



ISOLAMENTO TERMICO



Un corretto isolamento termico dell'involucro edilizio contribuisce sensibilmente al contenimento dei consumi energetici necessari per la climatizzazione degli edifici, aumentando notevolmente il comfort ambientale interno e diminuendo i costi per la gestione energetica. Per ottenere questi risultati è importante progettare e realizzare sistemi costruttivi (murature, solai, coperture, serramenti, impianti) utilizzando materiali che assicurino contemporaneamente ridotte dispersioni termiche, elevata capacità di accumulare il calore rilasciandolo lentamente, ottima traspirabilità e resistenza all'azione delle normali condizioni atmosferiche. Il calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) **AIRBETON** grazie alle proprie caratteristiche fisiche racchiude in un unico materiale tutti questi requisiti fondamentali. La tipologia delle materie prime utilizzate all'interno di uno specifico ciclo produttivo generano un prodotto con una contenuta massa volumica costituita da innumerevoli micro-celle chiuse contenenti aria: il migliore isolante termico naturale. L'elevato calore specifico caratteristico del calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) garantisce alle murature **AIRBETON** un'ottima inerzia termica. La massa "porosa" offre elevata traspirabilità alle pareti **AIRBETON** regolando l'umidità in eccesso presente negli ambienti. Queste peculiarità fanno del calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) **AIRBETON** un'ottima soluzione per realizzare murature monostrato con elevate performance termiche assicurando un'ideale comfort ambientale sia in inverno che in estate, assolutamente conformi alle limitazioni imposte dalla normativa nazionale vigente in materia di contenimento dei consumi energetici.

QUADRO NORMATIVO

Il Parlamento Europeo ed il Consiglio dell'Unione Europea con la pubblicazione della **Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia** (nota come "EPBD" cioè *Energy Performance Building Directive*) hanno indicato agli Stati Membri l'obiettivo da raggiungere per promuovere il miglioramento dell'efficienza energetica negli edifici della Comunità. Entro il 4 gennaio 2006 tutti gli Stati membri dovevano mettere in vigore le disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative per conformarsi a tale Direttiva (*dal 01/02/2012 tale Direttiva è stata abrogata e sostituita dalla Direttiva 2010/31/UE del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia: vedi approfondimento*).

L'Italia ha così recepito i contenuti della EPBD pubblicando il **Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia"** (in vigore dal 8 ottobre 2005), successivamente integrato e coordinato con il **Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 "Disposizione correttive e integrative al Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia"** (in vigore dal 2 febbraio 2007), infine attuato dal **Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia"** (in vigore dal 25 giugno 2009) e dal **Decreto Ministero dello Sviluppo Economico 26 giugno 2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica"** (in vigore dal 25 luglio 2009).

Per chiarezza riassumiamo in seguito il quadro temporale legislativo:

- **DAL 17 GENNAIO 1991 FINO AL 8 OTTOBRE 2005: LEGGE 10/91 E RELATIVI DECRETI ATTUATIVI;**
- **DAL 9 OTTOBRE 2005 AL 1 FEBBRAIO 2007: D. LGS. 192/2005;**
- **DAL 2 FEBBRAIO 2007 AL 24 GIUGNO 2009: D. LGS 311/2006.**
- **DAL 25 GIUGNO 2009: D.M. 59/2009.**

Le date sono riferite al periodo in cui è stato **richiesto** il permesso di costruire o la denuncia di inizio attività.

Con riferimento al recepimento della EPBD 2002/91/CE, le Regioni e Province autonome che non hanno adottato propri provvedimenti applicano la legislazione nazionale, mentre quelle che hanno adottato proprie normative devono garantire, per coerenza di contenuti, un graduale riavvicinamento dei propri provvedimenti alla legislazione nazionale.



DIRETTIVA SULL'EFFICIENZA ENERGETICA

"Gli edifici sono responsabili del 40% del consumo globale di energia dell'Unione Europea. Il settore è in espansione e ciò è destinato ad aumentare il consumo energetico. Pertanto, la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia costituiscono misure importanti per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra. Unitamente ad un maggior utilizzo di energia da fonti rinnovabili, le misure adottate per ridurre il consumo di energia nell'Unione consentirebbero a quest'ultima di uniformarsi al protocollo di Kyoto". Per raggiungere questo obiettivo l'Unione Europea ha inizialmente emanato la EPBD 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia, continuando però negli anni successivi ad approfondire tutte le tematiche collegate al cambiamento climatico ed al miglioramento della sicurezza energetica; infatti nel dicembre 2008 approva il "Pacchetto Clima Energia" (noto anche come "Strategia 20/20/20"), prefissandosi entro il 2020 di ridurre del 20% rispetto al 1990 le emissioni dei gas ad effetto serra (rif. Direttiva 2009/29/UE), aumentare al 20% la copertura del consumo energetico attraverso fonti rinnovabili (rif. Direttiva 2009/28/CE) e ridurre del 20% il consumo energetico (rif. Direttiva 2010/31/UE).

Di fondamentale importanza è la **Direttiva 2010/31/UE del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia** (pubblicata in GUUE il 18 giugno 2010, entrata in vigore il 9 luglio 2010) che dal 1 febbraio 2012 sancisce l'abrogazione della EPBD 2002/91/CE, imponendo agli Stati Membri il suo recepimento entro il 9 luglio 2012 (scaglionando l'applicazione delle varie disposizioni tra il 9 gennaio e il 9 luglio 2013, con una proroga massima al 31 dicembre 2015 per l'applicazione di parte dell'art. 12 sul rilascio dell'attestato di prestazione energetica).

L'obiettivo della nuova Direttiva (art. 1) è assolu-

tamente immutato, ossia punta al miglioramento della prestazione energetica degli edifici all'interno dell'Unione, tenendo conto delle condizioni climatiche e locali, nonché dell'ambiente termico interno e dell'efficacia sotto il profilo dei costi, introducendo però come fine ultimo il concetto di "edificio ad energia quasi zero" (definito all'art. 2 come "Edificio ad altissima prestazione energetica, determinata in conformità all'allegato I. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze"), che gli Stati Membri devono incentivare attraverso piani nazionali e con misure ed obiettivi ad hoc. L'ambito di applicazione riguarderà, a partire dal 1 gennaio 2021 (termine anticipato al 1 gennaio 2019 per gli edifici pubblici) sia le nuove costruzioni che le ristrutturazioni importanti, con la possibilità però di escludere alcune categorie di immobili.

CATEGORIA DI CONSUMO DI CALORE

BASSO FABBISOGNO DI CALORE	SCALA
A	≤ 30 kWh/m ² a
B	≤ 50 kWh/m ² a
C	≤ 70 kWh/m ² a
D	≤ 90 kWh/m ² a
E	≤ 120 kWh/m ² a
F	≤ 160 kWh/m ² a
G	> 160 kWh/m ² a
ALTO FABBISOGNO DI CALORE	

STRUTTURE OPACHE VERTICALI

Il D. Lgs. 192/2005 e s.m.i. ha come finalità quella di garantire "un'applicazione omogenea, coordinata ed immediatamente operativa" delle norme sull'efficienza energetica, definendo le metodologie di calcolo, i criteri ed i requisiti minimi per la prestazione energetica di edifici ed impianti per la **climatizzazione invernale**, per la preparazione di acqua calda per usi igienici sanitari, per la **climatizzazione estiva** e, limitatamente al terziario, per l'illuminazione artificiale degli edifici. Tali criteri si applicano sia per l'edilizia pubblica che privata anche riguardo alle ristrutturazioni di edifici esistenti, con l'esclusione però di alcune categorie di edifici ed impianti (vedi art. 3, comma 3). Le verifiche da rispettare sono vincolate alla zona climatica di appartenenza dell'edificio ed al tipo di utenza, così come definite dal Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 e s.m.i. (vedi art. 2 ed art. 3).

SCHEMA INDICATIVO DELLE ZONE CLIMATICHE SECONDO DPR 412/93

- Zona A** GG ≤ 600 (Lampedusa)
- Zona B** 600 < GG ≤ 900 (Crotone, Agrigento, Catania, Siracusa, Trapani, Messina, ...)
- Zona C** 900 < GG ≤ 1400 (Imperia, Caserta, Lecce, Cosenza, Ragusa, Sassari, ...)
- Zona D** 1400 < GG ≤ 2100 (Trieste, La Spezia, Forlì, Isernia, Foggia, Caltanissetta, Nuoro, ...)
- Zona E** 2100 < GG ≤ 3000 (Aosta, Sondrio, Bolzano, Udine, Rimini, Frosinone, Enna, ...)
- Zona F** GG > 3000 (Cuneo, Belluno, ...)



Legenda GG = Gradi Giorno

Gli attuali criteri generali e requisiti minimi da rispettare sono praticamente entrati in vigore con la pubblicazione del D.P.R. 59/2009 (in vigore dal 25 giugno 2009): **per le "strutture opache verticali" in particolare si fa riferimento alle indicazioni contenute nell'art. 4.**

A. Isolamento termico invernale

La corretta valutazione delle prestazioni termiche invernali di una muratura si definisce partendo dalle caratteristiche fisiche del materiale (**conducibilità termica**) che permettono di calcolare, in funzione degli spessori utilizzati, i parametri (**trasmissione termica e resistenza termica**) di confronto con i limiti imposti dalla legislazione.

CONDUCIBILITÀ TERMICA, TRASMISSIONE TERMICA E RESISTENZA TERMICA

La **conducibilità termica** "λ" (lambda) indica il flusso di calore che passa, in condizioni di regime stazionario, attraverso uno strato di materiale omogeneo di spessore 1 metro per m² di superficie e per la differenza di temperatura di un grado Kelvin tra le due facce opposte e parallele dello strato di materiale considerato. L'unità di misura è Watt per metro Kelvin (W/mK). Quanto più un materiale conduce calore tanto meno è indicato per isolare. La conducibilità termica dipende dalla massa, dalla temperatura e dal grado di umidità del materiale. La **trasmissione termica** "U" indica il flusso di calore che per ogni grado Kelvin di differenza di temperatura, nelle condizioni di regime stazionario, passa da un ambiente riscaldato ad uno non riscaldato attraverso l'unità di superficie della parete. L'unità di misura è Watt per metro quadrato Kelvin (W/m²K). La trasmissione termica (calcolata secondo UNI EN ISO 6946) è data dall'inverso della **resistenza termica** R_t (rapporto tra lo spessore del materiale e la sua conducibilità termica) degli strati che compongono la partizione e delle **resistenze termiche superficiali interna** R_{si} ed **esterna** R_{se} (passaggio termico dall'aria ambientale alla superficie dell'elemento interno ed esterno, variabili in funzione del flusso termico ascendente, orizzontale o discendente).

$$U = 1 / R_t$$

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

R_{si} resistenza superficiale interna

(con direzione del flusso termico orizzontale = 0,13 m²K/W)

R₁, R₂, R_n resistenze termiche di progetto di ciascuno strato

$$R_i = d_i / \lambda_i$$

d_i = spessore dello strato di materiale nel componente

λ_i = conducibilità termica di progetto del materiale

R_{se} resistenza superficiale esterna

(con direzione del flusso termico orizzontale = 0,04 m²K/W)

Secondo UNI EN 1745 i valori λ di base degli elementi per muratura possono essere determinati da prove effettuate su campioni di materiale o da **tabelle che mettono in relazione λ_{10,dry} (conducibilità termica allo stato secco ad una temperatura media di 10°C) alla massa volumica**. Per il calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) si fa riferimento all'Appendice A, prospetto A.10.

Prospetto A.10 (rif. UNI EN 1745)

Elementi di cemento aerato in autoclave

Massa volumica del materiale [kg/m ³]	λ _{10,dry} [W/mK]		Coefficiente di diffusione del vapore acqueo μ	Calore specifico [c] [kJ/kgK]
	P = 50%	P = 90%		
300	0,072	0,085	5/10	1,0
350 ⁽¹⁾	0,084	0,098	5/10	1,0
400	0,096	0,110	5/10	1,0
450 ⁽¹⁾	0,108	0,120	5/10	1,0
500	0,120	0,130	5/10	1,0
600	0,150	0,160	5/10	1,0

Nota 1 – I valori delle densità intermedie sono calcolati per interpolazione come previsto dalla norma

Dai valori λ_{10,dry} si determinano i valori di progetto λ_U applicando al valore base un coefficiente maggiorativo F_m (calcolato secondo UNI EN 10456) legato al contenuto di umidità presente nella muratura in condizioni di esercizio. **Tale coefficiente maggiorativo F_m per il calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) è pari a 1,197**. L'Allegato C del D. Lgs. 192/2005 e s.m.i. alla Tabella 2.1 definisce i valori limite di trasmissione termica che le strutture opache verticali devono rispettare nelle varie zone climatiche. La verifica ed il rispetto di questi limiti diventano fondamentali nella corretta definizione dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale dell'involucro edilizio (valori limite come Tabelle da 1.1 a 1.6 dell'Allegato C). I valori di trasmissione termica stazionaria devono essere rispettati a "ponte termico corretto" cioè quando la trasmissione termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmissione termica della parete corrente. Nel caso il ponte termico non sia corretto la "trasmissione media della parete corrente più ponte termico" deve essere inferiore ai valori in tabella. Il D. Lgs. 192/2005 e s.m.i. impone inoltre che la trasmissione termica delle strutture edilizie di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti, fatto salvo il rispetto dei requisiti acustici, sia U ≤ 0,80 W/m²K; il medesimo limite deve essere rispettato anche per tutte le strutture opache verticali che delimitano verso l'ambiente esterno gli ambienti non dotati di impianto di riscaldamento.

Tabella 2.1 (rif. D. Lgs. 19 agosto 2005 n. 192 e successivi aggiornamenti)

Valori limite delle trasmissioni termiche U delle strutture opache verticali espressa in W/m²K

Zona climatica	Dal 1 gennaio 2006	Dal 1 gennaio 2008	Dal 1 gennaio 2010
	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33



B. Isolamento termico estivo

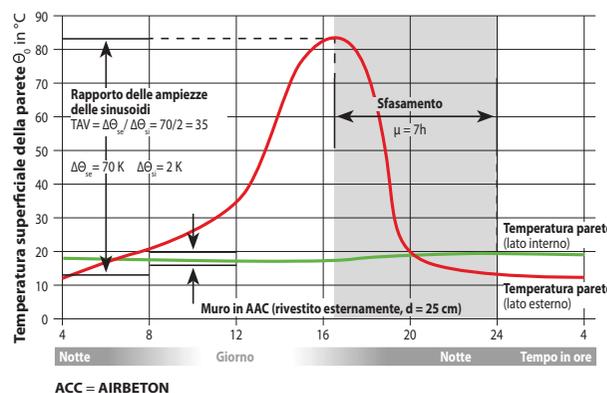
La corretta valutazione delle prestazioni termiche estive di una muratura si definisce partendo dalle caratteristiche fisiche del materiale (**massa volumica, conducibilità termica e calore specifico**) che permettono di calcolare, in funzione degli spessori utilizzati, i parametri (**trasmissione termica periodica, sfasamento ed attenuazione**) di confronto con i limiti imposti dalla legislazione.

TRASMISSIONE TERMICA PERIODICA, SFASAMENTO ED ATTENUAZIONE

Per limitare i fabbisogni energetici legati alla climatizzazione estiva e contenere la temperatura interna degli ambienti il D. Lgs. 192/2005, prima dell'entrata in vigore del D.P.R. 59/2009, prevedeva che in tutte le zone climatiche ad esclusione della F e per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione estiva $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$, il valore della massa superficiale M_s delle pareti opache verticali orizzontali o inclinate fosse maggiore di 230 kg/m^2 , derogando a tale limite qualora si utilizzassero tecniche e materiali in grado di garantire comunque gli stessi effetti positivi raggiungibili da pareti con M_s superiore 230 kg/m^2 (producendo adeguata documentazione e certificazione delle tecnologie e dei materiali che ne attestassero l'equivalenza), senza però prevedere un indice prestazionale di riferimento. A tale scopo nel D.P.R. 59/2009 è stato quindi introdotto il valore di **trasmissione termica periodica Y_{IE}** , parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786. Rispettando le stesse limitazioni del D. Lgs. 192/2005, in alternativa alla verifica della massa superficiale, è possibile verificare che le strutture opache orizzontali abbiano un valore del modulo della trasmissione termica periodica $Y_{IE} < 0,12 \text{ W/mK}$. Principalmente nel periodo estivo le temperature sono variabili nel corso del tempo ed influenzano il comportamento termico dinamico della struttura sollecitando la sua **"inerzia termica"**, cioè la capacità di una struttura nell'opporsi al passaggio del flusso di calore e di assorbirne una quota, senza rilasciarlo in maniera immediata e contribuendo al contenimento delle oscillazioni della temperatura interna. L'inerzia termica è l'effetto combinato dell'accumulo e della resistenza termica della struttura. L'accumulo termico dipende dalla capacità termica C (J/K) di un materiale cioè dalla quantità di calore necessaria per innalzare di 1 grado Kelvin la temperatura di 1 kg del materiale stesso, pari al prodotto del calore specifico (kJ/kgK) per la sua densità; il calore specifico è una caratteristica intrinseca di ciascun materiale: **per il calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) è di $1,0 \text{ kJ/kgK}$** (vedi prospetto A.10 della UNI EN 1745). L'inerzia termica di una parete comporta quindi **attenuazione e sfasamento** dell'onda termica. Il **fattore di attenuazione f_a** (adimensionale)

rappresenta lo smorzamento che l'onda termica subisce nel passaggio dall'esterno all'interno di una struttura e si misura rapportando la variazione di temperatura sulla superficie esterna e quella della superficie interna. Lo **sfasamento S** (espresso in ore) invece è il ritardo temporale con cui il flusso termico attraversa una struttura dal lato esterno a quello interno.

ONDA TERMICA NEL PERIODO ESTIVO



Durante il periodo estivo la buona inerzia termica di una parete gioca un ruolo di fondamentale importanza per il comfort degli ambienti interni: difatti il calore assorbito dalle murature durante le ore più calde della giornata sarà diffuso nell'ambiente interno solo con intensità ridotta (attenuazione) e dopo un certo numero di ore

(sfasamento). Ne consegue quindi che la temperatura degli ambienti interni resterà il più possibile costante su livelli di comfort, anche quando sono sensibili le variazioni di temperatura esterna come accade nel periodo estivo. Tutto questo comporterà un notevole risparmio energetico legato al ridotto utilizzo dell'impianto di climatizzazione. Si possono assumere come limiti di riferimento per attenuazione e sfasamento i valori contenuti nelle Linee Guida Nazionali per la certificazione energetica (D.M. 26/06/2009). La tabella sotto riportata, secondo quanto previsto dalle Linee Guida Nazionali, è valida solo per edifici esistenti con superficie utile inferiore a 1000 m^2 , ma le indicazioni contenute rappresentano un valido termine prestazionale di paragone.

Linee guida per la certificazione energetica degli edifici (rif. D.M. 26 giugno 2009)

Allegato A – 6.2 Metodo basato sulla determinazione di parametri qualitativi

Sfasamento [S] in ore	Attenuazione [F_a]	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$F_a < 0,15$	Ottime	I
$10 < S \leq 12$	$0,15 \leq F_a < 0,30$	Buone	II
$8 < S \leq 10$	$0,30 \leq F_a < 0,40$	Medie	III
$6 < S \leq 8$	$0,40 \leq F_a < 0,60$	Sufficienti	IV
$S \leq 6$	$F_a \geq 0,60$	Mediocri	V

Nei casi in cui le coppie di parametri caratterizzanti l'edificio non rientrano coerentemente negli intervalli fissati in tabella, per la classificazione prevale il valore dello sfasamento

C. traspirabilità

Il D. Lgs. 192/2005 e s.m.i. prescrive di verificare l'assenza di condensazioni superficiali e che le condensazioni interstiziali delle pareti opache siano limitate alla quantità rievaporabile secondo la normativa vigente (UNI EN ISO 13788). Qualora non esista un sistema di controllo della umidità relativa interna, per i calcoli necessari si assumono i valori di umidità relativa del 65% e temperatura interna 20°C.

I metodi di calcolo tengono conto sia delle condizioni climatiche (posizione, periodo di tempo, temperature, condizioni igrometriche) che delle caratteristiche dei materiali quali la conducibilità termica "λ" ed il **fattore di resistenza al vapore "μ"** (adimensionale). Questo coefficiente rappresenta quanto volte in meno, rispetto ad uno strato d'aria in quiete di equivalente spessore, il materiale consente la traspirazione opponendo resistenza al passaggio di vapore che lo attraversa. L'aria ha un $\mu = 1$ ed i materiali da costruzione "traspiranti" hanno $\mu \leq 10$. Il contenuto di acqua condiziona questo fattore quindi più i materiali sono umidi più oppongono resistenza al passaggio del vapore; le normative di riferimento dichiarano pertanto due valori, quello a bulbo secco e quello a bulbo umido.

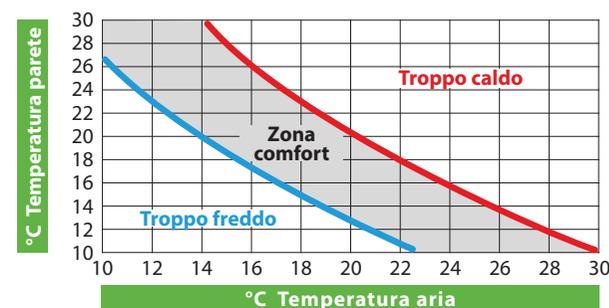
In caso di aumento temporaneo dell'umidità nell'ambiente le murature devono essere in grado di assorbire l'umidità e di rilasciarla successivamente nell'ambiente interno. Questo processo ha un effetto regolante per il clima della stanza e di conseguenza aumenta il benessere.

Il vapore acqueo presente in un ambiente tende a muovere da una zona in cui la pressione è più elevata ad un'altra in cui è meno elevata. Un diaframma (parete o solaio), che divide due ambienti a diversa temperatura e pressione, viene così attraversato da questo flusso (che

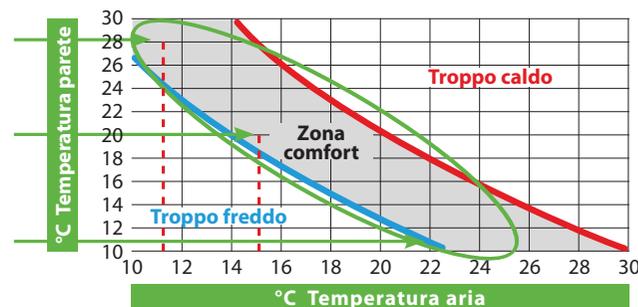
di solito va dall'interno all'esterno) e passando attraverso i vari strati incontra una resistenza che è direttamente proporzionale allo spessore del muro e alle caratteristiche del materiale e quindi al valore di μ (indice di permeabilità). Sulla superficie interne delle murature ed all'interno della stratigrafia si possono verificare delle condizioni limite per cui il vapore condensa, formando acqua e generando di conseguenza muffe. Le condizioni limite si verificano nel momento in cui la pressione parziale del vapore eguaglia la pressione di saturazione in quelle condizioni. Una piccola variazione della temperatura o pressione può causare la condensa del vapore acqueo.

La difficoltà di coloro che si occupano di riscaldamento sta nel mantenere il comfort delle persone all'interno di una zona "climatica" definita come "Curva ottimale del comfort abitativo rappresentata dal grafico di Bedford - Bachman". Proprio seguendo questa necessità, analizzando la curva ottimale del comfort, si evidenzia che il comfort non è legato ai famosi 20° C di temperatura dell'aria, ma ad una interazione tra temperatura dell'aria e temperatura media radiante delle pareti. Ovvero innalzando la temperatura media radiante delle pareti si avrebbe il massimo comfort anche con temperatura dell'aria inferiori ai 20° C. Ad esempio si potrebbe raggiungere il comfort termico avendo:

- 1) una temperatura della pareti a 11° C ed una temperatura dell'aria a 22° C;
- 2) una temperatura delle pareti a 20° C ed una temperatura dell'aria a 15° C;
- 3) una temperatura delle pareti a 28° C ed una temperatura dell'aria a 11° C.



Bedford-Bachman: delimitazione zona di comfort



Esempi di condizioni di comfort all'interno della curva di Bedford-Bachman

Come si può notare dalla schema tutte e tre le possibilità collocherebbero l'uomo nelle zona di massimo comfort. Le murature devono quindi mantenere confortevoli le temperature delle superfici interne degli ambienti. Infatti minore è la differenza tra la temperatura dell'aria dell'ambiente interno e la temperatura delle superfici delle murature, minore è anche la sensazione di una "irradiazione di freddo" come la si percepisce in edifici non adeguatamente isolati. Si realizza di conseguenza, oltre ad un importante risparmio energetico per il minore consumo di energia nel riscaldamento e condizionamento degli ambienti, anche e soprattutto benessere abitativo e salubrità dell'ambiente.



PRESTAZIONI AIRBETON

La massa omogenea e porosa contenete microcellule chiuse inglobanti aria conferisce al calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) **AIRBETON** ottimi valori di conducibilità termica. La differente massa volumica delle nostre linee prodotto **AIRBETON 300-325** e **AIRBETON 500-450** è appositamente concepita per sfruttare al meglio questa peculiarità: diminuendo la densità crescono le dimensioni delle micro porosità, aumentando di conseguenza i quantitativi di aria contenuti e migliorando le prestazioni termiche "invernali" del materiale. Come si evidenzia nella tabella sotto riportata, utilizzando blocchi **AIRBETON** con spessori contenuti si possono realizzare murature monostrato, senza l'aggiunta di ulteriori materiali isolanti, che soddisfano ampiamente i requisiti di legge previsti per ciascuna zona climatica. Risulta inoltre evidente che le pareti in calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) **AIRBETON** rispettano facilmente il limite di trasmittanza termica stazionaria richiesto ai divisori tra unità immobiliari ($U \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$); diventa quindi molto più importante assicurare un adeguato comfort acustico: **AIRBETON** offre anche in questo caso valide soluzioni progettuali (vedi "Isolamento acustico").

Le murature in calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) **AIRBETON** si contraddistinguono inoltre per un'ottima inerzia termica; le capacità di accumulo termico, nonostante la contenuta massa volumica, difatti dipendono contemporaneamente dalla ridotta conducibilità termica e dall'elevato calore specifico tipiche del calcestruzzo aerato autoclavato. In estate (regime dinamico soggetto a notevoli escursioni termiche tra il giorno e la notte) le murature **AIRBETON** sono in grado di accumulare il calore nelle ore più calde (giorno)

rilasciandolo verso gli ambienti interni solo nelle ore più fredde (notte); questa capacità permette di mantenere all'interno degli edifici il giusto equilibrio tra temperature superficiali delle murature e temperature ambientali, aumentando notevolmente il comfort e riducendo i consumi per la climatizzazione estiva. I valori calcolati nel prospetto (trasmittanza termica periodica, sfasamento ed attenuazione secondo la norma UNI EN ISO 13786; calore specifico tabulato sia nella UNI EN 1745 che nella UNI EN ISO 10456) evidenziano le elevate prestazioni termiche "estive" di **AIRBETON**: utilizzando blocchi di sp. ≥ 300 mm, di entrambe le ns. linee prodotto **AIRBETON 300-325** e **AIRBETON 500-450**, si raggiungono ottimi valori di sfasamento/attenuazione dell'onda termica e di trasmittanza termica periodica, rispettando ampiamente i limiti normativi richiesti. I valori di trasmittanza termica periodica Y_{IE} inferiori a $0,12 \text{ W/mK}$ devono essere rispettati in tutte le zone climatiche ad esclusione della F e per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione estiva $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$: per queste eccezioni si possono quindi tranquillamente utilizzare anche murature monostrato **AIRBETON** con sp. = 240 mm, sempre nel rispetto dei limiti di trasmittanza termica stazionaria richiesti per ciascuna zona climatica.

La "porosità" tipica del calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) **AIRBETON** rende il materiale assolutamente traspirante. La bassa resistenza alla diffusione del vapore caratteristica del calcestruzzo aerato autoclavato ($\mu = 5$ campo umido / 10 campo asciutto secondo UNI EN 1745: Appendice A, prospetto A.10) garantisce che le murature **AIRBETON** assicurino una costante migrazione dell'umidità dagli ambienti interni climatizzati verso l'esterno, evitando che si formino conden-

se superficiali ed impedendo il procrearsi della muffa.

In ultima analisi possiamo sostenere che negli edifici realizzati con murature in calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) **AIRBETON** gli ambienti interni sono caratterizzati da un elevato comfort ambientale grazie all'effetto combinato delle ottime caratteristiche di isolamento termico, inerzia termica e traspirabilità tipiche del materiale; l'equilibrio tra temperature superficiali delle pareti e temperature ambientali annulla la spiacevole percezione di freddo, eliminando la possibilità che si manifestino sgradevoli patologie tipiche di edifici non adeguatamente isolati. Il performante risultato ottenibile utilizzando murature in calcestruzzo aerato autoclavato (calcestruzzo cellulare o cemento cellulare) **AIRBETON** è la notevole diminuzione dei fabbisogni energetici per la climatizzazione, con il conseguente abbattimento delle emissioni nocive in atmosfera e l'importante riduzione dei costi collegati alla gestione energetica dell'edificio: **AIRBETON** è una risposta ottimale alle pressanti ma fondamentali richieste delle direttive europee, presenti e future, legate al rendimento energetico in edilizia.



CARATTERISTICHE TECNICHE		Unità di misura		AIRBETON 300-325							
Dimensioni blocchi	Lunghezza	L		600				600			
	Altezza	H	mm	250				250			
	Spessore	SP		240	300	365	400	450	480		
Massa volumica lorda a secco		ρ	kg/m ³	325				300			
Conducibilità termica a secco		$\lambda_{-10,dry}$	W/mK	$\leq 0,078$				$\leq 0,072$			
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo		μ	adimensionale	5 (campo umido) – 10 (campo secco)							
Permeabilità al vapore		δ	kg/msPa	$3,86 \cdot 10^{-11}$ (campo umido) – $1,93 \cdot 10^{-11}$ (campo secco)							
Capacità termica		c	kJ/kgK	1,00							
Prestazioni AIRBETON 300-325		sp.	mm	240	300	365	400	450	480		
Trasmittanza termica stazionaria - Vedi Nota 1		U	W/m ² K	0,31	0,25	0,21	0,17	0,16	0,15		
Trasmittanza termica periodica		Y _{IE}	W/m ² K	0,13	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01		
Inerzia termica	Sfasamento	S	ore	8,8	11,6	14,7	16,3	18,6	20,0		
	Attenuazione	f _a	adimensionale	0,39	0,23	0,12	0,09	0,05	0,04		

Nota 1 – Valori calcolati con $\lambda_{-10,dry}$ per murature senza intonaci; eventuali maggiorazioni andranno considerate in conformità alle normative vigenti sulla base delle effettive condizioni di progetto.



CARATTERISTICHE TECNICHE		Unità di misura		AIRBETON 500-450											
Dimensione blocchi	Lunghezza	L		600						600					
	Altezza	H	mm	250						250					
	Spessore	SP		50	80	100	120	150	200	240	300	365	400		
Massa volumica lorda a secco		ρ	kg/m ³	500						450					
Conducibilità termica a secco		$\lambda_{-10,dry}$	W/mK	$\leq 0,120$						$\leq 0,108$					
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo		μ	adimensionale	5 (campo umido) – 10 (campo secco)											
Permeabilità al vapore		δ	kg/msPa	$3,86 \cdot 10^{-11}$ (campo umido) – $1,93 \cdot 10^{-11}$ (campo secco)											
Capacità termica		c	kJ/kgK	1,00											
Prestazioni AIRBETON 500-450		SP	mm	50	80	100	120	150	200	240	300	365	400		
Trasmittanza termica stazionaria - Vedi Nota 1		U	W/m ² K	1,70	1,19	0,99	0,85	0,70	0,54	0,41	0,33	0,28	0,25		
Trasmittanza termica periodica		Y _{IE}	W/m ² K	1,68	1,14	0,90	0,72	0,51	0,27	0,15	0,07	0,03	0,02		
Inerzia termica	Sfasamento	S	ore	0,8	1,7	2,5	3,4	4,8	7,2	9,0	11,8	14,9	16,5		
	Attenuazione	f _a	adimensionale	0,99	0,95	0,91	0,85	0,72	0,51	0,38	0,22	0,12	0,08		

Nota 1 – Valori calcolati con $\lambda_{-10,dry}$ per murature senza intonaci; eventuali maggiorazioni andranno considerate in conformità alle normative vigenti sulla base delle effettive condizioni di progetto.

