

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
Appendice A: Valori raccolti dichiarati dal produttore.....	51
Appendice B: Valori ordinati per densità.....	53
Appendice C: Valori dichiarati dal produttore ordinati per tipo di EPS secondo UNI EN 13163.....	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  $15 \text{ Kg}/\text{m}^3$  e ancora rilevabile sull'EPS da  $20 \text{ Kg}/\text{m}^3$ , 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 (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]
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.

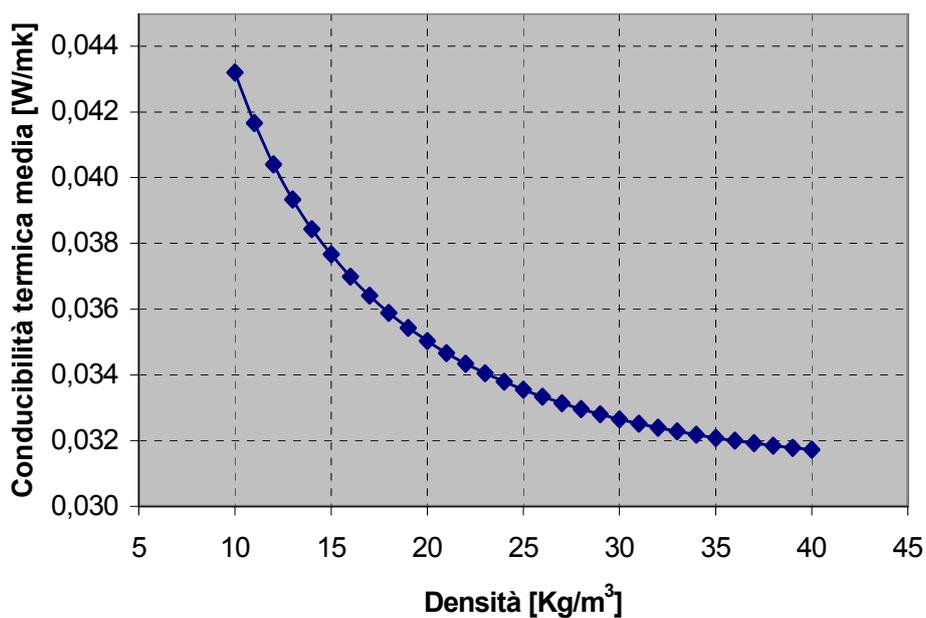
Sulla base della regressione sopra riportata è possibile determinare il valore di conduttività termica in funzione del valore di densità corrispondente di un determinato prodotto in EPS.

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.

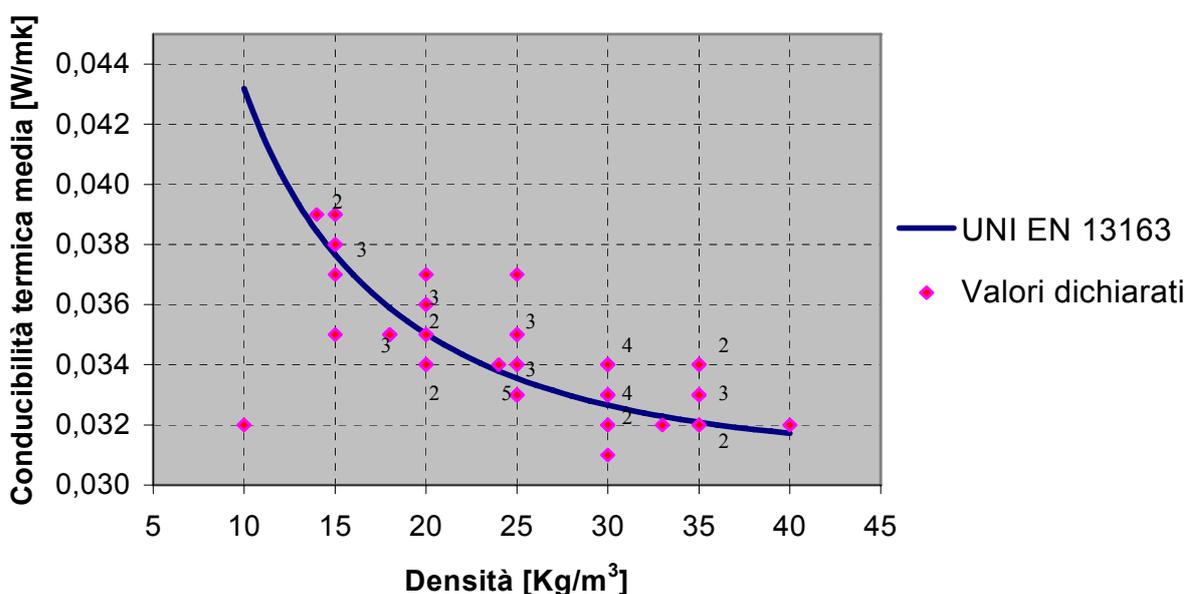


Grafico 2-Confronto valori dichiarati con regressione norma UNI EN 13163

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

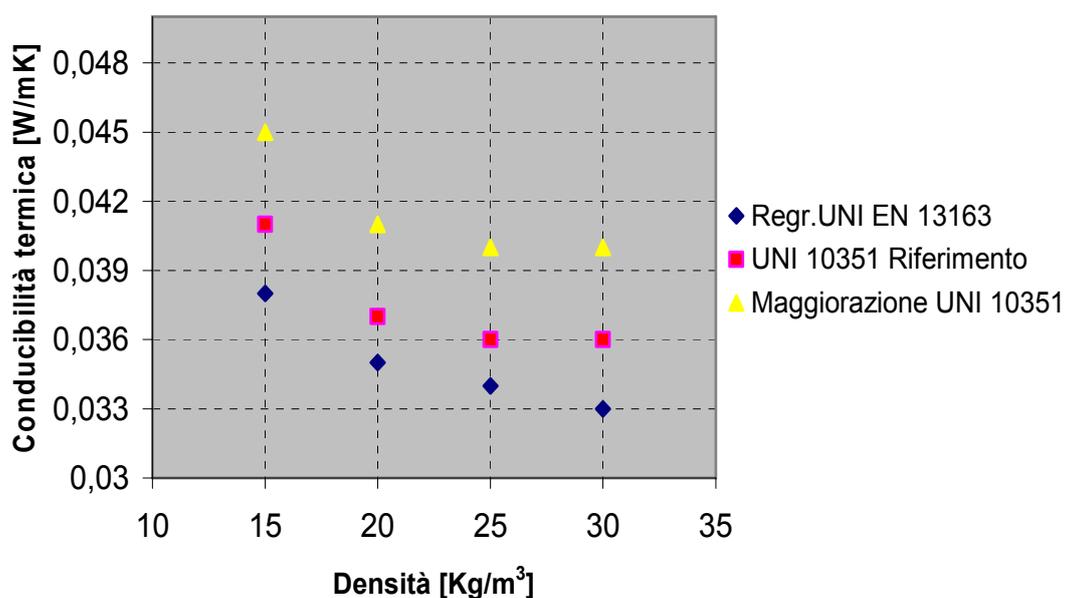


Grafico 3-Confronto valori conduttività termica

## 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 UNI 13163	Valore medio di $\lambda_D$	Valore 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 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 estreatto 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 UNI 13163	Range di valori 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
	Kripton	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
	Calcarea, molto leggero	1600	0,85	1000	30	30
	Calcarea, leggero	1800	1,1	1000	40	40
	Calcarea, semi-duro	2000	1,4	1000	50	50
	Calcarea, duro	2200	1,7	1000	200	200
	Calcarea, 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 <b>S<sub>d</sub></b> <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 PRODUTTRICE	TIPO  UNI 13163	Conduttività termica dichiarata	Densità dichiarata	Fattore diffusione al vapore	Ass. d'acqua per imm.	Permeabilità al vapore 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 PRODUTTRICE	TIPO	Conduttività termica dichiarata	Densità dichiarata	Densità con regress. di 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 PRODUTTRICE	TIPO	Conduttività termica dichiarata	Densità dichiarata	Fattore diffusione al vapore	Ass. d'acqua 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