data in watt per metro Kelvin [W/(mK)]:
- ✓  $\lambda \leq 0,08$  arrotondamento allo 0,001 W/(mK) superiore
  - ✓  $0,08 \leq \lambda \leq 0,20$  arrotondamento allo 0,005 W/(mK) superiore
  - ✓  $0,20 \leq \lambda \leq 2,00$  arrotondamento allo 0,01 W/(mK) superiore

✓  $\lambda \geq 2,00$  arrotondamento allo 0,1 W/(mK) superiore

- b) per la resistenza termica data in metri quadrati Kelvin per watt [ $\text{m}^2 \text{K/W}$ ] il valore minore più vicino arrotondato a non più di due decimali o tre cifre significative.

## 7.4 DETERMINAZIONE DEI VALORI DI PROGETTO

I valori di progetto possono essere ottenuti a partire da un valore dichiarato, da valori misurati o da valori tabulati normalizzati.

I dati misurati inoltre possono essere sia

- valori misurati direttamente secondo i metodi di prova precedentemente citati, sia
- ottenuti indirettamente facendo uso di una correlazione stabilita con una proprietà collegata quale la massa volumica.

Se l'insieme delle condizioni per i valori dichiarati, misurati o tabulati normalizzati può essere considerato rilevante per l'applicazione reale, tali valori possono essere usati direttamente come valori di progetto. Altrimenti deve essere effettuata la conversione dei dati secondo i procedimenti illustrati nelle pagine seguenti.

|   |  |
|---|--|
| <b>Valori di progetto derivati da valori dichiarati</b> | Se il valore di progetto è calcolato dal valore dichiarato ed è basato sulla medesima valutazione statistica, il valore dichiarato deve essere convertito alle condizioni di progetto. |
| <b>Valori di progetto derivati da valori misurati</b>   | Se necessario, tutti i dati vanno prima convertiti nelle condizioni di progetto. Successivamente deve essere calcolata la stima di un valore singolo statistico.                       |
| <b>Valori di progetto derivati da valori tabulati</b>   | Valori tabulati normalizzati possono essere usati quando è disponibile per essi l'insieme di condizioni.   |

**Prospetto 4- Classificazione valori di progetto**

Per maggiori informazioni si rimanda alle norme internazionali sulla statistica che possono essere usate come ausilio e che sono specificate nel paragrafo 7.8 "Calcoli statistici".

## 7.5 CONVERSIONE DEI DATI DISPONIBILI

Le conversioni dei valori termici da un insieme di condizioni ( $\lambda_1, R_1$ ) ad un'altra serie di condizioni ( $\lambda_2, R_2$ ) sono effettuate secondo le espressioni seguenti:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a \quad (5)$$

$$R_2 = \frac{R_1}{F_T \cdot F_m \cdot F_a} \quad (6)$$

### ➤ Conversione per la temperatura

Il fattore  $F_T$  per la temperatura è determinato dalla:

$$F_T = e^{f_T(T_2 - T_1)} \quad (7)$$

dove:

- $f_T$  è il coefficiente di conversione per la temperatura,
- $T_1$  è la temperatura del primo insieme di condizioni,
- $T_2$  è la temperatura del secondo insieme di condizioni.

### ➤ Conversione per l'umidità

Il fattore  $F_m$  per il contenuto di umidità viene determinato nel modo seguente:

→ a) Conversione del contenuto di umidità dato in massa su massa:

$$F_m = e^{f_u(u_2 - u_1)} \quad (8)$$

dove:

- $f_u$  è il coefficiente di conversione per il contenuto di umidità massa su massa,
- $u_1$  è il contenuto di umidità massa su massa del primo insieme di condizioni,
- $u_2$  è il contenuto di umidità massa su massa del secondo insieme di condizioni.

b) Conversione del contenuto di umidità dato in volume su volume:

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)} \quad (9)$$

dove:

$f_\psi$  è il coefficiente di conversione per il contenuto di umidità volume su volume,  
 $\psi_1$  è il contenuto di umidità volume su volume del primo insieme di condizioni,  
 $\psi_2$  è il contenuto di umidità volume su volume del secondo insieme di condizioni.

## 7.6 COEFFICIENTI DI CONVERSIONE

Nell'Appendice A della norma internazionale analizzata UNI EN ISO 10456 sono elencati i diversi coefficienti di conversione da applicare in base al tipo di materiale considerato e per rendere il presente studio più esaustivo si evidenziano di seguito solo quelli riguardante il polistirene espanso, rimandando la visione alla norma completa per ulteriori informazioni.

### → Coefficienti di conversione per la temperatura

#### POLISTIRENE ESPANSO (Prospetto A.2 della norma)

| Spessore          | Conduttività | Coefficiente di conversione |
|-------------------|--------------|-----------------------------|
| d                 | $\lambda$    | $f_T$                       |
| [mm]              | [W/mK]       | [1/K]                       |
| $d \leq 20$       | 0,032        | 0,0031                      |
|                   | 0,035        | 0,0036                      |
|                   | 0,04         | 0,0041                      |
|                   | 0,043        | 0,0044                      |
| $20 < d \leq 40$  | 0,032        | 0,003                       |
|                   | 0,035        | 0,0034                      |
|                   | 0,04         | 0,0036                      |
| $40 < d \leq 100$ | 0,032        | 0,003                       |
|                   | 0,035        | 0,0033                      |
|                   | 0,04         | 0,0036                      |
|                   | 0,045        | 0,0038                      |
|                   | 0,05         | 0,0041                      |
| $d > 100$         | 0,032        | 0,003                       |
|                   | 0,035        | 0,0032                      |
|                   | 0,04         | 0,0034                      |
|                   | 0,053        | 0,0037                      |

Tabella 14 - Prospetto estratto da UNI EN ISO 10456: Coefficienti di conversione per la temperatura

Per conduttività intermedie rispetto a quelle riportate nei prospetti, la norma propone l'uso dell'interpolazione lineare.



→ **Coefficienti di conversione per l'umidità**

L'effetto del trasferimento di massa tramite acqua in fase liquida e in fase vapore non viene considerato dai dati seguenti.

Il contenuto di umidità è l'intervallo per il quale sono validi i coefficienti.

MATERIE PLASTICHE CELLULARI (Prospetto A.16 della norma)

| Tipo di prodotto    | Contenuto di umidità | Coefficiente di conversione |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|
|                     | $\psi$               | $f_{\psi}$                  |
|                     | $[m^3 / m^3]$        | $[m^3 / m^3]$               |
| Polistirene espanso | < 0,10               | 4                           |
| Polistirene estruso | < 0,10               | 2,5                         |
| Poliuretano espanso | < 0,15               | 6                           |
| Fenoliche espanse   | < 0,15               | 5                           |

Tabella 15 - Prospetto estratto da UNI EN ISO 10456: Coefficienti di conversione per l'umidità.

## 7.7 ESEMPI DI CALCOLO

Il presente paragrafo fornisce tre esempi di calcolo, come la succitata norma internazionale in appendice B, illustrando il procedimento per ricavare i valori dichiarati o di progetto da dati disponibili, al fine di chiarire possibili dubbi e incomprensioni.

I dati numerici in ingresso sono puramente indicativi.

### Caso A

#### Determinazione del valore dichiarato da 10 campioni misurati

Rimanendo in ambito pertinente, si considerano 10 campioni di pannelli in EPS aventi uno spessore  $d = 60$  mm.

Le misurazioni sono state condotte ad una temperatura media di  $11^{\circ}\text{C}$  e i campioni sono stati condizionati ad una temperatura di  $23^{\circ}\text{C}$  e U.R del 50%.

Il valore dichiarato deve riferirsi ad una temperatura di  $10^{\circ}\text{C}$  ed un contenuto di umidità uguale a quello che il materiale è in equilibrio con l'aria a  $23^{\circ}\text{C}$  ed una U.R del 50%.

Le misurazioni sono le seguenti:

| n         | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda$ | 0,0341 | 0,0353 | 0,0356 | 0,0348 | 0,0346 | 0,0351 | 0,0344 | 0,0352 | 0,0345 | 0,0349 |

**Tabella 16 - Conduttività misurate [W/mK]**

Il valore dichiarato deve essere pari al frattile 90% con un intervallo di confidenza del 90%. La formula statistica usata per trovare il limite per questo intervallo con tolleranza statistica asimmetrica è data nella ISO 3207:

$$L_s = \bar{x} + K_2(n, p, 1 - \alpha) \cdot s \quad (10)$$

Il valore medio è calcolato come:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{10} = 0,03485 \quad (11)$$

Nell'appendice C il coefficiente  $K_2$  è 2,07 per  $n = 10$ .

Lo scarto tipo è invece calcolato come:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,000460 \quad (12)$$

Il valore limite per l'intervallo di tollerato risulta pertanto.

$$L_s = 0,03485 + 2,07 * 0,000460 = 0,035802$$

Questo valore viene quindi convertito a 10°C usando la formula (5)

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

Il fattore di conversione è calcolato dalla formula (7):

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

Il coefficiente di conversione per pannelli in EPS con uno spessore d=60 mm. e una conduttività di 0,035 W/(mK) è dato dal prospetto A.2 e risulta:

$$f_T = 0,0033$$

Il fattore di conversione diventa pertanto:

$$F_T = e^{0,0033 \cdot (10-11)} = 0,99671$$

Il valore convertito diviene:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T = 0,035802 \cdot 0,99671 = 0,035684$$

Il valore dichiarato, nel rispetto della norma, deve essere arrotondato allo 0,001 W/(mK) superiore, il che significa che 0,036 può essere usato come valore dichiarato per questo prodotto.

## Caso B

### Determinazione del valore di progetto dal valore dichiarato

Una lastra di EPS è utilizzata in un'applicazione dove il contenuto di umidità è assunto essere  $0,02 \text{ m}^3 / \text{m}^3$ . Il valore dichiarato per questo prodotto, per un valore 90/90, è  $0,036 \text{ W}/(\text{mK})$ .

Sono richiesti due diversi valori di progetto, uno rappresentante lo stesso frattile del valore dichiarato e l'altro che rappresenta il valor medio.

#### B.1 Frattile 90%

La sola conversione necessaria è per il contenuto di umidità e in accordo con la formula (5) si ha:

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

Il coefficiente di conversione per l'umidità è dato nella tabella 17 (prospetto A.16 della norma in esame) e per il polistirene espanso risulta:  $f_\psi = 4,0$  per cui:

$$F_m = e^{[4,0(0,02-0)]} = 1,0833$$

La conduttività termica convertita in relazione al valore di umidità nelle condizioni di esercizio diventa:

$$\lambda_2 = 0,036 \times 1,0833 = 0,0389988$$

Il valore di progetto è il valore più vicino arrotondato a  $0,001 \text{ W}/(\text{mK})$  per cui secondo questo procedimento risulta:

$$\lambda_{prog} = 0,039 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

#### B.2 Valore medio

Un valore medio può essere trovato ricorrendo alla formula... dell'Appendice C della norma 10456

$$\bar{\lambda} = \lambda_{90} - \Delta\lambda \tag{13}$$

Il valore di  $\bar{\lambda}$  potrebbe esser calcolato se fossero noti almeno il numero delle misurazioni e lo scarto tipo stimato.

Se questo non è il caso, il valore di  $\Delta\lambda$  come riportato nel paragrafo successivo, può essere trovato nelle norme o in letteratura che diano i valori di  $\bar{\lambda}$  e  $\lambda_{90}$

Nel presente esempio viene usato per il  $\Delta\lambda$  il valore di 0,002, così che:

$$\bar{\lambda} = 0,036 - 0,002 = 0,034$$

Questo valore viene quindi corretto usando lo stesso fattore di conversione come calcolato in B.1:

$$\lambda_2 = 0,034 \times 1,0833 = 0,0368322$$

Il valore di progetto è il più vicino valore arrotondato a 0,001 W/(mK) per cui:

$$\lambda_{prog} = 0,037 \text{ W}/(m \cdot K)$$

## 7.8 CALCOLI STATISTICI

### Generazione di valori frattali

La distribuzione dei dati è generalmente sconosciuta ma si assume sia gaussiana. Il calcolo degli intervalli di tolleranza statistica (frattali di confidenza) viene effettuato in accordo con la ISO 3207. La stima delle medie viene effettuata secondo la ISO 2602 mentre il confronto di due medie avviene secondo la ISO 2854.

Il prospetto seguente fornisce i coefficienti  $K_1$  e  $K_2$  per un intervallo di tolleranza statistico di confidenza del 90% ( $1-\alpha$ , in percentuale) (frattile,  $p$ ) del 50% e 90%.  $K_1$  è il coefficiente da impiegare quando lo scarto tipo è noto,  $K_2$  è invece il coefficiente da impiegare quando lo scarto tipo è stimato.

| n        | K <sub>1</sub>     |       | K <sub>2</sub>     |       |
|----------|--------------------|-------|--------------------|-------|
|          | 1- $\alpha$ = 0,90 |       | 1- $\alpha$ = 0,90 |       |
|          | p=50%              | p=90% | p=50%              | p=90% |
| 3        | 0,74               | 2,02  | 1,09               | 4,26  |
| 5        | 0,57               | 1,86  | 0,69               | 2,74  |
| 7        | 0,48               | 1,77  | 0,54               | 2,33  |
| 10       | 0,41               | 1,69  | 0,43               | 2,07  |
| 12       | 0,37               | 1,65  | 0,4                | 1,97  |
| 15       | 0,33               | 1,61  | 0,35               | 1,87  |
| 20       | 0,29               | 1,57  | 0,3                | 1,77  |
| 50       | 0,18               | 1,46  | 0,18               | 1,56  |
| $\infty$ | 0                  | 1,28  | 0                  | 1,28  |

Tabella 17- Coefficienti per intervalli di tolleranza asimmetrici.

## Conversione tra valore medio e frattile

Se il valore di progetto deve essere determinato come un'altra stima statistica (90% o una media) vengono usate le formule (14) e (15) sotto indicate:

$$\lambda_f = \bar{\lambda} \pm \Delta\lambda_f \quad (14)$$

$$R_f = \bar{R} \pm \Delta R_f \quad (15)$$

dove:

$\lambda_f, R_f$  sono i frattali elevato o basso;

$\Delta\lambda_f, \Delta R_f$  è la differenza tra il valor medio e il frattile scelto.

Si precisa inoltre che  $\Delta\lambda_f$  e  $\Delta R_f$  possono essere ricavati da una valutazione statistica di valori misurati o possono essere trovati nelle norme o nella letteratura che forniscono valori per le medie e i frattali 90%.

## 7.9 MATERIALI CON CONDUCEBILITA' TERMICA MIGLIORATA

Lo sviluppo nel campo di applicazioni delle lastre per isolamento termico in edilizia ha portato a cercare soluzioni innovative volte a conferire migliori proprietà termiche al materiale, in grado di offrire quindi prodotti con una maggior capacità di isolamento rispetto a quelli tradizionali e classici. Questo approccio si traduce tecnicamente in una diminuzione del valore di conducibilità termica e studi in merito hanno portato a realizzare un materiale competitivo basato sulla combinazione tra il polimero di EPS ed un prodotto organico naturale a base di carbonio: la grafite.

Nel dettaglio si aggiungono polveri di grafite (di colore scuro-quasi nero) alla materia prima durante la fase di produzione delle note perle di EPS contenenti pentano (per renderle ovvero espandibili) e ciò conferisce al prodotto finito un tipo colore grigio-argento tanto da indurli a denominare nella pratica comune come “EPS nero”, distinguendole dal classico “EPS bianco”

L'impiego della grafite risulta fondamentale come barriera allo scambio termico, tanto da modificare e migliorare in modo sostanziale le prestazioni termiche, ovvero il valore della conduttività termica.

Senza entrare nello specifico dell'argomento, la trasmissione del calore è determinata dalla somma di tre diversi contributi (altro non sono che i distinti modi di propagazione dello stesso): conduzione, convezione, irraggiamento.

Per l'EPS, la quantità di calore trasmessa per convezione è praticamente nulla, mentre è apprezzabile e determinante la trasmissione del calore tramite conduzione (attraverso l'aria presente nelle celle e attraverso la natura solida del materiale) e per irraggiamento (che diminuisce all'aumentare della densità e dunque al moltiplicarsi degli schermi costituiti dalle pareti delle celle). E' proprio su quest'ultimo contributo che le particelle di grafite vanno ad agire, assorbendo e riflettendo il calore incamerato e riducendo così al minimo la trasmissione del calore per irraggiamento. Questo è possibile principalmente grazie alla loro caratteristica struttura molecolare comunemente definita “a nido d'ape”

Per una trattazione più completa ed esaustiva si rimanda ad un'altra sede.

Quanto affermato trova riscontro nei prodotti per l'industria edilizia realizzati da alcune aziende associate AIPE e a rafforzamento di ciò si presenta una tabella in cui si riassumono i valori della conducibilità termica dichiarati per prodotti esistenti sul mercato, realizzati in



EPS con dispersioni di polveri di grafite appunto, ricavati dalle diverse schede tecniche di prodotto reperite dai siti internet di alcune suddette aziende.

| TIPO<br>UNI 13163 | Range di valori<br>di $\lambda_D$ |
|-------------------|-----------------------------------|
|                   | [W/mK]                            |
| EPS 50            | 0,031 - 0,032                     |
| EPS 70            | 0,033 - 0,032                     |
| EPS 80            | 0,031                             |
| EPS 100           | 0,030 - 0,033                     |
| EPS 120           | 0,031                             |
| EPS 150           | 0,030 - 0,031                     |
| EPS 200           | 0,031                             |

**Tabella 4 - MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI ISOLANTI DELL'EPS  
MEDIANTE AGGIUNTA DI GRAFITE**

Si evince innanzitutto che i valori riscontrati non mostrano una sostanziale differenza in base al tipo di EPS, e quindi in base alla massa volumica essendo questa determinante per la prestazione di resistenza a compressione del prodotto.

Viene in qualche modo a decadere la marcata dipendenza tra la conducibilità termica e la massa volumica apparente che, al contrario, contraddistingue i prodotti in EPS “tradizionali” (ovvero senza l’additivazione di materiali ulteriori).

Probabilmente poiché diviene predominante l’influsso e la presenza della grafite quale additivo disperso, che permette di migliorare notevolmente, portando i valori di  $\lambda_D$  livellati nell’intervallo 0,031 – 0,032 W/mK.

Di conseguenza è possibile disporre di prodotti a basse densità, ma che al contempo presentano un eccellente isolamento termico: un EPS “classico” richiederebbe una densità di molto superiore per raggiungere gli stessi livelli migliorativi di conducibilità termica.

## **8. CONCLUSIONE**

Entrambe le norme analizzate, seppur con modalità diverse nel considerare condizioni e aspetti diversi, prendono in esame grandezze termiche legate all'isolamento termico riportando metodi e procedure per determinare, o comunque valutare, la conducibilità termica di progetto.

Dalla trattazione proposta si evince che la norma internazionale appena discussa, pur non essendo contemplata nei riferimenti normativi del Dlgs n° 311 di cui è possibile avvalersi per redigere la certificazione energetica degli edifici, si presta al medesimo scopo della UNI 10351 per la determinazione della conducibilità termica di progetto.

Non rientra in questo elaborato definire la bontà di entrambe le norme, tanto meno di valutarne la pertinenza d'uso, quanto meno sottolineare le diverse condizioni d'impiego a cui fanno riferimento. In questo senso è possibile ammettere una maggior completezza della norma internazionale a scapito della UNI 10351, in quanto in primo luogo permette di tener conto e di valutare le eventuali condizioni specificate in cui il materiale (o prodotto) si trova in opera.

Quanto analizzato e proposto permette comunque di avere una un visione "allargata" dell'attuale panorama normativo a cui riferirsi e per concludere il quadro di riferimento si cita, senza però far seguito ad una descrizione, un'ulteriore norma, anch'essa internazionale e operante sempre nel medesimo ambito trattato, e precisamente la UNI EN ISO 9646 che fornisce un metodo di calcolo per la resistenza termica e per la trasmittanza termica di componenti ed elementi per l'edilizia.

La trattazione fin qui proposta ha quindi evidenziato anche una certa "non facilità" nel determinare univocamente il valore di progetto di una certa grandezza da utilizzare, come può essere per esempio quello della conducibilità termica.

Estendendo il discorso anche a parametri che esulano dalla trattazione proposta, in modo da essere il più esaustivi possibili, si riportano i prospetti contenuti nella norma **UNI EN 12524** il cui titolo recita:

### **Materiali e prodotti per edilizia**

#### **Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto**

La norma fornisce valori di progetto sotto forma di tabelle per i calcoli di scambio termico e di vapore, quindi calcoli di trasmissione del calore e dell'umidità, per materiali e prodotti termicamente omogenei comunemente utilizzati nelle costruzioni edilizie.

Inoltre riporta i coefficienti che permettono il calcolo e la conversione di valori termici di progetto per diverse condizioni ambientali applicando i procedimenti di conversione esplicitate nella già trattata UNI EN ISO 10456.

## 8.1. UNI EN 12542

### prospetto 1

#### VALORI TERMICI DI PROGETTO PER MATERIALI DI USO COMUNE IN EDILIZIA

| Gruppo di un materiale o applicazione |   | Massa volumica      | Conduttività termica di progetto | Capacità termica specifica | Fattore di resistenza al vapor d'acqua |             |
|---------------------------------------|---|---------------------|----------------------------------|----------------------------|--|-------------|
|                                       |   | $\rho$              | $\lambda$                        | $C_p$                      | $\mu$                                  |             |
|                                       |   | Kg / m <sup>3</sup> | W / (m K)                        | J / (Kg K)                 | campo secco                            | campo umido |
| Asfalto                               |   | 2100                | 0,7                              | 1000                       | 50000                                  | 50000       |
| Bitume puro                           |   | 1050                | 0,17                             | 1000                       | 50000                                  | 50000       |
| Bitume feltro/foglio                  |   | 1100                | 0,23                             | 1000                       | 50000                                  | 50000       |
|                                       |   |                     | 1,15                             |                            |  |             |
| Calcestruzzo a)                       | Media massa volumica                                  | 1800                | 1,15                             | 1000                       | 100                                    | 60          |
|                                       |   | 2000                | 1,35                             | 1000                       | 100                                    | 60          |
|                                       |   | 2200                | 1,65                             | 1000                       | 120                                    | 70          |
|                                       | Alta massa volumica                                   | 2400                | 2                                | 1000                       | 130                                    | 80          |
|                                       | Armato (con 1% di acciaio)                            | 2300                | 2,3                              | 1000                       | 130                                    | 80          |
|                                       | Armato (con 2% di acciaio)                            | 2400                | 2,5                              | 1000                       | 130                                    | 80          |
| Coperture per pavimento               | Gomma   | 1200                | 0,17                             | 1400                       | 10000                                  | 10000       |
|                                       | Plastica  | 1700                | 0,25                             | 1400                       | 10000                                  | 10000       |
|                                       | Strato isolante, gomma cellulare o plastica cellulare | 270                 | 0,1                              | 1400                       | 10000                                  | 10000       |
|                                       | Strato isolante, feltro                               | 120                 | 0,05                             | 1300                       | 20                                     | 15          |
|                                       | Strato isolante, lana                                 | 200                 | 0,06                             | 1300                       | 20                                     | 15          |
|                                       | Strato isolante, sughero                              | < 200               | 0,05                             | 1150                       | 20                                     | 10          |
|                                       | Piastrella, sughero                                   | > 400               | 0,065                            | 1500                       | 40                                     | 20          |
|                                       | Tappeto, rivestimento tessile                         | 200                 | 0,06                             | 1300                       | 5                                      | 5           |
|                                       | Linoleum  | 1200                | 0,17                             | 1400                       | 1000                                   | 800         |
| Aria                                  | Aria  | 1,23                | 0,025                            | 1008                       | 1                                      | 1           |
|                                       | Biossido di carbonio                                  | 1,95                | 0,014                            | 820                        | 1                                      | 1           |
|                                       | Argon   | 1,7                 | 0,017                            | 519                        | 1                                      | 1           |
|                                       | Esaffluoruro di zolfo                                 | 6,36                | 0,013                            | 614                        | 1                                      | 1           |
|                                       | Krypton   | 3,56                | 0,009                            | 245                        | 1                                      | 1           |
|                                       | Xeno  | 5,68                | 0,0054                           | 160                        | 1                                      | 1           |
| Vetro                                 | Vetro sodo-calcico (incl."vetro in lastre")           | 2500                | 1                                | 750                        | $\infty$                               | $\infty$    |
|                                       | Quarzo  | 2200                | 1,4                              | 750                        | $\infty$                               | $\infty$    |
|                                       | Pasta di vetro  | 2000                | 1,2                              | 750                        | $\infty$                               | $\infty$    |
| Acqua                                 | Ghiaccio a -10 °C                                     | 920                 | 2,3                              | 2000                       |  |             |
|                                       | Ghiaccio a 0 °C                                       | 900                 | 2,2                              | 2000                       |  |             |
|                                       | Neve, appena caduta (< 30 mm)                         | 100                 | 0,05                             | 2000                       |  |             |
|                                       | Neve, soffice (30 - 70 mm)                            | 200                 | 0,12                             | 2000                       |  |             |
|                                       | Neve, moderatamente compatta (70 - 100 mm)            | 300                 | 0,23                             | 2000                       |  |             |
|                                       | Neve compatta (< 200 mm)                              | 500                 | 0,6                              | 2000                       |  |             |
|                                       | Acqua a 10 °C   | 1000                | 0,6                              | 4190                       |  |             |
|                                       | Acqua a 40 °C   | 920                 | 0,63                             | 4190                       |  |             |
|                                       | Acqua a 80 °C   | 970                 | 0,67                             | 4190                       |  |             |

|   |  |       |      |       |        |        |
|---|--|-------|------|-------|--------|--------|
| Metalli   | Leghe di alluminio   | 2800  | 160  | 880   | ∞      | ∞      |
|   | Bronzo   | 8700  | 65   | 380   | ∞      | ∞      |
|   | Ottone   | 8400  | 120  | 380   | ∞      | ∞      |
|   | Rame   | 8900  | 380  | 380   | ∞      | ∞      |
|   | Ferro, ghisa   | 7500  | 50   | 450   | ∞      | ∞      |
|   | Piombo   | 11300 | 35   | 130   | ∞      | ∞      |
|   | Acciaio  | 7800  | 50   | 450   | ∞      | ∞      |
|   | Acciaio inossidabile   | 7900  | 17   | 460   | ∞      | ∞      |
|   | Zinco  | 7200  | 110  | 380   | ∞      | ∞      |
| Materie plastiche compatte                        | Policarbonato  | 1200  | 0,2  | 1200  | 5000   | 5000   |
|   | Politetrafluoroetilene (PTFE)                                  | 2200  | 0,25 | 1000  | 10000  | 10000  |
|   | Policloruro di vinile (PVC)                                    | 1390  | 0,17 | 900   | 50000  | 50000  |
|   | Polimetilmetacrilato (PMMA)                                    | 1180  | 0,18 | 1500  | 50000  | 50000  |
|   | Poliacetato  | 1410  | 0,3  | 1400  | 100000 | 100000 |
|   | Poliammide (nylon)   | 1150  | 0,25 | 1600  | 50000  | 50000  |
|   | Poliammide 6.6 (con 25% di f. di vetro)                        | 1450  | 0,3  | 1600  | 50000  | 50000  |
|   | Polietilene, alta massa volumica                               | 980   | 0,5  | 1800  | 100000 | 100000 |
|   | Polietilene, bassa massa volumica                              | 920   | 0,33 | 2200  | 100000 | 100000 |
|   | Polistirene  | 1050  | 0,16 | 1300  | 100000 | 100000 |
|   | Polipropilene  | 910   | 0,22 | 1800  | 10000  | 10000  |
|   | Polipropilene (con 25% di fibra di vetro)                      | 1200  | 0,25 | 1800  | 10000  | 10000  |
|   | Poliuretano (PU)   | 1200  | 0,25 | 1800  | 6000   | 6000   |
|   | Resine epossidiche   | 1200  | 0,2  | 1400  | 10000  | 10000  |
|   | Resine fenoliche   | 1300  | 0,3  | 1700  | 100000 | 100000 |
| Resine poliestere                                 | 1400   | 0,19  | 1200 | 10000 | 10000  |        |
| Gomma   | Naturale   | 910   | 0,13 | 1000  | ∞      | ∞      |
|   | Neoprene (policloroprene)                                      | 1240  | 0,35 | 1000  | 5000   | 5000   |
|   | Butile (isobutile), sodio/fuso a caldo                         | 1200  | 0,5  | 1000  | 5000   | 5000   |
|   | Gommapiuma   | 60-80 | 0,12 | 1000  | 10000  | 10000  |
|   | Gomma dura (ebanite), solida                                   | 1200  | 0,21 | 1800  | 60     | 60     |
|   | Etilene, Propilene, Diene monomero EPDM                        | 1150  | 0,14 | 1000  | 100000 |        |
|   | Poliisobutile  | 930   | 0,05 | 1500  | 10000  | 10000  |
|   | Polisolfuro  | 1700  | 0,05 | 1500  | 60     | 60     |
| Butadiene   | 980  | 0,05  | 2300 | 100   | 100    |        |
| Materiali sigillanti, per tenuta e taglio termico | Silica gel, essicante  | 720   | 0,13 | 1000  | ∞      | ∞      |
|   | Silicone, puro   | 1200  | 0,35 | 1000  | 5000   | 5000   |
|   | Silicone, mastice  | 1450  | 0,5  | 1000  | 5000   | 5000   |
|   | Silicone schiuma   | 750   | 0,12 | 1000  | 10000  | 10000  |
|   | Urano/Poliuretano (taglio termico)                             | 1300  | 0,21 | 1800  | 60     | 60     |
|   | Policloruro di vinile (PVC) flessibile con 40% di ammorbidente | 1200  | 0,14 | 1000  | 100000 | 100000 |
|   | Schiuma elastomerica, flessibile                               | 60-80 | 0,05 | 1500  | 10000  | 10000  |
|   | Pliuretano (PU) schiuma  | 70    | 0,05 | 1500  | 60     | 60     |
|   | Polietilene schiuma  | 70    | 0,05 | 2300  | 100    | 100    |
| Gesso   | Gesso  | 600   | 0,18 | 1000  | 10     | 4      |
|   | "  | 900   | 0,3  | 1000  | 10     | 4      |
|   | "  | 1200  | 0,43 | 1000  | 10     | 4      |
|   | "  | 1500  | 0,56 | 1000  | 10     | 4      |
|   | Cartongesso b)   | 900   | 0,25 | 1000  | 10     | 4      |

|                                   |  |           |      |           |       |       |
|-----------------------------------|--|-----------|------|-----------|-------|-------|
| Intonaci e rivestimenti           | Intonaco isolante di gesso                 | 600       | 0,18 | 1000      | 10    | 6     |
|                                   | Intonaco di gesso                          | 1000      | 0,4  | 1000      | 10    | 6     |
|                                   | "  | 1300      | 0,57 | 1000      | 10    | 6     |
|                                   | Gesso e sabbia                             | 1600      | 0,8  | 1000      | 10    | 6     |
|                                   | Calce e sabbia                             | 1600      | 0,8  | 1000      | 10    | 6     |
|                                   | Cemento e sabbia                           | 1900      | 1    | 1000      | 10    | 6     |
|                                   |  |           |      |           |       |       |
| Terra                             | Creta o argilla                            | 1200-1800 | 1,5  | 1670-2500 | 50    | 50    |
|                                   | Sabbia e ghiaia                            | 1700-2200 | 2    | 910-1180  | 50    | 50    |
|                                   |  |           |      |           |       |       |
| Rocce                             | Roccia naturale                            | 2800      | 3,5  | 1000      | 10000 | 10000 |
|                                   | Roccia nat. sedimentaria                   | 2600      | 2,3  | 1000      | 250   | 250   |
|                                   | Roccia nat. sedimentaria, leggera          | 1500      | 0,85 | 1000      | 30    | 30    |
|                                   | Roccia nat. Porosa (lava)                  | 1600      | 0,55 | 1000      | 20    | 20    |
|                                   | Basalto                                    | 2700-3000 | 3,5  | 1000      | 10000 | 10000 |
|                                   | Gneiss                                     | 2400-2700 | 3,5  | 1000      | 10000 | 10000 |
|                                   | Granito                                    | 2500-2700 | 2,8  | 1000      | 10000 | 10000 |
|                                   | Marmo                                      | 2800      | 3,5  | 1000      | 10000 | 10000 |
|                                   | Ardesia                                    | 2000-2800 | 2,2  | 1000      | 1000  | 1000  |
|                                   | Calcere, molto leggero                     | 1600      | 0,85 | 1000      | 30    | 30    |
|                                   | Calcere, leggero                           | 1800      | 1,1  | 1000      | 40    | 40    |
|                                   | Calcere, semi-duro                         | 2000      | 1,4  | 1000      | 50    | 50    |
|                                   | Calcere, duro                              | 2200      | 1,7  | 1000      | 200   | 200   |
|                                   | Calcere, molto duro                        | 2600      | 2,3  | 1000      | 250   | 250   |
|                                   | Arenaria (silice)                          | 2600      | 2,3  | 1000      | 40    | 40    |
|                                   | Pomice naturale                            | 400       | 0,12 | 1000      | 8     | 8     |
|                                   | Pietra artificiale                         | 1750      | 1,3  | 1000      | 50    | 50    |
|                                   |  |           |      |           |       |       |
| Tegole                            | Terracotta                                 | 2000      | 1    | 800       | 40    | 30    |
|                                   | Calcestruzzo                               | 2100      | 1,5  | 1000      | 100   | 60    |
|                                   |  |           |      |           |       |       |
| Piastrille (altro)                | Ceramica / porcellana                      | 2300      | 1,3  | 840       |       | ∞     |
|                                   | Plastica                                   | 1000      | 0,2  | 1000      | 10000 | 10000 |
|                                   |  |           |      |           |       |       |
| Legname c)                        |  | 500       | 0,13 | 1600      | 50    | 20    |
|                                   |  | 700       | 0,18 | 1600      | 200   | 50    |
|                                   |  |           |      |           |       |       |
| Pannelli a base di legno c)       | Compensato d)                              | 300       | 0,09 | 1600      | 150   | 50    |
|                                   | "  | 500       | 0,13 | 1600      | 200   | 70    |
|                                   | "  | 700       | 0,17 | 1600      | 220   | 90    |
|                                   | "  | 1000      | 0,24 | 1600      | 250   | 110   |
|                                   | Pannello truciolare con leganti in cemento | 1200      | 0,23 | 1500      | 50    | 30    |
|                                   | Pannello truciolare con leganti in cemento | 300       | 0,1  | 1700      | 50    | 10    |
|                                   | "  | 600       | 0,14 | 1700      | 50    | 15    |
|                                   | "  | 900       | 0,18 | 1700      | 50    | 20    |
|                                   | Tavole a fibre orientate (OSB)             | 650       | 0,13 | 1700      | 50    | 30    |
|                                   | Pannelli di fibre, incluso MDF e)          | 250       | 0,07 | 1700      | 5     | 2     |
|                                   | Pannelli di fibre, incluso MDF e)          | 400       | 0,1  | 1700      | 10    | 5     |
|                                   | Pannelli di fibre, incluso MDF e)          | 600       | 0,14 | 1700      | 20    | 12    |
| Pannelli di fibre, incluso MDF e) | 800  | 0,18      | 1700 | 30        | 20    |       |
|                                   |  |           |      |           |       |       |

**Nota 1** Ai fini dei calcoli potrebbe essere necessario sostituire il valore  $\infty$  con un valore arbitrariamente grande, per esempio  $10^6$ .

**Nota 2** I valori di resistenza al vapor acqueo sono forniti come valori in capo asciutto e bagnato, vedere UNI EN ISO 12572: Prestazione igrotermica dei materiali e dei prodotti per edilizia - Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapor d'acqua

**a)** La massa volumica del calcestruzzo è la massa volumica a secco.

**b)** La conduttività termica comprende l'effetto dei rivestimenti di carta.

**c)** La massa volumica per legnami ed i prodotti a base di legno è la massa volumica in equilibrio con 20°C e 65% di U.R.

**d)** Per i pannelli di legno massiccio (SWP) e per legname impiallacciato laminato (LVL) possono essere usati, a titolo provvisorio, in attesa di dati significativi sufficienti, i valori forniti per compensato.

**e)** MDF: Pannello di fibre di media massa volumica, processo a secco.

**prospetto 2**  
**PROPRIETA' IGROMETRICHE E CAPACITA' TERMICA SPECIFICA DEI MATERIALI DI ISOLAMENTO TERMICO E DEI MATERIALI PER MURATURE**

| Materiale                                 | Massa volumica      | Contenuto di umidità a 23°C, 50% UR 1) |                                | Contenuto di umidità a 23°C, 80% UR 1) |                                | Coefficiente di conversione dell'umidità |          | Fattore di resistenza al vapor d'acqua |             | Capacità termica specifica |
|---|---------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|----------|--|-------------|----------------------------|
|   | $\rho$              | U                                      | $\Psi$                         | U                                      | $\Psi$                         | $f_u$                                    | $f_\Psi$ | $\mu$                                  |             | $C_p$                      |
|   | Kg / m <sup>3</sup> | Kg / Kg                                | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> | Kg / Kg                                | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> |  |          | campo secco                            | campo umido | J / (Kg K)                 |
|   |                     |  |                                |  |                                |  |          |  |             |                            |
| Polistirene espanso                       | 10-50               |  | 0                              |  | 0                              |  | 4        | 60                                     | 60          | 1450                       |
| Polistirene estruso in schiuma            | 20-65               |  | 0                              |  | 0                              |  | 2,5      | 150                                    | 150         | 1450                       |
| Poliuretano in schiuma, rigido            | 28-55               |  | 0                              |  | 0                              |  | 3        | 60                                     | 60          | 1400                       |
| Lana minerale                             | 10-200              |  | 0                              |  | 0                              |  | 4        | 1                                      | 1           | 1030                       |
| Schiuma fenolica                          | 20-50               |  | 0                              |  | 0                              |  | 5        | 50                                     | 50          | 1400                       |
| Vetro cellulare                           | 100-150             | 0                                      |                                | 0                                      |                                | 0  |          | $\infty$                               | $\infty$    | 100                        |
| Pannello di perlite                       | 140-240             | 0,02                                   |                                | 0,03                                   |                                | 0,8                                      |          | 5                                      | 5           | 900                        |
| Sughero espanso                           | 90-140              |  | 0,008                          |  | 0,011                          |  | 6        | 10                                     | 5           | 1560                       |
| Pannello in lana di legno                 | 250-450             |  | 0,03                           |  | 0,05                           |  | 1,8      | 5                                      | 3           | 1470                       |
| Pannello in fibra di legno                | 150-250             | 0,1                                    |                                | 0,16                                   |                                | 1,5                                      |          | 10                                     | 5           | 1400                       |
| Schiuma ureica                            | 10-30               | 0,1                                    |                                | 0,15                                   |                                | 0,7                                      |          | 2                                      | 2           | 1400                       |
| Schiuma di poliuretano applicata a spray  | 30-50               |  | 0                              |  | 0                              |  | 3        | 60                                     | 60          | 1400                       |
| Lana minerale sfusa                       | 15-60               |  | 0                              |  | 0                              |  | 4        | 1                                      | 1           | 1030                       |
| Fibra di cellulosa sfusa                  | 20-60               | 0,11                                   |                                | 0,18                                   |                                | 0,5                                      |          | 2                                      | 2           | 1600                       |
| Perlite espansa sfusa                     | 30-150              | 0,01                                   |                                | 0,02                                   |                                | 3  |          | 2                                      | 2           | 900                        |
| Vermiculite sfusa                         | 30-150              | 0,01                                   |                                | 0,02                                   |                                | 2  |          | 3                                      | 2           | 1080                       |
| Argilla espansa fusa                      | 200-400             | 0                                      |                                | 0,001                                  |                                | 4  |          | 2                                      | 2           | 1000                       |
| Polistirene espanso in grani sfuso        | 10-30               |  | 0                              |  | 0                              |  | 4        | 2                                      | 2           | 1400                       |
| Argilla refrattaria                       | 1000-2400           |  | 0,007                          |  | 0,012                          |  | 10       | 16                                     | 10          | 1000                       |
| Silicato di calcio                        | 900-2200            |  | 0,012                          |  | 0,024                          |  | 10       | 20                                     | 15          | 1000                       |
| Calcestruzzo con soli aggregati di pomice | 500-1300            |  | 0,02                           |  | 0,035                          |  | 4        | 50                                     | 40          | 1000                       |



|   |           |       |       |     |     |     |      |
|---|-----------|-------|-------|-----|-----|-----|------|
| Calcestruzzo con aggregati ad alta massa volumica e pietra lavorata | 1600-2400 | 0,025 | 0,04  | 4   | 150 | 120 | 1000 |
| Calcestruzzo con aggregati di polistirene                           | 500-800   | 0,015 | 0,025 | 5   | 120 | 60  | 1000 |
| Calcestruzzo con soli aggregati di argilla espansa                  | 400-700   | 0,02  | 0,03  | 2,6 | 6   | 4   | 1000 |
| Calcestruzzo con aggregati di argilla espansa predominanti          | 800-1700  | 0,02  | 0,03  | 4   | 8   | 6   | 1000 |
| Calcestruzzo con più di 70% di loppe di altoforno come aggregati    | 1100-1700 | 0,02  | 0,04  | 4   | 30  | 20  | 1000 |
| Calcestruzzo a base predominante di scisto espanso                  | 1100-1500 | 0,02  | 0,04  | 4   | 15  | 10  | 1000 |
| Calcestruzzo alveolato autoclavato                                  | 300-1000  | 0,026 | 0,045 | 4   | 10  | 6   | 1000 |
| Calcestruzzo con altri aggregati leggeri                            | 500-2000  | 0,03  | 0,05  | 4   | 15  | 10  | 1000 |
| Malta (per muratura e per intonaco)                                 | 250-2000  | 0,05  | 0,05  | 4   | 20  | 10  | 1000 |

1) I valori indicati sono raramente superati.

prospetto 3

**STRATO DI ARIA EQUIVALENTE PER LA DIFFUSIONE DEL VAPORE ACQUEO  
(RESISTENZA AL VAPORE ACQUEO)**

| Prodotto / Materiale                        | Strato di aria equivalente per la diffusione del vapore acqueo<br><b>S<sub>d</sub></b><br><b>m</b> |
|---|--|
| Polietilene 0,15 mm.                        | 50   |
| Polietilene 0,25 mm.                        | 100  |
| Pellicola di poliestere 0,2 mm.             | 50   |
| Foglio di PVC                               | 30   |
| Foglio di alluminio 0,05 mm.                | 1500   |
| Foglio di polietilene (aggraffato) 0,15 mm. | 8  |
| Carta bitumata 0,1 mm.                      | 2  |
| Foglio di alluminio 0,4 mm.                 | 10   |
| Membrana traspirante                        | 0,2  |
| Pittura - emulsione                         | 0,1  |
| Pittura - lacca                             | 3  |
| Carta da parati in vinile                   | 2  |

**Nota:** Lo spessore equivalente di strato d'aria per la diffusione del vapore acqueo di un prodotto è espresso come lo spessore d'uno strato di aria immobile caratterizzato dalla stessa resistenza al vapore acqueo del prodotto. Lo spessore dei prodotti nel prospetto 3 generalmente non è misurato ed essi possono essere considerati come prodotti infinitamente sottili caratterizzati da una resistenza al vapore acqueo. Il prospetto cita un valore nominale dello spessore come sussidio all'identificazione del prodotto.

## APPENDICE A

Valori raccolti dichiarati dal produttore:

| N° | AZIENDA<br>PRODUTTRICE | TIPO<br><br>UNI 13163 | Conduttività<br>termica<br>dichiarata | Densità<br>dichiarata | Fattore<br>diffusione<br>al vapore | Ass.<br>d'acqua<br>per imm. | Permeabilità<br>al vapore<br>d'acqua |
|----|------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
|    |                        |                       | $\lambda_D$                           | $\rho_{prod}$         | $\mu$                              |                             | $\delta$                             |
|    |                        |                       | [W/mk]                                | [Kg/m <sup>3</sup> ]  | Adimens.                           | % Vol.                      | [mg/(Pa h m)]                        |
| 1  | AZIENDA A              | EPS 150               | 0,037                                 | 25                    | 33-35                              | 2                           |                                      |
| 2  |                        | EPS 70                | 0,04                                  |                       | 20-40                              | 2,5                         |                                      |
| 3  |                        | EPS 120               | 0,036                                 |                       | 30-70                              | 2                           |                                      |
| 4  |                        | EPS 150               | 0,035                                 |                       | 30-70                              |                             |                                      |
| 5  |                        | EPS 200               | 0,035                                 |                       | 40-100                             | 1,7                         |                                      |
| 6  | AZIENDA B              | EPS 100               | 0,037                                 | 20                    | 30-70                              | <3                          |                                      |
| 7  |                        | EPS 150               | 0,034                                 | 25                    | 30-70                              | <3                          |                                      |
| 8  |                        | EPS 200               | 0,033                                 | 30                    | 40-100                             | <3                          |                                      |
| 9  |                        | EPS 250               | 0,033                                 | 35                    | 40-100                             | <3                          |                                      |
| 10 | AZIENDA C              | EPS 100               | 0,036                                 |                       | 30-70                              | <5                          |                                      |
| 11 |                        | EPS 150               | 0,034                                 |                       | 30-70                              | <3                          |                                      |
| 12 |                        | EPS 200               | 0,033                                 |                       | 40-100                             | <2                          |                                      |
| 13 | AZIENDA D              | EPS 70                | 0,039                                 | 14                    |                                    |                             |                                      |
| 14 |                        | EPS 80                | 0,037                                 | 15                    |                                    |                             |                                      |
| 15 |                        | EPS 100               | 0,035                                 | 18                    |                                    |                             |                                      |
| 16 |                        | EPS 120               | 0,034                                 | 20                    |                                    |                             |                                      |
| 17 |                        | EPS 150               | 0,034                                 | 25                    |                                    |                             |                                      |
| 18 |                        | EPS 200               | 0,033                                 | 30                    |                                    |                             |                                      |
| 19 |                        | EPS 250               | 0,033                                 | 35                    |                                    |                             |                                      |
| 20 | AZIENDA E              | EPS 30                | 0,044                                 |                       | 20-40                              | <5                          |                                      |
| 21 |                        | EPS 70                | 0,039                                 |                       | 20-40                              | <5                          |                                      |
| 22 |                        | EPS 80                | 0,038                                 |                       | 20-40                              | <5                          |                                      |
| 23 |                        | EPS 100               | 0,036                                 |                       | 30-70                              | <5                          |                                      |
| 24 |                        | EPS 150               | 0,034                                 |                       | 30-70                              | <3                          |                                      |
| 25 |                        | EPS 200               | 0,033                                 |                       | 40-100                             | <3                          |                                      |
| 26 |                        | EPS 250               | 0,033                                 |                       | 40-100                             | <3                          |                                      |
| 27 | AZIENDA F              | EPS 80                | 0,038                                 | >15,0                 |                                    |                             |                                      |
| 28 |                        | EPS 100               | 0,035                                 | >18,5                 |                                    |                             |                                      |
| 29 |                        | EPS 120               | 0,035                                 | >20,5                 |                                    |                             |                                      |
| 30 |                        | EPS 150               | 0,034                                 | >24,0                 |                                    |                             |                                      |
| 31 |                        | EPS 200               | 0,034                                 | >30,0                 |                                    |                             |                                      |
| 32 | AZIENDA G              | EPS 50                | 0,039                                 | 15                    | 20-40                              | 4                           | 0,015-0,030                          |
| 33 |                        | EPS 100               | 0,036                                 | 20                    | 30-70                              | 3                           | 0,009-0,02                           |
| 34 |                        | EPS 150               | 0,035                                 | 25                    | 30-70                              | 3                           | 0,006-0,015                          |
| 35 |                        | EPS 200               | 0,034                                 | 30                    | 40-100                             | 2                           | 0,006-0,015                          |
| 36 |                        | EPS 250               | 0,034                                 | 35                    | 40-100                             | 2                           | 0,006-0,015                          |
| 37 |                        | EPS 200               | 0,031                                 | 30                    | 60-80                              | 1,5                         |                                      |
| 38 | AZIENDA H              | EPS 80                | 0,037                                 |                       |                                    |                             |                                      |
| 39 |                        | EPS 100               | 0,036                                 |                       |                                    |                             |                                      |
| 40 |                        | EPS 120               | 0,034                                 |                       |                                    |                             |                                      |
| 41 |                        | EPS 150               | 0,033                                 |                       |                                    |                             |                                      |
| 42 |                        | EPS 200               | 0,032                                 |                       |                                    |                             |                                      |

|    |                  |             |       |    |        |      |             |
|----|------------------|-------------|-------|----|--------|------|-------------|
| 43 |                  | EPS 250     | 0,032 |    |        |      |             |
| 44 |                  | EPS S       | 0,042 |    |        |      |             |
| 45 |                  | EPS 100 E   | 0,036 |    |        |      |             |
| 46 | <b>AZIENDA H</b> | EPS 120 E   | 0,034 |    |        |      |             |
| 47 |                  | EPS 150 E   | 0,033 |    |        |      |             |
| 48 |                  | EPS 200 E   | 0,032 |    |        |      |             |
| 49 |                  | EPS 100 E   | 0,033 |    |        |      |             |
| 50 |                  | EPS 80 E    | 0,038 | 15 | 20-40  | <2   | 0,018-0,036 |
| 51 |                  | EPS 100 E   | 0,035 | 18 | 30-70  | <2   | 0,010-0,024 |
| 52 | <b>AZIENDA I</b> | EPS 120 E   | 0,034 | 20 | 30-70  | <2   | 0,010-0,024 |
| 53 |                  | EPS 150 E   | 0,034 | 25 | 30-70  | <2   | 0,010-0,024 |
| 54 |                  | EPS 200 E   | 0,033 | 30 | 40-100 | <2   | 0,007-0,018 |
| 55 |                  | EPS 250 E   | 0,033 | 35 | 40-100 | <2   | 0,007-0,018 |
| 56 | <b>AZIENDA L</b> | EPS 50      | 0,035 | 15 |        |      |             |
| 57 |                  | EPS 70      | 0,038 | 15 |        | 1,6  |             |
| 58 |                  | EPS 100     | 0,036 | 20 |        | 1,9  |             |
| 59 | <b>AZIENDA M</b> | EPS 150     | 0,035 | 25 |        | 2,5  |             |
| 60 |                  | EPS 250     | 0,034 | 30 |        | 1,8  |             |
| 61 |                  | EPS 300     | 0,032 | 35 |        | 1    |             |
| 62 |                  | EPS 300     | 0,032 | 40 |        | 1,5  |             |
| 63 |                  | EPS 100     | 0,035 | 20 |        |      |             |
| 64 | <b>AZIENDA N</b> | EPS 150     | 0,033 | 25 |        |      |             |
| 65 |                  | EPS 200     | 0,033 | 30 |        |      |             |
| 66 |                  | EPS 250     | 0,032 | 35 |        |      |             |
| 67 |                  | EPS 80 (50) | 0,039 | 15 | 20-40  | <4   |             |
| 68 | *                | EPS 100     | 0,036 | 20 | 30-50  | <3   |             |
| 69 |                  | EPS 150     | 0,035 | 25 | 40-70  | <3   |             |
| 70 |                  | EPS 200     | 0,034 | 30 | 50-100 | <2   |             |
| 71 | <b>AZIENDA O</b> | EPS 250     | 0,034 | 35 | 60-120 | <2   |             |
| 72 |                  | EPS 150     | 0,033 | 25 |        | <1,5 | 0,007-0,016 |
| 73 |                  | EPS 200     | 0,032 | 30 |        | <1,4 | 0,007-0,015 |
| 74 |                  | EPS 230     | 0,032 | 33 |        | <1,3 | 0,007-0,015 |
| 75 |                  | EPS 200     | 0,033 | 25 | 30-40  | <2   | 0,007-0,015 |
| 76 |                  | EPS 150     | 0,033 | 25 | 40-70  | <1,5 | 0,007-0,016 |
| 77 |                  | EPS 200     | 0,032 | 30 | 50-100 | <1,5 | 0,007-0,016 |
| 78 |                  | EPS 30      | 0,032 | 10 |        |      |             |
| 79 |                  | EPS 70      | 0,036 |    |        |      |             |
| 80 | <b>AZIENDA P</b> | EPS 100     | 0,033 |    |        |      |             |
| 81 |                  | EPS 150     | 0,033 | 25 |        |      |             |
| 82 |                  | EPS 200     | 0,032 |    |        |      |             |

Note:

\*

Dalla scheda tecnica il prodotto in esame viene classificato come EPS 80, anche se la resistenza a compressione al 10% di deformazione viene dichiarata 0,4-0,6 Kg/cm<sup>2</sup>, ovvero all'incirca 50 Kpa

E = ETICS : acronimo di "External thermal insulation composite system", per indicare l'isolamento esterno a "cappotto"

## APPENDICE B

Valori ordinati per densità

Nello specifico i valori tabulati riguardano i dati di:

- densità  $[\rho_{prod}]$ : valore dichiarato dal produttore;
- densità con regress. di norma  $[\rho_r]$ : densità calcolata con la regressione secondo appendice B.2.3 della norma UNI EN 13163, anche i prodotti il cui valore di densità è comunque specificato dal produttore;
- densità  $[\rho]$ : valori di densità utilizzati per l'elaborazione del presente studio che considera il valore dichiarato dal produttore e, in assenza di esso, il valore calcolato con il metodo proposto.

| N° | AZIENDA<br>PRODUTTRICE | TIPO        | Conduttività<br>termica<br>dichiarata | Densità<br>dichiarata | Densità<br>con<br>regress. di<br>norma | Densità              |
|----|------------------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------|--|----------------------|
|    |                        |             | $\lambda_D$                           | $\rho_{prod}$         | $\rho_r$                               | $\rho$               |
|    |                        |             | [W/mk]                                | [Kg/m <sup>3</sup> ]  | [Kg/m <sup>3</sup> ]                   | [Kg/m <sup>3</sup> ] |
| 2  | AZIENDA E              | EPS 30      | 0,044                                 | /                     | 10                                     | 10                   |
| 3  | AZIENDA P              | EPS 30      | 0,032                                 | 10                    | 36                                     | 10                   |
| 1  | AZIENDA H              | EPS S       | 0,042                                 | /                     | 11                                     | 11                   |
| 6  | AZIENDA A              | EPS 70      | 0,04                                  | /                     | 13                                     | 13                   |
| 7  | AZIENDA D              | EPS 70      | 0,039                                 | 14                    | 14                                     | 14                   |
| 8  | AZIENDA E              | EPS 70      | 0,039                                 | /                     | 14                                     | 14                   |
| 4  | AZIENDA G              | EPS 50      | 0,039                                 | 15                    | 14                                     | 15                   |
| 5  | AZIENDA L              | EPS 50      | 0,035                                 | 15                    | 20                                     | 15                   |
| 9  | AZIENDA M              | EPS 70      | 0,038                                 | 15                    | 15                                     | 15                   |
| 11 | AZIENDA D              | EPS 80      | 0,037                                 | 15                    | 16                                     | 15                   |
| 12 | AZIENDA E              | EPS 80      | 0,038                                 | /                     | 15                                     | 15                   |
| 13 | AZIENDA F              | EPS 80      | 0,038                                 | >15,0                 | 15                                     | 15                   |
| 15 | AZIENDA I              | EPS 80 E    | 0,038                                 | 15                    | 15                                     | 15                   |
| 16 | AZIENDA O              | EPS 80 (50) | 0,039                                 | 15                    | 14                                     | 15                   |
| 14 | AZIENDA H              | EPS 80      | 0,037                                 | /                     | 16                                     | 16                   |
| 10 | AZIENDA P              | EPS 70      | 0,036                                 | /                     | 18                                     | 18                   |
| 18 | AZIENDA C              | EPS 100     | 0,036                                 | /                     | 18                                     | 18                   |
| 19 | AZIENDA D              | EPS 100     | 0,035                                 | 18                    | 20                                     | 18                   |
| 20 | AZIENDA E              | EPS 100     | 0,036                                 | /                     | 18                                     | 18                   |
| 23 | AZIENDA H              | EPS 100     | 0,036                                 | /                     | 18                                     | 18                   |
| 24 | AZIENDA I              | EPS 100 E   | 0,035                                 | 18                    | 20                                     | 18                   |
| 29 | AZIENDA H              | EPS 100 E   | 0,036                                 | /                     | 18                                     | 18                   |
| 31 | AZIENDA A              | EPS 120     | 0,036                                 | /                     | 18                                     | 18                   |
| 21 | AZIENDA F              | EPS 100     | 0,035                                 | >18,5                 | 20                                     | 18                   |
| 17 | AZIENDA B              | EPS 100     | 0,037                                 | 20                    | 16                                     | 20                   |
| 22 | AZIENDA G              | EPS 100     | 0,036                                 | 20                    | 18                                     | 20                   |
| 25 | AZIENDA M              | EPS 100     | 0,036                                 | 20                    | 18                                     | 20                   |
| 26 | AZIENDA N              | EPS 100     | 0,035                                 | 20                    | 20                                     | 20                   |
| 27 | AZIENDA O              | EPS 100     | 0,036                                 | 20                    | 18                                     | 20                   |
| 32 | AZIENDA D              | EPS 120     | 0,034                                 | 20                    | 24                                     | 20                   |
| 35 | AZIENDA I              | EPS 120 E   | 0,034                                 | 20                    | 24                                     | 20                   |
| 38 | AZIENDA A              | EPS 150     | 0,035                                 | /                     | 20                                     | 20                   |

|    |           |           |       |       |    |    |
|----|-----------|-----------|-------|-------|----|----|
| 54 | AZIENDA A | EPS 200   | 0,035 | /     | 20 | 20 |
| 33 | AZIENDA F | EPS 120   | 0,035 | >20,5 | 20 | 20 |
| 34 | AZIENDA H | EPS 120   | 0,034 | /     | 24 | 24 |
| 36 | AZIENDA H | EPS 120 E | 0,034 | /     | 24 | 24 |
| 40 | AZIENDA C | EPS 150   | 0,034 | /     | 24 | 24 |
| 42 | AZIENDA E | EPS 150   | 0,034 | /     | 24 | 24 |
| 43 | AZIENDA F | EPS 150   | 0,034 | >24,0 | 24 | 24 |
| 37 | AZIENDA A | EPS 150   | 0,037 | 25    | 16 | 25 |
| 39 | AZIENDA B | EPS 150   | 0,034 | 25    | 24 | 25 |
| 41 | AZIENDA D | EPS 150   | 0,034 | 25    | 24 | 25 |
| 44 | AZIENDA G | EPS 150   | 0,035 | 25    | 20 | 25 |
| 46 | AZIENDA I | EPS 150 E | 0,034 | 25    | 24 | 25 |
| 47 | AZIENDA M | EPS 150   | 0,035 | 25    | 20 | 25 |
| 48 | AZIENDA N | EPS 150   | 0,033 | 25    | 28 | 25 |
| 49 | AZIENDA O | EPS 150   | 0,035 | 25    | 20 | 25 |
| 50 | AZIENDA O | EPS 150   | 0,033 | 25    | 28 | 25 |
| 51 | AZIENDA O | EPS 150   | 0,033 | 25    | 28 | 25 |
| 52 | AZIENDA P | EPS 150   | 0,033 | 25    | 28 | 25 |
| 67 | AZIENDA O | EPS 200   | 0,033 | 25    | 36 | 25 |
| 28 | AZIENDA P | EPS 100   | 0,033 | /     | 28 | 28 |
| 30 | AZIENDA H | EPS 100 E | 0,033 | /     | 28 | 28 |
| 45 | AZIENDA H | EPS 150   | 0,033 | /     | 28 | 28 |
| 53 | AZIENDA H | EPS 150 E | 0,033 | /     | 28 | 28 |
| 56 | AZIENDA C | EPS 200   | 0,033 | /     | 28 | 28 |
| 58 | AZIENDA E | EPS 200   | 0,033 | /     | 28 | 28 |
| 74 | AZIENDA E | EPS 250   | 0,033 | /     | 28 | 28 |
| 55 | AZIENDA B | EPS 200   | 0,033 | 30    | 28 | 30 |
| 57 | AZIENDA D | EPS 200   | 0,033 | 30    | 28 | 30 |
| 59 | AZIENDA F | EPS 200   | 0,034 | >30,0 | 24 | 30 |
| 60 | AZIENDA G | EPS 200   | 0,034 | 30    | 24 | 30 |
| 61 | AZIENDA G | EPS 200   | 0,031 | 30    |    | 30 |
| 63 | AZIENDA I | EPS 200 E | 0,033 | 30    | 28 | 30 |
| 64 | AZIENDA N | EPS 200   | 0,033 | 30    | 28 | 30 |
| 65 | AZIENDA O | EPS 200   | 0,034 | 30    | 24 | 30 |
| 66 | AZIENDA O | EPS 200   | 0,032 | 30    | 36 | 30 |
| 68 | AZIENDA O | EPS 200   | 0,032 | 30    | 36 | 30 |
| 78 | AZIENDA M | EPS 250   | 0,034 | 30    | 24 | 30 |
| 71 | AZIENDA O | EPS 230   | 0,032 | 33    | 36 | 33 |
| 72 | AZIENDA B | EPS 250   | 0,033 | 35    | 28 | 35 |
| 73 | AZIENDA D | EPS 250   | 0,033 | 35    | 28 | 35 |
| 75 | AZIENDA G | EPS 250   | 0,034 | 35    | 24 | 35 |
| 77 | AZIENDA I | EPS 250 E | 0,033 | 35    | 28 | 35 |
| 79 | AZIENDA N | EPS 250   | 0,032 | 35    | 36 | 35 |
| 80 | AZIENDA O | EPS 250   | 0,034 | 35    | 24 | 35 |
| 81 | AZIENDA M | EPS 300   | 0,032 | 35    | 36 | 35 |
| 62 | AZIENDA H | EPS 200   | 0,032 | /     | 36 | 36 |
| 69 | AZIENDA P | EPS 200   | 0,032 | /     | 36 | 36 |
| 70 | AZIENDA H | EPS 200 E | 0,032 | /     | 36 | 36 |
| 76 | AZIENDA H | EPS 250   | 0,032 | /     | 36 | 36 |
| 82 | AZIENDA M | EPS 300   | 0,032 | 40    | 36 | 40 |

## APPENDICE C

Valori dichiarati dal produttore ordinati per tipo di EPS secondo la UNI EN 13163

| N° | AZIENDA<br>PRODUTTRICE | TIPO        | Conduttività<br>termica<br>dichiarata | Densità<br>dichiarata | Fattore<br>diffusione<br>al vapore | Ass.<br>d'acqua<br>per imm. |
|----|------------------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------|
|    |                        | UNI 13163   | $\lambda_D$                           | $\rho_{prod}$         | $\mu$                              |                             |
|    |                        |             | [W/mk]                                | [Kg/m <sup>3</sup> ]  | Adimens.                           | % Vol.                      |
| 1  | AZIENDA H              | EPS S       | 0,042                                 |                       |                                    |                             |
| 2  | AZIENDA E              | EPS 30      | 0,044                                 |                       | 20-40                              | <5                          |
| 3  | AZIENDA P              | EPS 30      | 0,032                                 | 10                    |                                    |                             |
| 4  | AZIENDA G              | EPS 50      | 0,039                                 | 15                    | 20-40                              | 4                           |
| 5  | AZIENDA L              | EPS 50      | 0,035                                 | 15                    |                                    |                             |
| 6  | AZIENDA A              | EPS 70      | 0,04                                  |                       | 20-40                              | 2,5                         |
| 7  | AZIENDA D              | EPS 70      | 0,039                                 | 14                    |                                    |                             |
| 8  | AZIENDA E              | EPS 70      | 0,039                                 |                       | 20-40                              | <5                          |
| 9  | AZIENDA M              | EPS 70      | 0,038                                 | 15                    |                                    | 1,6                         |
| 10 | AZIENDA P              | EPS 70      | 0,036                                 |                       |                                    |                             |
| 11 | AZIENDA D              | EPS 80      | 0,037                                 | 15                    |                                    |                             |
| 12 | AZIENDA E              | EPS 80      | 0,038                                 |                       | 20-40                              | <5                          |
| 13 | AZIENDA F              | EPS 80      | 0,038                                 | >15,0                 |                                    |                             |
| 14 | AZIENDA H              | EPS 80      | 0,037                                 |                       |                                    |                             |
| 15 | AZIENDA I              | EPS 80 E    | 0,038                                 | 15                    | 20-40                              | <2                          |
| 16 | AZIENDA O              | EPS 80 (50) | 0,039                                 | 15                    | 20-40                              | <4                          |
| 17 | AZIENDA B              | EPS 100     | 0,037                                 | 20                    | 30-70                              | <3                          |
| 18 | AZIENDA C              | EPS 100     | 0,036                                 |                       | 30-70                              | <5                          |
| 19 | AZIENDA D              | EPS 100     | 0,035                                 | 18                    |                                    |                             |
| 20 | AZIENDA E              | EPS 100     | 0,036                                 |                       | 30-70                              | <5                          |
| 21 | AZIENDA F              | EPS 100     | 0,035                                 | >18,5                 |                                    |                             |
| 22 | AZIENDA G              | EPS 100     | 0,036                                 | 20                    | 30-70                              | 3                           |
| 23 | AZIENDA H              | EPS 100     | 0,036                                 |                       |                                    |                             |
| 24 | AZIENDA I              | EPS 100 E   | 0,035                                 | 18                    | 30-70                              | <2                          |
| 25 | AZIENDA M              | EPS 100     | 0,036                                 | 20                    |                                    | 1,9                         |
| 26 | AZIENDA N              | EPS 100     | 0,035                                 | 20                    |                                    |                             |
| 27 | AZIENDA O              | EPS 100     | 0,036                                 | 20                    | 30-50                              | <3                          |
| 28 | AZIENDA P              | EPS 100     | 0,033                                 |                       |                                    |                             |
| 29 | AZIENDA H              | EPS 100 E   | 0,036                                 |                       |                                    |                             |
| 30 | AZIENDA H              | EPS 100 E   | 0,033                                 |                       |                                    |                             |
| 31 | AZIENDA A              | EPS 120     | 0,036                                 |                       | 30-70                              | 2                           |
| 32 | AZIENDA D              | EPS 120     | 0,034                                 | 20                    |                                    |                             |
| 33 | AZIENDA F              | EPS 120     | 0,035                                 | >20,5                 |                                    |                             |
| 34 | AZIENDA H              | EPS 120     | 0,034                                 |                       |                                    |                             |
| 35 | AZIENDA I              | EPS 120 E   | 0,034                                 | 20                    | 30-70                              | <2                          |
| 36 | AZIENDA H              | EPS 120 E   | 0,034                                 |                       |                                    |                             |
| 37 | AZIENDA A              | EPS 150     | 0,037                                 | 25                    | 33-35                              | 2                           |
| 38 | AZIENDA A              | EPS 150     | 0,035                                 |                       | 30-70                              |                             |
| 39 | AZIENDA B              | EPS 150     | 0,034                                 | 25                    | 30-70                              | <3                          |
| 40 | AZIENDA C              | EPS 150     | 0,034                                 |                       | 30-70                              | <3                          |
| 41 | AZIENDA D              | EPS 150     | 0,034                                 | 25                    |                                    |                             |
| 42 | AZIENDA E              | EPS 150     | 0,034                                 |                       | 30-70                              | <3                          |
| 43 | AZIENDA F              | EPS 150     | 0,034                                 | >24,0                 |                                    |                             |

|    |           |           |       |       |        |      |
|----|-----------|-----------|-------|-------|--------|------|
| 44 | AZIENDA G | EPS 150   | 0,035 | 25    | 30-70  | 3    |
| 45 | AZIENDA H | EPS 150   | 0,033 |       |        |      |
| 46 | AZIENDA I | EPS 150 E | 0,034 | 25    | 30-70  | <2   |
| 47 | AZIENDA M | EPS 150   | 0,035 | 25    |        | 2,5  |
| 48 | AZIENDA N | EPS 150   | 0,033 | 25    |        |      |
| 49 | AZIENDA O | EPS 150   | 0,035 | 25    | 40-70  | <3   |
| 50 | AZIENDA O | EPS 150   | 0,033 | 25    |        | <1,5 |
| 51 | AZIENDA O | EPS 150   | 0,033 | 25    | 40-70  | <1,5 |
| 52 | AZIENDA P | EPS 150   | 0,033 | 25    |        |      |
| 53 | AZIENDA H | EPS 150 E | 0,033 |       |        |      |
| 54 | AZIENDA A | EPS 200   | 0,035 |       | 40-100 | 1,7  |
| 55 | AZIENDA B | EPS 200   | 0,033 | 30    | 40-100 | <3   |
| 56 | AZIENDA C | EPS 200   | 0,033 |       | 40-100 | <2   |
| 57 | AZIENDA D | EPS 200   | 0,033 | 30    |        |      |
| 58 | AZIENDA E | EPS 200   | 0,033 |       | 40-100 | <3   |
| 59 | AZIENDA F | EPS 200   | 0,034 | >30,0 |        |      |
| 60 | AZIENDA G | EPS 200   | 0,034 | 30    | 40-100 | 2    |
| 61 | AZIENDA G | EPS 200   | 0,031 | 30    | 60-80  | 1,5  |
| 62 | AZIENDA H | EPS 200   | 0,032 |       |        |      |
| 63 | AZIENDA I | EPS 200 E | 0,033 | 30    | 40-100 | <2   |
| 64 | AZIENDA N | EPS 200   | 0,033 | 30    |        |      |
| 65 | AZIENDA O | EPS 200   | 0,034 | 30    | 50-100 | <2   |
| 66 | AZIENDA O | EPS 200   | 0,032 | 30    |        | <1,4 |
| 67 | AZIENDA O | EPS 200   | 0,033 | 25    | 30-40  | <2   |
| 68 | AZIENDA O | EPS 200   | 0,032 | 30    | 50-100 | <1,5 |
| 69 | AZIENDA P | EPS 200   | 0,032 |       |        |      |
| 70 | AZIENDA H | EPS 200 E | 0,032 |       |        |      |
| 71 | AZIENDA O | EPS 230   | 0,032 | 33    |        | <1,3 |
| 72 | AZIENDA B | EPS 250   | 0,033 | 35    | 40-100 | <3   |
| 73 | AZIENDA D | EPS 250   | 0,033 | 35    |        |      |
| 74 | AZIENDA E | EPS 250   | 0,033 |       | 40-100 | <3   |
| 75 | AZIENDA G | EPS 250   | 0,034 | 35    | 40-100 | 2    |
| 76 | AZIENDA H | EPS 250   | 0,032 |       |        |      |
| 77 | AZIENDA I | EPS 250 E | 0,033 | 35    | 40-100 | <2   |
| 78 | AZIENDA M | EPS 250   | 0,034 | 30    |        | 1,8  |
| 79 | AZIENDA N | EPS 250   | 0,032 | 35    |        |      |
| 80 | AZIENDA O | EPS 250   | 0,034 | 35    | 60-120 | <2   |
| 81 | AZIENDA M | EPS 300   | 0,032 | 35    |        | 1    |
| 82 | AZIENDA M | EPS 300   | 0,032 | 40    |        | 1,5  |