

*I quaderni del Consorzio Alveolater®*

**6**

A cura di Norberto Tubi e Giorgio Zanarini

# Gli edifici in muratura di laterizio

Edifici semplici, muratura armata,  
indicazioni progettuali ed  
esecutive, posa in opera,  
normativa.

 **alveolater®**

*Laterizi ad alte prestazioni*



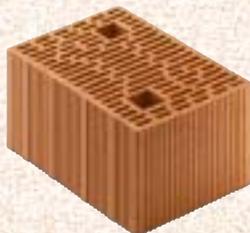
# alveolater

*Laterizi ad alte prestazioni*

Realizzazione: M+W di Mario Moscati & C.

Stampa: Modulgrafica - Forlì, 2007

© Copyright Consorzio Alveolater®  
Viale Aldo Moro 16 - 40127 Bologna  
tel. 051 509873 - fax 051 509816  
consorzio@alveolater.com  
www.alveolater.com  
www.muraturaarmata.it



*In copertina: blocco Alveolater® per murature portanti di 35 cm di spessore con disegno dei fori ottimizzato ai fini dell'incremento delle prestazioni termiche*

<b>Presentazione</b>	pag. 3	I valori di trasmittanza limite U previsti dall'Allegato C del decreto 311/2006, aggiornamento del decreto 192/2005	59
<b>Premessa</b>	5		
Il metodo delle tensioni ammissibili e il metodo degli stati limite	5		
Vantaggi e svantaggi dei diversi metodi di verifica	7	<b>L'importanza della massa</b>	66
		<b>Dimensionamento acustico</b>	73
<b>Normativa</b>	9	<b>Protezione dal fuoco</b>	79
La recente normativa statica	9	Resistenza al fuoco	79
La normativa precedente	12	Reazione al fuoco	86
Le norme EN e UNI-EN	12	<b>Protezione dalle radiazioni</b>	87
<b>Edifici semplici in muratura</b>	15	<b>La posa in opera</b>	89
Le prescrizioni e le informazioni da considerare e/o da acquisire	16	Lo stoccaggio in cantiere	89
Determinazione della resistenza caratteristica a compressione $f_k$ della muratura	21	La scelta degli elementi	89
Verifica statica dei materiali adottabili per un edificio in muratura armata	26	La bagnatura degli elementi	92
Determinazione della superficie minima di muratura resistente	29	I giunti di malta	93
		Lo sfalsamento dei giunti verticali	96
		L'intonaco	98
<b>La marcatura Ce</b>	37	<b>Confronto economico fra diverse soluzioni strutturali</b>	103
Le ricadute normative, <i>L'Eurocodice 6</i> e le <i>Norme Tecniche per le costruzioni</i>	40		
<b>Indicazioni progettuali ed esecutive</b>	43	<b>APPENDICE</b>	
Blocchi a facce piane, blocchi a incastro e modalità di posa	43	I laterizi Alveolater®, Alveolater®Bio e Perlater®	105
I blocchi a incastro rettificati	44	Alveolater® e Alveolater®Bio classi 45 e 50/55	105
Come evitare possibili difetti	47	Alveolater® e Alveolater®Bio classe 60	109
		Perlater® classi S e P	110
<b>Dimensionamento termo-igrometrico</b>	51	Perlater® classe T	113
La norma UNI EN 1745	54	Blocchi Alveolater® Muratura Armata	114
I principali capitoli della norma	54	Blocchi Alveolater® Setti Sottili	116
		Malta Alveolater®	120
		<b>UN ESEMPIO DI CALCOLO TERMICO</b>	121



# Presentazione

Quaderni Alveolater®

Dal 1986, anno della fondazione, il Consorzio Alveolater® ha pubblicato numerosi quaderni e CD-ROM per la divulgazione di ricerche ed esperienze di laboratorio, per documentazione e interpretazione di nuove normative, per il calcolo strutturale e termico; tutte iniziative volte alla conoscenza e al migliore impiego del laterizio.



In questa attività si inserisce questa nuova pubblicazione, che tratta le recenti normative sulle costruzioni in muratura e in particolare sulla muratura armata, e fornisce alcune indicazioni progettuali, statiche, termiche e acustiche, nonché informazioni sui prodotti e sulle loro prestazioni.

Il Consorzio Alveolater® è oggi un riferimento certo nel settore dei laterizi alleggeriti in pasta. In vent'anni di attività le società aderenti hanno prodotto e venduto 16 milioni 400 mila tonnellate di blocchi con marchio Alveolater®, ovvero 23 milioni di metri cubi o, per rendere ancora più evidente la quantità, oltre 75 milioni di metri quadrati di muratura in blocchi di 30 centimetri di spessore. In pratica, una città di 800 mila abitanti.

*Alcuni dei cataloghi tecnici, manuali e Cd pubblicati dal Consorzio Alveolater® in questi ultimi anni.*

*Quaderni Alveolater®*

*In questi anni il Consorzio ha anche attivato il controllo di qualità della produzione delle società associate e contribuito all'avvio della marcatura CE dei prodotti.*

Nel solo 2006 la vendita è stata di 1 milione 400 mila tonnellate, pari al 32% circa delle vendite complessive di laterizio alleggerito in Italia.

Ma in questi anni il Consorzio non è cresciuto solo per le quantità di vendita: ha anche attivato il controllo di qualità della produzione delle società associate, ha contribuito all'avvio della marcatura CE del prodotto, e ha indirizzato le società associate verso tipologie di prodotto innovative, fornendo quindi un servizio che ha portato a un consapevole e condiviso sviluppo del settore.



## Il metodo delle tensioni ammissibili e il metodo degli stati limite

### Le tensioni ammissibili

Il metodo di verifica alle tensioni ammissibili può essere ricondotto al confronto fra due valori: il massimo valore della tensione agente sulla sezione in esame e il valore ammissibile della tensione stessa. I valori ammissibili delle tensioni sono ricavati a partire dalle tensioni di rottura dei materiali (resistenze) attraverso opportuni coefficienti di sicurezza.

I materiali sono considerati omogenei e isotropi (comportamento uguale in ogni direzione di sollecitazione).

Il diagramma Tensioni-Deformazioni (diagramma  $\sigma$ - $\epsilon$ ) è rappresentato da una retta passante per l'origine degli assi.

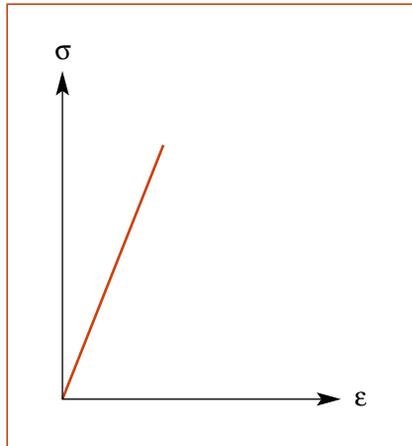
Le formule che consentono di valutare le tensioni di lavoro sono abbastanza semplici. Ad esempio, nel caso dello Sforzo Normale di compressione centrata la formula rappresentativa è:

$$\sigma = N/A$$

e rappresenta la forza agente (N) su di una sezione (A).

$\sigma$  deve risultare minore o al più uguale al valore massimo ammissibile. Quindi:

$$\sigma = N/A \leq \sigma_{amm}$$



*Il diagramma Tensioni-Deformazioni (diagramma  $\sigma$ - $\epsilon$ ) è rappresentato da una retta passante per l'origine degli assi.*

Nel caso di una muratura in semipieni con resistenza caratteristica di 15 N/mm<sup>2</sup> e malta M5 la resistenza del muro è di 6 N/mm<sup>2</sup> (D.M. 20 novembre 1987 e *Norme tecniche per le costruzioni*, cap. 11, Tab. 11.10.IV)

Il Decreto 20 novembre 1987 fissa un coefficiente di sicurezza pari a 5, pertanto il valore massimo ammissibile sulla muratura sarà di 1,2 N/mm<sup>2</sup>.

Finché la muratura è sollecitata al di sotto di questo valore, la struttura è verificata. Non appena anche un solo punto della struttura risulta maggiormente sollecitato, la verifica sarà da considerare non soddisfatta.

### **Gli stati limite**

Sono definiti “stati limite” quelle condizioni al di là delle quali la struttura non soddisfa più alle esigenze di comportamento per le quali è stata progettata.

Gli stati limite possono essere “di esercizio” (stati limite di esercizio S.L.E.) e “ultimi” (stati limite ultimi S.L.U.)

Gli stati limite ultimi rappresentano il limite oltre il quale si ha il collasso, o quantomeno un cedimento strutturale che può mettere in pericolo la sicurezza delle persone o delle cose che si trovano all'interno o nei pressi della costruzione.

Gli stati limite di esercizio rappresentano un limite oltre il quale si ha una condizione che può impedire l'utilizzo della struttura o quantomeno un utilizzo non ottimale.

Il criterio di verifica secondo gli stati limite consiste nel fissare il valore del rapporto tra l'azione che provoca la rottura (o comunque la crisi) e l'azione di esercizio.

Il coefficiente di sicurezza è così applicato alle azioni esterne e non alle resistenze interne del materiale.

I materiali vengono spinti nel campo del comportamento non lineare: non si ha più un legame diretto sforzi-deformazioni, ma si individua un dominio di resistenza della sezione in funzione delle azioni agenti (ad esempio, sforzo normale  $N$  e momento  $M$ ).

Lo stato sollecitativo a cui è soggetta la sezione deve essere rappresentato da un punto interno al suo dominio di resistenza.

### **La resistenza dei materiali**

La resistenza caratteristica di un materiale va divisa per un coefficiente di sicurezza (sempre maggiore o al più uguale a 1). Nel caso del dimensionamento della muratura si ha:

$$f_k / \gamma_m$$

dove  $f_k$  è la resistenza caratteristica della muratura e  $\gamma_m$  è il coefficiente di sicurezza pari a 2.

Analogamente per le azioni si avranno coefficienti da applicare per gli S.L. ultimi e per gli S.L. di esercizio, in questo caso analizzando combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti.

### **Stato limite di esercizio**

La verifica allo S.L. di esercizio richiede di considerare tre diversi aspetti del comportamento delle sezioni: le tensioni, le deformazioni e la fessurazione. Vanno studiati solo gli aspetti che rivestono importanza rilevante nel comportamento strutturale, per le diverse combinazioni delle azioni (quasi permanenti, frequenti e rare).

Per l'analisi della fessurazione bisognerà tenere conto anche delle condizioni ambientali (poco, moderatamente o molto aggressive).

## Vantaggi e svantaggi dei diversi metodi di verifica

### Tensioni ammissibili

I vantaggi si possono riassumere in:

- semplicità di impiego e immediata comprensione del criterio sul quale si basa;
- percezione immediata dello stato in cui si trova la struttura in esame;
- ampi margini di sicurezza.

Le tensioni ammissibili costituiscono un criterio deterministico, nel quale carichi e resistenze dei materiali si presuppongono certi e invariabili.

I difetti si possono sintetizzare in:

- elevati coefficienti di sicurezza, che possono indurre eccessiva tranquillità in presenza di modesta qualità esecutiva;
- la verifica si limita alle fibre maggiormente sollecitate. La maggior parte delle sezioni rimangono largamente al di sotto dei limiti consentiti;
- non si possono effettuare verifiche relative a fenomeni di altro genere (corrosione, fuoco ecc.).

### Stati limite

Il vantaggio principale consiste nel poter evitare di considerare non verificata una struttura soltanto per la presenza di effetti locali che portano al superamento del limite elastico dei materiali. Questo metodo consente, in linea di principio, un notevole risparmio economico.

I difetti più evidenti consistono nella minore immediatezza del sistema e nella minore sensibilità (per ora) del progettista nel valutare i risultati delle analisi.



*L'apparecchiatura di prova con muretto posizionato per la determinazione della resistenza a carico verticale.*

### Calcolo sismico: analisi statica e analisi dinamica modale

Il livello di accelerazione al quale è soggetta una struttura in caso di sisma dipende sia dalle caratteristiche dei materiali impiegati che dalla natura del terreno, oltre naturalmente all'entità della

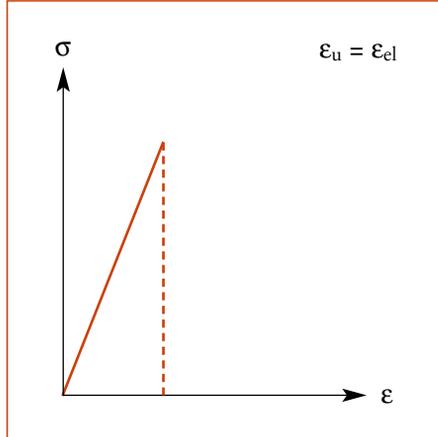
vibrazione sismica.

Soggette al sisma, le strutture vibrano in più modi diversi in funzione delle specifiche caratteristiche strutturali.

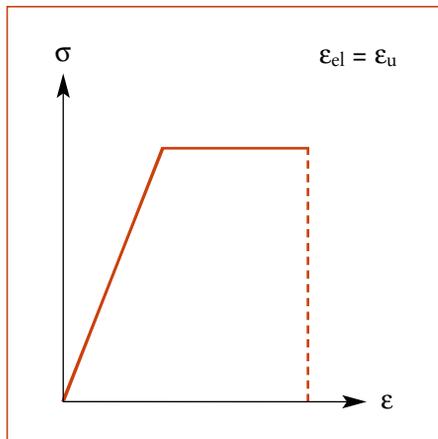
Se una struttura presenta una evidente tendenza a rispondere all'azione sismica con una forma di oscillazione unica o comunque decisamente prevalente rispetto alle altre, a essa si può applicare l'analisi statica, che prende in esame il solo primo modo di vibrare.

L'analisi statica può essere utilizzata esclusivamente per lo studio di costruzioni regolari, che rispondano a precisi limiti geometrici e a condizione che il periodo di vibrazione non superi un certo valore fissato dalla norma di riferimento.

L'analisi dinamica modale si può applicare a qualunque fabbricato, anche non regolare, e,



*Materiale fragile.*



*Materiale duttile.*

per ogni modo di vibrare che ecciti almeno l'85% della massa totale, deve essere analizzato il comportamento della struttura.

Caratteristica fondamentale dei materiali è la loro duttilità, ovvero la capacità di deformarsi e quindi di dissipare energia prima del collasso.

$$D = \varepsilon_u / \varepsilon_{el}$$

## La recente normativa statica

**Norme tecniche per le costruzioni Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14 settembre 2005, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23 settembre 2005, Supplemento Ordinario n. 159.**

È sostanzialmente un “Testo Unico” (titolo della bozza del 30 marzo 2005) perché comprende norme relative alle diverse materie e discipline.

Inizialmente ne era prevista l'entrata in vigore 18 mesi dopo la sua pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale e quindi ad aprile 2007. È in corso una profonda revisione del testo pubblicato, e, di conseguenza, l'applicazione è stata rinviata al 31 dicembre 2007.

In questa lunga fase di evoluzione, nella quale il D.M. 14 settembre 2005 è applicabile a livello volontario, si ha tuttavia la possibilità di utilizzare sia la normativa esistente sia quella di nuova generazione.

I riferimenti che qui si riportano sono tratti dalla versione aggiornata al 27 luglio 2007.

Le *Norme tecniche per le costruzioni* disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento e miglioramento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

Lo scopo delle *Norme* è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile.

In aggiunta alle prescrizioni contenute nelle *Norme*, le strutture devono soddisfare le prescrizioni contenute nella normativa vigente relativa alle combinazioni di carico non sismiche.

Questo D.M. disciplina la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni nei diversi materiali, relativamente ai metodi di calcolo, alle regole costruttive per la robustezza strutturale e alle procedure per le verifiche di sicurezza e di durabilità delle opere. Indica gli “stati limite” come metodo di verifica statica<sup>(1)</sup>.

Le *Norme* si applicano alle Classi di costruzione 1 e 2 (si vedano le note a fine capitolo). Per le sole opere di classe 1 e limitatamente ai soli edifici civili che non sorgono nelle zone classificate sismiche di 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> categoria, è ammesso l'uso del metodo di verifica tensionale<sup>(2)</sup>.

In particolare il D.M. 14 settembre 2005, nella versione aggiornata al 27 luglio 2007, recepisce quasi integralmente il testo

dell'Ordinanza 3274 e del successivo aggiornamento (Ordinanza 3431). Al capitolo 12 *Riferimenti tecnici* riporta quanto segue:

## 12. Riferimenti tecnici

In mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti appresso indicati che costituiscono riferimenti di consolidata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei LL.PP. del Ministero delle Infrastrutture;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR);
- Eurocodice Strutturali pubblicati dal CEN;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Possono essere utilizzati anche altri codici internazionali, purché sia dimostrato che garantiscono livelli di sicurezza non inferiori a quelli delle presenti *Norme tecniche*.

Il recepimento dell'OPCM ne consente l'uso integrale e soprattutto consente di adottare per l'edificio i concetti di "regolare in pianta" e di "regolare in altezza" da cui scaturisce la riconoscibilità di "edificio semplice" e conseguentemente la possibilità di condurre una verifica statica semplificata e cioè come semplice controllo della accettabilità delle tensioni di compressione alla base di ogni piano e, per edifici con distribuzione delle masse murarie uguali a ogni piano, alla base dell'edificio (al contatto con la fondazione in cemento armato). Ciò in quanto si può ritenere che le percentuali delle aree di

muratura presenti siano sufficienti per svolgere le azioni di controventamento alle sollecitazioni orizzontali del sisma.

Come si è accennato in precedenza, le *Norme tecniche* stanno subendo profonde modificazioni. Non è ancora possibile dare informazioni certe, ma è ormai certo che verrà dedicato il capitolo 4 alla progettazione "normale" e il capitolo 7 alla progettazione "in presenza di azioni sismiche".

Nelle costruzioni in muratura verrà introdotta la verifica alle tensioni sotto forma di dimensionamento semplificato, per fabbricati semplici, sia in zona normale sia in zona sismica.

È prevista anche l'introduzione di ampi riferimenti dedicati alla muratura confinata, intesa come muratura costituita da elemen-



La copertina del D.M. 14 settembre 2005 Norme tecniche per le costruzioni.

ti artificiali semipieni, dotata di elementi di confinamento in calcestruzzo armato o in muratura armata, nella direzione verticale e orizzontale, collegati fra loro.

**OPCM 20 marzo 2003 n. 3274 Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.**

L'Ordinanza rinvia al D.M. 20 novembre 1987, *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento* con quanto scritto nel seguente punto 8.

**8 Edifici con struttura in muratura**

**8.1 Regole generali**

**8.1.1 Premessa**

Gli edifici in muratura devono essere realizzati nel rispetto del D.M. 20 novembre 1987, *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento* ed eventuali successive modifiche ed integrazioni, in particolare alle predette norme tecniche deve farsi riferimento per ciò che concerne le caratteristiche fisiche, meccaniche e geometriche degli elementi resistenti naturali ed artificiali, nonché per i relativi controlli di produzione e di accettazione in cantiere.

Le presenti norme distinguono due tipi fondamentali di strutture in muratura, ordinaria ed armata, la seconda delle quali non è presa in considerazione dal D.M. citato.

A tal fine si precisa che per quanto attiene all'acciaio d'armatura, vale tutto quanto specificato dalle norme tecniche relative agli edifici in cemento armato, come eventualmente modificate dalle presenti norme.

Ai fini delle verifiche di sicurezza, è in ogni caso obbligatorio l'utilizzo del "metodo semi probabilistico agli stati limite". Il coefficiente parziale di sicurezza da utilizzare per il progetto sismico di strutture in muratura è pari a

$$\gamma_m = 2.$$

Ancora l'OPCM 3431, al punto 8.1.6, indica che:

... (omissis)

Le verifiche di sicurezza si intendono automaticamente verificate, senza l'effettuazione di alcun calcolo esplicito<sup>(3)</sup>, per gli edifici che rientrano nella definizione di edificio semplice (punto 8.1.9).

... (omissis)



**La copertina del Supplemento Ordinario n. 72 della Gazzetta Ufficiale n. 105/2003 recante l'Ordinanza 3274.**

## La Normativa precedente

Nel momento in cui entreranno in vigore le nuove *Norme tecniche*, verranno contestualmente superate tutte le norme precedenti, ovvero:

- D.M. 20 novembre 1987 *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento* – e relative circolari di istruzioni – ancora applicabile nelle zone dove la Regione non ne abbia dichiarata la sismicità;
- Ministero dei LL.PP., D.M. 16 gennaio 1996 *Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi*;
- Ministero dei LL.PP., D.M. 9 gennaio 1996 *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*;
- Ministero dei LL.PP., D.M. 16 gennaio 1996 *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*.

Infatti le nuove *Norme tecniche* hanno come scopo la raccolta, in un unico testo unificato e aggiornato, delle norme prima contenute in diversi decreti ministeriali.

Rimarrà invece il possibile riferimento, come supporto applicativo, a normative di comprovata validità, in particolare agli Eurocodici e alle relative Appendici nazionali.

## Le norme EN e UNI EN

Sono di indubbio interesse le norme EN armonizzate dalla Comunità Europea; recepite e disponibili in Italia come UNI EN quali quelle qui di seguito citate.

### Norma tecnica UNI EN 845-1:2004

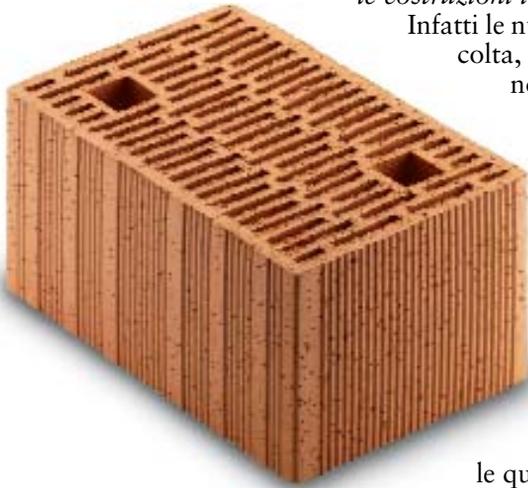
Data 1° marzo 2004.

Specifica per elementi complementari per muratura - Connettori trasversali, incatenamenti orizzontali, ganci e mensole di sostegno. Specification for ancillary components for masonry - Ties, tension straps, hangers and brackets.

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 845-1 (edizione aprile 2003).

La norma specifica i requisiti per i connettori trasversali, gli incatenamenti orizzontali, i ganci e le mensole di sostegno per l'interconnessione della muratura e per il collegamento della muratura ad altre parti delle opere e degli edifici, inclusi le pareti, i pavimenti, le travi e le colonne.

**Blocco Alveolater® di ultima generazione a setti sfalsati e con un elevato numero di file di fori perpendicolari alla direzione del flusso termico. Le dimensioni sono di 38 x 25 x 19 cm.**



### **Norma tecnica UNI EN 845-2:2004**

Data 1° marzo 2004.

Specifica per elementi complementari per muratura.

Specification for ancillary components for masonry – Lintels.

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 845-2 (edizione aprile 2003). La norma specifica i requisiti per gli architravi prefabbricati per luci su passaggi liberi in una parete di muratura fino a un massimo di 4,5 m e realizzati con acciaio, calcestruzzo aerato autoclavato, materiali lapidei agglomerati, calcestruzzo, calcestruzzo precompresso, elementi di terracotta, elementi di silicato di calcio, elementi di pietra naturale, oppure utilizzando una combinazione di questi materiali.

### **Norma tecnica UNI EN 845-3:2004**

Data 1° marzo 2004.

Specifica per elementi complementari per muratura - Armatura di acciaio per giunti orizzontali.

Specification for ancillary components for masonry

– Bed joint reinforcement of steel meshwork.

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 845-3 (edizione aprile 2003). La norma specifica i requisiti delle armature metalliche di giunti orizzontali di muratura.

### **Norma tecnica UNI EN 998-1:2004**

Data 1° marzo 2004.

Specifiche per malte per opere murarie – Malte per intonaci interni ed esterni.

Specification for mortar for masonry – Rendering and plastering mortar.

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 998-1 (edizione aprile 2003).

Le proprietà delle malte per intonaci interni ed esterni dipendono essenzialmente dal tipo o dai tipi di leganti utilizzati e dalle loro rispettive proporzioni. Si possono ottenere proprietà speciali in base al tipo di aggregati, additivi e/o aggiunte utilizzati.

### **Norma tecnica UNI EN 998-2:2004**

Data 1° marzo 2004.

Specifiche per malte per opere murarie – Malte da muratura.

Specification for mortar for masonry – Masonry mortar.

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 998-2 (edizione aprile 2003).

La norma specifica i requisiti per le malte da muratura prodotte in fabbrica (riempimento, collegamento e allettamento) per l'utilizzo in pareti, colonne e partizioni di muratura (per esempio murature esterne).



**Blocco Alveolater® Setti**  
Sottili di 38 x 25 x 19 cm per  
murature di tamponamento.  
Le piccole cavità  
incrementano la capacità  
isolante dell'aria in esse  
contenuta.

## Note

<sup>(1)</sup> Viene ad ogni buon conto indicato quanto segue:

### 2.7 Verifiche alle tensioni

Relativamente ai metodi di calcolo, è d'obbligo il Metodo agli stati limite di cui al § 2.6.

Per le costruzioni di tipo 1 e 2 e Classe d'uso I e II e limitatamente a siti ricadenti in Zona 4 è ammesso il Metodo di verifica alle tensioni ammissibili. Per tali verifiche si deve fare riferimento alle norme tecniche di cui al D.M. LL.PP. 14 febbraio 1992, per le strutture in calcestruzzo e in acciaio, al D.M. LL.PP. 9 gennaio 1987 (*n.d.r.* sostituito dal D.M. 20 novembre 1987), per le strutture in muratura e al D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 per le opere e i sistemi geotecnici.

Le norme dette si debbono in tal caso applicare integralmente, salvo per i materiali e i prodotti, le azioni e il collaudo statico per i quali valgono le prescrizioni riportate nelle presenti norme tecniche.

Le azioni sismiche debbono essere assunte pari al 3% dei carichi verticali agenti e le modalità costruttive e di calcolo di cui al D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 nonché alla Circ. LL.PP. 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. e relativi allegati.

Le definizioni di classe delle opere sono le seguenti:

### 2.4.2 Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B e di tipo C, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*, quando appartenenti a itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

<sup>(2)</sup> Come testualmente da Capitolo 2, punto 2.7, *Norme sulle Costruzioni* di cui alla nota 1.

<sup>(3)</sup> Ovviamente è richiesta la verifica alle tensioni alla base di ogni piano o alla base dell'edificio se la distribuzione delle murature resistenti è uguale a ogni piano.

Una fase preliminare alla verifica statica potrà essere la regolarizzazione attraverso la modifica delle aree di pianta dei muri e delle qualità dei muri stessi (rispetto alle indicazioni del progetto architettonico) in modo da ottenere una corretta ridistribuzione delle masse e delle caratteristiche resistive.

## Gli orientamenti delle due recenti norme in relazione alla progettazione e verifica statica semplificata

Le due norme ammettono, come già rilevato, l'impiego del metodo delle verifiche alle tensioni. Queste ammissioni trovano nella OPCM una semplificazione perché sono prescritte, per gli edifici semplici, verifiche alla compressione alla base di ogni piano (o alla base dell'edificio con piante uguali a ogni piano).

- Per quanto riguarda il Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti *Norme tecniche per le costruzioni*, il punto 2.7 *Verifica alle tensioni* è riportato nella precedente nota 1.

In questo punto si ammette l'uso della verifica alle tensioni per gli edifici in cui si prevedono normali affollamenti o lavorazioni non pericolose. Ciò concorre alle indicazioni della OPCM 3431 che vengono riportate qui di seguito.

Al punto 8.1.9 Edifici semplici l'OPCM indica che:

... (omissis)

È implicitamente inteso che per gli edifici semplici il numero di piani non può essere superiore a 3 per edifici in muratura ordinaria ed a 4 per edifici in muratura armata. Deve inoltre risultare, per ogni piano<sup>(1)</sup>:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq 0,25 \frac{f_k}{\gamma_m} \text{ in cui:}$$

N è il carico verticale totale alla base del piano considerato;

A è l'area totale dei muri portanti (ai fini dei carichi verticali) allo stesso piano;

$\gamma_m = 2$  coefficiente parziale di sicurezza (punto 8.1.1);

$f_k$  è la resistenza caratteristica a compressione in direzione verticale della muratura.

... (omissis)<sup>(2)</sup>

## I percorsi di verifica statica e le indicazioni che portano a riconoscere come semplice un edificio

La verifica viene effettuata secondo quanto indicato dall'OPCM 3431 del 3 maggio 2005 per un edificio regolare e semplice (termini che sono espressi dall'OPCM 3431 e che sono riportati alle pagg. 18 e 19) realizzato in muratura armata<sup>(3)</sup>. Tali indicazioni trovano perfetta coincidenza con il punto 7.8.1.9 delle *Norme tecniche*, aggiornamento del 27 luglio 2007.

La procedura per un edificio in muratura ordinaria risulta sostanzialmente analogo in quanto (oltre ai dettagli costruttivi riferibili alle quantità e alle posizioni delle armature) cambiano solamente:

- il numero massimo di piani ammessi (tre per gli edifici con muratura ordinaria e quattro per gli edifici con muratura armata);
- i requisiti geometrici delle pareti resistenti al sisma (Tabella 8.1);

- l'area delle pareti resistenti al sisma in ciascuna direzione ortogonale di cui alla Tabella 8.2 (esprese in percentuale dell'area lorda di pianta).

Nota il livello di sismicità della zona interessata dalla costruzione – dalla consultazione dei dati espressi per la zona di ogni Comune del territorio nazionale, ciascuna zona contrassegnata da un diverso valore del parametro  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima su suolo – l'approccio di verifica può essere effettuato in modi diversi (ben sapendo che un progetto viene a formarsi comunque per approssimazioni successive).

Un modo "classico" prevede un progettista 'architettonico' (il più possibile informato anche delle prescrizioni della normativa statica) che redige il progetto 'planivolumetrico' dell'edificio, eventualmente avendo un orientamento sui materiali strutturali adottabili. Successivamente si procede alla verifica e dalla verifica (se il tentativo non ha esito positivo) si devono prevedere materiali con migliori caratteristiche prestazionali e/o aumentare la quantità di muratura resistente, aumentando la superficie in pianta dei muri portanti, e ripetere la verifica (che può essere necessario ripetere più volte). Nel momento di stendere il progetto, il tecnico deve in ogni modo tener conto della quantità prescritta di area in pianta delle murature di cui alla Tabella 8.2 (alle pagine seguenti) ed anche dei requisiti geometrici delle pareti resistenti al sisma di cui alla Tabella 8.1.

Un altro modo, teso a evitare il più possibile di dover ripetere e rifare verifiche per cambio del materiale resistente, può essere quello di scegliere per prima cosa gli elementi resistenti e verificare se sono adatti a essere impiegati.

Una volta effettuata questa preverifica, si procede nei modi consueti. È a questo secondo modo che ci si atterrà nel seguito.

### Le prescrizioni e le informazioni da considerare e/o da acquisire

Dati per acquisiti i punti 8.1 *Regole generali* e 8.1.6 dell'Ordinanza 3431, è bene precisare che gli edifici irregolari richiedono percorsi e metodi di verifica di maggiore complessità.

Questa pubblicazione non può che rimandare le verifiche più complesse a scritti di maggiore approfondimento.

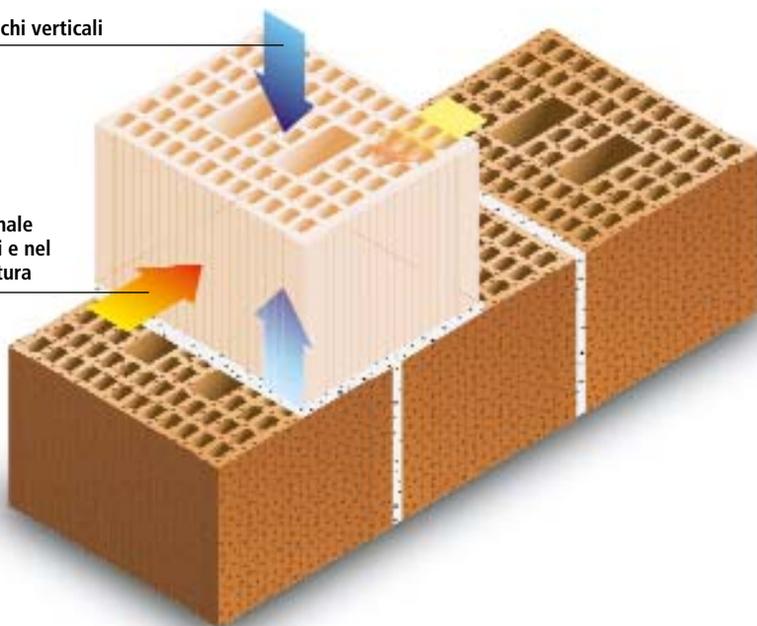
Il punto 8.1.2 *Materiali* prescrive l'adozione di elementi resistenti con percentuale di foratura non superiore al 45% e indica che:

- la loro resistenza caratteristica a rottura nella direzione portante ( $f_{bk}$ ) non sia inferiore a  $5 \text{ N/mm}^2$ , calcolata sull'area al lordo delle forature,

- la loro resistenza nella direzione perpendicolare a quella portante ( $\bar{f}_{bk}$ ), nel piano della muratura, calcolata nello stesso modo, non sia inferiore a  $1,5 \text{ N/mm}^2$ .

Direzione dei carichi verticali

Direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della muratura



Resistenza caratteristica a compressione  $f_{bk}$  per elementi semipieni:

$\geq 5 \text{ N/mm}^2$  nella direzione dei carichi verticali;

$\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$  nella direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della muratura.

Per gli edifici di nuova costruzione indica, per tutti i sistemi costruttivi, le altezze massime in metri. Nel caso degli edifici in muratura verificati per via analitica le altezze sono le seguenti:

#### Altezze degli edifici in muratura.

Zona sismica	4	3	2	1
Edifici con struttura in muratura ordinaria	nessuna limitazione	16	11	7,5
Edifici con struttura in muratura armata	nessuna limitazione	25	19	13

Per gli edifici semplici, verificati con il metodo semplificato, il numero di piani non può essere superiore a 3 per edifici in muratura ordinaria ed a 4 per edifici in muratura armata.

Inoltre introduce (punto 4.3.1) i concetti di regolarità in pianta e di regolarità in altezza. Conseguentemente ne derivano i concetti di edifici irregolari in pianta e/o in altezza.

#### 4.3.1 Regolarità

Gli edifici devono avere quanto più possibile caratteristiche di semplicità, simmetria, iperstaticità e regolarità, quest'ultima definita in base ai criteri di seguito indicati. In funzione della regolarità di un edificio saranno richieste scelte diverse in relazione al metodo di analisi e ad altri parametri di progetto. Si definisce regolare un edificio che rispetti sia i criteri di regolarità in pianta sia i criteri di regolarità in altezza.

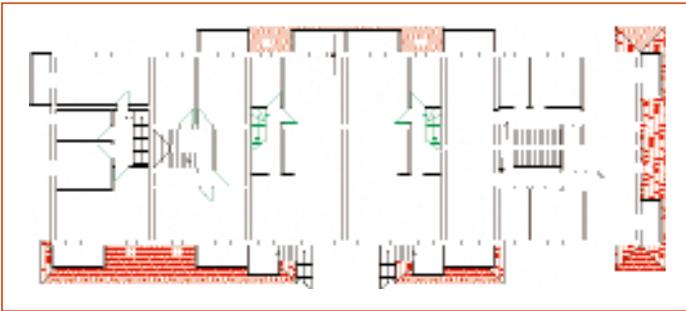
Un edificio è regolare in pianta se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- a) la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze;
- b) il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui l'edificio risulta inscritto è inferiore a 4;
- e) almeno una dimensione di eventuali rientri o sporgenze non supera il 25% della dimensione totale dell'edificio nella corrispondente direzione;
- d) i solai possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano

rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti.

Un edificio è regolare in altezza se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- e) tutti i sistemi resistenti verticali dell'edificio (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza dell'edificio;
- f) massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla cima dell'edificio (le variazioni di massa da un piano all'altro non superano il 25%, la rigidezza non si abbassa da un piano al sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base;



**Pianta di un fabbricato realizzato in muratura portante.**

riazioni di massa da un piano all'altro non superano il 25%, la rigidezza non si abbassa da un piano al sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base;

g) il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza richiesta dal calcolo nelle strutture intelaiate progettate in Classe di Duttilità Bassa non è significativamente diverso per piani diversi (il rapporto fra la resistenza effettiva e quella richiesta calcolata a un generico piano non deve differire più del 20% dall'analogo rapporto determinato per un altro piano); può fare eccezione l'ultimo piano di strutture intelaiate di almeno tre piani;

h) eventuali restringimenti della sezione orizzontale dell'edificio avvengono in modo graduale da un piano al successivo, rispettando i seguenti limiti: a ogni piano il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo piano, né il 20% della dimensione corrispondente al piano immediatamente sottostante. Fa eccezione l'ultimo piano di edifici di almeno quattro piani per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.

Il punto 8.1.4 precisa anche le distribuzioni in pianta delle masse murarie (Tabella 8.1) e le dimensioni in pianta (requisiti geometrici: spessore, snellezza, lunghezza) delle pareti murarie.

### 8.1.4 Criteri di progetto e requisiti geometrici

Le piante degli edifici dovranno essere quanto più possibile compatte e simmetriche rispetto ai due assi ortogonali. Le pareti strutturali, al lordo delle aperture, dovranno avere continuità in elevazione fino alla fondazione, evitando pareti in falso. Le strutture costituenti orizzontamenti e coperture non devono essere spingenti. Eventuali spinte orizzontali, valutate tenendo in conto l'azione sismica, devono essere assorbite per mezzo di idonei elementi strutturali. I solai devono assolvere funzione di ripartizione delle azioni orizzontali tra le pareti strutturali, pertanto devono essere ben collegati ai muri e garantire un adeguato funzionamento a diaframma.

La distanza massima tra due solai successivi non deve essere superiore a 5 m. La geometria delle pareti resistenti al sisma, al netto dell'intonaco, deve rispettare i requisiti indicati nella tabella 8.1 in cui  $t$  indica lo spessore della parete,  $h_0$  l'altezza di libera inflessione della parete (ai sensi del punto 2.2.1.3 del DM 20 novembre 1987),  $h$  l'altezza massima delle aperture adiacenti alla parete,  $l$  la lunghezza della parete.

**Tabella 8.1 - Requisiti geometrici delle pareti resistenti al sisma.**

	$t_{\min}$	$(h_0/t_{\max})$	$(l/h)_{\min}$
Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata	300 mm	10	0,5
Muratura ordinaria, realizzata con elementi artificiali	240 mm	12	0,4
Muratura armata, realizzata con elementi artificiali	240 mm	15	qualsiasi
Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata, in zona 3 e 4	240 mm	12	0,3
Muratura realizzata con elementi artificiali semipieni, in zona 4	200 mm	20	0,3
Muratura realizzata con elementi artificiali pieni, in zona 4	150 mm	20	0,3

Il punto 8.1.9 introduce una ulteriore distinzione, secondo le indicazioni che seguono, introducendo la definizione di edificio semplice per quegli edifici che già sono riconoscibili come regolari.

### 8.1.9 Edifici semplici

Si definiscono “edifici semplici” quelli che rispettano le caratteristiche descritte nel seguito, oltre a quelle di regolarità in pianta ed in elevazione definite al punto 4.3 e quelle definite ai successivi punti 8.2.3 e 8.3.3, rispettivamente per gli edifici in muratura ordinaria e in muratura armata. Per gli edifici semplici non è obbligatorio effettuare alcuna analisi e verifica di sicurezza.

- Le pareti strutturali dell'edificio siano continue dalle fondazioni alla sommità dell'edificio.

In ciascuna delle due direzioni siano previsti almeno due sistemi di pareti di lunghezza complessiva, al netto delle aperture, ciascuno non inferiore al 50% della dimensione dell'edificio nella medesima direzione. Nel conteggio della lunghezza complessiva potranno essere inclusi solamente setti murari che rispettano i requisiti geometrici della Tabella.

8.1 La distanza tra questi due sistemi di pareti in direzione ortogonale al loro sviluppo longitudinale in pianta sia non inferiore al 75% della dimensione dell'edificio nella medesima direzione (ortogonale alle pareti). Al-

meno il 75% dei carichi verticali sia portato da pareti che facciano parte del sistema resistente alle azioni orizzontali.

- In ciascuna delle due direzioni siano presenti pareti resistenti alle azioni orizzontali con interasse non superiore a 7 m, elevabili a 9 m per edifici in muratura armata.

- Nessuna altezza di interpiano sia superiore a 3,5 m.

- Per ciascun piano il rapporto tra area della sezione resistente delle pareti e superficie del piano non sia inferiore ai valori indicati nella tabella seguente, in funzione del numero di piani dell'edificio e della zona sismica, per ciascuna delle due direzioni ortogonali.

Per entrare nella Tabella 8.2 che segue, si deve tener presente il seguente punto:

### 3.2.1 Zone sismiche

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (definito al punto 3.1), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. I valori di  $a_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono, salvo più accurate determinazioni, che possono portare a differenze comunque non superiori al 20% dell'accelerazione per le zone 1 e 2 e non superiori a 0.05g nelle altre zone:

Zona	Valore di $a_g$
1	0,35 $g$
2	0,25 $g$
3	0,15 $g$
4	0,05 $g$

**Tabella 8.2 - Area delle pareti resistenti in ciascuna direzione ortogonale per edifici semplici.**

Accelerazione di picco del terreno $a_g \cdot S \cdot S_T^{(1)}$		$\leq 0,07g$	$\leq 0,1g$	$\leq 0,15g$	$\leq 0,20g$	$\leq 0,25g$	$\leq 0,30g$	$\leq 0,35g$	$\leq 0,40g$	$\leq 0,45g$	$\leq 0,4725g$
Tipo di struttura	Piani n.	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Muratura ordinaria	1	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,0	6,0	6,5
	2	4,0	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	6,5	6,5	7,0
	3	4,5	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0			
Muratura armata	1	2,5	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0	4,5	4,5
	2	3,0	3,5	3,5	3,5	4,0	4,0	4,5	5,0	5,0	5,0
	3	3,5	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0	5,5	5,5	6,0	6,0
	4	4,0	4,5	4,5	5,0	5,5	5,5	6,0	6,0	6,5	6,5

(1)  $S_T$  si applica solo nel caso di strutture con fattore di importanza  $> 1$  (p. 3.2.3).

È implicitamente inteso che per gli edifici semplici il numero di piani non può essere superiore a 3 per edifici in muratura ordinaria ed a 4 per edifici in muratura armata. Deve inoltre risultare, per ogni piano<sup>(10)</sup>:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq 0,25 \frac{f_k}{\gamma_m} \text{ in cui:}$$

- N è il carico verticale totale alla base del piano considerato;
- A è l'area totale dei muri portanti (ai fini dei carichi verticali) allo stesso piano;
- $f_k$  è la resistenza caratteristica a compressione in direzione verticale della muratura;
- $\gamma_m = 2$  coefficiente parziale di sicurezza (punto 8.1.1).

### Determinazione della resistenza caratteristica a compressione $f_k$ della muratura

La resistenza caratteristica della muratura è data dall'effetto combinato della resistenza dei laterizi e della malta utilizzati.

Se si considera sismico, a vari gradi di sismicità, tutto il territorio italiano, allora si possono impiegare esclusivamente elementi semipieni a facce piane, che presentino continuità dei setti almeno nel piano della muratura.

Il valore  $f_k$  della resistenza caratteristica a compressione della muratura realizzata con questi elementi è ricavabile dalla Tabella A del D.M. 20 novembre 1987 *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*, sulla base dei risultati delle prove sui blocchi (resistenza caratteristica a compressione degli elementi  $f_{bk}$ ) e in funzione della resistenza media  $f_m$  della malta. In cantiere si dovranno ovviamente adottare materiali corrispondenti. Si rammenta che l'OPCM 3431 al punto 8.1.2 Materiali prescrive che:

«... (omissis) La malta di allettamento dovrà avere resistenza media non inferiore a 5 MPa e i giunti verticali dovranno essere riempiti con malta. L'utilizzo di materiali o tipologie murarie aventi caratteristiche diverse rispetto a quanto sopra specificato deve essere supportato da adeguate prove sperimentali che ne giustifichino l'impiego. ... (omissis)».



**Un blocco Alveolater® sotto pressa per la determinazione della resistenza meccanica in direzione parallela alla foratura.**

Pertanto la malta di Tipo M4 non può essere utilizzata. Si può ritenere tuttavia che possa essere adottata malta di composizione tipo M4 ma di produzione industriale certificata e controllata e però con resistenza media non inferiore a 5 N/mm<sup>2</sup>.

**Tabella A. Valore della  $f_k$  per murature in elementi artificiali pieni e semipieni.**

Resistenza caratteristica a compressione $f_k$ dell'elemento		Resistenza caratteristica della muratura secondo il tipo di malta							
		M1		M2		M3		M4 (non utilizzabile secondo OPCM)	
		N/mm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
2,0	20	1,2	12	1,2	12	1,2	12	<del>1,2</del>	<del>12</del>
3,0	30	2,2	22	2,2	22	2,2	22	<del>2,0</del>	<del>20</del>
5,0	50	3,5	35	3,4	34	3,3	33	<del>3,0</del>	<del>30</del>
7,5	75	5,0	50	4,5	45	4,1	41	<del>3,5</del>	<del>35</del>
10,0	100	6,2	62	5,3	53	4,7	47	<del>4,1</del>	<del>41</del>
15,0	150	8,2	82	6,7	67	6,0	60	<del>5,1</del>	<del>51</del>
20,0	200	9,7	97	8,0	80	7,0	70	<del>6,1</del>	<del>61</del>
30,0	300	12,0	120	10,0	100	8,6	86	<del>7,2</del>	<del>72</del>

Nota: sono considerate la resistenza caratteristica  $f_{bk}$  degli elementi resistenti e la resistenza media  $f_m$  della malta.

Per gli edifici a struttura in muratura armata sono quindi indicati i particolari costruttivi che comprendono le prescrizioni per la muratura ordinaria (punto 8.2.3) e le seguenti eccezioni e ulteriori prescrizioni (punto 8.3.3).

### 8.2.3 Particolari costruttivi

A ogni piano deve essere realizzato un cordolo continuo all'intersezione tra solai e pareti.

I cordoli avranno larghezza almeno pari a quella del muro. È consentito un arretramento massimo di 6 cm dal filo esterno.

L'altezza minima dei cordoli sarà pari all'altezza del solaio. L'armatura corrente non sarà inferiore a 8 cm<sup>2</sup>, le staffe avranno diametro non inferiore a 6 mm ed interasse non superiore a 25 cm. Travi metalliche o prefabbricate costituenti i solai dovranno essere prolungate nel cordolo per almeno la metà della sua larghezza e comunque per non meno di 12 cm ed adeguatamente ancorate a esso. In corrispondenza di incroci d'angolo tra due pareti perimetrali sono prescritte, su entrambe le pareti, zone di parete muraria di lunghezza non inferiore a 1 m, compreso lo spessore del muro trasversale.

Al di sopra di ogni apertura deve essere realizzato un architrave resistente a flessione efficacemente ammorsato alla muratura.

### 8.3.3 Particolari costruttivi (muratura armata)

Quanto indicato al punto 8.2.3 per la muratura ordinaria si applica anche alla muratura armata, con le seguenti eccezioni ed ulteriori prescrizioni. Gli architravi soprastanti le aperture potranno essere realizzati in muratura armata.

Le barre di armatura dovranno essere esclusivamente del tipo ad aderenza migliorata e dovranno essere ancorate in modo adeguato alle estremità mediante piegature attorno alle barre verticali. In alternativa potranno essere utilizzate, per le armature orizzontali, armature a traliccio o conformate in modo da garantire adeguata aderenza ed ancoraggio.

Dovrà essere garantita una adeguata protezione dell'armatura nei confronti della corrosione.

L'armatura orizzontale, collocata nei letti di malta o in apposite scanalature nei blocchi, non potrà avere interasse superiore a 600 mm. Non potranno essere usate barre di diametro inferiore a 5 mm. La percentuale di armatura, calcolata rispetto all'area lorda della muratura, non potrà essere inferiore allo 0,04%, né superiore allo 0,5%.

L'armatura verticale dovrà essere collocata in apposite cavità o recessi, di dimensioni tali che in ciascuno di essi risulti inscrivibile un cilindro di almeno 6 cm di diametro. Armature verticali con sezione complessiva non inferiore a 200 mm<sup>2</sup> dovranno essere collocate a ciascuna estremità di ogni parete portante, a ogni intersezione tra pareti portanti, in corrispondenza di ogni apertura e comunque a interasse non superiore a 4 m. La percentuale di armatura verticale, calcolata rispetto all'area lorda della muratura, non potrà essere inferiore allo 0,05%, né superiore allo 1,0%.

Le sovrapposizioni devono garantire la continuità nella trasmissione degli sforzi di trazione, in modo che lo snervamento dell'armatura abbia luogo prima che venga meno la resistenza della giunzione. In mancanza di dati sperimentali relativi alla tecnologia usata, la lunghezza di sovrapposizione deve essere di almeno 60 diametri.

Parapetti ed elementi di collegamento tra pareti diverse dovranno essere ben collegati alle pareti adiacenti, garantendo la continuità dell'armatura orizzontale e, ove possibile, di quella verticale.

Agli incroci delle pareti perimetrali è possibile derogare dal requisito di avere su entrambe le pareti zone di parete muraria di lunghezza non inferiore a 1 m.

### La resistenza a compressione dei tipi di malta

Le malte rivestono tradizionalmente, nelle murature, la funzione di unione tra gli elementi (mattoni o blocchi), ma anche di ripartizione delle azioni di compressione nei letti orizzontali, nei giunti verticali o in altre posizioni. Nel caso di murature armate, o comunque di presenza di particolari in acciaio, hanno inoltre funzione protettiva dagli agenti esterni e, ovviamente esse stesse non devono esercitare azioni aggressive su parti metalliche presenti nella loro massa (come le malte di gesso o bastarde con gesso, che vanno evitate).

Il D.M. 20 novembre 1987 *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro con-*



**Malta premiscelata Alveolater® ad alte prestazioni termiche. È confezionata in sacchi da 25 kg.**

*solidamento* (a cui rimanda l'OPCM 3431) definisce, al punto 1.2.1 *Malte*, quattro classi di malta alle quali corrispondono quattro livelli di resistenza media a compressione.

### Tipi di malta e resistenza.

Classe	Tipo di malta	Composizione				
		Cemento	Calce aerea	Calce idraulica	Sabbia	Pozzolana
M4	Idraulica	-	-	1	3	-
M4	Pozzolana	-	1	-	-	3
M4	Bastarda	1	-	2	9	-
M3	Bastarda	1	-	1	5	-
M2	Cementizia	1	-	0,5	4	-
M1	Cementizia	1	-	-	3	-

*Malte di diverse proporzioni confezionate anche con additivi, preventivamente sperimentate, possono essere ritenute equivalenti a quelle indicate in tabella qualora la loro resistenza media a compressione non risulti inferiore ai seguenti valori: 12 N/mm<sup>2</sup> [120 kgf/cm<sup>2</sup>] per l'equivalenza alla malta M1; 8 N/mm<sup>2</sup> [80 kgf/cm<sup>2</sup>] per l'equivalenza alla malta M2; 5 N/mm<sup>2</sup> [50 kgf/cm<sup>2</sup>] per l'equivalenza alla malta M3; 2,5 N/mm<sup>2</sup> [2,5 kgf/cm<sup>2</sup>] per l'equivalenza alla malta M4.*

Il D.M. 14 settembre 2005 *Norme tecniche per le costruzioni* del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti al Capitolo 11 *Materiali e prodotti per uso strutturale* indica per le malte quanto segue:

Le prestazioni meccaniche di una malta sono definite mediante la sua resistenza media a compressione  $f_m$ . La categoria di una malta per muratura strutturale è definita da una sigla costituita dalla lettera M seguita da un numero che indica la resistenza  $f_m$  espressa in N/mm<sup>2</sup> secondo la Tabella 11.10.III. Non è ammesso l'impiego di malte con resistenza  $f_m < 2,5$  N/mm<sup>2</sup>.

**La malta termica premiscelata Alveolater®, impiegata con i laterizi Alveolater® e Perlater®, elimina i ponti termici incrementando l'isolamento termico complessivo della muratura.**



**Tabella 11.10.III - Classi di malte a prestazione garantita.**

Classe	M2,5	M5	M10	M15	M20	Md
Resistenza a compressione N/mm <sup>2</sup>	2,5	5	10	15	20	d

d è una resistenza a compressione maggiore di 25 N/mm<sup>2</sup> dichiarata dal produttore.

**Classi di malta a composizione prescritta.**

Classe	Tipo di malta	Composizione				
		Cemento	Calce aerea	Calce idraulica	Sabbia	Pozzolana
M2,5	Idraulica	-	-	1	3	-
M2,5	Pozzolana	-	1	-	-	3
M2,5	Bastarda	1	-	2	9	-
M5	Bastarda	1	-	1	5	-
M8	Cementizia	2	-	1	8	-
M12	Cementizia	1	-	-	3	-

Conseguentemente la tabella relativa alle murature in elementi pieni o semipieni assume i valori di tabella 11.10.IV, sempre nel caso di murature realizzate con giunti continui in verticale e orizzontale e di spessore compreso fra 5 e 15 mm.

**Tabella 11.10.IV - Valori della  $f_k$  per murature in elementi artificiali pieni e semipieni.**

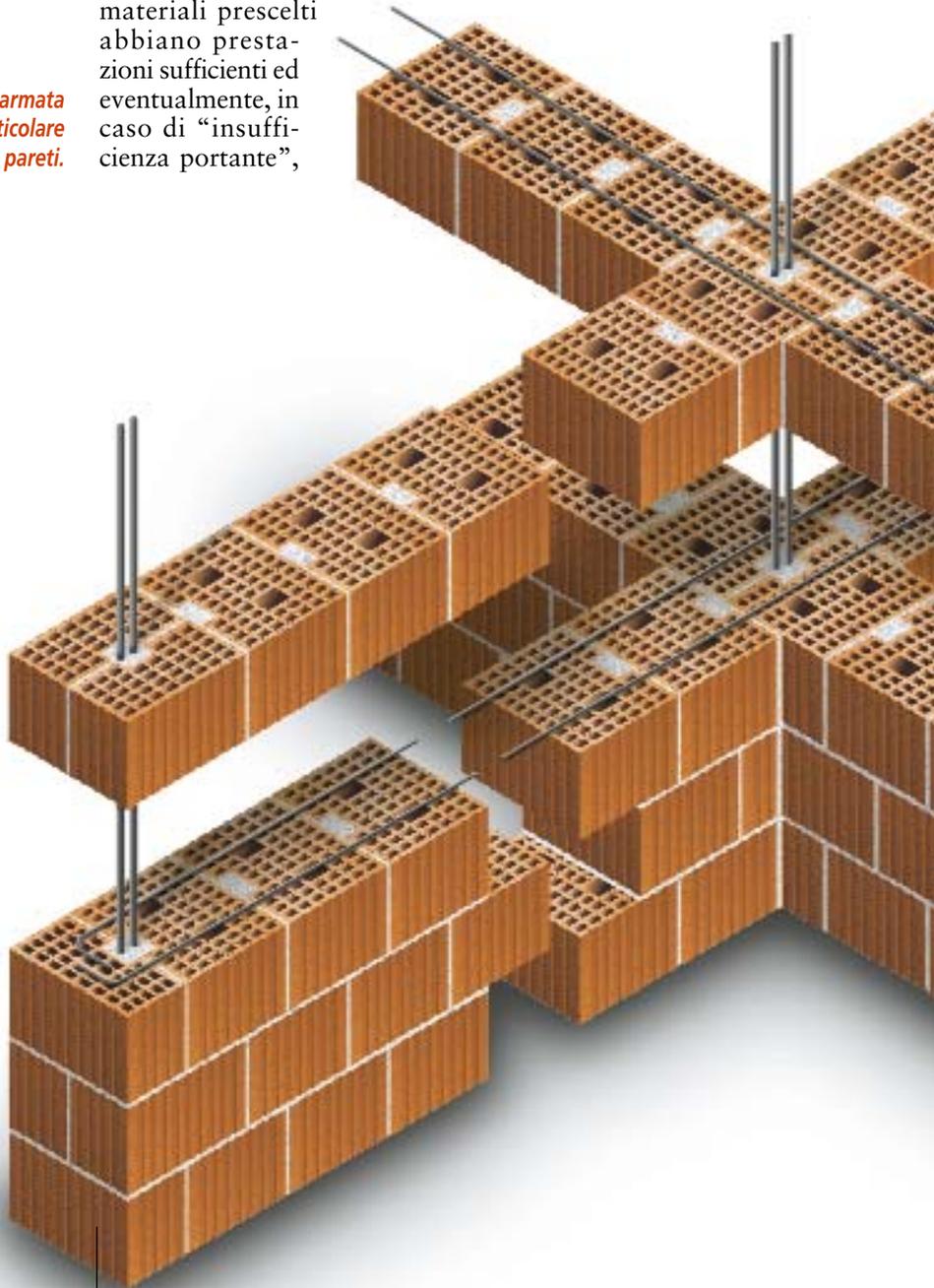
Resistenza caratteristica a compressione $f_{bk}$ dell'elemento N/mm <sup>2</sup>	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2,5
2,0	1,2	1,2	1,2	1,2
3,0	2,2	2,2	2,2	2,0
5,0	3,5	3,4	3,3	3,0
7,5	5,0	4,5	4,1	3,5
10,0	6,2	5,3	4,7	4,1
15,0	8,2	6,7	6,0	5,1
20,0	9,7	8,0	7,0	6,1
30,0	12,0	10,0	8,6	7,2
40,0	14,3	12,0	10,4	-

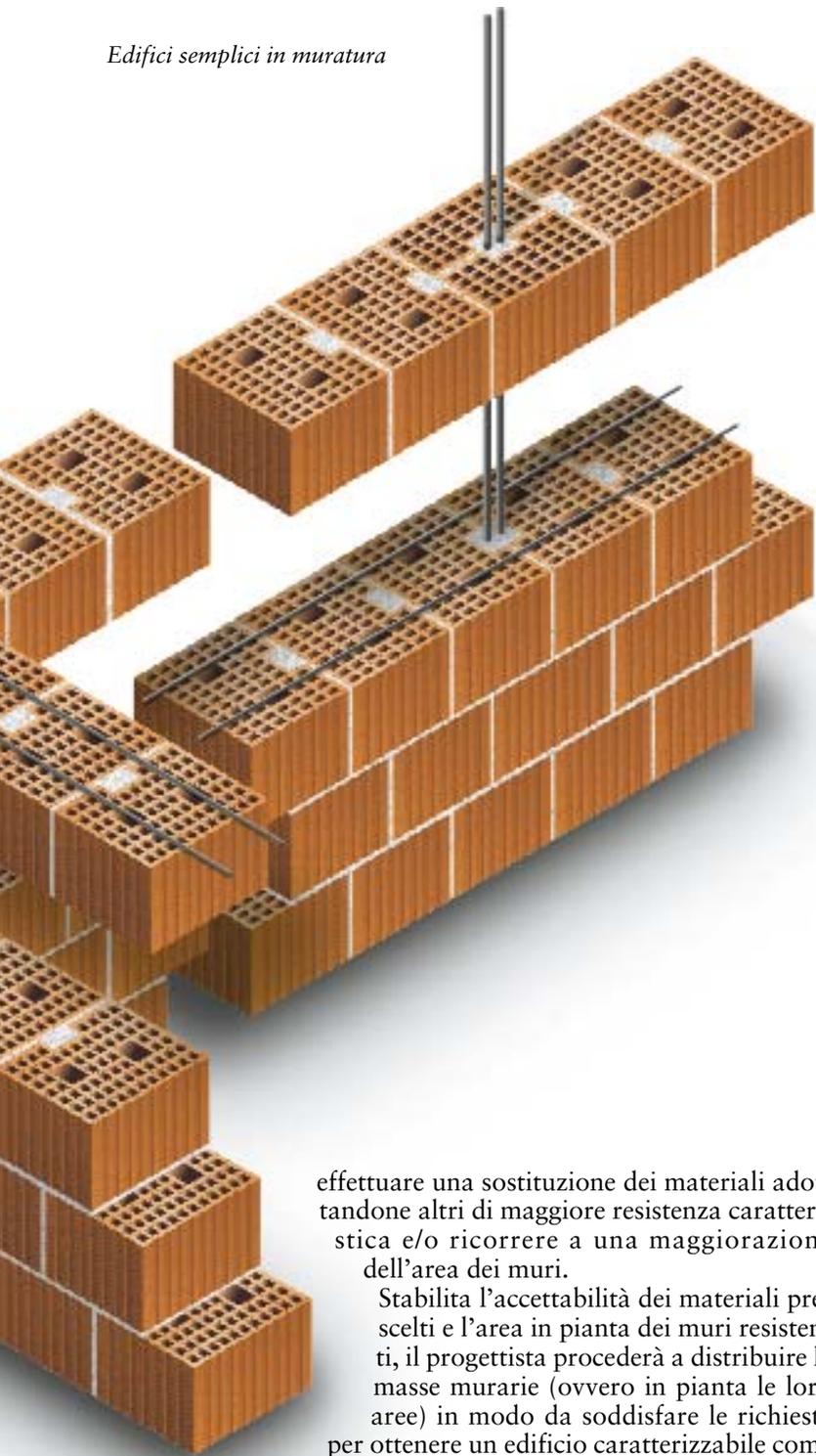
## Verifica statica dei materiali adottabili per un edificio in muratura armata

Si considera un edificio con superficie lorda in pianta di 100 m<sup>2</sup>. Per la verifica si assume come area dei muri resistenti il minimo prescritto dalla Tabella 8.2 (pag. 20).

Si intende verificare se i materiali prescelti abbiano prestazioni sufficienti ed eventualmente, in caso di “insufficienza portante”,

**Muratura armata Alveolater®: particolare dell'incrocio tra pareti.**





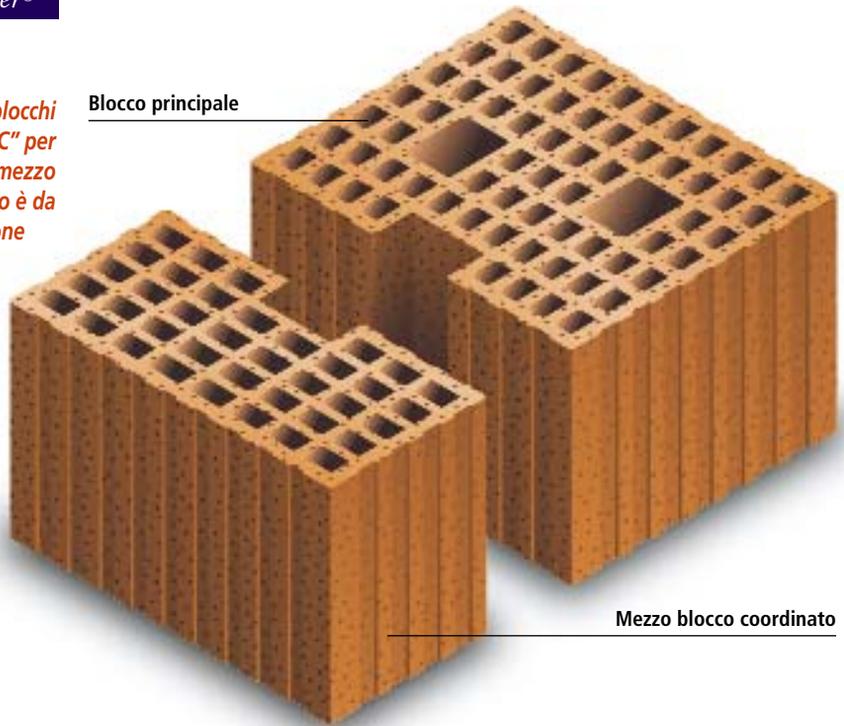
effettuare una sostituzione dei materiali adottandone altri di maggiore resistenza caratteristica e/o ricorrere a una maggiorazione dell'area dei muri.

Stabilita l'accettabilità dei materiali prescelti e l'area in pianta dei muri resistenti, il progettista procederà a distribuire le masse murarie (ovvero in pianta le loro aree) in modo da soddisfare le richieste per ottenere un edificio caratterizzabile come 'regolare' e 'semplice'.

Al termine di questa 'distribuzione' delle aree, l'edificio dovrebbe avere il baricentro dell'area di pianta ed il baricen-

## Blocchi Alveolater® per muratura armata

*Esempio di blocchi Alveolater® a "C" per muratura armata. Il mezzo blocco coordinato è da utilizzarsi per l'esecuzione di particolari della muratura, quali angoli e parti terminali.*



Blocco principale

Mezzo blocco coordinato

tro di tutte le masse (muri, divisori, solai, coperture e quanto d'altro) coincidenti o abbastanza prossimi, in modo da non fare temere effetti torsionali orizzontali per effetto del sisma.

In caso di difficoltà si dovrà procedere ad 'artifici' per modificare le masse e/o le rigidità e quindi avere un accettabile 'ricentraggio' dei due baricentri in pianta.

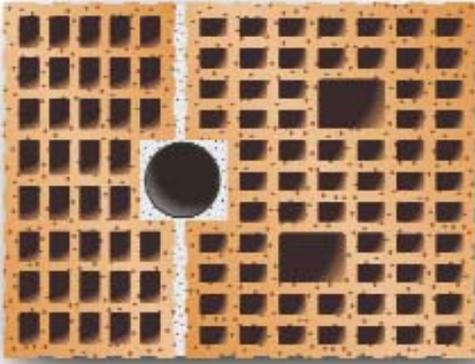
Si ipotizza che l'edificio in muratura armata sia ubicato in zona sismica 3, sia costituito da quattro piani fuori terra<sup>(5)</sup> e sia coperto con un tetto a falde.

Il materiale adottato per la realizzazione dei muri portanti è costituito da blocchi in laterizio alveolato con percentuale di foratura  $\leq 45\%$ .

Le caratteristiche geometriche e meccaniche dei blocchi portanti sono le seguenti:

- percentuale di foratura dei blocchi  $< 45\%$ ;
- dimensione dei blocchi =  $30 \times 25 \times 19$  cm;
- massa volumica del muro  $\sim 950$  kg/m<sup>3</sup>;
- dimensioni di pareti e setti del blocco: conformi a norma;
- cavità o recessi, di dimensioni tali che in ciascuno di essi risulti inscrivibile un cilindro di almeno 6 cm di diametro. Si veda la figura di pagina 29.

## Edifici semplici in muratura



La figura esemplifica come nello spazio costituito dalle due nicchie di due blocchi accostati si ha il recesso, per l'inserimento del getto di calcestruzzo e dell'armatura, per formare un cordolo verticale.

Quaderni Alveolater®

**Blocchi Alveolater® per muratura armata accostati a creare la nicchia per l'inserimento dell'armatura.**

Le resistenze di blocchi e muro sono inquadrate nella tabella seguente.

### Resistenze meccaniche per i blocchi in laterizio alveolato e per la muratura.

Resistenza meccanica dei blocchi	Resistenza a compressione nella direzione dei carichi verticali ( $f_{bk}$ )	> 12 N/mm <sup>2</sup>
	Resistenza a compressione nella direzione ortogonale a quella dei carichi verticali e nel piano della muratura ( $\bar{f}_{bk}$ )	> 2 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza meccanica della muratura	Resistenza caratteristica a compressione ( $f_k$ )	> 5,0 N/mm <sup>2</sup>
	Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali ( $f_{bko}$ )	> 0,25 N/mm <sup>2</sup>

Il materiale è quindi conforme alle prescrizioni normative.

### Determinazione della superficie minima di muratura resistente

In zona sismica 3 il valore dell'accelerazione è assunto come  $a_g = 0,15g$ .

Le dimensioni percentuali in pianta dei muri portanti sono determinate dalla Tabella 8.2 che in corrispondenza di  $a_g = 0,15g$  dà i seguenti valori delle aree delle pareti resistenti:

#### Sintesi della tabella 8.2 (per $a_g = 0,15g$ )

Area dei muri in pianta in ciascuna direzione ortogonale come % dell'area di pianta dell'edificio semplice		
Tipo di struttura	Numero di piani	
Struttura in muratura armata	1	3%
	2	3,5%
	3	4%
	4	4,5%

Per semplificazione dell'esempio si assume che per tutti e quattro i piani si abbia una quantità di area dei muri resistenti (sezione orizzontale alla base dei muri portanti) uguale al 4,5% sia in direzione X che in direzione Y, e quindi complessivamente sia pari al 9%. Ciò tuttavia nel rispetto di quanto al punto 8.1.9:

Edifici semplici ... omissis... Le pareti strutturali dell'edificio siano continue dalle fondazioni alla sommità dell'edificio...omissis.



Quando si è in presenza di muri portanti in cui parte dell'area del muro non è collaborante, deve essere conteggiata solo l'area della superficie resistente. Per esempio in un muro a doppia parete, di cui una parete non in grado di sostenere carichi (quale il paramento sottile esterno o la fodera interna), deve essere conteggiata solo l'area della parete portante (cioè il muro al netto dell'intercapedine con aria e/o isolante e della parete sottile).

Essendo assunta di 100 m<sup>2</sup> la superficie lorda della pianta dell'edificio, l'area totale alla base dell'edificio dei muri resistenti (fuori terra = 'fuori fondazione') in una direzione sarà:

$$A_x = 100 \cdot 4,5\% = 4,5 \text{ m}^2$$

e analogamente

$$A_y = 100 \cdot 4,5\% = 4,5 \text{ m}^2$$

per complessivi 9 m<sup>2</sup>.

**Costruzione di un edificio in muratura armata Alveolater®.**

Il passo successivo è quello di verificare se la superficie di 9 m<sup>2</sup> dei muri alla base dell'edificio è sufficiente a sopportare il carico dell'intero edificio (soddisfacendo la disuguaglianza di norma di cui al punto seguente).

### Analisi dei carichi

Qui di seguito l'analisi dei carichi, per l'edificio in muratura armata di quattro piani fuori terra, è sintetica e schematica per ottenere semplicità di descrizione. Ci si riferisce anche al paragrafo 3.1.4 Carichi variabili delle *Norme tecniche per le costruzioni* del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Si prega il lettore di svolgere ovviamente nel caso reale una completa ed accurata analisi dei carichi.

### Analisi dei carichi.

Peso dei muri (vuoto per pieno) Sono considerati pieni i vuoti delle aperture	$9 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ (altezza)} \cdot 950 \text{ (massa kg/m}^3) \cdot 4 \text{ (piani)}$	102.600 kg
Peso solai in laterocemento (solai per scale) il primo solaio non considerato: poggia sul muro in c.a. di fondazione; solai di 2°, 3°, 4° piano + sottotetto calpestabile	$100 \text{ m}^2 \cdot 4 \text{ (solai)} \cdot 250 \text{ (kg/m}^2)$	100.000 kg
Peso pavimentazione (considerate 3 pavimentazioni con sottofondo) 4 solai abitabili meno il 1° che poggia sul muro di fondazione = 3	$200 \text{ (kg/m}^2) \cdot 3 \text{ (pavimenti)} \cdot 100 \text{ (m}^2)$	60.000 kg
Peso solaio copertura con tegole e altro con sporto di gronda $12 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} = 144 \text{ m}^2$	$400 \text{ (kg/m}^2) \cdot 144 \text{ (m}^2)$	57.600 kg
Sovraccarico accidentale mobile + tavolati: ai piani	$(200 + 100) \text{ (kg/m}^2) \cdot 100 \text{ (m}^2) \cdot 4$	120.000 kg
Sovraccarico accidentale copertura (neve)	$90 \text{ (kg)} \cdot 144 \text{ (m}^2)$	12.960 kg
Totale		453.160 kg 4.531.600 N

### La verifica

Come già riportato in questo capitolo, deve risultare per ogni piano:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq 0,25 \frac{f_k}{\gamma_m}$$

Poiché i piani dell'edificio non presentano (nell'ipotesi schematica qui fatta) alcuna variazione fra loro, la verifica può essere fatta direttamente e semplicemente alla base dell'edificio stesso sulla scorta dell'analisi dei carichi fatta sopra.

Nella formula di cui sopra si sostituiscono quindi i seguenti valori:

- N è il carico verticale totale alla base del 1° piano sopra fondazione = 4.531.600 N;
- A è l'area totale dei muri portanti (ai fini dei carichi verticali) alla base dell'edificio =  $9 \text{ m}^2 = 9.000.000 \text{ mm}^2$ ;
- $f_k$  è la resistenza caratteristica a compressione in direzione verticale della muratura =  $50 \text{ kg/cm}^2 = 5,0 \text{ N/mm}^2$ ;
- $\gamma_m$  è il coefficiente parziale di sicurezza = 2.

Risulta:

$$\sigma = \frac{4.531.600}{9.000.000} \approx 0,50 \text{ N/mm}^2 \leq 0,25 \frac{5}{2} = 0,625 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma$  si dimostra inferiore al valore ammissibile<sup>(5)</sup>.

La stabilità ai carichi è verificata ed il materiale adottato è pertanto idoneo<sup>(6)</sup>.

Il progetto, qui giunto, prosegue e può passare alla ‘collocazione’ dei tratti di muro in pianta.

I tratti si ricavano dalla lunghezza minima della somma dei muri in una e nell’altra direzione. Per superfici di pianta diverse varieranno ovviamente le somme delle lunghezze dei tratti murari.

Nel caso virtuale ipotizzato con pianta di 100 m<sup>2</sup>, le somme sono le seguenti:

$$\sum_x l_{ix} = \frac{A_x}{s} = \frac{4,5}{0,30} = 15 \text{ m}$$

$$\sum_y l_{iy} = \frac{A_y}{s} = \frac{4,5}{0,30} = 15 \text{ m}$$

dove

-  $\sum_x l_{ix}$  è la somma minima dei tratti murari  $l_{ix}$  secondo la direzione  $x$ ;

-  $\sum_y l_{iy}$  è la somma minima dei tratti murari  $l_{iy}$  secondo la direzione  $y$ ;

-  $A_x$  è l’area minima dei muri nella direzione  $x = 4,5 \text{ m}^2$ ;

-  $A_y$  è l’area minima dei muri nella direzione  $y = 4,5 \text{ m}^2$ ;

-  $s$  è lo spessore della muratura portante corrispondente allo spessore del blocco adottato = 30 cm.

Il progettista provvederà a ‘prelevare’ dalle lunghezze totali  $\sum_x l_{ix}$  e  $\sum_y l_{iy}$  i tratti murari  $l_{ix}$  ed  $l_{iy}$  necessari alla pianta dell’edificio e a disporli in modo simmetrico rispetto agli assi  $x$  ed  $y$  così che il baricentro delle loro aree in pianta (delle loro masse e rigidezze) risulti (il più possibile!) coincidente con il baricentro dell’area della pianta dell’edificio e siano anche soddisfatte le caratteristiche di regolarità e di semplicità già enunciate e richieste. Fra queste si rammenta il rapporto tra il lato maggiore e quello minore di un rettangolo, in cui la pianta dell’edificio risulta inscritta, che non deve essere superiore a 4.

Ottenendo la ‘coincidenza’ dei due baricentri saranno evitati effetti torsionali orizzontali a seguito di azione sismica.

Nel progetto possono evidentemente essere conseguite somme delle lunghezze dei tratti murari secondo  $x$  e/o secondo  $y$  ( $\sum_x l_{ix}$  e  $\sum_y l_{iy}$ ) maggiori rispetto ai minimi consentiti (qui nell’esempio assommanti ognuna a 15 m).

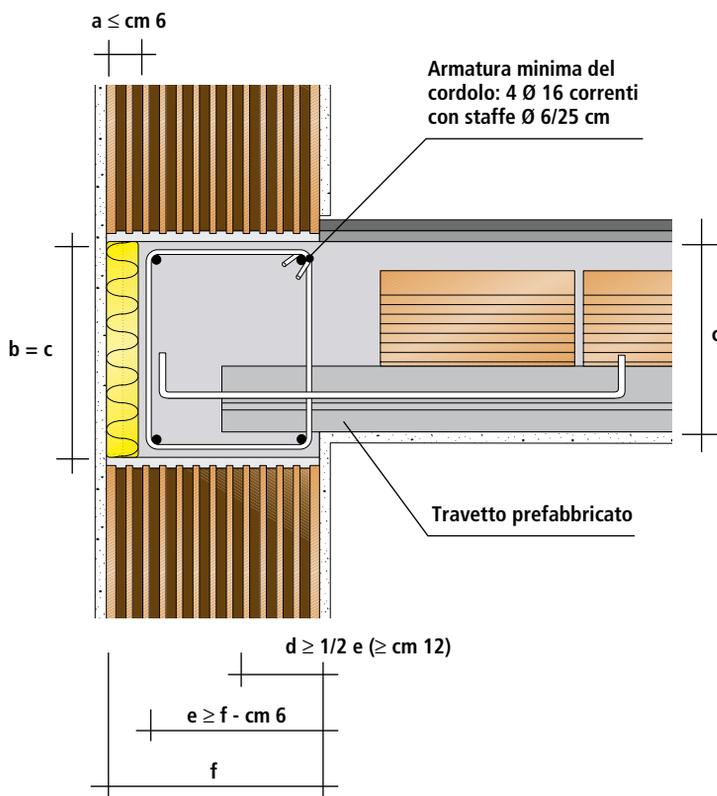
Le armature dei cordoli e le armature delle pareti avranno dimensioni e saranno disposte come indicato ai punti 8.2.3 e 8.3.3 *Particolari costruttivi* riportati alle pagine 22 e 23.

In particolare si realizzeranno cordoli armati a livello di ogni piano all’inserzione tra solai e pareti.

«I cordoli avranno larghezza almeno pari a quella del muro. È consentito un arretramento massimo di 6 cm dal filo esterno. L’altezza minima dei

cordoli sarà pari all'altezza del solaio. L'armatura corrente non sarà inferiore a  $8 \text{ cm}^2$ , le staffe avranno diametro non inferiore a 6 mm ed interasse non superiore a 25 cm. Travi metalliche o prefabbricate costituenti i solai dovranno essere prolungate nel cordolo per almeno la metà della sua larghezza e comunque per non meno di 12 cm ed adeguatamente ancorate a esso. Al di sopra di ogni apertura deve essere realizzato un architrave resistente a flessione efficacemente ammorsato alla muratura. L'armatura orizzontale, collocata nei letti di malta o in apposite scanalature nei blocchi, non potrà avere interasse superiore a 600 mm. Non potranno essere usate barre di diametro inferiore a 5 mm. La percentuale di armatura, calcolata rispetto all'area lorda della muratura, non potrà essere inferiore allo 0,04%, né superiore allo 0,5%».

La figura illustra quanto prescritto qui di seguito. Cordoli vanno previsti anche in corrispondenza delle intersezioni di solai e muri interni.



- a = riduzione della larghezza del cordolo per l'arretramento dal filo esterno
- b = altezza del cordolo
- c = spessore del solaio
- d = prolungamento dei travetti del solaio nel cordolo
- e = larghezza del cordolo
- f = larghezza della muratura

Nello spessore del letto di malta possono essere collocate armature (interasse in verticale max 600 mm) costituite da barre ad aderenza migliorata (in acciaio al carbonio o inox), tralicci, ma con i dovuti controlli anche bande, lamine o reti.

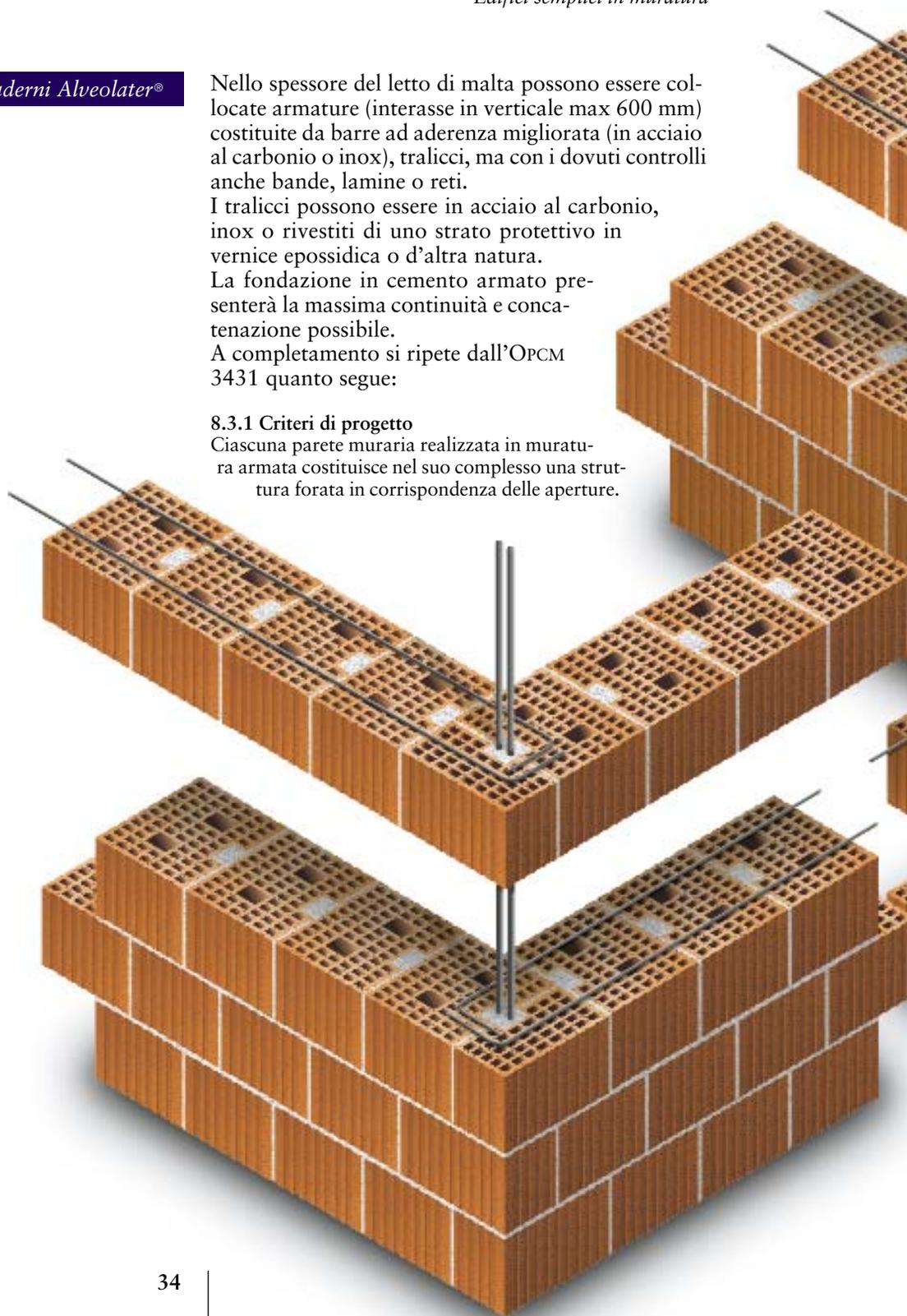
I tralicci possono essere in acciaio al carbonio, inox o rivestiti di uno strato protettivo in vernice epossidica o d'altra natura.

La fondazione in cemento armato presenterà la massima continuità e concatenazione possibile.

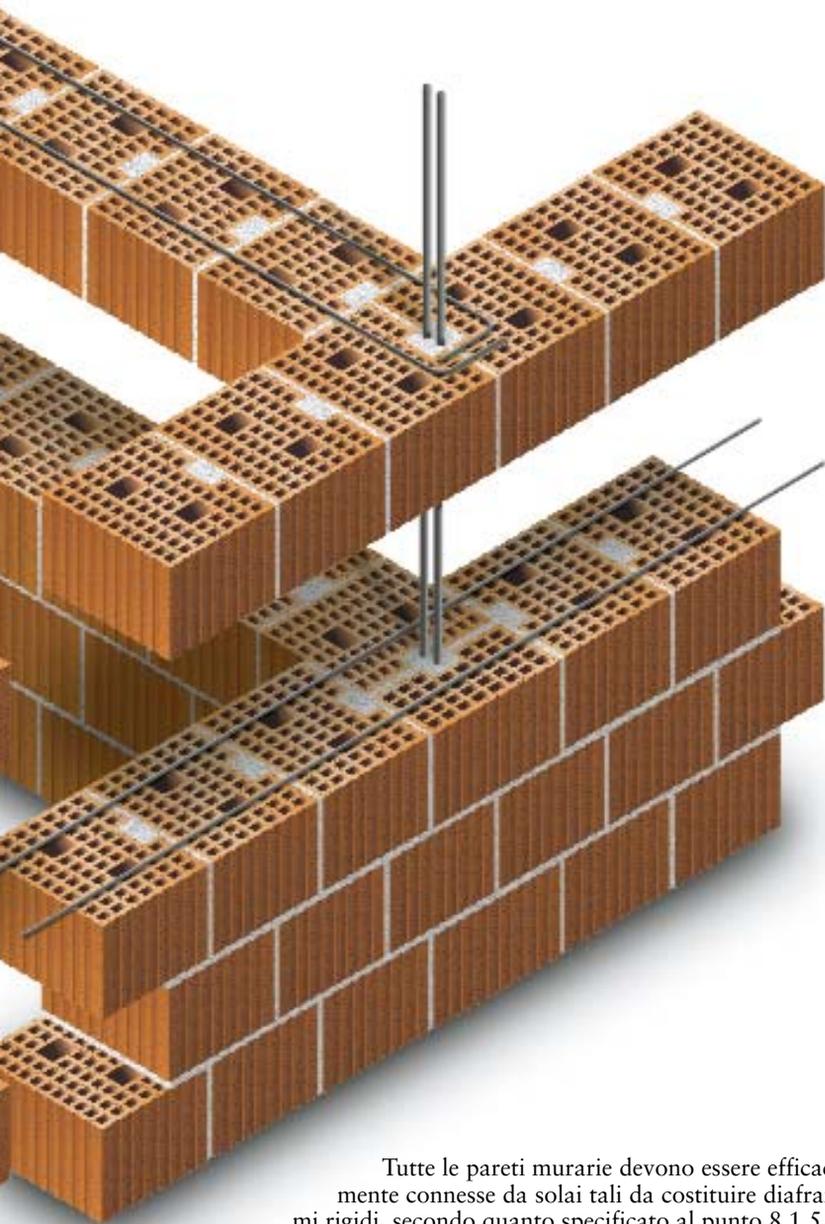
A completamento si ripete dall'OPCM 3431 quanto segue:

### **8.3.1 Criteri di progetto**

Ciascuna parete muraria realizzata in muratura armata costituisce nel suo complesso una struttura forata in corrispondenza delle aperture.



*Muratura armata  
Alveolater®: particolare  
dell'angolo e dell'innesto tra  
pareti.*



Tutte le pareti murarie devono essere efficacemente connesse da solai tali da costituire diaframmi rigidi, secondo quanto specificato al punto 8.1.5.2.

L'insieme strutturale risultante deve essere in grado di reagire alle azioni esterne orizzontali con un comportamento di tipo globale, al quale contribuisce soltanto la resistenza delle pareti nel loro piano.

---

Note

(1) Se non vi sono differenze ai piani delle distribuzioni e caratteristiche geometriche dei muri e delle caratteristiche meccaniche dei materiali, la

verifica di sicurezza potrà essere fatta solamente al piano di contatto tra muratura e fondazione in cemento armato.

(2) L'Opcm 3274 prevede che il valore  $f_k$  sia ricavabile secondo quanto indicato, alla Tabella A, dal D.M. 20 novembre 1987 *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*, una volta certificata, a cura del produttore, la resistenza caratteristica a compressione dell'elemento  $f_{bk}$ .

Si rammenta che l'OPCM 3431 al punto 8.1.2 *Materiali* prescrive che

«... (omissis)

La malta di allettamento dovrà avere resistenza media non inferiore a 5 MPa e i giunti verticali dovranno essere riempiti con malta. L'utilizzo di materiali o tipologie murarie aventi caratteristiche diverse rispetto a quanto sopra specificato deve essere supportato da adeguate prove sperimentali che ne giustifichino l'impiego.

...(omissis)».

Pertanto la malta di Tipo M4 non può essere utilizzata.

(3) Una fase preliminare alla verifica statica potrà essere la regolarizzazione attraverso la modifica delle aree di pianta dei muri e delle qualità dei muri stessi (rispetto alle indicazioni del progetto architettonico) in modo da ottenere una corretta redistribuzione delle masse e delle caratteristiche resistive.

(4) È implicito che, se non vi sono differenze ai piani delle distribuzioni e delle caratteristiche geometriche dei muri nonché delle caratteristiche meccaniche dei materiali, la verifica di sicurezza potrà essere fatta, più brevemente, solamente al piano di contatto tra muratura e fondazione in cemento armato.

(5) È il massimo di piani per edificio in muratura armata nella zona sismica 3 ipotizzata per questo esempio.

(6) Qualora la disuguaglianza risultasse insoddisfatta si deve intervenire ovviamente modificando uno o più dei valori  $N$ ,  $A$  o  $f_k$ .

In particolare  $A$  richiede 'semplicemente' di aumentare l'area della sezione orizzontale dei muri, per esempio aumentandone lo spessore, ed  $f_k$  richiede di adottare blocchi di maggiore resistenza meccanica per esempio perché con percentuale di foratura più bassa.

Devono essere tenute presenti le variazioni delle altre prestazioni quali, fra le altre, la trasmittanza termica, il controllo del pericolo di condensazione, il potere fonoisolante che evidentemente cambiano al variare delle caratteristiche delle murature e dei loro materiali.

(7) Nel caso sia da verificare un progetto 'architettonico finito', si farà sempre il controllo delle superfici minime disponibili secondo la Tabella 8.2 e si farà l'applicazione della disuguaglianza:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq 0,25 \frac{f_k}{\gamma_m}$$

contabilizzando i segmenti di murature portanti presenti e quando risulti evidente o controllata la coincidenza o la 'vicinanza' del baricentro delle masse con il baricentro dell'area di pianta a ogni piano oppure al piano più basso se le piante e le masse murarie ai vari piani sono uguali. Controllando inoltre che siano rispettati i concetti di regolarità e semplicità dell'edificio.

## La categoria degli elementi in laterizio

Il D.M. 14 settembre 2005 introduce, per la prima volta nelle nostre normative, il riferimento alle specifiche per la marcatura CE dei laterizi, richiamando la norma UNI EN 771-1. Introduce quindi i concetti di Controllo (Controllo di tipo 2+ o di tipo 4) e di Categoria di prodotto (Categoria I o II).

È il caso di ricordare che, per i laterizi per muratura, la marcatura CE è obbligatoria dal 1° aprile 2006 e quindi, prima di essere immessi sul mercato, i prodotti devono essere sottoposti a prove preliminari (cosiddette “prove iniziali di tipo”) che ne accertino la validità tecnica.

In entrambi i metodi di controllo (sistema 2+ o sistema 4) le prove iniziali di tipo, nonché i periodici controlli di processo e di prodotto, vengono eseguiti sotto la totale responsabilità del produttore; ma nel sistema 2+ le procedure di controllo sono inizialmente e periodicamente certificate da un Organismo notificato.

La differenza tra la Categoria II e la Categoria I è invece basata sul livello di certezza di raggiungere il valore dichiarato di resistenza a compressione.

Il Sistema 4 non è un sistema meno affidabile rispetto al Sistema 2+, dovendo il produttore eseguire le stesse prove richieste nel Sistema 2+.

Certamente però l'intervento di un Organismo Notificato che rilascia un attestato di conformità del metodo di controllo (pur non entrando nel merito delle caratteristiche dichiarate del prodotto, che rimangono di esclusiva responsabilità del produttore) può costituire maggiore garanzia per gli utenti.

È necessaria una precisazione: lo stabilimento che opera in regime di controllo di tipo 4 può produrre esclusivamente elementi di Categoria II.

La differenza fra le due Categorie è precisata dalla norma UNI EN 771-1 ai punti 3.33 e 3.34.

**3.33 Elementi di categoria I:** elementi con resistenza a compressione dichiarata con probabilità di non raggiungere il valore dichiarato non superiore al 5%. La resistenza può essere determinata come valore medio o valore caratteristico.

**3.34 Elementi di categoria II:** elementi per i quali non è previsto di raggiungere il livello di confidenza stabilito per gli elementi di categoria I.



La categoria di un prodotto è basata sul rispetto di alcune condizioni, legate esclusivamente alla resistenza meccanica a carico verticale.

**Condizione 1:** il valore medio dei valori di resistenza rilevati deve essere maggiore del valore dichiarato dal produttore;

**Condizione 2:** il valore più basso deve essere maggiore dell'80% del valore dichiarato;

**Condizione 3:** il “valore di controllo” = valore medio – (deviazione standard · costante di accettabilità) deve essere maggiore del valore dichiarato.

Il prodotto di Categoria II deve rispettare la condizione 1 e la condizione 2; il prodotto di Categoria I deve rispettare anche la condizione 3.

#### Esempio:

Se il produttore dichiara un valore di 12 N/mm<sup>2</sup> e il prelievo di controllo, basato su di un di un lotto di 6 pezzi, fornisce questi valori:

- blocco 1 = 14,5 N/mm<sup>2</sup>
- blocco 2 = 13,9 N/mm<sup>2</sup>
- blocco 3 = 11,1 N/mm<sup>2</sup>
- blocco 4 = 15,8 N/mm<sup>2</sup>
- blocco 5 = 9,0 N/mm<sup>2</sup>
- blocco 6 = 10,0 N/mm<sup>2</sup>

Il valore medio risulta pari a 12,40 N/mm<sup>2</sup>.

La Condizione 1 è rispettata (il valore medio è maggiore del valore dichiarato), mentre la Condizione 2 non lo è in quanto il valore più basso delle misure trovate (9,0 N/mm<sup>2</sup>) è minore dell'80% del valore dichiarato (80% di 12 N/mm<sup>2</sup> = 9,6 N/mm<sup>2</sup>).

Il produttore dovrà ridurre il valore dichiarato e fissarlo, ad esempio, uguale a 11 N/mm<sup>2</sup>.

Il lotto ora è accettato poiché il valore più basso supera l'80% del valore dichiarato ( $0,8 \cdot 11 \text{ N/mm}^2 = 8,8 < 9,0 \text{ N/mm}^2$ ).

Queste condizioni sono sufficienti per blocchi di Categoria II.

Nel caso il produttore abbia stabilito di commercializzare elementi di Categoria I, deve verificare anche la:

- condizione 3: valore dichiarato  $\leq$  valore medio – (deviazione standard · costante di accettabilità).

Deviazione standard:  $s = 3,17$

Costante di accettabilità:  $k_n = 0,82$  (da tabella – per 6 provini)

Il “Valore di controllo” risulta:

$$12,40 \text{ N/mm}^2 - (3,17 \cdot 0,82) = 9,80 \text{ N/mm}^2.$$

Il lotto non può essere considerato conforme.

Pertanto, nel caso dei valori prima elencati, per affermare che il prodotto è di Categoria I, si dovrà abbassare il valore dichiarato e portarlo a 9,5 N/mm<sup>2</sup>.

Quindi, a parità di valori rilevati e di numerosità di campioni provati, la Categoria I impone di dichiarare un valore inferiore rispetto alla Categoria II.

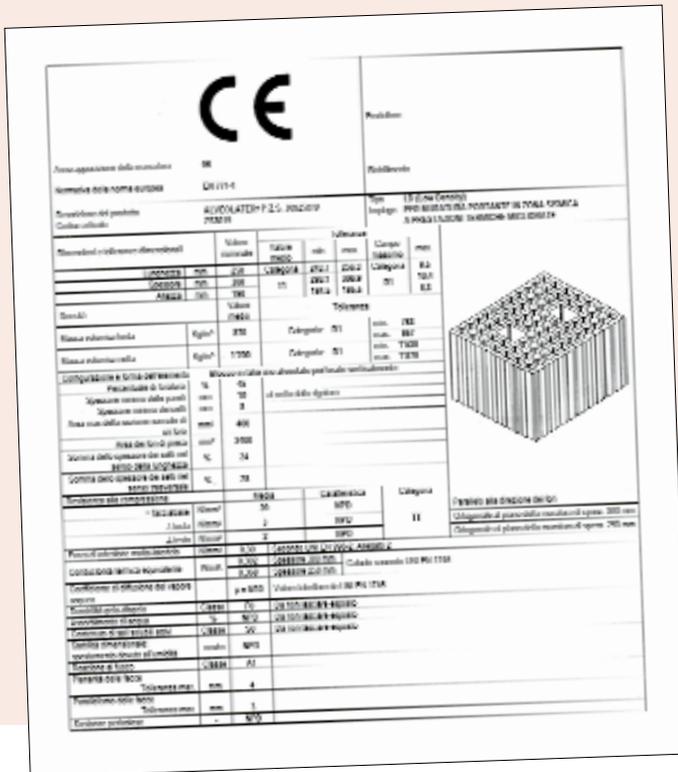
*Il valore 0,82, parametro statistico, varia in funzione del numero di campioni esaminati secondo la tabella:*

Numero di campioni	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Costante di accettabilità	0,95	0,82	0,73	0,67	0,62	0,58	0,55	0,52	0,47
Numero di campioni	14	15	16	18	20	21	24	25	
Costante di accettabilità	0,47	0,45	0,44	0,41	0,39	0,3	0,3	0,34	

*s = deviazione standard. Si ricava dalla formula*

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - m)^2}{n - 1}}$$

*dove m è il valore medio e x<sub>i</sub> è il singolo valore.*



**Esempio di Cartiglio CE. Nel caso di elementi semipieni, il progettista dovrà ricavare la resistenza della muratura in base alla tabella Stima della resistenza a compressione delle Norme tecniche in funzione della malta adottata e della resistenza dei laterizi riportata sul Cartiglio CE.**

## Le ricadute normative – L'Eurocodice 6 e le Norme tecniche per le costruzioni

L'Eurocodice 6 (EN 1996-1-1:2006), al punto 2.3.3 stabilisce che le proprietà dei laterizi e le loro caratteristiche geometriche da utilizzare nella progettazione devono essere quelle definite nella norma UNI EN 771-1.

Al punto 2.4.1 stabilisce che le resistenze di progetto si ottengono dal valore di resistenza caratteristica dividendolo per il relativo coefficiente di sicurezza  $\gamma_M$ , in funzione della classe di esecuzione della muratura (vedi Allegato A EC 6), e che tali valori devono essere utilizzati per gli stati limite ultimi per azioni ordinarie e accidentali. L'Eurocodice 6 prevede infatti il solo calcolo agli stati limite e, a pagina 31, riporta la tabella:

1.1.1.1	$\gamma_M$	$\gamma_M$	$\gamma_M$	$\gamma_M$	$\gamma_M$
1.1.1.2 Muratura con	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Elementi di Categoria I, malta a prestazione garantita	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5
Elementi di Categoria I, malta a prestazione prescritta	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
Elementi di Categoria I, malta qualsiasi	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0

Una nota alla tabella sopra riportata specifica che per gli elementi di Categoria II i valori dei coefficienti  $\gamma_M$  indicati valgono nel caso il coefficiente di variazione  $\delta$  degli elementi non superi il 25% (rapporto fra lo scarto quadratico medio e il valor medio del lotto esaminato).

Questo non esclude che paesi della Comunità ammettano anche elementi con coefficiente di variazione maggiore del 25%, ma in questo caso dovranno definire anche più prudenziali valori dei coefficienti di sicurezza.

Il D.M. 14 settembre 2005, tab. 4.5.II, stabilisce che le resistenze di progetto da impiegare per le verifiche, sia a pressoflessione che a taglio, devono essere ridotte mediante il coefficiente  $\gamma_M$  che assumerà valori variabili in funzione della classe di esecuzione e della categoria dei laterizi.

*(Nota: la norma tecnica allegata all'Ordinanza 3274 non prevede la distinzione fra Categoria I e Categoria II, mentre, poiché fa esplicito riferimento al D.M. 20 novembre 1987, limita automaticamente al 20% il coefficiente di variazione).*

Sempre nel Decreto 14 settembre 2005, bozza di aggiornamento del 27 luglio 2007, non è più previsto l'obbligo della verifica annuale della resistenza dei blocchi presso laboratori ufficiali ma è resa obbligatoria la verifica di resistenza in cantiere, a cura della Direzione lavori.

Con l'introduzione dell'obbligo della marcatura CE, e del conseguente obbligo per il produttore di rilasciare un documento che attesti, sotto la propria responsabilità, le prestazioni dei blocchi, il professionista dovrà basare i calcoli statici sui valori di resistenza dichiarati dal produttore e non più, come è consuetudine, sui valori ricavati dai rapporti di prova ufficiali. Eventuali prove presso laboratori ufficiali eseguite dal produttore, non previste come obbligo dalle *Norme tecniche*, serviranno per avere un valore di raffronto periodico con i risultati delle prove eseguite nel

**Tabella 4.5.II. Valori del coefficiente  $\gamma_M$  in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti.**

Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta	2,5	3,0

laboratorio interno. I rapporti di prova saranno conservati fra i documenti di controllo, non dovranno essere forniti ai professionisti, e non potranno costituire documento sul quale basare il calcolo statico.

Nel caso di elementi semipieni, il professionista dovrà quindi ricavare la resistenza della muratura sulla base della tabella 11.10.IV riportata al punto 11.10.3.1.2 *Stima della resistenza a compressione* delle *Norme tecniche*, riportata a pag. 25, in funzione della malta adottata e della resistenza dei laterizi riportata sul cartiglio CE.

Nel caso di progettazione non sismica, e qualora si impieghino elementi forati (con percentuale di foratura minore del 55%), le *Norme tecniche* prevedono che la resistenza della muratura sia verificata sperimentalmente in funzione del tipo di malta che si vorrà impiegare. Poiché è specificato che «i provini (muretti) devono avere le stesse caratteristiche della muratura in esame...», e poiché il produttore di laterizi è ovviamente responsabile dei soli mattoni o blocchi, per i quali rilascia l'attestazione CE, le prove dovrebbero essere eseguite in cantiere per cantiere a cura dell'impresa e della direzione lavori, al fine di verificare la corrispondenza del risultato al valore di resistenza assunto nei calcoli statici dal professionista calcolatore. Ma i valori di resistenza dei laterizi po-

trebbero non coincidere con i valori dichiarati dal produttore sulla base dei risultati dei controlli interni, e quindi potrebbero nascere perplessità sul valore da assumere per la resistenza della muratura.

Ne consegue che, con ogni probabilità, le prove verranno eseguite dal produttore il quale, a richiesta e in documento diverso dal cartiglio CE, indicherà la resistenza della muratura in funzione del tipo di malta.

# Indicazioni progettuali ed esecutive

## Blocchi a facce piane, blocchi a incastro e modalità di posa

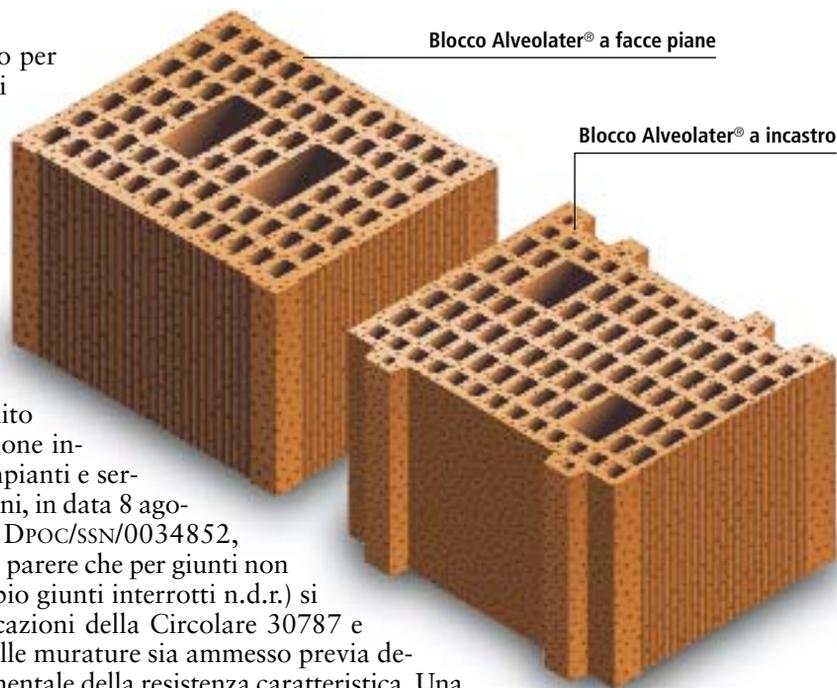
I blocchi in laterizio per murature strutturali possono essere sia a facce piane che configurati a incastro.

Il loro impiego va visto alla luce dell'Ordinanza e del chiarimento che il Dipartimento della Protezione Civile ha fornito a F.I.N.CO., Federazione industrie prodotti, impianti e servizi per le Costruzioni, in data 8 agosto 2003, prot. n. DPOC/SSN/0034852, che riporta «Si è del parere che per giunti non conformi (ad esempio giunti interrotti n.d.r.) si confermino le indicazioni della Circolare 30787 e quindi l'impiego delle murature sia ammesso previa determinazione sperimentale della resistenza caratteristica. Una fattispecie particolare è quella dei muri realizzati con blocchi conformati per l'assemblaggio a secco, per le quali... sarebbe opportuno ricorrere a un sistema coerente di prove sperimentali e analisi interpretative che consentano di determinare non solo la resistenza statica, ma anche la stabilità della risposta sotto cicli alterni e quindi la duttilità».

Quindi i blocchi vanno posti in opera a giunti continui. Qualora i blocchi a facce piane vengano messi in opera con giunti verticali e orizzontali interrotti, allo scopo di migliorare il comportamento termico della muratura, il progettista che ha prescritto una tale posa in opera, che, dal chiarimento, si desume essere ammessa, deve verificare le prestazioni della muratura attraverso prove sperimentali su muretti, eseguite, come richiesto dalla legge, presso laboratori autorizzati ai sensi della legge 1086/71.

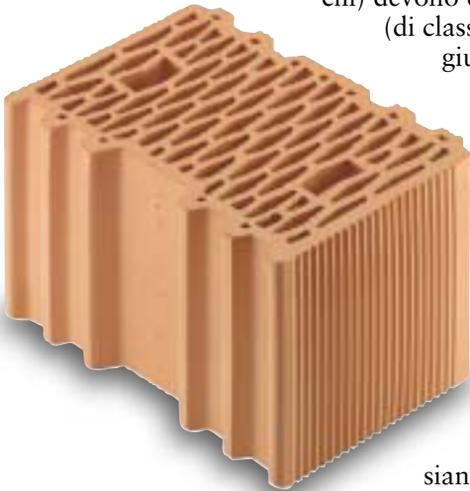
La stessa cosa vale per i blocchi a incastro che presentino una tasca verticale per il giunto di malta.

Se invece la posa è con giunti verticali a secco, sarà necessario avere informazioni sulla duttilità della muratura.



*Esempio di blocchi Alveolater® a facce piane e a incastro.*

Va però tenuto presente che la resistenza a taglio di un muro privo di giunti verticali è generalmente inferiore, a parità di percentuale di foratura dei blocchi, a quella di un muro realizzato con blocchi a facce piane e giunti di malta verticali e orizzontali continui; e inoltre, per assumere per certo un risultato favorevole, bisognerebbe disporre di un elevato numero prove. In caso contrario è indispensabile assumere il dato con una opportuna cautela. È il caso di ricordare che il Decreto del 16 gennaio 1996 *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche* faceva esplicito riferimento al Decreto 20 novembre 1987 *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento* e pertanto avrebbe potuto, a una prima lettura, consentire l'impiego di giunti interrotti o di blocchi a incastro, ma la Circolare illustrativa 65/ AA.GG del 10 aprile 1997, al punto C.5.1 Regole Generali, chiariva che «... in ogni caso gli elementi resistenti che compongono la muratura (mattoni o blocchi) devono essere collegati fra di loro tramite malta cementizia (di classe M1 - M2) che deve assicurare il ricoprimento dei giunti orizzontali e di quelli verticali».



**Esempio di blocco a incastro rettificato, ovvero con facce di allettamento perfettamente planari e parallele.**

### I blocchi a incastro rettificati

Nelle zone a bassa sismicità in cui le Regioni hanno deliberato di non applicare la progettazione sismica, si può ricorrere al D.M. 20 novembre 1987 fino al 31 dicembre 2007, ed è quindi ancora possibile impiegare blocchi rettificati con posa a giunti sottili, e quindi di spessore inferiore al valore minimo di 5 mm indicato dal Decreto. La Circolare 30787 consente, infatti, di ricorrere a murature diverse da quelle previste dal Decreto, purché ne siano documentate sperimentalmente le prestazioni (resistenza a compressione per carico verticale e per carico diagonale). Ma la progettazione sismica richiede, giusta la risposta della Protezione Civile, non solo la resistenza statica, ma anche la stabilità della risposta sotto cicli alterni e quindi la duttilità. Per conoscere in modo approfondito il comportamento delle murature realizzate con blocchi rettificati e giunti sottili, Andil Assolaterizi ha commissionato al Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova, una ricerca sperimentale comparativa su pannelli aventi dimensioni di circa 100x100x30 cm, realizzati in muratura ordinaria e con questo nuovo sistema costruttivo, ricerca che si è sviluppata in due momenti successivi. Nella prima fase le prove sono state condotte secondo la procedura di compressione monoassiale e di compressione diagonale, rispettivamente per la caratterizzazione del comportamento a compressione e a taglio.

Per la muratura ordinaria è stata considerata la tipologia ammessa per la realizzazione di murature portanti in zona non sismica, costituita da blocchi semipieni in laterizio conformati a incastro sulle facce verticali di contatto e dall'impiego di malta ordinaria cementizia destinata ai soli giunti orizzontali, aventi spessore medio di circa 10 mm. I pannelli di prova sono stati realizzati con tre diversi tipi di blocchi, assunti come rappresentativi della produzione corrente in ambito nazionale. Anche per la muratura in blocchi rettificati, con giunti sottili, si sono considerate le stesse tipologie di blocco adottate per la muratura ordinaria, con l'impiego di malte appositamente studiate per la realizzazione di letti di malta con spessore di circa 1 mm.

Questi primi risultati hanno mostrato che la muratura con blocchi rettificati e giunti sottili costituisce un sistema costruttivo affidabile ed efficace per la realizzazione di elementi murari portanti; consente una rapida esecuzione della muratura ed un minore consumo di

malta rispetto alla tecnica costruttiva tradizionale ed è caratterizzato da un buon comportamento strutturale, sia per sollecitazioni di compressione che di taglio.

La seconda fase, volta a determinare le prestazioni di murature realizzate con blocchi a incastro e rettificati, sottoposte a carichi ciclici, è terminata nel 2006.

Questa seconda ricerca ha esaminato tre tipologie di muratura portante:

- muratura confezionata con blocchi rettificati a incastro e giunti sottili;
- muratura confezionata con blocchi a incastro e giunti di malta orizzontali ordinari;
- muratura confezionata con blocchi a incastro conformati con una tasca verticale per riempimento con malta e giunti orizzontali ordinari.

Quest'ultima tipologia di muratura, poiché la tasca verticale di malta ricopre tutta l'altezza del blocco e si estende per oltre il 40% della larghezza dello stesso, secondo l'Eurocodice 6 (EN



**Stesura della malta speciale per blocchi rettificati con l'apposito rullo stendimalta.**

1996-1-1/2006) può essere considerata alla stregua di una muratura con giunti verticali riempiti.

Tutti i blocchi avevano lo stesso disegno della foratura e sono stati messi in opera con malte premiscelate.

Alle prove iniziali di qualificazione dei blocchi sono seguite le prove su muretti, per la valutazione del comportamento meccanico per azioni agenti nel piano della muratura: sei prove di compressione monoassiale e sei di compressione diagonale per ogni tipologia di muratura testata e cinque prove di compressione e taglio per ogni tipologia, di cui una condotta in modalità monotona e le altre quattro condotte in modalità ciclica, per un totale di 51 campioni testati.

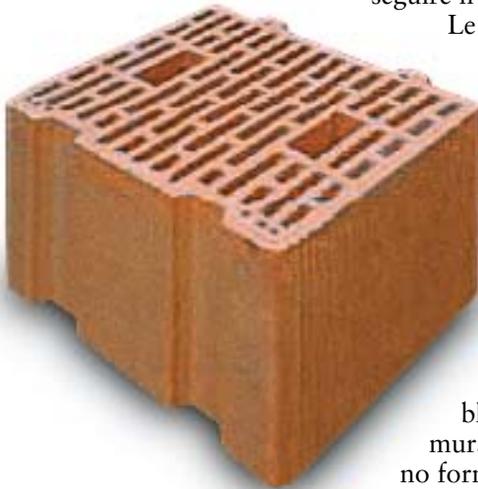
I parametri ottenuti dalle prove sperimentali sono stati impiegati per la modellazione numerica dei tre sistemi di muratura.

Le curve cicliche sperimentali di carico-spostamento sono state riprodotte mediante un modello analitico semplificato in grado di seguire il degrado di rigidezza al procedere dei cicli.

Le analisi condotte hanno avuto come obiettivo la definizione della risposta del sistema per un intervallo di periodi naturali compreso tra 0,15 s e 0,5 s, che caratterizza la fase elastica degli edifici in muratura portante, allo scopo di stimare, per i diversi sistemi di muratura considerati e per la loro diversa capacità di dissipare energia, il fattore di riduzione delle forze  $R_{\mu}$  e quindi il fattore di struttura  $q$ .

La sperimentazione ha supportato e attestato la validità di impiego dei blocchi rettificati con giunti sottili, dei blocchi a incastro e dei blocchi con tasca di malta per la costruzione di muratura portante in zona sismica e i risultati hanno fornito i criteri ed i parametri basilari che possono essere adottati per la progettazione e la verifica di strutture in muratura portante, nel rispetto delle indicazioni dell'Allegato 2, *Edifici*, all'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*, come modificato all'OPCM n. 3431 del 3 maggio 2005, che costituisce anche un riferimento per la realizzazione degli obiettivi di sicurezza fissati nel D.M. 14 settembre 2005 *Norme tecniche per le costruzioni*.

È auspicabile che questi risultati, necessari per inserire la muratura in blocchi a incastro con o senza tasca e i blocchi a incastro rettificati fa i sistemi costruttivi ammissibili, vengano riportati nel Commentario sulle costruzioni in muratura portante, in corso di predisposizione presso l'Istituto universitario di studi superiori dell'Università di Pavia, e di cui è attesa la pubblicazione nella collana di manuali di progettazione antisismica editi da IUSS Press,



**Blocco a incastro rettificato impiegato per la confezione dei muri di prova per la ricerca Comportamento meccanico per azioni nel piano di murature realizzate con diverse tipologie di giunto condotta nell'ambito di una convenzione di ricerca tra Andil Assolaterizi e Università di Padova.**

ovvero richiamati nella versione definitiva delle *Norme tecniche per le costruzioni*.

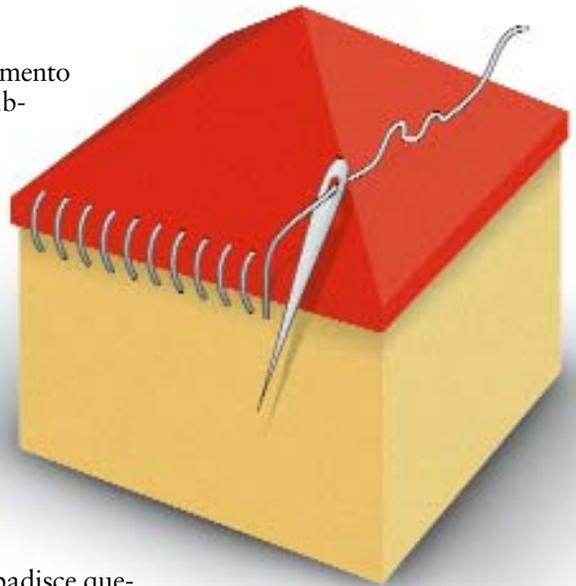
Allo stato attuale tuttavia le *Norme tecniche* prevedono, al punto 7.8.1.2, che «L'utilizzo di materiali o tipologie murarie aventi caratteristiche diverse rispetto a quanto sopra specificato deve essere autorizzato preventivamente dal Servizio Tecnico Centrale, su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici». L'orientamento è, per ora, confermato al Cap. 11, par. 11.1 Generalità, nel quale si dice che «Materiali o prodotti per uso strutturale innovativi... In tali casi il produttore potrà pervenire alla marcatura CE in conformità a Benestari Tecnici Europei (ETA) ovvero, in alternativa, dovrà essere in possesso di un Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici».

### Come evitare possibili difetti

Tutte le normative alle quali si è fatto riferimento prevedono che le strutture in muratura abbiano un comportamento scatolare, ma in particolare il D.M. 20 novembre 1987 al punto 1.3 prescriveva, al fine di un adeguato comportamento degli edifici, che tutti i muri debbano avere, per quanto possibile, funzione sia portante che di controventamento e affida ai solai il compito di ripartire le azioni orizzontali fra i muri di controventamento. I solai devono quindi essere di adeguata rigidezza.

Al punto 1.3.1 stabiliva poi che tutti i muri devono essere collegati ai solai mediante cordoli dei quali, al punto 1.3.1.1, vengono definite dimensione e armatura. La norma allegata all'Ordinanza 3274 ribadisce queste indicazioni ai punti 8.2.1 e 8.3.1 e le *Norme tecniche* al punto 4.5.4 e al punto 7.8.1.4.

Il D.M. 20 novembre 1987 stabiliva inoltre che la larghezza del cordolo deve essere pari ad almeno  $\frac{2}{3}$  della muratura sottostante e comunque non inferiore a 12 cm; l'altezza deve essere pari a quella del solaio, e comunque non inferiore alla metà dello spessore del muro; l'armatura minima deve essere di  $6 \text{ cm}^2$  (e comunque non inferiore allo 0,6% dell'area del cordolo) con diametro dei ferri non inferiore a 12 mm per i primi tre piani a partire dall'alto, mentre in ogni piano sottostante l'armatura deve essere aumentata di  $2 \text{ cm}^2$  a piano.



**Tutte le normative prevedono che le strutture in muratura abbiano un comportamento scatolare.**

Le staffe devono avere diametro non inferiore a 6 mm, poste a distanza non superiore a 30 cm. Inoltre, nel caso di fabbricati con più di 6 piani entro e fuori terra, il diametro dei ferri non può essere inferiore a 14 mm e le staffe non possono essere di diametro inferiore a 8 mm. Stabiliva anche che i solai devono essere convenientemente ancorati ai cordoli mediante l'armatura contenuta all'interno della soletta in calcestruzzo.

Le *Norme tecniche*, al punto 7.8.4.1.1, stabiliscono che, nel caso di progettazione sismica, i cordoli abbiano larghezza pari a quella del muro, con un arretramento consentito di 6 cm dal fili esterno, evidentemente per proteggere il ponte termico creato dal cordolo. L'altezza minima del cordolo è fissata pari all'altezza del



**Fessurazioni in corrispondenza del solaio piano di copertura causate dal ritiro della soletta e da un insufficiente isolamento termico.**

solaio. L'armatura corrente dev'essere di almeno 8 cm<sup>2</sup>, con staffe di diametro non inferiore a 6 mm e passo non superiore a 25 cm.

Cordoli perimetrali e soletta, o cordoli perimetrali e cordoli di irrigidimento trasversale, formano quindi un tutto unico.

Purtroppo calcestruzzi per le solette, gettati con elevato rapporto acqua/cemento o di granulometria fine, non sufficientemente protetti in fase di maturazione, possono avere ritiri liberi molto elevati, anche dell'ordine di 1600 ÷ 1800 µ/m, che rimangono notevoli anche nel caso siano contrastati dall'aderenza con il laterizio.

Ritiri di questa entità non possono scaricarsi solo localmente, all'interno della soletta stessa, e necessariamente si evidenziano anche in corrispondenza dell'interfaccia muro-cordolo perimetrale. Se poi il calcestruzzo del cordolo e le malte di allettamento sono penetrati profondamente all'interno dei fori del laterizio (quan-

do è posto in opera a fori verticali, come avviene quasi esclusivamente nelle strutture a blocchi portanti) il collegamento è ancora più forte e lo spostamento dovuto al ritiro può evidenziarsi più in basso e nelle zone di minor resistenza.

Nella muratura possono quindi comparire fessurazioni in corrispondenza del cordolo o anche più in basso rispetto al cordolo e, quando si è in presenza di aperture contigue, in corrispondenza degli spigoli superiori dei vani finestra, che costituiscono un elemento di debolezza del paramento murario.

Analoghi difetti possono essere causati anche da solai troppo deformabili. La deformazione genera una rotazione agli appoggi che tende a sollevare il cordolo, staccandolo dalla muratura sottostante, o a caricarlo eccentricamente, creando lesioni che possono apparire anche più in basso, per il meccanismo di collegamento primo ricordato.

Per eliminare questi difetti bisogna avere alcune attenzioni.

- realizzare correttamente la muratura, con giunti di malta continui sia in verticale che in orizzontale; con giunti di malta di spessore costante e mai inferiore a 5 mm (meglio ancora se compresi fra 10 e 12 mm); con il giusto sfalsamento dei blocchi (lo sfalsamento minimo ammesso dall'Eurocodice 6 è pari a  $S = 0,4 h$ , con  $h$  = altezza del blocco espressa in cm);

- assicurarsi che i mattoni e i blocchi siano giustamente bagnati (internamente saturi d'acqua ma con superficie asciutta), in modo che risulti massima l'adesione fra malta e laterizio;

- montare i solai soltanto quando la muratura abbia raggiunto la necessaria resistenza ai carichi verticali, in modo da evitare qualunque sollecitazione che possa provocare la rottura dei giunti di malta non ancora induriti a sufficienza;

- porre attenzione che i solai abbiano adeguata rigidità e qualità esecutiva tale da garantire il perfetto ricoprimento dei ferri di armatura;

- proteggere la soletta in calcestruzzo dall'irraggiamento diretto o comunque mantenerla bagnata a sufficienza per i primi giorni dopo il getto, in modo da contenere il valore finale del ritiro;

- rivestire il cordolo con materiali omogenei con tutto il paramento murario, e quindi possibilmente con tavole in laterizio, messe in opera quando la struttura muraria avrà esaurito gran parte dei movimenti di assestamento.



***I giunti di malta devono avere spessore costante, indicativamente di 10 mm, e i blocchi devono essere correttamente sfalsati.***

Fra l'altro, il rivestimento del cordolo migliora le prestazioni termiche del fabbricato, eliminando in tutto o in parte (a seconda delle cure poste) i ponti termici, riducendo o annullando il rischio di formazioni di condensa o di muffe localizzate.

Si potrebbe anche ricorrere a un appoggio scorrevole del solaio sulla muratura, interponendo fra muratura e cordolo una guaina o altri mezzi che impediscano la penetrazione del getto all'interno dei fori dei blocchi e consentano libertà di movimento; o anche interrompere la continuità della soletta superiore in calcestruzzo armato evitando la sovrapposizione dei pannelli di rete e realizzando, nei fatti, un giunto.

Questi ultimi suggerimenti, certamente efficaci, comportano però decisioni e assunzioni di responsabilità di competenza esclusiva del progettista strutturale.

Se la copertura è realizzata mediante solai piani in laterizio, e l'impermeabilizzazione viene eseguita con guaine bituminose impermeabili, sia che le guaine presentino una superficie tinteggiata in alluminio riflettente, sia che abbiano colore scuro, sotto l'azione del soleggiamento si raggiungono temperature molto elevate.

Con temperature dell'aria esterna variabile da 15 a 28 °C nell'arco della giornata, superfici di colori chiari possono arrivare a temperature di 45 °C circa mentre colori scuri, o neri, possono portare a temperature fino a 60 ÷ 70 °C con punte di 80 ÷ 90 °C.

Se non è stato previsto alcun isolamento, anche il solaio si porta a valori molto vicini a quelli indicati.

L'alternanza delle temperature (del giorno rispetto alla notte, dell'estate rispetto all'inverno) causa dilatazioni e contrazioni cicliche che, se non previste, vengono trasmesse dal solaio di copertura ai muri sottostanti, lesionandoli in corrispondenza dei punti più deboli (giunti di malta orizzontali fra i blocchi, soprattutto in corrispondenza di aperture di porte e finestre fra loro a modesta distanza).

Tali movimenti sono ancor più evidenziati dalla presenza delle solette in calcestruzzo, con coefficiente di dilatazione termica dell'ordine di  $1 \div 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (molto più elevato del valore del solo laterizio pari a  $0,4 \div 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) che scaricano sulla muratura, tramite il collegamento ai cordoli, tutta la loro deformazione.

È quindi essenziale che i solai di copertura siano ben isolati, in modo da evitare le forti escursioni termiche e le conseguenti deformazioni cicliche delle strutture.

# Dimensionamento termo-igrometrico

La progettazione di una costruzione in muratura deve essere il più possibile integrata, e quindi contemporaneamente alla progettazione strutturale, sarà necessario verificare che le caratteristiche termiche della parete rispettino le prescrizioni di legge, e se esista o meno il rischio di formazione di condensa, superficiale o interstiziale.

Per avere una situazione di benessere fisiologico, è necessario, infatti, limitare gli scambi di calore per irraggiamento fra le persone e le pareti circostanti. Si ha benessere quando la parete rivolta all'esterno (frontiera esterna) ha una temperatura superficiale che non si discosta di più di due ÷ tre gradi dalla temperatura dell'aria interna.

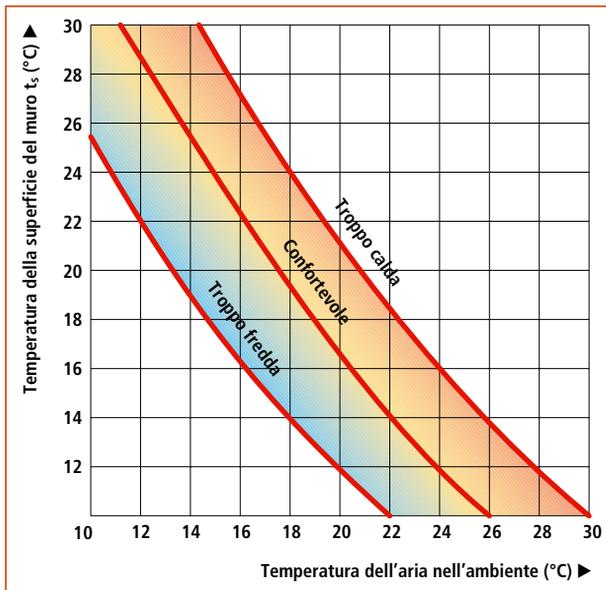
Se la differenza di temperatura supera i tre gradi centigradi si ha sensazione di disagio, con irraggiamento freddo nel periodo invernale e irraggiamento caldo nel periodo estivo.

Una differenza di 3 °C con  $\Delta t$  di 20 °C richiede una parete con trasmittanza di 1,2 W/m<sup>2</sup>K; se la differenza scende a 2 °C, è necessaria una trasmittanza di 0,81 W/m<sup>2</sup>K.

Ma queste indicazioni, ancora valide in linea di principio, sono state decisamente superate dall'entrata in vigore il giorno 8 ottobre 2005 del Decreto legislativo 192/2005 *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*, G.U. 23 settembre 2005 n. 222, e dal successivo aggiornamento, Decreto legislativo 311/2006.

Il Decreto 192 (che ha completato, modificandola però profondamente, la precedente legge 10/1991), ha introdotto l'obbligo della verifica dei consumi di energia primaria per riscaldamento in funzione dei gradi giorno delle località e del rapporto S/V dell'edificio. In alternativa, e con alcune limitazioni definite dal Decreto 311, consente il ricorso a tabelle che indicano i valori limite di trasmittanza dei singoli componenti dell'edificio.

La semplicità di questo secondo metodo, in pratica un dimensionamento semplificato, e l'interesse che il metodo ha riscosso presso i progettisti termotecnici, ha indotto i produttori a rivedere in modo approfondito le tipologie dei prodotti, migliorandone le prestazioni attraverso nuovi disegni dei blocchi, e anche attra-



**Rapporto ottimale fra la temperatura superficiale delle pareti e la temperatura dell'aria nell'ambiente abitato.**

verso l'impiego di malte termiche per la posa e per l'intonaco, associati all'aumento di spessore delle murature.

Di conseguenza è molto importante stabilire quali siano le procedure più affidabili per conoscere le prestazioni termiche di una parete.

Con il recepimento nel nostro ordinamento della norma UNI EN 1745, la determinazione della trasmittanza  $U$  di una parete può essere fatta in tre modi: attraverso prove sperimentali su muretti di prova, mediante il calcolo agli elementi finiti sulla base del disegno del blocco e della conduttività della materia prima (dato, quest'ultimo, sperimentale o tabellato) o facendo ricorso a valori tabellati di resistenza termica o di conduttività equivalente di parete.

Le prove sperimentali potrebbero fornire, anche se eseguite su manufatti del tutto identici a distanza di tempo, valori fra loro anche sensibilmente diversi e quindi non confrontabili. La prova, infatti, è influenzata dalle condizioni di umidità del pannello, dalle modalità di posa (si pensi solo all'esecuzione dei giunti) e dalle condizioni al contorno (valore della temperatura di prova, gradiente termico, valore dei coefficienti liminari). Ma soprattutto non può simulare le condizioni effettive, in opera; mentre il calcolo, potendosi introdurre a discrezione del calcolatore coefficienti maggiorativi della conduttività per tenere conto dell'umidità di equilibrio della parete, può meglio simulare la situazione reale.

Prefissato lo spessore della muratura e le caratteristiche dei materiali di finitura, si verificherà se il valore di trasmittanza risponde alle richieste normative e, utilizzando il metodo di Glaser, si potrà verificare anche l'esistenza o meno del rischio di formazione di condensa.

Qualora si realizzi una parete doppia e nell'intercapedine venga inserito un pannello isolante che, con alcuni materiali, potrebbe presentare bassa permeabilità al vapore, la verifica del rischio di formazione di condensa è indispensabile. È però certamente consigliabile migliorare l'isolamento termico attraverso l'aumento dello spessore della muratura, spesso consentito dai regolamenti edilizi (sia nelle murature che nei solai) senza penalizzare la volumetria del fabbricato. Ma prima di raggiungere le prestazioni di progetto, la muratura in opera deve smaltire tutta l'umidità in eccesso dovuta alle varie fasi di costruzione: appena eseguita, infatti, contiene una quantità di acqua pari circa al 15% del proprio peso, dovuta all'acqua portata dall'intonaco, all'acqua meteorica accumulata durante la realizzazione dell'opera, all'acqua delle tinteggiature ecc.

La presenza del 15% di acqua comporta un aumento della trasmittanza  $U$  di oltre il 30%; quindi, a copertura eseguita, bisognerà lasciare l'edificio per qualche mese in condizioni di massima ventilazione.

Ne segue che la casa non deve essere abitata immediatamente dopo il termine dei lavori e comunque, nei primi tempi, deve essere abbondantemente aerata.

A questo proposito la formula di Cadiergues  $t = c \cdot d^2$  consente di calcolare i tempi di essiccazione di una parete che abbia tutte e due le facce a contatto con l'aria esterna (è anche il caso di un edificio con finestre aperte), dove:

$t$  = tempo in giorni;

$c$  = coefficiente dipendente dal materiale;

$d$  = spessore della parete in centimetri.

**Coefficiente di tempo  $c$ , di vari materiali, necessario per determinare il tempo di essiccazione di una parete, in funzione dello spessore.**

Materiale	Coefficiente di tempo $c$
Malta di calce aerea	0,24 - 0,26
Laterizio alveolato	0,22 - 0,30
Laterizio	0,28 - 1,20
Calcestruzzo leggero	1,10 - 1,30
Malta bastarda	1,00 - 1,10
Calcestruzzo normale	1,50 - 1,80
Malta di cemento	2,00 - 2,50
Legno	0,60 - 1,20
Pietra calcarea	1,00 - 1,40

*La variabilità del coefficiente è in funzione della densità apparente degli elementi e diminuisce al diminuire di questa.*

Se non si seguono queste poche e semplici regole, le pareti non potranno garantire, per la presenza di umidità, le caratteristiche di isolamento termico richieste dal progetto, e pertanto sarà elevato il rischio di formazione di muffe in corrispondenza degli angoli, dietro ai mobili e soprattutto nelle stanze nelle quali è probabile un più elevato accumulo di vapore. Questo fatto sarà ancora più evidenziato se il progetto non ha previsto una sufficiente protezione dei ponti termici (ad esempio in corrispondenza dei cordoli del solaio).

Anche il modo di condurre l'impianto di riscaldamento può influenzare profondamente il comportamento igrometrico della costruzione.

È abbastanza frequente che, uscendo al mattino, si riduca, se non addirittura si spenga, il riscaldamento per poi riaccenderlo al rientro, a volte anche senza arieggiare gli ambienti (in passato l'ae-

razione era assicurata dalla scarsa tenuta degli infissi; oggi non è più così). Durante la notte si è prodotto molto vapore (una persona in riposo produce più di 50 grammi di vapore ogni ora). Ma se un metro cubo d'aria con il 60% di umidità relativa a 20 °C può disciogliere 10,5 grammi di vapore, la stessa aria a 15 °C ne potrà contenere circa 7 grammi.

La riduzione della temperatura dell'aria dell'ambiente avrà come conseguenza che 3 ÷ 4 grammi di vapore per ogni metro cubo di aria (e per ogni giorno di riscaldamento), se non allontanati con la ventilazione, dovranno condensare, e lo faranno nelle zone a più bassa temperatura (spigoli delle pareti esterne, intersezione muri-solai ecc.), peggiorandone le caratteristiche di isolamento e innescando un circolo vizioso che può essere interrotto soltanto da una radicale modifica della gestione dell'impianto.

### La norma UNI EN 1745

La norma UNI 10355 *Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo* pubblicata nel 1994, richiamata nel Decreto 6 agosto 1994 *Recepimento delle norme UNI attuative del Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 recante il regolamento per il contenimento dei consumi di energia degli impianti termici degli edifici, e rettifica del valore limite del fabbisogno energetico normalizzato*, è stata per lungo tempo il principale riferimento e ha indicato un metodo di calcolo, agli elementi finiti, che la maggioranza dei produttori ha adottato per la valutazione delle caratteristiche termiche delle murature in laterizio, al posto delle prove di laboratorio. Ma il Decreto legislativo 192 del 19 agosto 2005 ha abrogato il Decreto 6 agosto 1994.

Nel mese di settembre 2005 è stata pubblicata la norma UNI EN 1745, in lingua italiana, dal titolo *Muratura e prodotti per muratura. Metodi per determinare i valori termici di progetto*, e quindi dal primo aprile 2006, con l'entrata in vigore dell'obbligo della marcatura CE per i prodotti in laterizio per murature, i valori delle prestazioni termiche devono essere ottenuti applicando la UNI EN 1745.

### I principali capitoli della norma

#### Procedimenti per la determinazione dei valori termici di progetto di elementi per muratura solidi e malte.

Viene introdotto il concetto di “conduttività di base”, che può essere ricavato dalle tabelle dell'Appendice A, che mettono in relazione la massa volumica con la conduttività  $\lambda_{10, dry}$ , ossia con la

conduttività del materiale privo di umidità, valutata alla temperatura di 10 °C.

In alternativa il valore di conduttività di base può essere ricavato da almeno tre prove iniziali di tipo, da ripetere ogni anno, calcolando il valore medio della conduttività e della massa volumica dei singoli provini e riportando i valori su di un grafico, rispettando le indicazioni fornite dalla norma al punto 4.2.2.4. Prove eseguite prima del recepimento della UNI EN 1745, eseguite su di un unico campione, non possono essere considerate valide ai fini del calcolo della conduttività equivalente di elementi forati (strutturali o di tamponamento).

Al posto della prova di conduttività della materia prima (argilla, normale o alleggerita), la norma prevede la possibilità di eseguire prove sperimentali su pareti.

Anche in questo caso si devono scegliere gli elementi da tre lotti relativi a diversi momenti della produzione e, con ognuno dei lotti, costruire una parete, determinando quindi tre valori di resistenza termica e/o di conduttività termica equivalente (quindi comprensiva di laterizio e di malta) secondo la norma EN ISO 8990 o EN 1934.

La media dei tre valori di resistenza termica e/o di conduttività sarà assunta come valore di progetto, considerando anche i tenori di umidità di progetto indicati al livello nazionale. In assenza di indicazioni, si assumerà un incremento dei valori sperimentali del 6% per ogni punto percentuale di presenza di umidità.

La norma specifica poi che, nel caso di blocchi forati, la conduttività è profondamente influenzata dalla geometria dei fori. Infatti, come è noto, blocchi forati, con fori di forma allungata con la dimensione minore nel senso del flusso termico, portano a valori di conduttività equivalente del blocco decisamente migliori rispetto a blocchi con fori quadrati o, ancor più, rispetto a blocchi con fori di forma allungata con la dimensione maggiore nel senso del flusso termico.

La norma indica anche le modalità di calcolo di trasmittanza e resistenza termica (per esempio alle differenze finite o agli elementi finiti), e la norma di riferimento (EN ISO 6946:1996).

## Appendice A

Nell'Appendice A sono riportate tabelle che indicano la conduttività  $\lambda_{10, \text{dry}}$  (W/mK), il coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo  $\mu$  (adimensionale) e la capacità termica  $c$  (kJ/kgK) per elementi di muratura di vario tipo, e precisamente



*Muretto in blocchi a setti sottili di spessore 48 cm realizzato per la prova di trasmittanza.*

laterizio, silicato di calcio, pietra naturale, blocchi in cemento, con aggregati di vario tipo, e malte.

La tabella Appendice A, Prospetto A.1, è relativa agli elementi di argilla cotta (laterizi).

### Prospetto A.1 - Elementi di argilla (argilla cotta)

Massa volumica del materiale kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{10, \text{dry}}$ (W/mK)		Coefficiente di diffusione del vapore acqueo $\mu$	$c$ kJ/kgK
	P = 50%	P = 90%		
1.000	0,20	0,27	5/10	1,0
1.100	0,23	0,30	5/10	1,0
1.200	0,26	0,33	5/10	1,0
1.300	0,30	0,36	5/10	1,0
1.400	0,34	0,40	5/10	1,0
1.500	0,37	0,43	5/10	1,0
1.600	0,41	0,47	5/10	1,0
1.700	0,45	0,51	5/10	1,0
1.800	0,49	0,55	5/10	1,0
1.900	0,53	0,60	5/10	1,0
2.000	0,58	0,64	5/10	1,0
2.100	0,62	0,69	5/10	1,0
2.200	0,67	0,74	5/10	1,0
2.300	0,72	0,79	5/10	1,0
2.400	0,77	0,84	5/10	1,0

$f_w = 10$  (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), coefficiente di conversione di umidità di massa.

Per materiali di argilla aventi una massa volumica tra 1.800 e 2.400 kg/m<sup>3</sup> utilizzati come materiali per facciata, che sono generalmente cotti a una temperatura significativamente alta, il valore  $\mu$  è 50/100 invece di 5/10.

La colonna da utilizzare, a favore dell'affidabilità del dato, è quella con probabilità 90%, che fornisce valori raggiungibili, nel 90% dei casi, dalle argille di massa tabellata.

La tabella è molto più ampia, e certamente più chiara, di quella riportata nella precedente norma UNI 10351:1994 *Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore*.

Infatti, mentre la tabella UNI EN 1745 è chiaramente relativa alla sola argilla, la tabella *Laterizi* della UNI 10351 apriva con il commento «Le masse volumiche e le conduttività indicative di riferimento  $\lambda_m$  si riferiscono al solo laterizio, (includendo nel volume del laterizio fori e porosità), mentre le conduttività utili di calco-

lo si riferiscono alla muratura completa; ne consegue che la maggiorazione  $m$  ... congloba anche l'effetto della presenza delle malte fra laterizio e laterizio ...».

**Tabella UNI 10351 - Laterizi**

$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\delta_a \cdot 10^{-12}$ kg/msPa	$\delta_a \cdot 10^{-12}$ kg/msPa	$\lambda_m$ W/mK	$m$ %	$\lambda$ W/mK
600	18 a 36	18 a 36	0,13	90	0,25
800	18 a 36	18 a 36	0,18	65	0,30
1.000	18 a 36	18 a 36	0,24	48	0,36
1.200	18 a 36	18 a 36	0,32	35	0,43
1.400	18 a 36	18 a 36	0,40	25	0,50
1.600	18 a 36	18 a 36	0,50	18	0,59
1.800	18 a 36	18 a 36	0,63	14	0,72
2.000	18 a 36	18 a 36	0,80	12	0,90

$m$  = coefficiente di maggiorazione in funzione della massa volumica.

Il coefficiente di resistenza alla diffusione al vapore  $\mu$  del prospetto A1 della norma UNI EN 1745 (variabile da 5 a 10, numero adimensionale) corrisponde sostanzialmente al valore di permeabilità al vapore (variabile da 18 a 36  $\cdot 10^{-12}$  kg/msPa) indicata nella corrispondente tabella della norma UNI 10355.

Infatti il coefficiente di resistenza è dato dal rapporto della permeabilità dell'aria (190  $\cdot 10^{-12}$  kg/msPa, permeabilità massima possibile) e la permeabilità del materiale in esame.

Per la chiarezza della tabella UNI EN 1745 e al fine di evitare le incertezze legate alle prove di conduttività, sarebbe consigliabile utilizzare, ai fini dei calcoli di trasmittanza, i valori tabellati. Le prove di laboratorio, infatti, sono condizionate sia dall'attrezzatura di prova (termoflussimetro o metodo della piastra calda), ma soprattutto dalla pratica impossibilità di realizzare campioni di prova che siano veramente rappresentativi delle effettive caratteristiche delle argille utilizzate, potendo variare la pressione di estrusione, se si realizza un campione appositamente estruso, ma ancor di più se il campione è realizzato a mano, con evidenti differenze di massa e di compattezza del campione. Ma è altrettanto vero che alcune argille, per composizione e granulometria, possono avere valori di conduttività minori rispetto a quelli tabellati

## Appendice B

L'Appendice B riporta 34 esempi di blocchi, di varia composizione e di varie dimensioni e percentuale di foratura. Se il disegno

del blocco utilizzato per la costruzione di una muratura di cui si vogliono determinare le caratteristiche è del tutto simile al disegno riportato, si potranno assumere i valori di tabella in funzione della conduttività  $\lambda_{mater.}$  della materia prima (argilla, cemento ecc.) e della malta utilizzate. I valori sono molto spesso relativi a una parete priva di giunti verticali di malta, e pertanto di questo si dovrà tenere conto nelle valutazioni finali maggiorandoli secondo quanto indicato al punto 6.3.1.2 della norma.

Le geometrie dei blocchi sono definite dal numero di file di fori nel senso del flusso termico e dal numero di fori per fila. Ad esempio: 3,7/1,6 significa che il blocco presenta 3,7 file di fori per uno spessore di 10 cm e 1,6 fori per fila ogni 10 cm, e quindi un blocco di formato 30 cm (spessore) x 25 cm (larghezza) caratterizzato da questa coppia di numeri presenterà  $3,7 \times 3 \approx 11$  file di fori nel senso del flusso termico e  $1,6 \times 2,5 = 4$  fori per fila.

Nell'allegato si specifica anche che la forma dei fori e lo sfalsamento o meno dei setti sono elementi che possono essere ignorati, e quindi sono ininfluenti, qualora si ricorra alle tabelle.

Nel caso non ci sia perfetta corrispondenza con i disegni dell'appendice B, si potrà avere una prima sommaria indicazione sulle caratteristiche termiche della muratura utilizzando il disegno più simile, ovviamente assumendo quello più cautelativo.

Un esempio al proposito è riportato nell'Appendice C. Nell'esempio si riconferma che anche il valore di resistenza termica così ottenuto dovrà essere aumentato del 6% per ogni 1% di umidità presente nella muratura.

Poiché l'umidità di equilibrio di una muratura in condizioni di normale esercizio varia approssimativamente fra 0,5 e 1,5%, l'incremento da apportare sarà generalmente del  $3 \div 9\%$ .

In conclusione, la 1745 è una norma chiara, che ha tuttavia una caratteristica che va valutata con attenzione.

I risultati del calcolo, poiché si parte da più favorevoli valori tabellati di conduttività e non si considera la penetrazione della malta nei fori dei blocchi; per il fatto che non sono previste maggiorazioni di conduttività, se non nei limiti prima ricordati e a discrezione del progettista, e per la diversa modalità di trattare le lame d'aria, sono generalmente migliorativi, a parità di geometria dei blocchi e di caratteristiche della materia prima, rispetto a quelli ottenibili utilizzando il calcolo secondo UNI 10355 e si sono allineati ai valori di trasmittanza dichiarati dai produttori d'oltralpe, valori che sembravano irraggiungibili.

È però opportuna una precisazione. Con l'entrata in vigore dell'obbligo di marcatura CE dal primo aprile 2006, il produttore deve dichiarare le prestazioni del proprio prodotto, e quindi la conduttività equivalente del solo blocco. Il comportamento della muratura è condizionato dalle modalità di posa in opera, dalle caratteristiche della malta di allettamento, dall'umidità di equilibrio della parete, dalle caratteristiche dell'intonaco. Per agevola-

re il compito del progettista, il produttore può fornire, a richiesta, anche le prestazioni della parete, ma i valori sono ovviamente basati su condizioni ottimali di posa e di impiego. Spetta al professionista indicare nel progetto le modalità di posa, applicando le maggiorazioni di conduttività o di trasmittanza che riterrà opportune in funzione della destinazione dell'opera, e al direttore dei lavori il controllo di rispondenza al progetto. Lo stesso comportamento doveva essere assunto anche in passato, ma oggi è fondamentale per garantire all'utente finale l'effettivo raggiungimento delle prestazioni attese.

### I valori di trasmittanza limite U previsti dall'Allegato C del Decreto 311/2006, che aggiorna il Decreto 192 del 14 settembre 2005

Sulla Gazzetta Ufficiale n. 26 del 1° febbraio 2007, Supplemento ordinario n. 26, è stato pubblicato il Decreto legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 dal titolo *Disposizioni correttive ed integrative al Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*. Il nuovo Decreto è entrato in vigore il 2 febbraio 2007.

L'Allegato C anticipa al 2008 i valori di trasmittanza limite in precedenza previsti per il 2009 e introduce un ulteriore limite nel 2010.

Sono state anche introdotte nuove tabelle relative al fabbisogno di energia primaria, in precedenza limitate alla sola tabella 1.1 per tutti gli edifici, senza scadenze temporali successive al 2006.

Sono stati modificati, in varia misura, gli Allegati A,C,E, F, G, H, I, L mentre è stato soppresso l'Allegato D (Predisposizione degli impianti solari e fotovoltaici nelle coperture e per l'allaccio alle reti di teleriscaldamento).

Nell'Allegato C sono riportati i nuovi limiti di consumo di energia primaria per riscaldamento ( $\text{kWh/m}^2$  anno) in funzione del rapporto S/V dell'edificio e della zona climatica.



*La schermata iniziale della procedura Clima 10 Archivio dati climatici. La procedura fornisce, per ogni comune, le coordinate geografiche, l'altitudine sul livello del mare, la zona climatica, i gradi giorno e l'irradianza.*

Il nuovo Decreto prevede che si proceda alla determinazione dell'indice di prestazione energetica invernale  $EP_i$  e cioè si faccia il calcolo dei consumi di energia primaria e non un dimensionamento basato sulle trasmittanze limite dei singoli componenti. Un'importante novità è rappresentata dal fatto che è possibile, nel rispetto dei valori di  $EP_i$  indicati al punto 1 dell'Allegato C, superare i valori di trasmittanza limite  $U_{lim}$  dei componenti fino a un massimo del 30%.

Questo significa che, in funzione dei risultati del calcolo, è possibile aumentare la trasmittanza di uno o più componenti dell'edificio (ad esempio, diminuire la trasmittanza della copertura attraverso un maggior spessore di isolante e aumentare la trasmittanza delle pareti o degli infissi).

Soltanto nel caso di  $S_{trasparente}/S_{utile} < 0,18$ , è possibile ricorrere al calcolo semplificato, dimensionando il fabbricato in base ai valori di  $U_{lim}$  senza, ovviamente, la possibilità di applicare la tolleranza del 30%.

La massa superficiale delle pareti esterne (peso a metro quadrato compresa la malta, esclusi gli intonaci) deve essere in ogni caso di almeno  $230 \text{ kg/m}^2$  nelle zone climatiche A, B, C, D, E se l'irradianza superficiale è maggiore di  $290 \text{ W/m}^2$ .

L'irradianza superficiale è definita dalla norma UNI 10349, in base al numero di giorni del mese in esame e della radiazione



*Nella cartina, l'irradianza nel mese di luglio: i pallini bianchi indicano le zone con irradianza minore di  $290 \text{ W/m}^2$ , i pallini verdi le zone con irradianza maggiore.*

ne solare globale media mensile (vedi cartina d'Italia a lato).

La trasmittanza degli elementi divisorii fra unità immobiliari diverse (muri e solai) deve essere non superiore a  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Nel periodo transitorio, e cioè presumibilmente finché il complesso delle norme e dei comportamenti non sarà a regime, la "Certificazione energetica dell'edificio" è sostituita dall' "Attestazione energetica" che può essere rilasciata anche dal progettista (e non da un soggetto terzo).

È molto probabile che le Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici stabiliscano che l'Attestato di certificazione energetica possa essere redatto solo sulla base del calcolo dei

consumi e non sulla base delle trasmittanze limite. Solo in fase transitoria, l'Attestato di qualificazione energetica potrà essere rilasciato anche sulla base di valutazioni semplificate.

È prevedibile che, seppure in modo qualitativo, la valutazione sul comportamento energetico dell'edificio debba tenere conto anche del comportamento estivo, introducendo una scala di valori legati alle caratteristiche di sfasamento e attenuazione dei componenti edilizi.

Al proposito si riporta la classificazione degli edifici prevista dall'art. 3 del D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412 (G. U. n. 96 del 14 ottobre 1993).

### Art. 3 Classificazione generale degli edifici per categorie

1. Gli edifici sono classificati in base alla loro destinazione d'uso nelle seguenti categorie:

E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili:

E.1 (1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme;

E.1 (2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili;

E.1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari;

E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell'isolamento termico;

E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici;

E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili:

E.4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi;

E.4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto;

E.4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo;

E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni;

E.6 Edifici adibiti ad attività sportive:

E.6 (1) piscine, saune e assimilabili;

E.6 (2) palestre e assimilabili;

E.6 (3) servizi di supporto alle attività sportive;

E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;

E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.

2. Qualora un edificio sia costituito da parti individuabili come appartenenti a categorie diverse, le stesse devono essere considerate separatamente e cioè ciascuna nella categoria che le compete.

**Decreto 311 - Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale****1.1 Edifici residenziali della classe E1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme.****Tabella 1.1 - Valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, espresso in kWh/m<sup>2</sup> anno.**

Rapporto di forma dell'edificio	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤ 2	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55
≤ 0,9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145

**Tabella 1.2 - Valori limite, applicabili dal 1° gennaio 2008, dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, espresso in kWh/m<sup>2</sup> anno.**

Rapporto di forma dell'edificio	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤ 2	9,5	9,5	14	14	23	23	37	37	52	52
≤ 0,9	41	41	55	55	78	78	100	100	133	133

**Tabella 1.3 - Valori limite, applicabili dal 1° gennaio 2010, dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, espresso in kWh/m<sup>2</sup> anno.**

Rapporto di forma dell'edificio	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤ 2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
≤ 0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

## 1.2 Tutti gli altri edifici

**Tabella 2.1 - Valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, espresso in kWh/m<sup>3</sup> anno.**

Rapporto di forma dell'edificio	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤ 2	2,5	2,5	4,5	4,5	7,5	7,5	12	12	16	16
≤ 0,9	11	11	17	17	23	23	30	30	41	41

**Tabella 2.2 - Valori limite, applicabili dal 1° gennaio 2008, dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, espresso in kWh/m<sup>3</sup> anno.**

Rapporto di forma dell'edificio	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤ 2	2,5	2,5	4,5	4,5	6,5	6,5	10,5	10,5	14,5	14,5
≤ 0,9	9	9	14	14	20	20	26	26	36	36

**Tabella 2.3 - Valori limite, applicabili dal 1° gennaio 2010, dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, espresso in kWh/m<sup>3</sup> anno.**

Rapporto di forma dell'edificio	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤ 2	2,0	2,0	3,6	3,6	6	6	9,6	9,6	12,7	12,7
≤ 0,9	8,2	8,2	12,8	12,8	17,3	17,3	22,5	22,5	31	31

I valori limite riportati nelle tabelle sono espressi in funzione della zona climatica, così come individuata all'articolo 2 del Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, e del rapporto di forma dell'edificio  $S/V$ , dove:

-  $S$ , espressa in metri quadrati, è la superficie che delimita verso l'esterno il volume  $V$ ;

-  $V$  è il volume lordo, espresso in metri cubi, delle parti di edificio abitabili o agibili, completamente delimitate da superfici fisiche.

Per valori di  $S/V$  compresi nell'intervallo 0,2 - 0,9 e, analogamente, per gradi giorno (GG) intermedi ai limiti delle zone climatiche riportati in tabella si procede mediante interpolazione lineare.

## 2. Trasmittanza termica delle strutture opache verticali

**Tabella 2.1 - Valori limite della trasmittanza termica  $U$  delle strutture opache verticali.**

Zona climatica	Dal 1° gennaio 2006 $U$ (W/m <sup>2</sup> K)	Dal 1° gennaio 2008 $U$ (W/m <sup>2</sup> K)	Dal 1° gennaio 2010 $U$ (W/m <sup>2</sup> 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

## 3. Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate

### 3.1 Coperture

**Tabella 3.1 - Valori limite della trasmittanza termica  $U$  delle strutture opache orizzontali o inclinate.**

Zona climatica	Dal 1° gennaio 2006 $U$ (W/m <sup>2</sup> K)	Dal 1° gennaio 2008 $U$ (W/m <sup>2</sup> K)	Dal 1° gennaio 2010 $U$ (W/m <sup>2</sup> K)
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

## 3.2 Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno.

**Tabella 3.2 - Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento.**

Zona climatica	Dal 1° gennaio 2006 U (W/m <sup>2</sup> K)	Dal 1° gennaio 2008 U (W/m <sup>2</sup> K)	Dal 1° gennaio 2010 U (W/m <sup>2</sup> K)
A	0,80	0,74	0,65
B	0,60	0,55	0,49
C	0,55	0,49	0,42
D	0,46	0,41	0,36
E	0,43	0,38	0,33
F	0,41	0,36	0,32

## 4. Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti

**Tabella 4 - Valori limite della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi.**

Zona climatica	Dal 1° gennaio 2006 U (W/m <sup>2</sup> K)	Dal 1° gennaio 2008 U (W/m <sup>2</sup> K)	Dal 1° gennaio 2010 U (W/m <sup>2</sup> K)
A	5,5	5,0	4,6
B	4,0	3,6	3,0
C	3,3	3,0	2,6
D	3,1	2,8	2,4
E	2,8	2,4	2,2
F	2,4	2,2	2,0

## 5. Rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico

$$\eta_g = (75 + 3 \log P_n) \%$$

dove  $\log P_n$  è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore o dei generatori di calore al servizio del singolo impianto termico, espressa in kW.

Per valori di  $P_n$  superiori a 1000 kW la formula precedente non si applica, e la soglia minima per il rendimento globale medio stagionale è pari a 84%.

## L'importanza della massa<sup>(1)</sup>

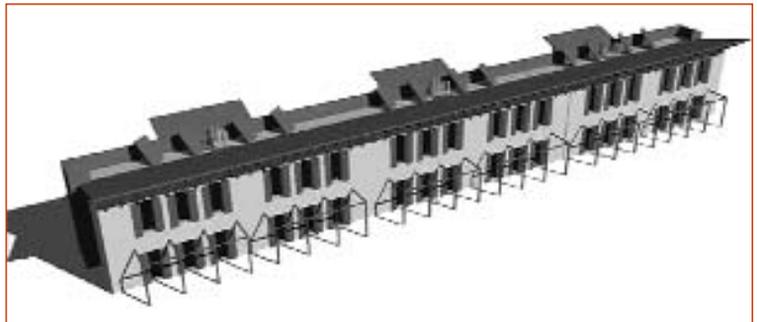
Una borsa di ricerca patrocinata dal Consorzio Alveolater® e dal Dapt (Dipartimento di architettura e pianificazione territoriale) dell'Università di Bologna ha sviluppato l'analisi di confronto fra soluzioni costruttive pesanti e soluzioni di tipo leggero.

*In queste pagine, immagini  
Cad dell'edificio oggetto di  
confronto fra una soluzione  
costruttiva pesante,  
effettivamente adottata, e  
una possibile soluzione di  
tipo leggero.*



Il confronto, in termini di prestazioni energetiche e condizioni di benessere, si è avvalso di simulazioni in regime dinamico effettuate sia in periodo invernale sia in periodo estivo, riferendosi a un caso di studio concreto: un edificio in muratura pesante progettato (e realizzato) secondo strategie bioclimatiche.

La ricerca, pensata ancor prima che si parlasse di una nuova normativa energetica, voleva valutare il peso che avrebbe avuto l'introduzione nelle norme italiane nazionali e locali di sistemi di valutazione delle prestazioni energetiche mutuati da quelli di contesti climatici di altre parti dell'Europa, senza una seria verifica



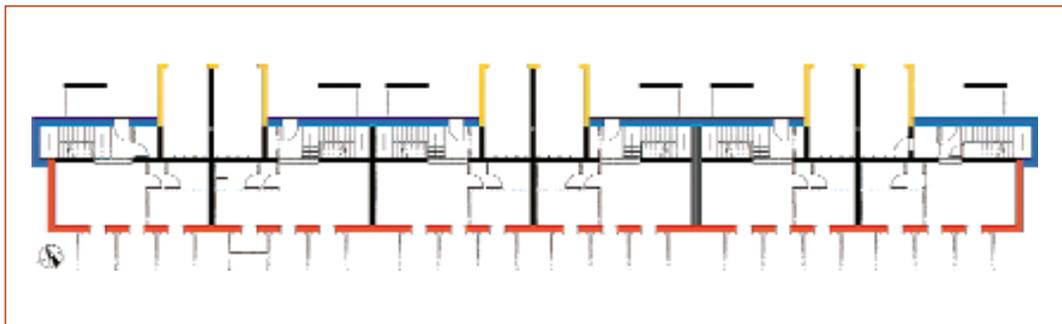
sulla loro efficace applicabilità alle reali sollecitazioni climatiche dell'area mediterranea.

La direttiva europea 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia ha poi dato impulso a un rinnovamento legislativo, che in Italia ha prodotto, a livello nazionale, il Decreto 19 agosto 2005 n. 192 e il dlgs 311/06 e, a livello locale, una nuova se-



rie di regolamenti improntati alla riduzione dei consumi e alla certificazione energetica.

Nell'applicazione pratica, però, si è ritenuto sufficiente il rispetto passivo e acritico dei limiti di trasmittanza posti dalla nuova normativa. Questo atteggiamento ha conseguenze gravi, perché incoraggia una pericolosa omologazione degli organismi edilizi a livello europeo: gli innumerevoli esempi di edifici a basso consumo che ci giungono dai paesi centro-europei, Austria e Germania in primis, hanno creato l'illusione che quei modelli edificativi, spesso estranei alla nostra tradizione costruttiva, si possano imi-

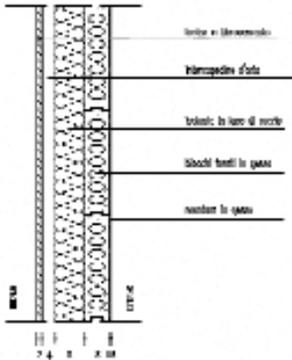




si dell'Europa meridionale, ma nei fatti essa è stata recepita da un Decreto che per ora, su questo tema, stabilisce disposizioni poco più che qualitative.

Affrontare la progettazione limitando l'attenzione alla trasmittanza dei componenti edilizi potrebbe portare a edifici certificati

### Chiusura verticale leggera



Spessore complessivo	cm	22,5
Trasmittanza	W/m <sup>2</sup> K	0,29
Massa frontale	kg/m <sup>2</sup>	99
Fattore di decremento		0,75
Ritardo del fattore di smorzamento (sfasamento)	h	4,76

come energeticamente efficienti, ma che invece potrebbero essere poco adatti a rispondere alle reali sollecitazioni climatiche dell'area mediterranea.

Assumendo la trasmittanza come unico indicatore si possono eseguire analisi energetiche semplificate, cioè in regime stazionario, per le quali sono sufficienti dati climatici molto aggregati, su base mensile o addirittura stagionale e da questo approccio (e soprattutto dai suoi vantaggi semplificativi in fase di progettazione) scaturisce la tendenza acritica a isolare sempre più: ma un isolamento estremo può avere effetti incerti nel periodo estivo!

Nei climi caldi esso deve essere affiancato da adeguati sistemi per controllare e gestire i guadagni gratuiti (fonti di calore all'interno dell'edificio, radiazione solare attraverso le superficie trasparenti, ecc.), altrimenti si determina un sensibile deterioramento delle condizioni di benessere e sorge la necessità di raffrescare artificialmente.

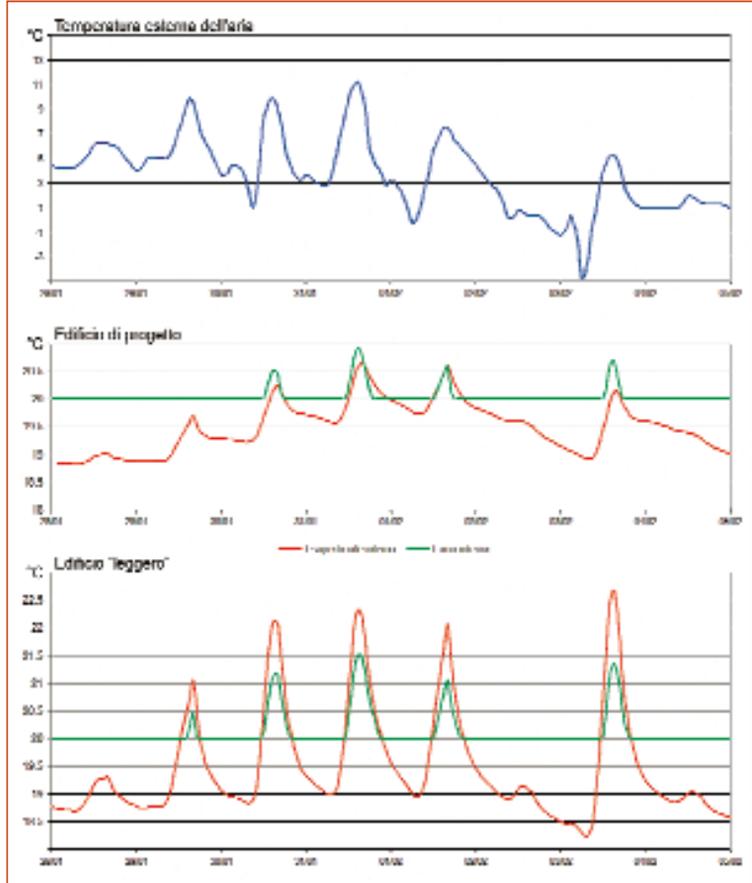
L'isolamento che trattiene il prezioso calore in inverno, durante l'estate svolge la medesima funzione, determinando il surriscaldamento degli ambienti.

Al contrario le murature in laterizio sono dotate di una massa che accumula e rilascia il calore in maniera complessa, non solo smorzando i picchi di temperatura dell'esterno, ma differendoli nel tempo: si tratta della cosiddetta inerzia termica, che genera ripercussioni molto rilevanti sulle prestazioni energetiche, tanto in estate quanto in inverno.

**Prestazioni della parete leggera.**

L'adozione di strategie di raffrescamento passivo basate sulla massa richiede di condurre un'analisi in regime dinamico, che significa porsi in una scala temporale molto ristretta, dell'ordine delle ore; questo permette di considerare con il giusto peso fenomeni come, ad esempio, l'escursione termica giorno-notte e le variazioni giornaliere dell'irraggiamento solare.

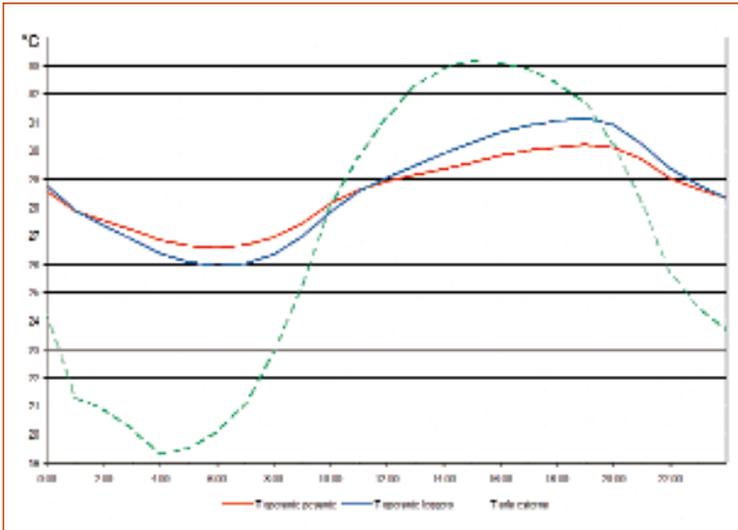
*Andamento dell'andamento orario delle temperature nelle due soluzioni esaminate in una settimana rappresentativa del periodo invernale.*



Le chiusure verticali in laterizio alleggerito in pasta utilizzate nella costruzione realizzata non si limitano a rispettare i valori di trasmittanza imposti dal dlgs 192/05, ma sono il frutto di una riflessione più attenta sul rapporto con il clima e con gli altri aspetti progettuali: sono dotate delle opportune proprietà dinamiche in modo da modulare l'impatto del clima, specialmente in estate, e sono differenziate in relazione all'orientamento.

A sud è stato scelto un muro massiccio caratterizzato da isolamento diffuso, che meglio valorizza e regola gli apporti solari; a nord i pacchetti costruttivi contengono anche strati di puro isolamento, per contenere maggiormente le dispersioni termiche.

Parallelamente, le simulazioni hanno riguardato anche un edificio gemello, a rappresentare il sistema edilizio leggero, di tipo struttura-isolamento, che si differenzia dall'edificio realizzato soltanto per via della massa inferiore, dovuta a pareti e solai più leggeri. Tutte le altre caratteristiche, in particolare le trasmittanze, sono state mantenute perfettamente invariate.



*Andamento orario delle temperature operanti nelle due soluzioni esaminate in una giornata rappresentativa del periodo estivo.*

L'analisi dei fabbisogni energetici per riscaldamento è stata condotta secondo le standardizzazioni ormai consolidate, non solo mediante la simulazione in regime dinamico (Energy plus), ma anche con l'ausilio di tre strumenti informatici operanti in regime stazionario (Casaclima, Edilclima, EcoDomus), rappresentativi dei vari livelli di approfondimento con cui si può condurre oggi l'analisi termica degli edifici, al fine di dimostrare il semplice rispetto dei limiti di legge, di certificare l'efficienza energetica di un involucro edilizio, o di indagarne il rapporto con il clima nel corso della progettazione.

Simulare il medesimo edificio utilizzando più strumenti, stazionari e dinamici, ha consentito di mettere in chiara luce quali sono le informazioni a cui si rinuncia scegliendo di utilizzare modelli che tengono conto in misura nulla o molto limitata degli effetti dinamici della massa e dell'inerzia termica.

Gli strumenti stazionari, che sono quelli più comunemente utilizzati nel dialogo con le istituzioni, le amministrazioni e la società, hanno il pregio della semplicità, ma non valorizzano in misura sufficiente le differenze tra un edificio che si limita a rispettare i limiti di legge, e uno progettato per rispondere in modo appropriato e naturale alle sollecitazioni climatiche dell'ambiente circostante. Seppure gli effetti più eclatanti della massa e delle proprietà dinamiche dell'involucro si realizzano in periodo estivo, il

loro contributo alla riduzione dei consumi per riscaldamento invernale non è affatto trascurabile.

Nel caso dell'edificio "leggero" la massa dell'involucro è volutamente molto piccola, e il fabbisogno energetico calcolato dai vari strumenti è piuttosto omogeneo: assumere la trasmittanza come unico parametro caratteristico delle murature può essere un'approssimazione accettabile.

Nel caso dell'edificio realizzato in muratura pesante sorge invece un divario profondo: il modello dinamico stima un fabbisogno energetico per riscaldamento fino al 30% inferiore rispetto alle analisi in regime stazionario. L'effetto modulante della massa, lo smorzamento dei picchi di freddo, assumono ora un peso rilevante, che solo la simulazione in regime dinamico mette completamente in luce.

---

#### Note

<sup>(1)</sup> Sintesi della relazione finale della borsa di studio Analisi delle prestazioni termiche dell'involucro in laterizio valutate in regime dinamico nel sistema edificio in un contesto climatico mediterraneo conferita nell'ambito della convenzione per Studi e ricerche tra il Dipartimento di architettura e pianificazione territoriale dell'Università di Bologna e il Consorzio Alveolater®. Borsista: ingegner Matteo Medola; tutori: ingegneri Sergio Bottiglioni, Angelo Mingozzi, Giorgio Zanarini.

Il progetto dell'edificio realizzato è dello *Studio Ricerca & Progetto Mingozzi, Galassi e Associati* in Bologna.

# Dimensionamento acustico

Il Decreto 5 dicembre 1997 impone una verifica di isolamento acustico sia dai rumori provenienti dall'esterno, sia dai rumori provenienti da unità immobiliari contigue. Si riportano le relative tabelle.

**Tabella 2**  
**Classificazione degli ambienti abitativi**  
**(art. 2 - D.M. 5 dicembre 1997).**

categoria A	edifici adibiti a residenza e assimilabili
categoria B	edifici adibiti a uffici e assimilabili
categoria C	edifici adibiti ad alberghi, pensioni e attività assimilabili
categoria D	edifici adibiti a ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
categoria E	edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
categoria F	edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
categoria G	edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

## Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici.

Categorie di cui alla tabella A	$R_w^{(*)}$	$D_{2m,nTw}$	$L_{n,w}$	$L_{ASmax}$	$L_{Aeq}$
D	55	40	58	35	25
A, C	50	40	63	35	35
E	50	48	58	35	25
B, F, G	50	42	55	35	35

Una parete esterna di 30 cm di spessore, senza aperture, può senza dubbio assicurare la protezione richiesta  $D_{2m,nTw}$  di 40 dB. In presenza di porte e finestre bisognerà curare con attenzione la qualità degli infissi.

Infatti, la riduzione del potere fonoisolante, dovuta alla presenza di porte o di infissi, quando la differenza del potere fonoisolante delle due parti è maggiore di 15 dB, può essere valutata in base al potere fonoisolante della parte più debole (ad esempio l'infisso) e alla sua estensione superficiale rispetto alla parete nel suo insieme.

$R_{w,risultante} = R_{w,infisso} + 10 \log \frac{\text{Superficie parete}}{\text{superficie infisso}}$



**Esempio:**Superficie della parete = 12 m<sup>2</sup> $R'_w$  parete = 52 dBSuperficie infisso = 2 m<sup>2</sup> $R'_w$  Infisso = 32 dB $R'_{w,ris.} = R'_{w,inf.} + 10 \log \text{sup.parete/sup.infisso} = 32 + 10 \cdot 0,778 \cong 40 \text{ dB}$ 

*La costruzione in laboratorio  
di una parete doppia in  
tramezze semipiene  
Alveolater® con  
intercapedine riempita con  
lana di roccia.*



Definite le caratteristiche delle chiusure esterne, vanno verificate le prestazioni acustiche delle pareti divisorie fra unità immobiliari diverse.

Una prima valutazione si può fare utilizzando le formule sperimentali della legge di massa.

1)  $R_w = 20 \text{ Log } M$  (valida anche per pareti doppie con intercapedine vuota inferiore a 4 cm);

2)  $R_w = 37,5 \text{ Log } M - 42$  (ISO-EN 12354).

La formula 1) è stata confermata anche da prove sperimentali eseguite dal Consorzio su pareti realizzate con blocchi a facce piane, in opera con malta cementizia e giunti di malta continui, verticali e orizzontali ( $R_w = 20,5 \text{ log } M$ ).

Nel caso di pareti realizzate con blocchi a incastro, e quindi privi del giunto verticale di malta, la formula sperimentale è risultata:

$$R_w = 18,6 \log M$$

Evidentemente la mancanza del giunto di malta rende meno rigida la parete con conseguente maggiore trasferimento di energia.

Una situazione analoga si verifica se si impiega malta bastarda. In presenza di giunti verticali si ha una riduzione del valore  $R_w$  di  $2 \div 3$  dB.

Per pareti doppie con intercapedine riempita di lana minerale, con massa di  $40 \div 70$  kg/m<sup>3</sup>, si è ricavata la formula:

$$R_w = 22,3 \log M$$

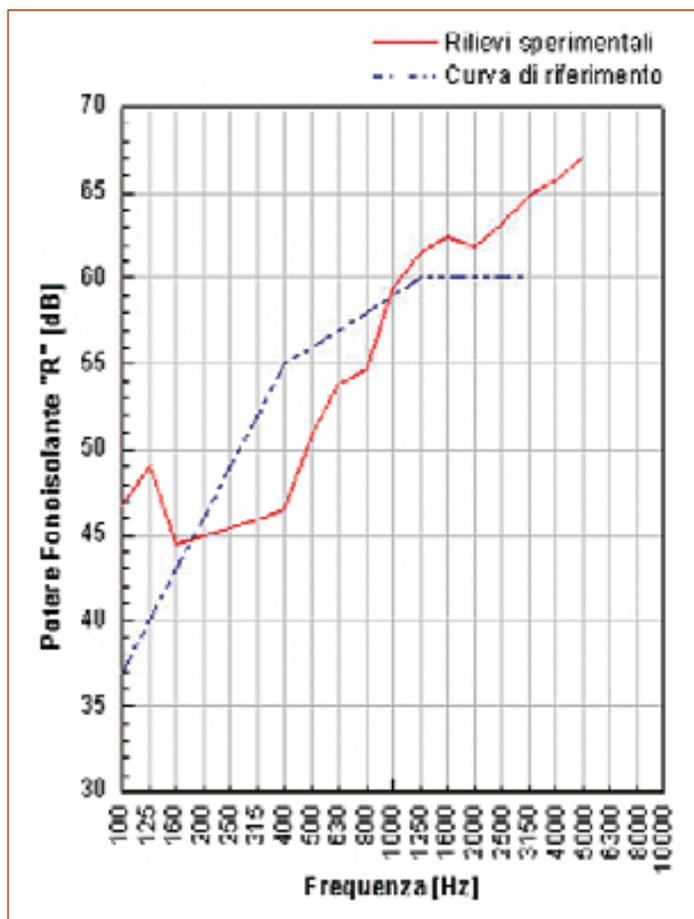
È importante evidenziare che per sfruttare al meglio le proprietà fonoisolanti delle pareti doppie in laterizio con intercapedine di sola aria, occorre che la dimensione dell'intercapedine  $d$  sia di almeno 10 cm. In queste condizioni il valore di  $R_w$  può essere stimato con la relazione:

$$R_w = 20 \log M + 20 \log d - 10 \text{ (dB)}$$

dove “ $d$ ” è espresso in cm.

In alternativa si può fare ricorso a rapporti di prova di laboratorio.

Generalmente, però, è abbastanza difficile soddisfare le richieste del Decreto con pareti di spessore contenuto, tenendo conto del fatto che il risultato sperimentale può variare sensibilmente da prova a prova, anche a parità di prodotto, e che i valori di  $R_w$ , risultanti dal calcolo o da verifiche sperimentali, vanno poi ridotti per tenere conto delle trasmissioni laterali, o di fiancheggiamento, dovute ai collegamenti fra le strutture del fabbricato, ottenendo così il valore  $R'_w$  richiesto dalla normativa.



*Andamento del potere fonoisolante in funzione della frequenza del suono in una parete doppia con muratura in laterizio Alveolater® e intercapedine in lana di roccia Rockwool 211 (12+5+17 cm).*

Un calcolo di verifica può essere fatto secondo la norma EN-UNI 12354. Ma, in prima approssimazione, il valore in opera della prestazione acustica può essere ricavato dalla formula

$$R'_w = R_w - C_F$$

Il valore di  $C_F$  è definito nelle seguenti tabelle.

### Pareti

#### Pareti - Giunto rigido a croce

Massa della partizione (kg/m <sup>2</sup> )	Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m <sup>2</sup> ), non coperte da rivestimento isolante								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1,5	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0
150	3	1,5	1	0,5	0,5	0,5	0	0	0
200	4,5	2,5	1,5	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
250	5	3,5	2,5	1,5	1,5	1	0,5	0,5	0,5
300	6	4,5	3	2,5	1,5	1,5	1	1	0,5
350	7	5	3,5	3	2	1,5	1,5	1	1
400	7,5	5,5	4,5	3,5	2,5	2	1,5	1,5	1
450	8	6	5	4	3	2,5	2	1,5	1,5
500	8,5	6,5	5	4,5	3,5	3	2,5	2	1,5

#### Pareti - Giunto rigido a T

Massa della partizione (kg/m <sup>2</sup> )	Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m <sup>2</sup> ), non coperte da rivestimento isolante								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	3	1,5	1	0,5	0,5	0	0	0	0
150	5	3	2	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
200	6,5	4,5	3	2	1,5	1	1	0,5	0,5
250	8	5,5	4	3	2	1,5	1,5	1	1
300	9	6,5	5	4	3	2,5	2	1,5	1
350	10	7,5	6	4,5	3,5	3	2,5	2	1,5
400	10,5	8,5	6,5	5,5	4,5	3,5	3	2,5	2
450	11,5	9	7,5	6	5	4	3,5	3	2,5
500	12	9,5	8	6,5	5,5	4,5	4	3,5	3

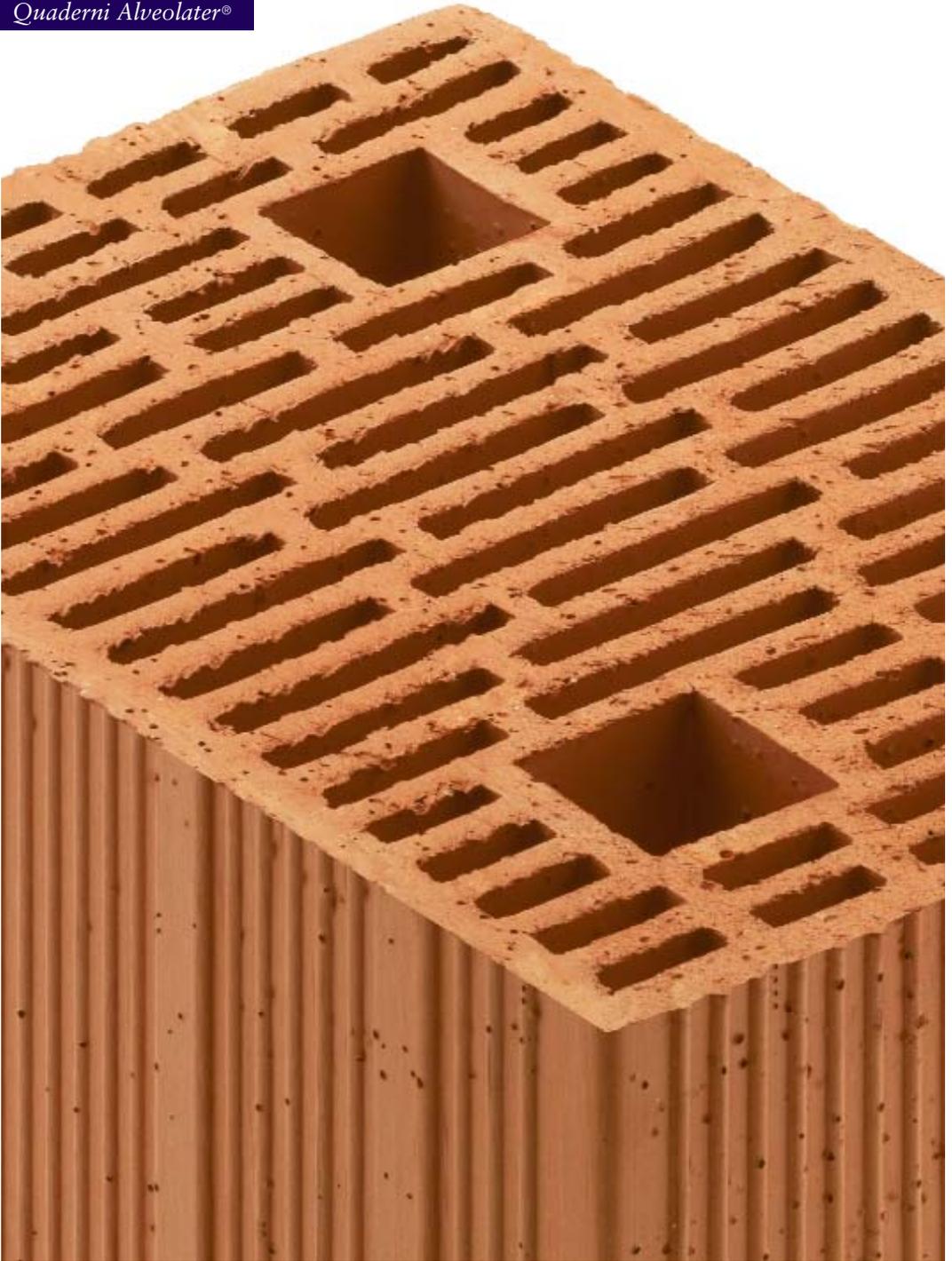
**Solai****Solai - Giunto rigido a croce**

Massa della partizione (kg/m <sup>2</sup> )	Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m <sup>2</sup> ), non coperte da rivestimento isolante								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	2,5	1,5	1	0,5	0,5	0	0	0	0
150	4	2,5	1,5	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
200	5	3,5	2,5	2,0	1,5	1	1	0,5	0,5
250	6	4,5	3	2,5	2	1,5	1	1	1
300	7	5	4	3	2,5	2	1,5	1,5	1
350	7,5	6	4,5	3,5	3	2,5	2	1,5	1,5
400	8	6,5	5	4	3,5	3	2,5	2	2
450	8,5	7	5,5	4,5	4	3,5	3	2,5	2
500	9	7,5	6	5	4,5	3,5	3	3	2,5

**Solai - Giunto rigido a T**

Massa della partizione (kg/m <sup>2</sup> )	Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m <sup>2</sup> ), non coperte da rivestimento isolante								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	4	2,5	1,5	1	0,5	0,5	0,5	0	0
150	6	4	3	2	1,5	1	1	0,5	0,5
200	8	5,5	4	3	2,5	2	1,5	1	1
250	9	7	5	4	3	2,5	2	1,5	1,5
300	10	8	6	5	4	3,5	3	2,5	2
350	11	8,5	7	6	5	4	3,5	3	2,5
400	11,5	9,5	8	6,5	5,5	4,5	4	3,5	3
450	12	10	8,5	7	6	5,5	4,5	4	3,5
500	13	10,5	9	8	7	6	5	4,5	4

Se non si trova una soluzione soddisfacente, ed è necessario contenere lo spessore della parete, è opportuno ricorrere al placcaggio mediante pannelli in cartongesso e isolante, anche eventualmente su di una sola faccia.



## Resistenza al fuoco

Un breve accenno alle problematiche relative al comportamento al fuoco per ricordare che le prove sperimentali eseguite dal Consorzio Alveolater® forniscono valori di resistenza al fuoco di assoluta tranquillità (REI 180 per pareti intonacate in elementi semipieni di spessore cm 12, con intonaco in malta cementizia di 1,5 cm; REI 180 per pareti intonacate in elementi forati per tamponamento di spessore cm 15, con intonaco in malta cementizia di 1,5 cm); valori confermati da ulteriori numerose prove eseguite direttamente o in collaborazione con Andil Assolaterizi, il cui riepilogo, relativo al pareti senza intonaco non sottoposte a carico, è riportato in tabella.

### Ricerca Andil Assolaterizi - Centro studi Ministero dell'Interno

Tipo di laterizio	Valori R.E.I.						
	15	30	45	60	90	120	180
Pieno F/A ≤ 15%	6	6	6	8	8	10	15
Semipieno 15% < F/A ≤ 45% alleggerito normale	6	6	6	8	10	12	15
	6	6	8	8	10	12	15
Forato 45% < F/A ≤ 55% alleggerito normale	6	8	10	10	12	12	20
	8	8	10	12	12	15	20
Forato F/A > 55% alleggerito normale	8	8	10	12	15	20	20
	8	10	12	15	20	25	25

La Circolare 91 del Ministero dell'Interno *Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile* del 14 settembre 1961, le integrazioni e alle precisazioni fornite dalla Circolare 52 del 20 novembre 1982 e dal D.M. 30 novembre 1985 hanno rappresentato un importante riferimento per la valutazione della resistenza al fuoco dei prodotti in laterizio. La Circolare 91 fissava infatti le “Classi” di resistenza al fuoco, mentre il D.M. 30/11/85 ha introdotto i parametri R (resistenza) E (tenuta al passaggio di fuoco e fumi) I (temperatura superficiale della faccia non esposta al fuoco limitata a 150 °C, con limite massimo di 180 °C per ogni singola sonda di temperatura). L'art. 3 della Circolare 91 *Elementi determinanti la resistenza al fuoco*, stabiliva anche che la durata di resistenza al fuoco dei divisori è determinata dalla perdita di stabilità, mentre per le pareti portanti è determinata dalla caduta della capacità portante sotto i carichi ammissibili.

Il contenuto dell'art. 3 poteva sfuggire a una lettura superficiale, ma i rapporti di prova oggi generalmente disponibili indicano (e questo certamente fino dal 1986, data del rapporto più vecchio su prodotti con marchio Alveolater®) che la prova è stata eseguita su parete non sottoposta a carico. Nel caso di pareti con sola funzione di divisori il risultato è certamente applicabile alla realtà del cantiere; mentre per pareti portanti il risultato non è formalmente trasferibile.

Anche la norma UNI EN 1365-1 prevede che una muratura portante tagliafuoco debba essere provata sotto il carico ammissibile, su parete di dimensione non inferiore a 3 x 3 m, con giunti di espansione laterale.

Per questo motivo sono state eseguite alcune prove su pareti sottoposte a carico di esercizio. Inizialmente è stata provata una parete costruita con elementi semipieni di formato 20 x 30 x 19 cm, di massa volumica a secco di 870 kg/m<sup>3</sup> e peso medio di 9,9 kg, in opera sullo spessore di cm 20 con malta M2 sia per la posa dei blocchi sia per l'intonaco di 1,5 cm per parte, con giunti di malta continui in verticale e in orizzontale.

Determinata la resistenza caratteristica della muratura (5,3 MPa), la parete è stata sottoposta a un carico di 29,208 tonnellate, corrispondente a un carico unitario di 0,487 MPa (4,87 kg/cm<sup>2</sup>).

È stata applicata la curva temperatura-tempo prevista dalla Circolare 91.

La prova è stata interrotta al minuto 180. Fino al termine non si è evidenziato passaggio di fumi e sono risultate decisamente inferiori ai limiti ammessi sia la dilatazione della muratura sia la velocità di dilatazione (R.E.I. 180).

Si è scelto lo spessore 20 cm perché è lo spessore minimo ammesso per le murature portanti in elementi semipieni sia secondo il D.M. 20 novembre 1987 sia secondo le norme più recenti (Ordinanze 3274/3431 e *Norme tecniche per le Costruzioni*).

Sono poi seguite altre due prove, entrambe su pareti intonacate, realizzate con elementi a incastro di spessore cm 25 (prova n. 2 e prova n.3).

Si poteva infatti ritenere che la mancanza del giunto verticale potesse influenzare sensibilmente, e negativamente, il comportamento della parete.

La prova n. 2 è stata eseguita su di una parete costruita con elementi semipieni di formato 25 x 30 x 19 cm, di peso medio di 10,5 kg. Determinata la resistenza caratteristica della muratura (3,5 MPa), la parete è stata sottoposta a un carico di 30,223 tonnellate, corrispondente a un carico unitario di 0,403 MPa (4,03 kg/cm<sup>2</sup>).

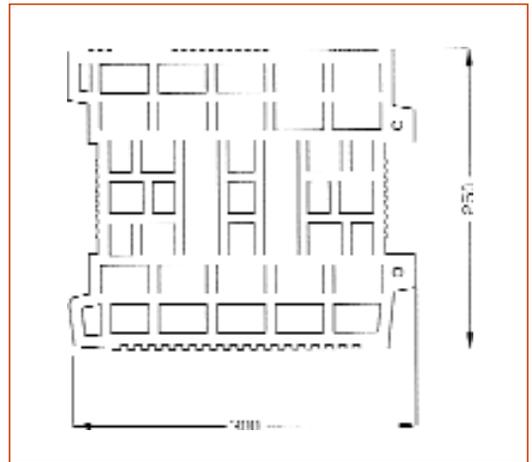
È stata applicata la curva temperatura-tempo prevista dalla Circolare 91.

La prova è stata prolungata fino al minuto 240. Fino al termine non si è evidenziato passaggio di fumi e sono risultate decisiva-

mente inferiori ai limiti ammessi sia la dilatazione della muratura sia la velocità di dilatazione. Purtroppo, poiché la normativa vigente al momento non prevedeva la Classe R.E.I. 240, la parete è stata certificata R.E.I. 180.

La prova n. 3 è stata eseguita su di una parete costruita con elementi forati di formato 25 x 30 x 25 cm, di peso medio di 12,0 kg. Determinata la resistenza caratteristica della muratura (2,2 MPa), la parete è stata sottoposta a un carico di 15,543 ton, corrispondente a un carico unitario di 0,207 MPa (2,07 kg/cm<sup>2</sup>).

Anche in questo caso, la prova è stata prolungata fino al minuto 240, senza che si evidenziasse passaggio di fumi o fenomeni significativi di alcun genere. Sono risultate decisamente inferiori ai



limiti ammessi sia la dilatazione della muratura sia la velocità di dilatazione. Anche questa parete, per il motivo sopra esposto, è stata certificata R.E.I. 180.

Anche se le prove non sono estendibili a tutte le situazioni, in quanto nella progettazione possono variare sia le resistenze caratteristiche dei blocchi che la resistenza della malta e quindi la resistenza caratteristica della parete, sia i livelli di sollecitazione statica, è stata comunque confermata l'ottima prestazione al fuoco di pareti in laterizio alleggerito in pasta, anche su spessori limitati e decisamente inferiori a quanto indicato dalla Circolare 91, che prevedeva Classe 180 per pareti in laterizi pieni di spessore cm 26 + intonaco e di cm 30 + intonaco per pareti in laterizi forati. Queste prove hanno anche evidenziato il buon comportamento al fuoco dei giunti a incastro, che non penalizzano il comportamento della parete.

Sulla Gazzetta Ufficiale n. 74 del 29 marzo 2007 (Supplemento Ordinario n. 87) sono stati pubblicati due decreti ministeriali che trasformano ampiamente il quadro normativo in materia di resistenza al fuoco dei prodotti da costruzione, e precisamente:

**Il blocco Alveolater® forato strutturale a incastro 25x30x25 cm impiegato per la costruzione della parete per la prova al fuoco. La parete, sotto carico di esercizio, è stata accreditata di classe REI 180.**

- Decreto del Ministero dell'Interno del 16 febbraio 2007 recante *Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione*;

- Decreto del Ministero dell'Interno del 9 marzo 2007 recante *Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco*.

Il primo provvedimento, in vigore dal 28 settembre 2007, recepisce il sistema europeo di classificazione di resistenza al fuoco dei prodotti e delle opere da costruzione, al fine di conformare le opere e le loro parti al requisito essenziale di "Sicurezza in caso di incendio" sancito dalla direttiva 89/106/CEE.

Il Decreto è composto da cinque articoli e quattro allegati (A, B, C e D); si applica ai prodotti e agli elementi costruttivi per i quali è prescritto il requisito di resistenza al fuoco delle opere in cui sono inseriti (art.1). Viene definito come "prodotto da costruzione" qualsiasi prodotto fabbricato al fine di essere permanentemente incorporato in elementi costruttivi o opere da costruzione.

L'art. 2 indica i criteri secondo cui classificare la resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi costruttivi. In particolare, tale classificazione si basa sulle caratteristiche di resistenza al fuoco definite secondo i simboli e le classi riportate nelle specifiche tabelle dell'allegato A al Decreto. Le dieci classi di resistenza al fuoco sono espresse in minuti (tabella 1) e precisamente 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360 minuti.

La resistenza al fuoco può essere determinata in base a:

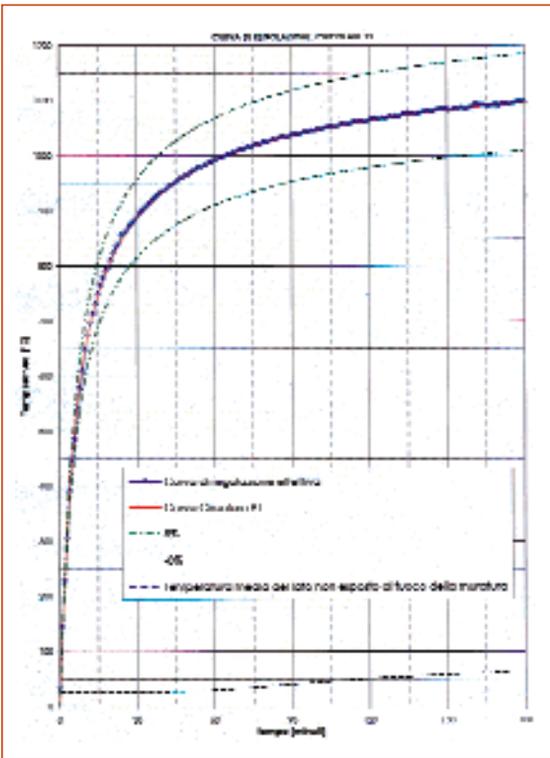
- prove sperimentali;
- calcoli;
- confronti con tabelle.

Ai fini della classificazione, le modalità di

utilizzo dei risultati ottenuti mediante i tre approcci sono riportate negli allegati B, C e D al Decreto. Si sottolineano alcuni aspetti che meritano attenzione:

- l'Allegato B, in caso di variazione del prodotto, prevede che i risultati sperimentali di valutazione di una determinata classificazione al fuoco restino comunque validi se corredati da un'opportuna documentazione a sostegno (punto B8 del Decreto);

- nell'Allegato C è introdotta la possibilità di valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi portanti per mezzo di calcoli analitici applicando le indicazioni contenute nella *Parte 1-2: Re-*



**Andamento delle temperature nella camera di prova e sulla parete.**

*gole generali - Progettazione contro l'incendio* degli Eurocodici strutturali, pubblicati dal CEN, per i quali siano state pubblicate le appendici nazionali (manca ancora l'appendice per i materiali laterizi). Gli Eurocodici pubblicati sono: EN 1992-1-2, strutture in calcestruzzo; EN 1993-1-2, costruzioni in acciaio; EN 1994-1-2, strutture miste acciaio-calcestruzzo; EN 1995-1-2, strutture in legno; EN 1996-1-2, strutture in muratura; EN 1999-1-2, strutture in alluminio;

- le tabelle dell'Allegato D propongono le condizioni sufficienti per la classificazione di elementi costruttivi (ma comunque non obbligatorie nel caso si faccia riferimento a verifiche sperimentali, i cui risultati prevalgono rispetto ai valori delle tabelle). La tabella 2 riporta, infatti, gli spessori necessari per garantire i requisiti E.I. per le murature non portanti, realizzate con blocchi in laterizio, in funzione della percentuale di foratura (minore del 55% o maggiore del 55%). La tabella non è quindi applicabile alle pareti caricate, per le quali, in attesa di un metodo di calcolo, si dovrà ricorrere a prove sperimentali.

L'art. 5 fissa i limiti temporali entro cui sono validi i rapporti di prova di resistenza al fuoco già emessi dai Vigili del Fuoco o da laboratori autorizzati. In tabella 3 vengono esplicitate le scadenze dei rapporti di prova, rilasciati ai sensi della Circolare 91/61, rispetto alla data di entrata in vigore del Decreto (28 settembre 2007).

Nel caso di un progetto approvato dai Vigili del Fuoco prima del 28 di settembre 2007, e relativo a una costruzione non ancora realizzata, potranno essere impiegati i prodotti e gli elementi costruttivi con caratteristiche di resistenza al fuoco determinate sulla base della vecchia normativa, a condizione che siano rispettate le scadenze temporali della tabella 6 e se ne attesti la data di acquisto.

Il secondo Decreto ministeriale (9 marzo 2007), costituito da quattro articoli ed un unico allegato, abroga la Circolare del Ministero dell'Interno n. 91 del 14 settembre 1961 *Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile*, e stabilisce i criteri per determinare le prestazioni di resistenza al fuoco che devono avere le costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco prive di specifiche regole tecniche di prevenzione incendi.

Le disposizioni del Decreto si applicano alle attività a cui progetti siano presentati ai Comandi provinciali dei vigili del fuoco competenti per territorio, per l'acquisizione del parere di conformità di cui all'art. 2 del D.P.R. 12 gennaio 1998, n. 37, in data successiva alla sua entrata in vigore (art. 1).

Gli articoli 2 e 3 del provvedimento definiscono, inoltre, gli obiettivi, le strategie, le responsabilità e le disposizioni tecniche che

**Tabella 1 - Simboli della prestazioni di resistenza al fuoco.**

Simbolo	Prestazioni e funzioni dei prodotti da costruzione
R	Capacità portante
E	Tenuta
I	Isolamento
W	Irraggiamento
M	Azione meccanica
C	Dispositivo automatico di chiusura
S	Tenuta al fumo
P o PH	Continuità di corrente o capacità di segnalazione
G	Resistenza all'incendio della fuliggine
K	Capacità di protezione al fuoco
D	Durata della stabilità a temperatura costante
DH	Durata della stabilità lungo la curva standard tempo-temperatura
F	Funzionalità degli evacuatori motorizzati di fumo e calore
B	Funzionalità degli evacuatori naturali di fumo e calore

**Tabella 2 - Valori minimi in mm dello spessore "s" di murature non portanti in blocchi di laterizio<sup>(1)</sup> per i requisiti di isolamento E.I.<sup>(2)</sup>.**

Classe	Blocco con percentuale di foratura > 55%		Blocco con percentuale di foratura < 55%	
	Intonaco normale <sup>(3)</sup>	Intonaco protettivo antincendio <sup>(4)</sup>	Intonaco normale <sup>(3)</sup>	Intonaco protettivo antincendio <sup>(4)</sup>
30	s = 120	80	100	80
60	s = 150	100	120	80
90	s = 180	120	150	100
120	s = 200	150	180	120
180	s = 250	180	200	150
240	s = 300	200	250	180

(1) Escluso l'intonaco. (2) I valori sono relativi a spessori al netto dell'intonaco e sono validi per pareti con intonaco di 1 cm su entrambe le facce o di 2 cm sulla sola faccia esposta al fuoco. Gli spessori indicati non sono vincolanti nel caso si faccia riferimento a verifiche sperimentali. (3) Intonaco tipo sabbia e cemento, sabbia cemento e calce, sabbia calce e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica pari a  $1.000 \pm 1.400 \text{ kg/m}^3$ . (4) Intonaco tipo gesso, vermiculite o argilla espansa e cemento o gesso, perlite e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica pari a  $600 \pm 1.000 \text{ kg/m}^3$ .

**Tabella 3 - Periodo di validità dei rapporti di prova di resistenza al fuoco.**

Data emissione rapporto di prova	Validità dal 28 settembre 2007
entro il 31 dicembre 1985	1 anno
dal 1° gennaio 1986 al 31 dicembre 1995	3 anni
dal 1° gennaio 1996	5 anni

sono contenute nell'allegato. Per ultimo l'articolo 4 detta le abrogazioni e le disposizioni finali.

Sulla base di quanto indicato al punto B8 dell'Allegato B *Modalità per la classificazione in base a risultati di prove* del Decreto 16 febbraio 2007, il Consorzio Alveolater® ritiene estendibili le prove eseguite con certificazione rilasciata al Consorzio a tutte le società associate purché siano verificate come equivalenti le caratteristiche geometriche dei blocchi (dimensione, percentuale di foratura, sostanziale corrispondenza del disegno, massa volumica, tipo di giunto e modalità di posa) e, nel caso di materiale strutturale, la resistenza meccanica.

Il produttore associato, oltre alla documentazione richiesta dall'Allegato B, rilascerà una attestazione del tipo:

Il blocco tipo ..... di produzione della società ..... ha caratteristiche meccaniche, geometriche e di materia prima del tutto simili al blocco Alveolater® tipo ..... utilizzato per la costruzione della parete spessore cm ..... più intonaco di cui al rapporto di prova n. .... rilasciato da ..... in data ..... al Consorzio Alveolater® (R.E.I. ....).

Pertanto la scrivente società, che produce elementi alleggeriti in pasta nel rispetto delle specifiche indicate dal Regolamento del Consorzio Alveolater®, al quale aderisce dal ....., attesta che alla parete intonacata realizzata con i propri blocchi tipo ..... di dimensione cm ....., in opera a giunti continui verticali e orizzontali sullo spessore di cm ....., può essere attribuita la classe di resistenza al fuoco o pari a quella attribuita alla parete di spessore cm ....., e pertanto  
R.E.I. ....

In fede

.....

Sempre a proposito di resistenza al fuoco è il caso di ricordare che la normativa vigente prevede la procedura di omologazione solo per le porte ed altri elementi di chiusura, procedura obbligatoria

per l'impiego di questi prodotti nelle attività soggette alla prevenzione incendi (D.M. 14 dicembre 1993 e successivi).

Per elementi costruttivi di altro tipo (come per i muri in laterizio), è prevista la sola verifica di tipo sperimentale (D.M. 4 maggio 1998 allegato II punto I), che deve fare riferimento a prove effettuate presso laboratori autorizzati dal Ministero dell'Interno.

Il produttore, in possesso del certificato di prova sperimentale, dovrà quindi dichiarare che il prodotto fornito corrisponde a quello provato e che a esso possono essere applicati i risultati sperimentali ottenuti, specificando le modalità di posa in opera (caratteristiche geometriche dell'elemento, spessore e tipo di intonaco, caratteristiche di giunti di malta).

Sarà compito del direttore dei lavori verificare che le modalità di posa siano rispettate.

### Reazione al fuoco

Circa la reazione al fuoco, la normativa vigente prevede l'istituto dell'omologazione dei materiali, obbligatoria in alcuni casi definiti dalle regole tecniche di prevenzione incendi.

Il D.M. 14 gennaio 1985 stabilisce tuttavia che ad alcuni materiali, indicati nel Decreto stesso, venga attribuita la classe 0 (zero) di reazione al fuoco senza la necessità di effettuare la prova di non combustibilità prevista dal D.M. 26 giugno 1984 secondo la norma ISO/DIS 1182.2.

Poiché in tali casi il competente Ispettorato non rilascia omologazioni, il produttore dovrà rilasciare soltanto una dichiarazione che attesti che il laterizio ha come materia prima l'argilla, materiale composto da ossidi, solfati, carbonati, silice e silicati, elementi citati dal Decreto per l'attribuzione di Classe 0.

Il Decreto 10 marzo 2005 conferma questa impostazione e introduce, per gli elementi in laterizio, la classificazione europea A1.

La miscela di argilla e segatura o sfere di polistirolo, caratteristica dei materiali alleggeriti in pasta a prestazioni energetiche migliorate, non modifica il comportamento al fuoco del prodotto finito, poiché questi additivi, subendo l'intero ciclo di cottura con permanenza prolungata a oltre 900 °C, non lasciano traccia di incombusti.

Già da tempo la Comunità Europea si occupa dei requisiti di radioattività dei materiali da costruzione. La direttiva 89/106 del 21 dicembre 1988 stabilisce che «... l'opera deve essere concepita e costruita in modo da non compromettere l'igiene o la salute degli occupanti o dei vicini e in particolare in modo da non provocare ... emissioni di radiazioni pericolose ... ».

La raccomandazione del 21 febbraio 1990 (90/143/Euratom) pone l'accento sui rischi per la salute legati alla presenza di gas radon, pur riconoscendo che le misure in aria, effettuate nelle abitazioni, non forniscono valori riproducibili e, quindi, non sono certificabili in senso stretto.

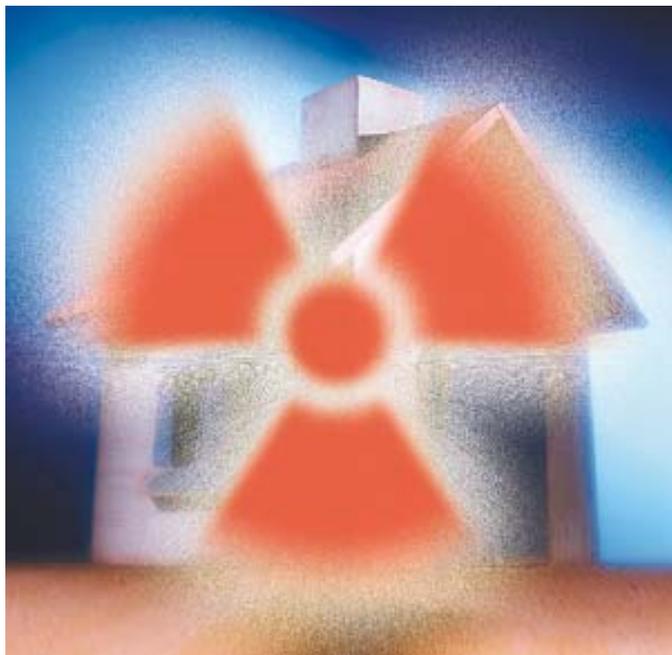
In seguito, siamo nel 1993, la Commissione internazionale per la protezione radiologica, con la raccomandazione ICPR 65/1993, considera la possibilità di controllare non il radon, gassoso e variabile, ma i suoi genitori, solidi e presenti in quantità costante nel tempo, tra i quali il più importante è il Radio-226. Sempre nel 1993 con il D.P.R. 246/93, la direttiva 89/106 viene recepita dal nostro ordinamento e quindi, anche la nostra legge impone che «... l'opera debba essere concepita ... in modo da non costituire minaccia per l'igiene e la salute degli occupanti ... causata ... dalla formazione di gas nocivi ... o pericolosi, dall'emissione di radiazioni pericolose ... ».

Con la Radiation Protection 88 del 1997, gli esperti suggeriscono di evitare elevati livelli di  $^{226}\text{Ra}$  o di altri radionuclidi naturali. La Radiation Protection 96 del 1999 pubblica i risultati di un ampio studio sulla radioattività dei materiali da costruzione e delle materie prime.

Ma è con la Radiation Protection 112 che viene fissato un indice di radioattività legato all'attività di Torio, Radio e Potassio, espresso in Becquerel al chilogrammo (Bq/kg) secondo la formula:

$$I = A_{\text{Th}}/200 + A_{\text{Ra}}/300 + A_{\text{K}}/3000$$

dove A indica l'attività della sostanza radioattiva.



Nell'ipotesi semplificativa che tutto l'edificio sia costituito da un unico materiale con lo stesso valore dell'Indice di Radioattività, si possono considerare due grandi insiemi:

-  $I < 1$ , che corrisponde a una dose in eccesso rispetto al fondo naturale di 1 milliSievert all'anno (mS/anno). Valori superiori all'unità devono essere tenuti in considerazione ai fini della salvaguardia della salute;

-  $I < 0,5$ , che corrisponde a una dose in eccesso di 0,3 mS/anno. I materiali caratterizzati da questo indice sono esenti da qualunque restrizione in merito alla quantità usata e alla destinazione dell'edificio.

Il valore di controllo  $I < 1$  consente di decidere se usare o meno un determinato materiale, ma soprattutto consente di limitare la presenza di gas Radon. Infatti, se l'indice  $I$  è minore di 1, anche il livello di concentrazione del Radon all'interno dell'edificio sarà al di sotto del valore di 200 Bq/m<sup>3</sup>, valore raccomandato dalla Commissione Europea.

Sulla base di queste premesse, il Consorzio Alveolater® ha eseguito, nel periodo giugno-dicembre 2001, la verifica delle emissioni radioattive sulla produzione di laterizio alleggerito Alveolater® e Perlater® di tutti gli associati, seguendo le indicazioni della Radiation Protection 112.

Le prove eseguite hanno fornito valori tutti inferiori all'unità e compresi tra  $0,493 \pm 0,014$  e  $0,89 \pm 0,04$  e, come era prevedibile, confermano che l'impiego di polistirolo e di segatura o la presenza di perlite non modificano i valori dell'argilla di partenza.

Sono state eseguite prove anche su materiali alternativi. Un tufo proveniente dalla Campania, provato con le stesse attrezzature e nello stesso laboratorio, ha fornito il valore  $I = 1,19 \pm 0,03$  e quindi ben oltre il limite massimo ammesso.

Blocchi in cemento alleggerito con lapillo hanno fornito addirittura un valore  $I = 1,43 \pm 0,02$ .

Ritenendo che tale verifica possa contribuire in modo rilevante a rendere le abitazioni più affidabili e sicure, il Consorzio Alveolater® ha partecipato a una ricerca, che terminerà a giugno 2008, con l'obiettivo di realizzare un ampio data-base delle caratteristiche radioattive dei materiali da costruzione e di realizzare un edificio prototipo, con funzione di modello per l'individuazione teorica e sperimentale delle principali cause di inquinamento radioattivo nei luoghi confinati e con l'applicazione di nuove conoscenze e tecnologie per ridurre l'entità dell'inquinamento stesso, sia dovuto alla dose esterna causata dalle emissioni alfa, beta e gamma dei materiali da costruzione sia alla dose interna causata dall'emanazione di radon dai materiali da costruzione e dal suolo su cui poggia l'edificio.

Le informazioni sulla ricerca si trovano al sito [www.rabuild.it](http://www.rabuild.it).

## Lo stoccaggio in cantiere

Se si prevede che i blocchi rimangano in cantiere per qualche tempo, prima della posa in opera, bisognerà predisporre un'area di stoccaggio piana (necessaria soprattutto se si devono sovrapporre più pacchi), e assicurare protezione dalla pioggia, dagli spruzzi di fango, dalla neve e del sale antighiaccio dovuti a un eventuale passaggio di veicoli.

Il materiale non dovrà appoggiare direttamente sul terreno, per evitare il contatto con sostanze (soprattutto sali solubili) che potrebbero causare efflorescenze nella muratura o scarsa aderenza fra intonaco e laterizio.

## La scelta degli elementi

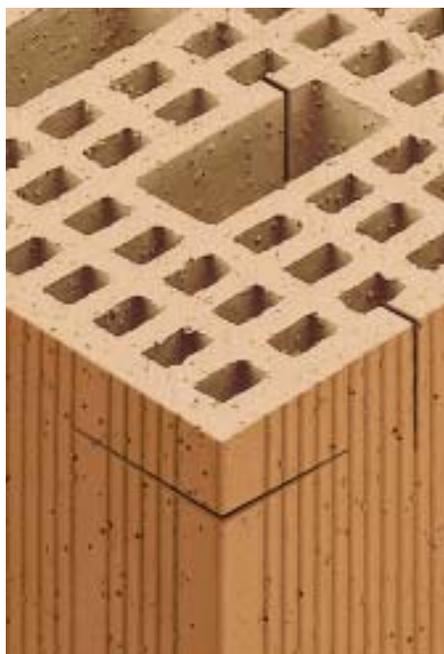
Anche in una produzione di qualità alcuni elementi possono presentare difetti, dovuti sia alle sollecitazioni del trasporto (rotture e sbeccature), sia a problemi di produzione (ad esempio fessurazioni o scagliature).

Al momento della posa dovranno quindi essere eliminati i blocchi che presentino lesioni (è importante soprattutto l'integrità delle pareti esterne nei blocchi strutturali), in particolar modo quando si realizzano murature presumibilmente molto sollecitate (pilastri, angoli, maschi murari fra finestre e porte ma anche tamponamenti di rilevanti dimensioni ecc.).

Per operare con criteri di obiettività, in attesa di una norma che integri la vigente norma UNI EN 771-1, per alcuni controlli si può fare ancora riferimento alla norma UNI 8942, Parte 2<sup>a</sup>, *Limiti di accettazione*, troppo frettolosamente ritirata nel maggio 2005.

Questo certamente per la valutazione delle inclusioni calcaree e dei limiti di accettazione della fornitura in cantiere. Per il resto, vale la documentazione che il produttore deve fornire ai fini della documentazione della marcatura CE.

Al proposito, vale la pena ricordare che la marcatura CE è obbligatoria già dal mese di aprile 2006. Un prodotto privo di marcatura non può essere immesso sul mercato. È quindi responsabilità delle imprese scegliere prodotti accompagnati dalla necessaria documentazione; e della direzione dei lavori il controllo di rispondenza delle caratteristiche riportate sulla documentazione alle specifiche indicate dal progettista.



*Disegno schematico di possibili lesioni dei blocchi.*

La posa di elementi rettificati  
con giunti sottili di malta.

Il cartiglio dovrà riportare le informazioni richieste per legge nel paese di destinazione con esclusivo riferimento alle caratteristiche indicate nell'Allegato ZA della norma 771-1. Altre informazioni che il produttore riterrà di fornire potranno essere riportate su altri documenti, ma non sul cartiglio CE.



Si illustra brevemente il significato delle sigle utilizzate nel cartiglio.

### Tolleranze dimensionali

T1 :  $\pm 0,40 \sqrt{\text{(dimensione di produzione) mm}}$  o 3 mm, assumendo il valore maggiore

T1 + :  $\pm 0,40 \sqrt{\text{(dimensione di produzione) mm}}$  o 3 mm per lunghezza e larghezza, assumendo il valore maggiore, e

$\pm 0,05 \sqrt{\text{(dimensione di produzione) mm}}$  o 1 mm per l'altezza, assumendo il valore maggiore

T2 :  $\pm 0,25 \sqrt{\text{(dimensione di produzione) mm}}$  o 2 mm, assumendo il valore maggiore

T2 + :  $\pm 0,25 \sqrt{\text{(dimensione di produzione) mm}}$  o 2 mm per lunghezza e larghezza, assumendo il valore maggiore, e

$\pm 0,05 \sqrt{\text{(dimensione di produzione) mm}}$  o 1 mm per l'altezza, assumendo il valore maggiore

Tm : una deviazione in mm dichiarata dal produttore (può essere più ampia o più ristretta rispetto alle altre categorie).

## Intervallo dimensionale

R1 :  $0,6 \sqrt{\text{(dimensione di produzione)}}$  mm

R1+ :  $0,6 \sqrt{\text{(dimensione di produzione)}}$  mm per lunghezza e larghezza e 0,1 mm per altezza

R2 :  $0,3 \sqrt{\text{(dimensione di produzione)}}$  mm

R2+ :  $0,3 \sqrt{\text{(dimensione di produzione)}}$  mm per lunghezza e larghezza e 0,1 mm per altezza

Rm : un intervallo in mm dichiarato dal produttore (può essere più ampio o più ristretto rispetto alle altre categorie).

## Densità e tolleranze

Il produttore deve dichiarare la densità lorda e la densità netta. Per gli elementi classificati LD (Low Density) la densità lorda, valutata a secco, dovrà essere inferiore o al più uguale a 1000 kg/m<sup>3</sup>. Gli elementi HD (High Density) sono invece gli elementi con massa volumica lorda a secco maggiore di 1000 kg/m<sup>3</sup> ovvero tutti gli elementi, anche se di minore massa volumica, destinati a rimanere a vista. Campioni prelevati per una verifica non devono differire dai valori dichiarati dal produttore più di quanto consentito dalle categorie, che devono essere dichiarate dal produttore:

D1: 10%

D2: 5%

ovvero Dm: una differenza in percentuale dichiarata dal produttore (può essere più ampia o più restrittiva delle altre categorie).

## Contenuto di sali solubili attivi

Quando è previsto che il prodotto abbia soltanto una limitata protezione (ad esempio un sottile strato di intonaco), il produttore deve dichiarare il contenuto di sali solubili attivi sulla base della classificazione di tabella. Nei campioni prelevati per una verifica, il contenuto di sali solubili non deve risultare superiore al contenuto dichiarato di sali solubili attivi, secondo queste categorie:

**Tabella - Contenuto di sali solubili - Categorie - % totale in massa non maggiore di**

1.1.1.2.1 Categoria	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
S0	Nessuna richiesta	Nessuna richiesta
S1	0,17	0,08
S2	0,06	0,03

Per quanto riguarda la Reazione al fuoco, laterizi con un contenuto di materiale organico distribuito uniformemente nella massa  $\leq 1$  % in massa o in volume (quale che sia il più restrittivo), possono essere dichiarati di classe di reazione al fuoco A1 senza bisogno di prova.

La prescrizione non è quindi applicabile al laterizio alleggerito in pasta, anche con sostanze organiche, poiché tali sostanze scompaiono in fase di cottura del laterizio e non sono quindi presenti nel prodotto finito, immesso sul mercato; può essere, invece, il caso di blocchi in laterizio forati con fori riempiti di materiale isolante organico.

### La bagnatura degli elementi

È buona norma che i blocchi siano bagnati prima della posa in opera, e la bagnatura dovrà saturare il laterizio, ma senza ristagni d'acqua in superficie.

Il laterizio, saturo, non sottrarrà acqua alla malta e la superficie asciutta eviterà, nel contempo, la formazione di una pellicola di separazione che potrebbe compromettere l'aderenza fra i diversi elementi costituenti la muratura (fatto che, fra l'altro, può facilitare la penetrazione dell'acqua meteorica).

Blocchi non sufficientemente bagnati tenderanno a sottrarre l'acqua di impasto della malta, "bruciando" la malta stessa e causando quindi una sensibile riduzione della resistenza della muratura.

È assolutamente da evitare il tentativo di compensare la scarsa bagnatura del laterizio con un eccesso d'acqua della malta.

### I giunti di malta

I giunti di malta devono essere preferibilmente continui, ossia coprire l'intera faccia verticale e orizzontale del blocco e comunque, se si eseguono giunti interrotti per migliorare le prestazioni termiche del muro, la distanza fra le due "strisce" di malta non deve essere maggiore di 2 - 3 cm in modo da non ridurre le prestazioni statiche del muro. Se si vuole aumentare in modo significativo questa distanza, come pure se si vogliono realizzare giunti di spessore inferiore a 5 mm o superiore a 15 mm sarà necessario determinare sperimentalmente la resistenza del muro su campioni provati in laboratorio.

Infatti, come si è detto in precedenza, alla luce dell'Ordinanza e del chiarimento ottenuto dalla Protezione Civile, pareti realizzate con giunti di malta non conformi (ad esempio, giunti interrotti o, nel caso di blocchi a incastro, giunti concentrati in una tasca verticale), sono consentite previa determinazione sperimentale

della resistenza caratteristica. Nel caso invece di blocchi a incastro completamente privi di giunto verticale saranno necessarie anche prove finalizzate alla determinazione della duttilità della parete.

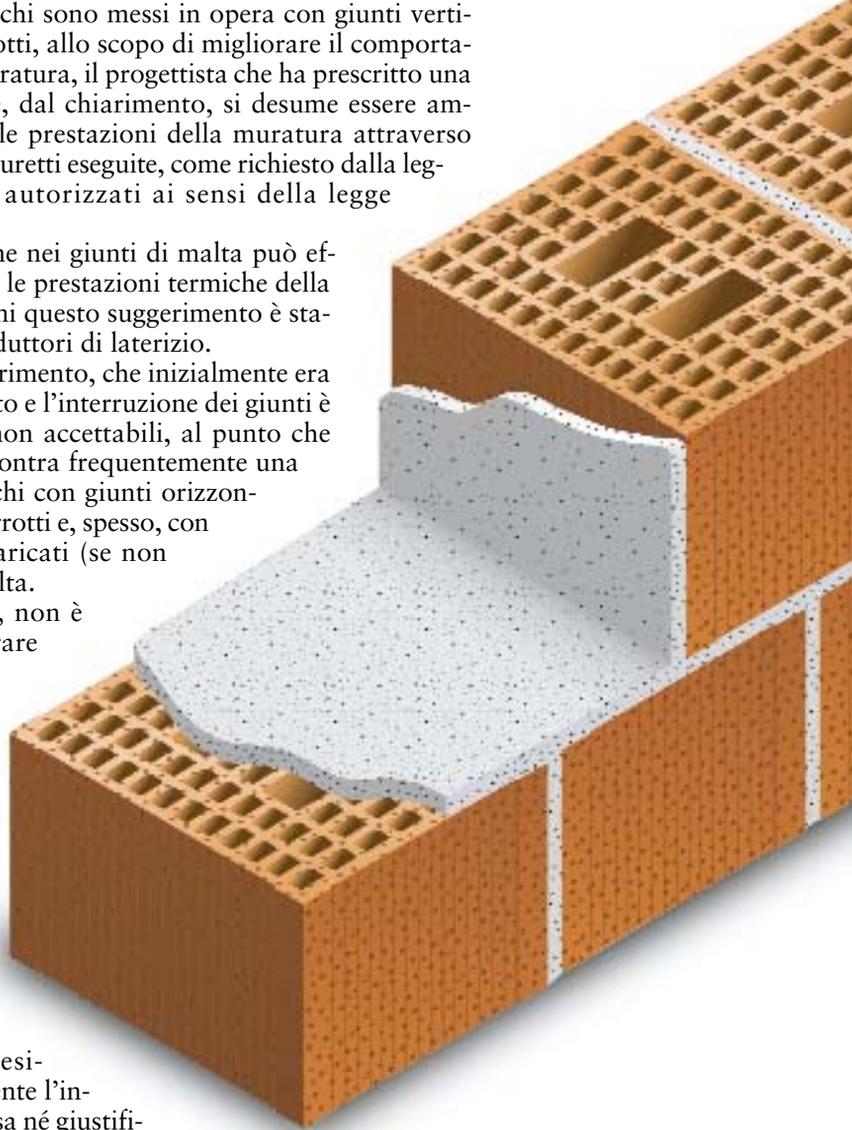
Ciò premesso, se i blocchi sono messi in opera con giunti verticali e orizzontali interrotti, allo scopo di migliorare il comportamento termico della muratura, il progettista che ha prescritto una tale posa in opera, che, dal chiarimento, si desume essere ammessa, deve verificare le prestazioni della muratura attraverso prove sperimentali su muretti eseguite, come richiesto dalla legge, presso laboratori autorizzati ai sensi della legge 1086/71.

Una piccola interruzione nei giunti di malta può effettivamente migliorare le prestazioni termiche della muratura. Per molti anni questo suggerimento è stato dato dagli stessi produttori di laterizio.

Ma, nel tempo, il suggerimento, che inizialmente era corretto, è stato travisato e l'interruzione dei giunti è stata portata a livelli non accettabili, al punto che oggi, in cantiere, si riscontra frequentemente una posa in opera dei blocchi con giunti orizzontali eccessivamente interrotti e, spesso, con giunti verticali poco caricati (se non addirittura privi) di malta.

Lo scopo, ovviamente, non è tanto quello di migliorare le prestazioni termiche del muro, quanto di ridurre i consumi di malta e accelerare le operazioni di posa. L'interruzione dei giunti di malta può essere una delle cause, se non la causa principale, di possibili difetti delle murature, sia per concentrazione di tensioni, sia per insufficiente resistenza a taglio (certamente l'interruzione non compensa né giustifica il leggero miglioramento ottenibile ai fini termici o le possibili economie di cantiere).

Un'indagine sperimentale su muretti al fine di valutare l'influenza del tipo di giunto sul comportamento del muro è stata condotta in collaborazione con l'Istituto di Scienza e tecnica delle costruzioni della facoltà di Ingegneria dell'Università Politecnica delle



*Esempio di blocchi posati con giunti di malta continui, sia in verticale che in orizzontale.*

Marche di Ancona (oggi Dipartimento di Architettura) nel periodo febbraio 1998-marzo 1999.

Sono stati impiegati blocchi semipieni a facce piane ( $F/A \leq 45\%$ ) e malta premiscelata di classe M1 secondo il Decreto 20 novembre 1987.

*Dai risultati delle prove svolte nell'ambito della ricerca si rileva che l'interruzione dei giunti di malta per 5 e 15 cm riduce la resistenza del muro rispettivamente del 20 e del 54%.*

*Applicando la formula fornita dall'Eurocodice 6, una muratura a giunti continui (blocchi semipieni e malta di resistenza  $8 \text{ N/mm}^2$ ) ha una resistenza di  $5,4 \text{ N/mm}^2$ . La stessa muratura eseguita a giunti interrotti (malta distesa su due cordoni paralleli di 6 cm) può fornire una resistenza di soli  $2,9 \text{ N/mm}^2$ .*



La posa è stata fatta:

- a giunti continui, verticali e orizzontali;
- a giunti interrotti, con interruzione di 15 cm (due strisce di 5 cm circa);
- a giunti interrotti, con interruzione di 5 cm (e quindi strisce di 12 cm circa);
- con giunto orizzontale, interrotto (strisce di 5 cm) e giunto verticale assente.

Inoltre, per valutare l'influenza della bagnatura dei blocchi sul comportamento del muro, i muretti sono stati costruiti sia con blocchi asciutti, sia con blocchi bagnati, saturi d'acqua ma a superficie asciutta, in opera con giunti continui verticali e orizzontali, e con giunti solo orizzontali, interrotti, e costituiti da due strisce di malta di 5 cm circa.

La sperimentazione è stata estesa a blocchi a incastro di caratteristiche geometriche analoghe a quelle dei blocchi a facce piane (stessa percentuale di foratura, stessa dimensione in opera, stessa materia prima e stesso ciclo produttivo) con posa a giunti continui e a giunti interrotti (strisce di malta di 5 cm), in opera asciutti e bagnati. In tutti i pannelli, l'interruzione dei giunti è stata ottenuta inserendo piatti metallici di opportuna larghezza, successivamente sfilati, in modo da delimitare esattamente lo spazio privo di malta.

## Riepilogo dei carichi di rottura dei muretti Prove a carico verticale

Tabella

Blocchi a facce piane	Carico di rottura kN	media kN
giunti continui verticali e orizzontali, blocchi bagnati	3385 - 2658 - 2890	2978
giunti continui verticali e orizzontali, blocchi asciutti	2451 - 2634 - 2567	2550
giunti con interruzione di 5 cm, blocchi bagnati	2219 - 2404 - 2526	2383
giunti con interruzione di 15 cm, blocchi bagnati	1446 - 1418 - 1299	1388
giunti solo orizzontali, con interruzione di 15 cm, blocchi bagnati	1373 - 1030 - 1318	1240
giunti solo orizzontali, con interruzione di 15 cm, blocchi asciutti	1021 - 1157 - 1076	1085

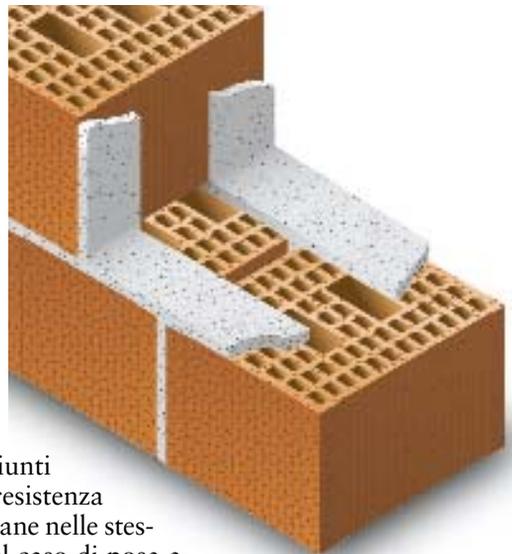
Tabella

Blocchi a incastro	Carico di rottura kN	media kN
giunti continui, blocchi bagnati	3385 - 2658 - 2890	2978
giunti continui, blocchi asciutti	2451 - 2634 - 2567	2550
giunti con interruzione di 15 cm, blocchi bagnati	2219 - 2404 - 2526	2383
giunti con interruzione di 15 cm, blocchi asciutti	1446 - 1418 - 1299	1388

Prendendo a riferimento il valore di resistenza del muro eseguito secondo le regole tradizionali, da questi dati si rileva che:

- la posa a blocchi asciutti provoca, nei blocchi a facce piane, una non trascurabile riduzione di resistenza (20%);
- l'interruzione dei giunti per 5 cm riduce la resistenza del 25%;
- l'interruzione del giunto per 15 cm riduce la resistenza del 54%;
- l'interruzione del giunto per 15 cm e l'assenza di giunti verticali riduce la resistenza del 58%;
- l'interruzione del giunto per 15 cm e l'assenza di giunti verticali, blocchi asciutti, riduce la resistenza del 64%.

L'impiego di blocchi a incastro, in opera con giunti continui e blocchi bagnati, porta a una minore resistenza del muro, rispetto all'impiego di blocchi a facce piane nelle stesse condizioni, del 13% circa, che sale al 20% nel caso di posa a blocchi asciutti. Muri realizzati con blocchi a incastro si comportano tuttavia meglio dei muri costruiti con blocchi a facce piane messi in opera senza giunto verticale. La resistenza, infatti, è superiore del 15% circa.



## Riepilogo dei carichi di rottura dei muretti Prove a compressione diagonale

Tabella

Blocchi a facce piane	Carico di rottura kN	media kN
giunti continui verticali e orizzontali, blocchi bagnati	441,5 - 451,2 - 316,6	403,1
giunti continui verticali e orizzontali, blocchi asciutti	248,4 - 336,7 - 226,3	270,5
giunti con interruzione di 5 cm, blocchi bagnati	386,3 - 379,4 - 400,1	388,6
giunti con interruzione di 15 cm, blocchi bagnati	331,2 - 328,5 - 350,7	336,8
giunti solo orizzontali, con interruzione di 15 cm, blocchi bagnati	83,6 - 108,0 - 115,4	102,3
giunti solo orizzontali, con interruzione di 15 cm, blocchi asciutti	46,9 - 34,5 - 51,1	44,3

Tabella

Blocchi a incastro	Carico di rottura kN	media kN
giunti continui, blocchi bagnati	142,1 - 174,5 - 176,6	164,4
giunti continui, blocchi asciutti	44,7 - 78,0 - 73,1	65,3
giunti con interruzione di 15 cm, blocchi bagnati	178,0 - 94,8 - 106,4	126,4
giunti con interruzione di 15 cm, blocchi asciutti	100,9 - 35,9 - 45,8	60,8

Nelle prove a compressione diagonale si evidenzia l'importanza del giunto verticale, anche se interrotto. È risultata inoltre essenziale la bagnatura dei blocchi: la superficie asciutta, riducendo l'aderenza calcestruzzo/laterizio, deprime fortemente il comportamento a taglio.

### Lo sfalsamento dei giunti verticali

I blocchi per murature strutturali (o portanti) devono essere posti in opera a fori verticali; quelli per murature di tamponamento vanno in opera generalmente a fori orizzontali. Non mancano tuttavia elementi con posa in opera a fori verticali.

Indipendentemente dal tipo di muratura che si vuole realizzare, i giunti verticali devono essere sempre opportunamente sfalsati.

Per blocchi di altezza minore o al più uguale a 25 cm, lo sfalsamento  $S$  dei giunti verticali deve essere:

$$S > 0,4 h > 40 \text{ mm}$$

dove  $h$  è l'altezza del mattone o blocco.

La sovrapposizione  $S$  deve quindi essere maggiore di 0,4 volte l'altezza dell'elemento ( $h$ ) e in ogni caso sempre maggiore di 40 mm (Eurocodice 6, Punto 8.1.4.1).

Pertanto, per un blocco di altezza di 20 cm la sovrapposizione dovrà essere non inferiore a 8 cm.

Dei giunti di malta si occupa diffusamente l'Eurocodice 6 *Progettazione di strutture di muratura-Parte 1-1*, che prevede, oltre alla posa tradizionale, sia il caso del letto di malta interrotto, sia il caso dei giunti verticali non riempiti (interrotti o a incastro).

Se non sono disponibili prove sperimentali, la resistenza caratteristica  $f_k$  delle murature va valutata applicando la formula prevista al punto 3.6.1.2:

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$$

Per malte tradizionali e posa in opera a giunti continui, verticali e orizzontali, la formula è:

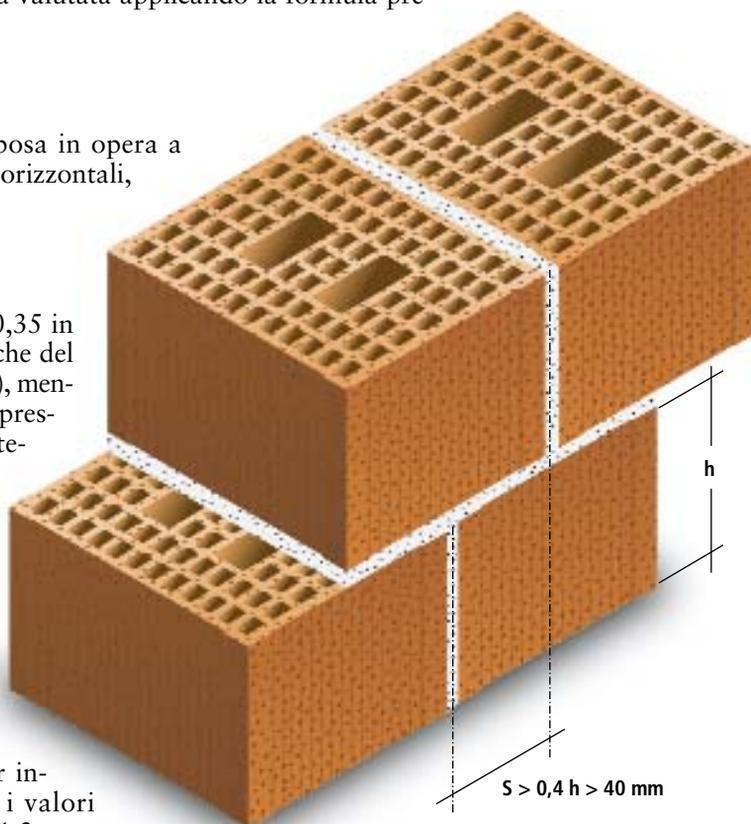
$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3}$$

K può variare da 0,55 a 0,35 in funzione delle caratteristiche del laterizio (Gruppo 1, 2, 3, 4), mentre  $f_b$  è la resistenza a compressione normalizzata del laterizio e  $f_m$  è la resistenza a compressione della malta, in  $N/mm^2$ .

La stessa formula può essere utilizzata per valutare la resistenza della muratura in presenza di giunti di malta interrotti.

In questo caso il valore di K può essere ricavato per interpolazione utilizzando i valori della tabella al punto 3.6.1.2.

Ad esempio, per blocchi del Gruppo 2, in opera con malta tradizionale, il valore K varierà da 0,45 ( $g/t = 1$  ovvero giunti non interrotti) a  $0,45/2=0,225$  per  $g/t = 0,4$  dove  $g$  è lo spessore totale delle strisce di malta e  $t$  è lo spessore del muro. Pertanto blocchi semipieni (Gruppo 2, volume dei fori compreso fra il 25 e il 45% del volume lordo del blocco, spessore del muro monostrato = 30 cm), con resistenza normalizzata pari a 15  $N/mm^2$  (valore di resistenza corretto con un coefficiente che tiene conto della forma del blocco), in opera a giunti continui verticali e orizzontali con una malta con resistenza di 8  $N/mm^2$ , possono assicurare una resistenza caratteristica a compressione della muratura di 5,6  $N/mm^2$ .



**I limiti per un corretto sfalsamento dei blocchi.**

Un muro realizzato con gli stessi blocchi, con la stessa malta, distesa però su due strisce parallele di 6 cm ognuna, fornisce soltanto  $2,8 \text{ N/mm}^2$ .

Nel caso il letto di malta sia continuo, ma i giunti verticali non siano riempiti, secondo l'Eurocodice non c'è riduzione della resistenza a compressione del muro, ma vanno attentamente valutate le sollecitazioni taglianti. In assenza di giunti verticali e con posa a giunti orizzontali continui la resistenza a taglio in assenza di carichi verticali  $f_{vk0}$  si riduce secondo il coefficiente 0,5; mentre con posa a giunti orizzontali interrotti si riduce secondo il rapporto  $g/t$  (larghezza totale delle due strisce di malta/spessore del muro), e nel caso prima esaminato, si riduce a  $6 + 6 / 30 = 0,4 f_{vk0}$ .

### L'intonaco

L'intonaco era un tempo considerato alla stregua di un materiale di usura; aveva il compito di proteggere la muratura dalle aggressioni climatiche e veniva periodicamente rinnovato.

Oggi deve ancora proteggere la muratura, ma, soprattutto per l'elevato costo della manodopera e delle attrezzature di cantiere, deve durare il più a lungo possibile, senza cavillature e senza screpolature.

Perché questo avvenga, è necessario che l'esecuzione sia molto accurata.

Secondo i magisteri tradizionali, gli intonaci devono essere realizzati in due, o meglio, tre strati successivi, di cui il primo con funzione di aggrappaggio (rinzaffo), il secondo per realizzare l'opportuno spessore (corpo o arriccio), e il terzo per la finitura (stabilitura).

Il rinzaffo, fatto con inerti a granulometria più grossa e con elevato dosaggio di leganti, regolarizza il supporto e lo prepara in modo da assicurare buona aderenza agli strati successivi. Nel secondo strato, con prevalenti funzioni di tenuta e di impermeabilità, il minore dosaggio di leganti consente di limitare il ritiro.

Il terzo strato ha funzione estetica di finitura; si usa sabbia fine, calce e cemento.

Il secondo strato deve essere dato su di un rinzaffo di sufficiente maturazione, quando cioè abbia espresso la maggior parte del ritiro, mentre la finitura deve essere data possibilmente sul corpo ancora fresco, così da creare uno stabile collegamento.

In seguito è necessaria una accurata bagnatura, per evitare che il laterizio assorba l'acqua di impasto dell'intonaco, con rischio di distacco ovvero, più spesso, con formazione di crepe da ritiro per eccessiva rapidità di asciugatura.

Oltre alla preventiva e indispensabile bagnatura della parete, sono particolarmente importanti le condizioni ambientali al momento dell'intonacatura: pareti eccessivamente calde, soleggiate o battute

dal vento e bassa umidità relativa dell'aria (il ritiro aumenta sensibilmente al diminuire dell'umidità ambiente) non sono certo condizioni ideali per eseguire buone intonacature.

Queste cure devono essere applicate anche e soprattutto alle pareti realizzate in laterizio alveolato in quanto questo laterizio può avere un assorbimento d'acqua superiore di qualche punto percentuale a quello del laterizio normale.

Se poi un intonaco, anche applicato secondo ogni magistero, viene tinteggiato prima che abbia completato la sua naturale maturazione e quindi esaurita tutta la fase di ritiro idraulico e di buona parte del ritiro di indurimento, le microcavillature, prevedibili in funzione della natura stessa dell'impasto dell'intonaco, compariranno inevitabilmente sulla superficie tinteggiata.

Per contenere le cavillature sugli intonaci è quindi necessario:

- costruire la muratura con giunti di malta verticali e orizzontali ben costipati, senza vuoti o rientranze rispetto ai blocchi;

- bagnare il muro prima delle operazioni di intonacatura;

- porre particolare attenzione alle condizioni termoigrometriche evitando di operare con temperature troppo elevate, vento, umidità ambiente troppo bassa (le condizioni ideali sono quelle comprese fra 5 e 20 °C, con umidità relativa  $U_r$  pari al 50% circa);

- realizzare l'intonaco almeno a due strati;

- consentire la maturazione dello strato di rinzaffo prima di posare lo strato di corpo e finitura;

- bagnare l'intonaco per qualche giorno;

- tinteggiare solo a indurimento avvenuto.

La posa di un intonaco premiscelato, poiché riassume in un unico strato più prestazioni e poiché riduce, anche notevolmente, i tempi di esecuzione, richiede specifiche indicazioni. Una possibile soluzione può essere l'aumento dello spessore, fino anche a 3-4 cm, inserendo eventualmente una rete di aggrappaggio.



Tuttavia esaminando la documentazione recente delle ditte produttrici più affidabili, appare ormai diffuso il suggerimento di realizzare un rinzaffo, a mano o a macchina, successivamente un intonaco di sottofondo e quindi un intonaco di finitura.

Nel caso si esegua un intonaco in un solo strato, tradizionale o premiscelato, vanno tenute presenti alcune valutazioni.

Gli intonaci hanno generalmente una conducibilità termica più elevata rispetto a quella del supporto in laterizio e una capacità termica, seppure unitariamente rilevante, tuttavia modesta a causa del basso spessore applicato.

Di conseguenza raggiungono rapidamente temperature elevate a differenza del supporto che rimane più freddo, grazie all'inerzia termica e allo sfasamento dell'onda termica dovuto alla massa.

L'intonaco subisce quindi uno shock termico che porta alla formazione di cavillature, che possono concentrarsi sia sulla faccia dei blocchi che, più frequentemente se non sono ben costipati, in corrispondenza dei giunti fra blocco e blocco. Infatti se il giunto verticale di malta è arretrato, o se addirittura manca, si crea un "ponte" di intonaco sul quale si concentrano le sollecitazioni di ritiro. Se, al contrario, l'intonaco riempie cavità presenti sul muro per sbrecciature dei blocchi o per giunti fuori misura ecc, il diverso spessore fa sì che la superficie esterna dell'intonaco si asciughi, e quindi ritiri più rapidamente della massa contenuta nella cavità, dando origine, anche in questo caso, a cavillature.

Probabilmente in cantiere non è mai stato fatto un rilievo accurato né tanto meno si sono seguite le lavorazioni del muro e dell'intonaco allo scopo di individuare le cause alle quali poter far risalire i difetti.

Per questo, l'Istituto Edile di Bologna e il Consorzio Alveolater® hanno attivato una sperimentazione, realizzando muri e intonaci e simulando i metodi esecutivi tradizionali e metodi affrettati e approssimativi, purtroppo possibili sui cantieri. Questo per capire se i difetti degli intonaci possano essere evitati con semplici attenzioni esecutive, indipendentemente dai tipi di intonaco usati e dalle caratteristiche del laterizio impiegato.

Si sono confrontati sei muri di riferimento con ventitré muri di prova, tutti di altezza di m 1,60 e con base di m 1,50.

La muratura delle pareti di riferimento, in mattoni UNI a due teste e in blocchi alleggeriti in pasta con spessore di 30 cm, è stata eseguita con giunti di malta verticali e orizzontali ben costipati, senza vuoti o rientranze, in modo da garantire le presumibili condizioni ideali per l'intonaco.

Nell'intonaco tradizionale a tre strati, sul rinzaffo eseguito da due giorni è stato steso il "corpo" e nella stessa giornata sul corpo è stato fatto il terzo strato di finitura, eseguito con sabbia fine, calce e cemento.

Le pareti prima, e successivamente il rinzaffo, sono state accuratamente bagnate per evitare l'assorbimento da parte del suppor-

to dell'acqua di impasto dell'intonaco e quindi ridurre il rischio della formazione di crepe per eccessiva rapidità di asciugatura.

I muri di prova sono stati costruiti tutti in laterizio alveolato, impiegando blocchi asciutti, a facce piane e a incastro, con giunti di malta interrotti e mal costipati e sottoponendoli a intonaci monostrato, in opera e premiscelati.

In un caso l'intonaco è stato realizzato in modo tradizionale, a tre strati, ma senza bagnare il supporto. In una serie di muri di prova si è applicato un intonaco fibrorinforzato, allo scopo di contrastare il ritiro mediante fibre di polipropilene di dimensioni di circa 1 cm, ritenendo che questo intonaco, relativamente nuovo, possa costituire una proposta adeguata alle nuove esigenze dei cantieri, in grado in altre parole di adattarsi e di ben sopportare, grazie alle caratteristiche innovative, l'accelerazione dei cicli costruttivi.

Si sono rilevate anche le condizioni termoigrometriche al momento dell'intonacatura.

In sintesi, si è operato con muri di riferimento, eseguiti a regola d'arte, e muri di prova rappresentativi di alcuni possibili errori di cantiere.

Le variabili sono state:

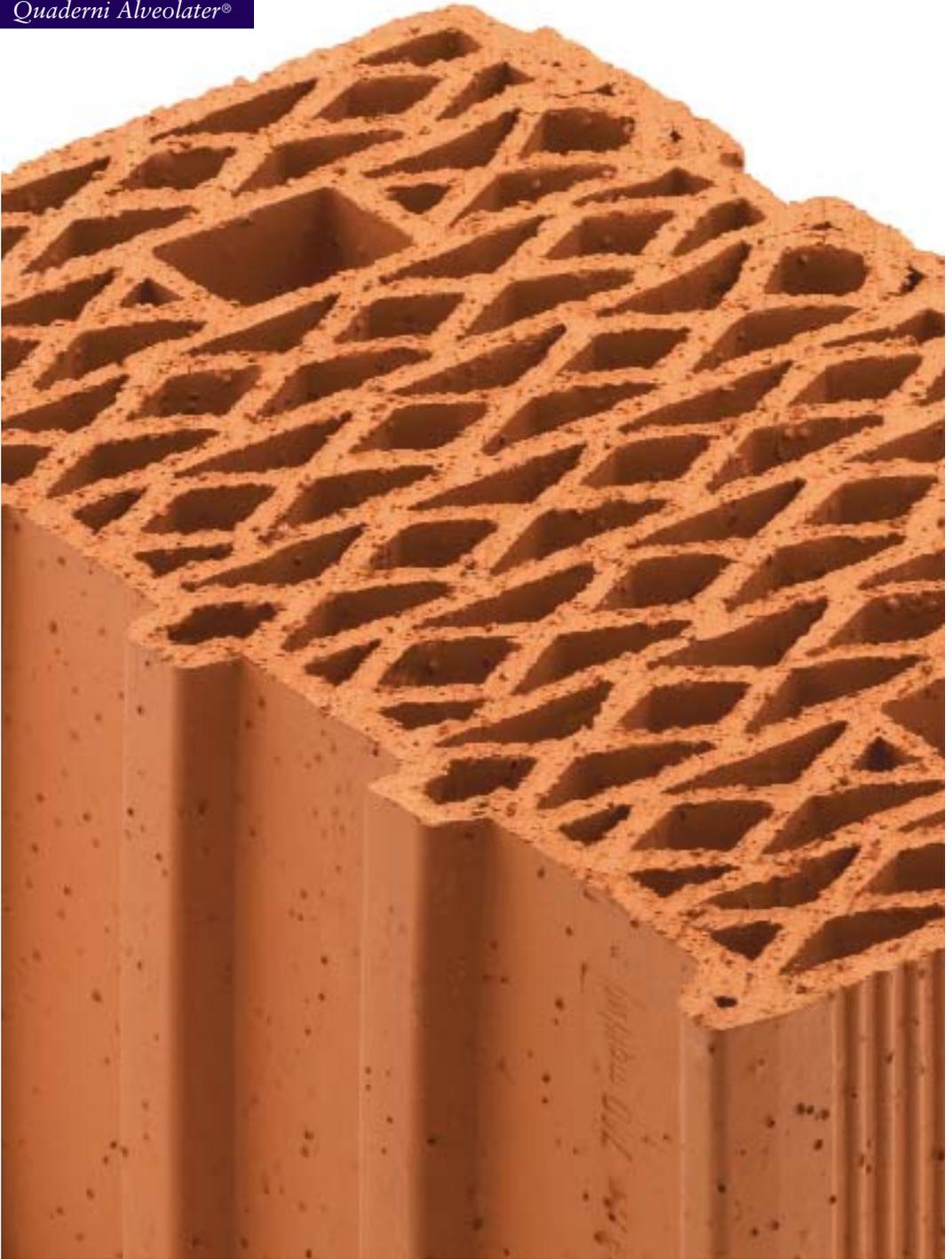
- laterizio normale o alveolato;
- mattoni 12 x 25x 5,5 e blocchi alveolati 30 x 25 x 19;
- confezione del muro molto accurata o grossolana;
- intonacatura in tre strati o in un solo strato;
- supporto bagnato o non bagnato;
- intonaco mantenuto bagnato o meno;
- intonaco confezionato a mano o preconfezionato (anche fibrorinforzato).

Si è riscontrato che intonaci monostrato, ad alto dosaggio di cemento, messi in opera senza la preventiva bagnatura del supporto, e non bagnati dopo la posa, manifestano in tempi brevi un diffuso insorgere di cavillature. Intonaci a tre strati, anche posati senza bagnatura del muro, ma mantenuti successivamente umidi, hanno dato un ottimo risultato.

Ugualmente bene si è comportato un intonaco monostrato a granulometria abbastanza grossolana.

L'intonaco premiscelato ha dato complessivamente un risultato soddisfacente; con l'intonaco premiscelato fibrorinforzato è stato possibile intonacare su supporto asciutto (e senza bagnatura successiva dell'intonaco) limitando quasi completamente l'insorgere di cavillature. Allo stato attuale sembra quindi che possa essere considerato un materiale compatibile con le nuove esigenze di cantiere.

Nel corso delle sperimentazioni si è riscontrato che il laterizio alveolato, intonacato in modo tradizionale, si è comportato allo stesso modo, se non meglio, dei muretti in mattoni pieni UNI, in ambiente libero e sotto le stesse condizioni termoigrometriche.



## Confronto economico fra diverse soluzioni strutturali

Un confronto economico fra le varie soluzioni possibili (muratura portante ordinaria, muratura armata, struttura in cemento armato con tamponamento monostrato, con tamponamento a doppio strato e con tamponamento a doppio strato con mattoni faccia a vista), valorizzando le parti che differenziano le varie soluzioni, senza invece conteggiare alcune opere comuni (ad esempio le fondazioni, il coperto ecc.), e facendo riferimento a prezzi di mercato, mostra che la soluzione in muratura portante risulta essere la soluzione

più economica, seguita dalla soluzione in muratura armata (+4,7%), dalla struttura intelaiata con tamponamento monostrato (+13,7%), dalla struttura intelaiata con tamponamento a doppio strato (+16%) e infine dalla soluzione in muratura portante con rivestimento faccia a vista (+28%).

Questi risultati sono stati ottenuti utilizzando la procedura di valutazione presente nel CD-ROM edito dal Consorzio Alveolater® *Guida alla progettazione* analizzando il progetto di un edificio residenziale composto da due unità abitative indipendenti, a due piani con una superficie in pianta di 150 metri quadrati circa. Naturalmente la valutazione ha valore per il progetto esaminato, ma fornisce un'utile indicazione sulle soluzioni adottabili. L'architetto Elisabetta Palumbo, autrice di questo confronto, pubblicato su *Costruire in laterizio* n. 109/2006, ha successivamente valutato l'incidenza economica degli interventi di manutenzione preventiva con riferimento la *Manuale di manutenzione edilizia* (R. Di Giulio, Maggioli editore). Gli interventi sono stati calcolati nell'arco di trent'anni.

Sono risultati più elevati i costi di manutenzione delle soluzioni con rivestimento a intonaco rispetto alle soluzioni faccia a vista per circa il 16%. Infatti il costo annuo è rispettivamente di 4.420,00 € e di 3.690,00 €, con un risparmio complessivo nel periodo esaminato di 21.800,00 € circa.

La stessa analisi è stata fatta per i consumi energetici, limitatamente alle dispersioni attraverso le sole superfici opache esterne e ai soli consumi per riscaldamento e condizionamento, utilizzando le indicazioni di M. Baldini *Modelli di valutazione economica, ambientale e sociale delle costruzioni*.



*L'edificio residenziale tipo su cui sono stati effettuati i confronti fra i diversi sistemi costruttivi.*

Con un utilizzo dei dispositivi di condizionamento/riscaldamento per 1.080 ore/anno, con una differenza di temperatura fra esterno e interno di 20°C e sulla base di un costo dell'energia di 0,15 €/kWh, le strutture con telaio in calcestruzzo armato, in assenza di correzione dei ponti termici, sono risultate le più dispendenti con un costo per m<sup>3</sup> di 1.453,00 €/anno, che scende a 1.348,00 €/anno per il tamponamento a doppio strato con isolante. Decisamente più vantaggiose sono risultate le strutture in muratura: 589,00 €/anno (-59,5%) per la muratura armata; 574,00

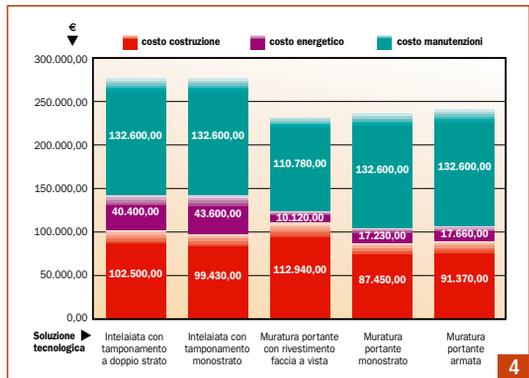
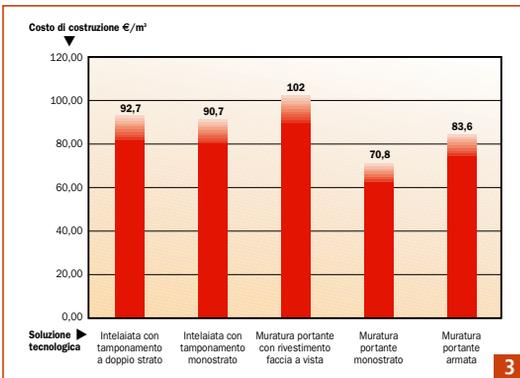
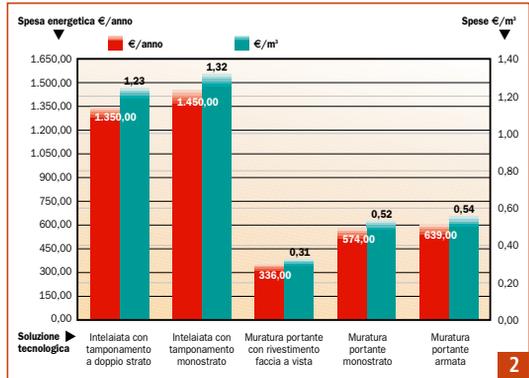
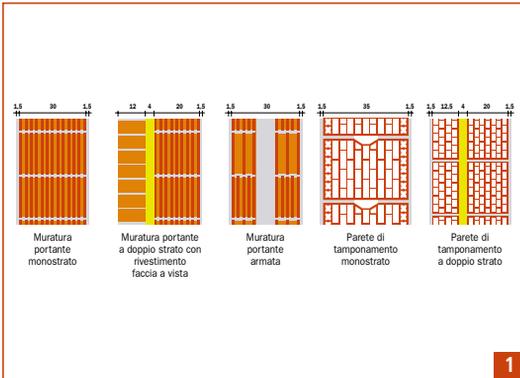


Grafico 1: tipologie di pareti esaminate.

Grafico 2: costo di costruzione.

Grafico 3: consumi energetici dell'edificio nelle diverse soluzioni tecniche.

Grafico 4: confronto tra costi di costruzione, consumi energetici e manutenzione.

€/anno (-60%) per la muratura monostrato e 337 €/anno (76,8%) per la muratura portante con rivestimento faccia a vista con isolante.

I dati economici sono stati riferiti a prezzi e tariffe attuali. Poiché nel corso degli anni i prezzi certamente continueranno a salire seguendo quantomeno l'inflazione, i risparmi ottenuti sulle spese di gestione tenderanno a essere maggiori rispetto ai valori qui riportati.

Un'ulteriore valutazione potrebbe essere fatta sulla struttura in muratura armata con rivestimento faccia a vista, che, garantendo la massima protezione sismica associata a risparmi di gestione, potrebbe effettivamente costituire la soluzione ottimale.

# I LATERIZI ALVEOLATER®, ALVEOLATER® BIO E PERLATER®

Quaderni Alveolater®

## Alveolater® e Alveolater® Bio classi 45 e 50/55

Blocchi per murature portanti e/o per tamponamenti a elevata inerzia termica

### Descrizione

I blocchi Alveolater® sono da sempre prodotti utilizzando come materiali di alleggerimento dell'argilla sia sfere di polistirolo espanso, sia altri materiali combustibili, quali farina di legno, segatura, lolla di riso e, in passato, sansa di olive.

Solo recentemente, per dare maggiore visibilità ai prodotti che impiegano materiali combustibili rinnovabili, è stato introdotto il marchio Alveolater®Bio.

Anche i laterizi Alveolater®Bio, come i classici Alveolater®, sono suddivisi in classi.

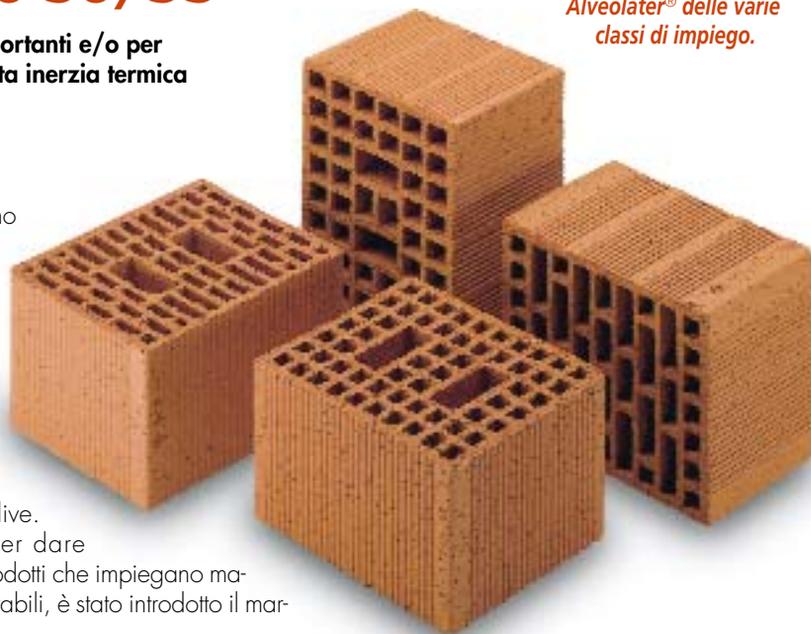
La classe 45 raggruppa gli elementi semipieni per murature portanti e per muratura armata. Le classi 50 e 55 raggruppano invece gli elementi forati strutturali impiegabili per la realizzazione di murature portanti nelle zone a bassa sismicità, laddove sia consentita la progettazione non sismica, e per murature di tamponamento a elevata inerzia termica.

La percentuale di foratura degli elementi di classe 45 non supera il 45% e la massa volumica apparente del laterizio è di circa 800 kg/m<sup>3</sup>.

Gli elementi di classe 50 e 55 hanno percentuale di foratura massima pari al 50 e al 55% con massa volumica apparente rispettivamente di 750 e 700 kg/m<sup>3</sup> circa.

Naturalmente, per valutare con esattezza il peso della muratura, senza intonaco, si deve valutare sia l'effettiva massa volumica del laterizio in esame, sia l'incidenza della malta di allettamento. Valori attendibili oscillano fra 880 e 980 kg/m<sup>3</sup> per le murature in blocchi semipieni; fra 830

Gruppo di blocchi  
Alveolater® delle varie  
classi di impiego.



 **alveolater®**  
Laterizi ad alte prestazioni

 **alveolater®**  
*Bio*  
Come bioedilizia comanda

## Quaderni Alveolater®



Laterizi ad alte prestazioni



Come bioedilizia comanda

e 920 kg/m<sup>3</sup> per le murature in blocchi forati al 50%; fra 760 e 840 kg/m<sup>3</sup> per le murature in blocchi forati al 55%.

Un vantaggio non trascurabile nell'impiego di una parete monostrato interamente in laterizio si ha anche nel caso di parziale o totale demolizione delle murature. I rottami di laterizio possono essere impiegati come sottofondo stradale. Nel caso di conferimento in discarica, non richiedono particolari autorizzazioni, indispensabili invece nel caso di rottami misti a residui di altra natura.

## Dati di riferimento blocchi Alveolater® e Alveolater®Bio 45 e 50/55.

Classe	45	50/55
Murature realizzabili	Portanti in zone di qualunque grado di sismicità (1, 2, 3 o 4)	Portanti, qualora consentito, in zone a bassa sismicità o per tamponamenti a elevata inerzia termica
Foratura (%)	40 ÷ 45	45 ÷ 55
Massa volumica (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	800 ÷ 870	650 ÷ 800
Classificazione dei blocchi secondo norma UNI 8942/1 <sup>(*)</sup>	BSA 11-31 <sup>(2)</sup>	BSB 11-31 <sup>(2)</sup>
Classificazione secondo UNI EN 771-1 <sup>(**)</sup>	LD	LD
<b>Resistenza meccanica dei blocchi<sup>(3)</sup></b>		
Resistenza a compressione nella direzione dei carichi verticali (f <sub>bk</sub> )	12 N/mm <sup>2</sup>	9 ÷ 10 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione nella direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della muratura (f' <sub>bk</sub> )	2 N/mm <sup>2</sup>	1,5 ÷ 1,8 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di variazione δ	< 0,20	< 0,20
<b>Resistenza meccanica della muratura<sup>(3)</sup></b>		
Resistenza caratteristica a compressione <sup>(4)</sup> (f <sub>k</sub> )	5 N/mm <sup>2</sup>	3,5 ÷ 4,5 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a taglio in assenza di carichi verticali <sup>(4)</sup> (f <sub>vk0</sub> )	0,25 N/mm <sup>2</sup>	0,15 ÷ 0,20 N/mm <sup>2</sup>
<b>Caratteristiche termiche, acustiche e di resistenza al fuoco</b>		
Trasmittanza <sup>(5)</sup> (W/m <sup>2</sup> K) <sup>(***)</sup>	0,60 ÷ 0,65	0,55 ÷ 0,60
Conduttività termica equivalente (W/mK) <sup>(***)</sup>	0,24 ÷ 0,26	0,22 ÷ 0,24
Potere fonoisolante della muratura <sup>(6)</sup> (dB)	>53	>50
Resistenza al fuoco <sup>(7)</sup> (REI)	180	180

(\*) La norma UNI 8942 è stata ritirata nel maggio 2005. (\*\*) Elementi a bassa densità (Low Density), con massa volumica apparente inferiore a 1.000 kg/m<sup>3</sup>. (\*\*\*) Valori di calcolo secondo UNI EN 1745.

NOTE: (1) Valutata per una massa volumica indicativa dell'impasto cotto di 1.450 kg/m<sup>3</sup>. (2) Blocchi con giacitura a fori verticali. (3) Resistenza caratteristica secondo il D.M. 20 novembre 1987. (4) Muretti confezionati con malta di resistenza caratteristica di 5 N/mm<sup>2</sup>. (5) Valore di riferimento per una muratura di 35 cm di spessore con intonaco civile di 15 mm su entrambe le facce. (6) Indice di valutazione a 500 Hz. Valore di riferimento per una muratura di 35 cm di spessore con intonaco civile di 15 mm su entrambe le facce. (7) Valore assegnato a murature in blocchi di classe 45 soggette a carico di esercizio a partire dallo spessore di 20 cm più intonaco.

## Approfondimento

### Isolamento termico

L'isolamento termico è dovuto alla presenza di cavità, tra loro non comunicanti, di diametro massimo non superiore a 2,5 mm, ottenute miscelando all'argilla granuli di polistirolo.

Analoghe prestazioni si possono ottenere utilizzando farina di legno. In entrambi i casi questi materiali, combustibili, durante la cottura bruciano senza residui, lasciando vuota la sede prima occupata. La terra cotta in questo modo è più leggera e la sua conduttività termica è minore.

Contribuisce alla capacità di isolamento dei blocchi anche il disegno della foratura, che dev'essere caratterizzato da un elevato numero di file di fori disposte perpendicolarmente alla direzione del flusso termico (e quindi con fori molto stretti) per impedire moti convettivi dell'aria all'interno del blocco o della muratura.

Le caratteristiche del disegno e della materia prima portano a un isolamento termico di durata praticamente illimitata, tale da ridurre i consumi energetici per il riscaldamento e per il condizionamento per tutta la vita della casa.

### Isolamento acustico

Le pareti monostrato in blocchi strutturali forniscono un eccellente isolamento dai suoni caratterizzati da un elevato contenuto di basse frequenze e quindi sono ideali per proteggere dai rumori del traffico stradale, e possono così assicurare il rispetto del livello di isolamento prescritto dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997 Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.

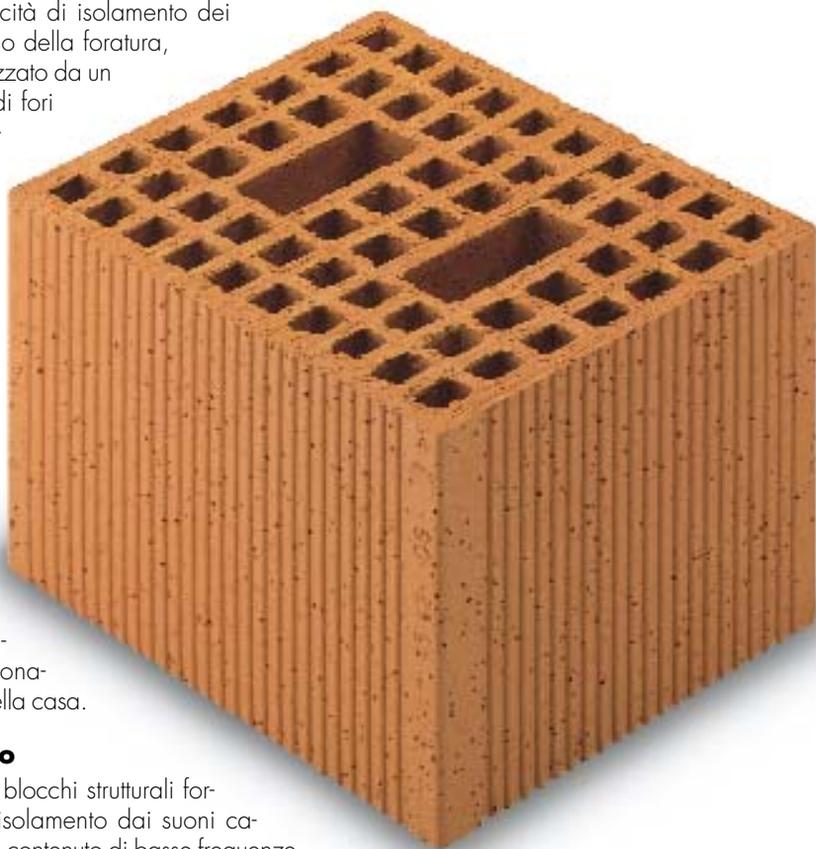
### Protezione dal fuoco

Le pareti intonacate in blocchi semipieni, sottoposte a carico di esercizio, assicurano la massima protezione prevista dalla normativa vigente

Quaderni Alveolater®

 **alveolater**  
Laterizi ad alte prestazioni

 **alveolater**  
*Bio*  
Come bioedilizia comanda



**Blocco Alveolater® classe 45.**

## Quaderni Alveolater®

 **alveolater**  
Laterizi ad alte prestazioni

 **alveolater**  
*bio*  
Come bioedilizia comanda

(Resistenza al fuoco Classe REI 180) già con blocchi di spessore di 20 cm. In assenza di carico (parete tagliafuoco) la classificazione REI 180 si ottiene con pareti intonacate costruite con elementi semipieni di spessore cm 12.

In caso di incendio, i blocchi non partecipano alla combustione e, senza obbligo di prova di combustibilità, a essi va attribuita la Classe di Reazione al Fuoco "0" (zero) secondo il D.M. 14 gennaio 1985, ovvero A1 secondo la codifica europea prevista del Decreto 10 marzo 2005.

## Dati di riferimento blocchi Alveolater® e Alveolater®Bio classe 60.

Classe	60	
Murature realizzabili	Tamponamenti, contropareti non portanti, divisori	
Foratura (%)	55 ÷ 70	
Massa volumica <sup>(1)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	450 ÷ 650	
Disposizione del blocco in opera	a fori verticali	a fori orizzontali
Classificazione dei blocchi secondo norma UNI 8942/1 <sup>(*)</sup>	BF 11-31 <sup>(2)</sup>	BF 00-31 <sup>(3)</sup>
Classificazione secondo UNI EN 771-1 <sup>(**)</sup>	LD	LD
Resistenza meccanica dei blocchi <sup>(4)</sup>		
Resistenza a compressione nella direzione dei carichi verticali ( $f_{bk}$ )	9 N/mm <sup>2</sup>	2,5 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione nella direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della muratura ( $f'_{bk}$ )	1,5 N/mm <sup>2</sup>	7 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di variazione $\delta$	< 0,20	< 0,20
Resistenza meccanica della muratura <sup>(4)</sup>		
Resistenza caratteristica a compressione <sup>(5)</sup> ( $f_k$ )	2,5 N/mm <sup>2</sup>	1,0 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a taglio in assenza di carichi verticali <sup>(5)</sup> ( $f_{vk0}$ )	0,15 N/mm <sup>2</sup>	0,15 N/mm <sup>2</sup>
Caratteristiche termiche, acustiche e di resistenza al fuoco		
Trasmittanza <sup>(6)</sup> (W/m <sup>2</sup> K) <sup>(***)</sup>	0,53 ÷ 0,55	
Conduttività termica equivalente (W/mK) <sup>(***)</sup>	0,21 ÷ 0,22	
Potere fonoisolante della muratura <sup>(7)</sup> (dB)	48	49
Resistenza al fuoco <sup>(8)</sup> (EI)	180	

(\*) La norma UNI 8942 è stata ritirata nel maggio 2005. (\*\*) Elementi a bassa densità (Low Density), con massa volumica apparente inferiore a 1.000 kg/m<sup>3</sup>. (\*\*\*) Valori di calcolo secondo UNI EN 1745.

NOTE: (1) Valutata per una massa volumica indicativa dell'impasto cotto di 1.450 kg/m<sup>3</sup>. (2) Blocchi con giacitura a fori verticali. (3) Blocchi con giacitura a fori orizzontali. (4) Resistenza caratteristica secondo il D.M. 20 novembre 1987. (5) Muretti confezionati con malta di resistenza caratteristica di 5 N/mm<sup>2</sup>. (6) Valore di riferimento per una muratura di 35 cm di spessore con intonaco civile di 15 mm su entrambe le facce. (7) Indice di valutazione a 500 Hz. Valore di riferimento per una muratura di 35 cm di spessore con intonaco civile di 15 mm su entrambe le facce. (8) Valore assegnato a murature in blocchi di classe 45 soggette a carico di esercizio a partire dallo spessore di 20 cm più intonaco.

## Alveolater® e Alveolater®Bio classe 60

Blocchi per murature di tamponamento

### Descrizione

Le pareti monostrato in laterizio di Classe 60, se ben dimensionate, non richiedono l'aggiunta materiali isolanti artificiali; lasciano traspirare il vapore prodotto all'interno delle abitazioni, non danno problemi di condensazione e, per l'inerzia termica che le caratterizza, mantengono sempre alla giusta temperatura la superficie interna dei muri. I blocchi di Classe 60 possono ovviamente

essere impiegati anche per la realizzazione di pareti a doppio strato, con o senza isolante interposto.

La percentuale di foratura è compresa fra il 55 e il 70%, e la massa volumica apparente del laterizio è variabile da 450 a 650 kg/m<sup>3</sup> circa. Poiché i limiti di percentuale di foratura sono molto ampi, anche la massa volumica della muratura può variare sensibilmente. Indicativamente il peso a metro cubo, con esclusione dell'intonaco, può variare da 580 a 800 kg/m<sup>3</sup>.

### Approfondimento

#### Protezione dal fuoco

Le pareti intonacate in blocchi forati per tamponamento assicurano una resistenza al fuoco di classe EI 180 già con blocchi di spessore di 15 cm. In caso di incendio, i blocchi non partecipano alla combustione e, senza obbligo di prova di combustibilità, a essi va attribuita la Classe di Reazione al Fuoco "0" (zero) secondo il D.M. 14 gennaio 1985, ovvero A1 secondo la codifica europea prevista del Decreto 10 marzo 2005.

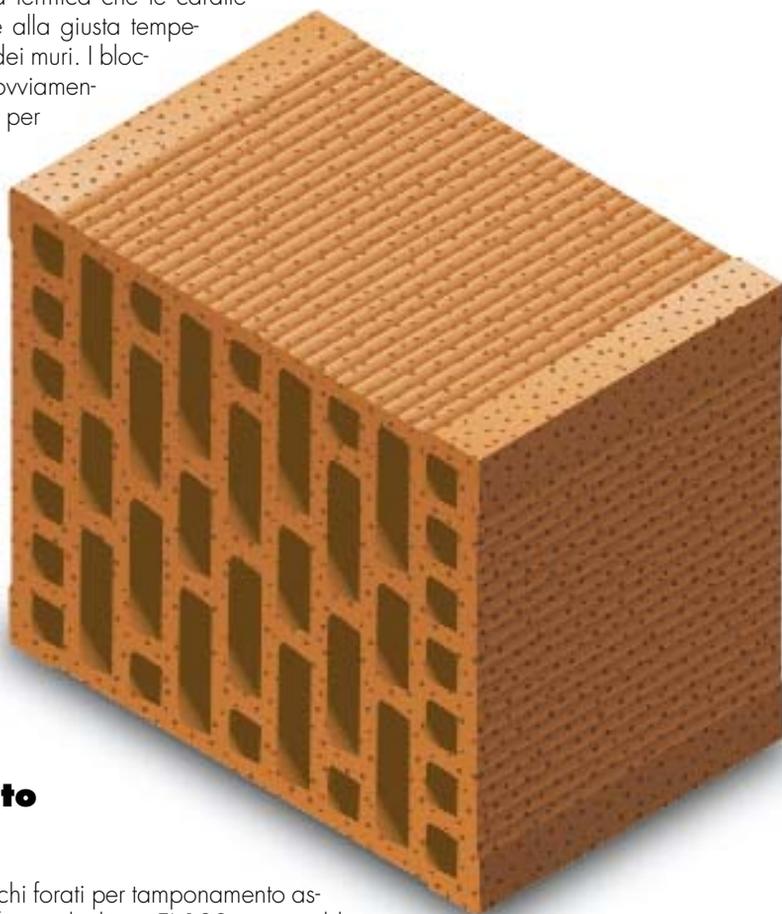
Quaderni Alveolater®

**alveolater**

*Laterizi ad alte prestazioni*

**alveolater**

*bio*  
*Come bioedilizia comanda*



**Blocco Alveolater® classe 60.**

Quaderni Alveolater®



## Perlater® classi S e P

**Blocchi per murature portanti e/o per tamponamenti a elevata inerzia termica.**

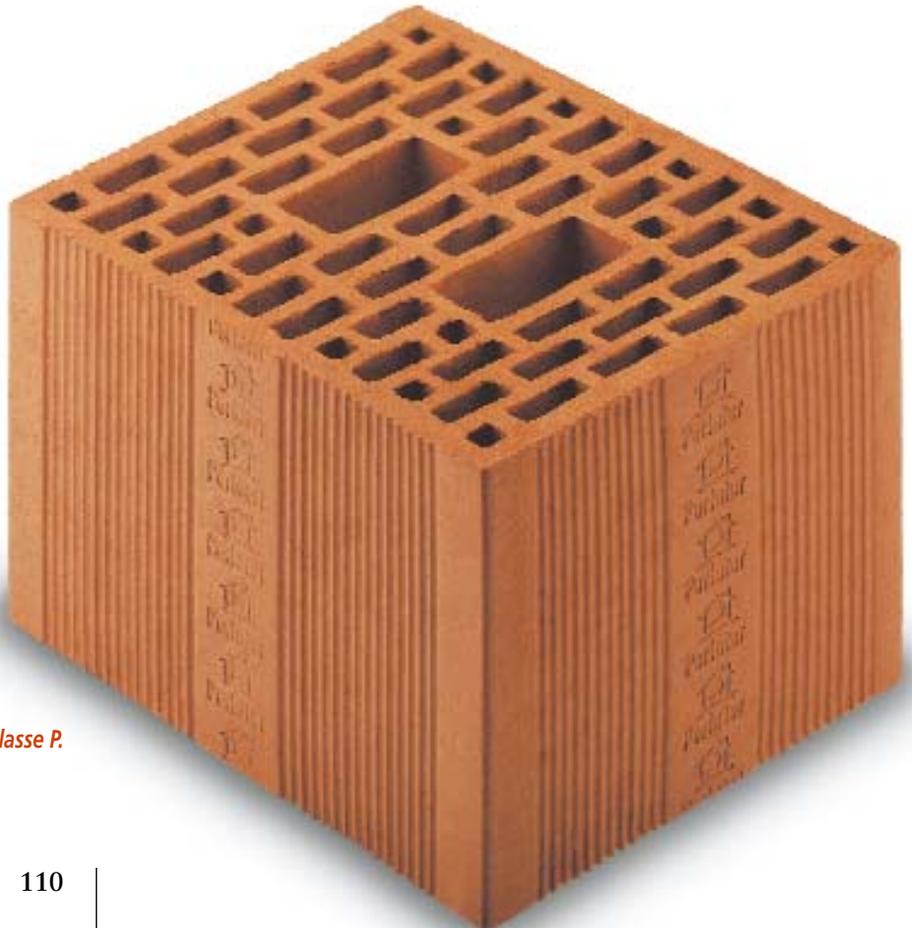
### Descrizione

I blocchi Perlater® sono prodotti miscelando argilla e perlite, materie prime di origine minerale perfettamente compatibili e di analoga composizione chimica.

La perlite, materiale inorganico, non subisce nessuna trasformazione durante la cottura: per questo Perlater® rispetta l'ambiente durante il processo produttivo, senza necessità di ricorrere a complessi impianti di trattamento dei fumi.

La classe S raggruppa gli elementi semipieni per murature portanti, secondo le indicazioni della norma tecnica allegata all'Ordinanza 3274 della Protezione Civile.

La classe P raggruppa invece gli elementi forati strutturali impiegabili per la realizzazione di murature portanti nelle zone a bassa sismicità, laddove



**Blocco Perlater® classe P.**

le Regioni consentano la progettazione non sismica, ovvero per murature ad elevata inerzia termica.

La percentuale di foratura degli elementi di classe S non supera il 45% e la massa volumica apparente è di circa 850 kg/m<sup>3</sup>.

### Dati di riferimento blocchi Perlater® S e P.

Classe	S	P
Murature realizzabili	Portanti in zone di qualunque grado di sismicità (1, 2, 3 o 4)	Portanti, qualora consentito, in zona 4 o per tamponamenti a elevata inerzia termica
Foratura (%)	40 ÷ 45	45 ÷ 55
Massa volumica (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	825 ÷ 900	675 ÷ 825
Classificazione dei blocchi secondo norma UNI 8942/1 <sup>(*)</sup>	BSA 11-21 <sup>(2)</sup>	BSB 11-21 <sup>(2)</sup>
Classificazione secondo UNI EN 771-1 <sup>(***)</sup>	LD	LD
<b>Resistenza meccanica dei blocchi<sup>(3)</sup></b>		
Resistenza a compressione nella direzione dei carichi verticali (f <sub>bk</sub> )	15 N/mm <sup>2</sup>	13 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione nelladirezione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della muratura (f' <sub>bk</sub> )	2 N/mm <sup>2</sup>	-
Coefficiente di variazione δ	< 0,20	< 0,20
<b>Resistenza meccanica della muratura<sup>(3)</sup></b>		
Resistenza caratteristica a compressione <sup>(4)</sup> (f <sub>k</sub> )	7 N/mm <sup>2</sup>	5 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a taglio in assenza di carichi verticali <sup>(4)</sup> (f <sub>vk0</sub> )	0,30 N/mm <sup>2</sup>	0,20 N/mm <sup>2</sup>
<b>Caratteristiche termiche, acustiche e di resistenza al fuoco</b>		
Trasmittanza <sup>(5)</sup> (W/m <sup>2</sup> K) <sup>(***)</sup>	0,62 ÷ 0,67	0,57 ÷ 0,65
Conduttività termica equivalente (W/mK) <sup>(***)</sup>	0,25 ÷ 0,27	0,23 ÷ 0,26
Potere fonoisolante della muratura <sup>(6)</sup> (dB)	>53	>50
Resistenza al fuoco <sup>(7)</sup> (REI)	180	180

(\*) La norma UNI 8942 è stata ritirata nel maggio 2005. (\*\*) Elementi a bassa densità (Low Density), con massa volumica apparente inferiore a 1.000 kg/m<sup>3</sup>. (\*\*\*) Valori di calcolo secondo UNI EN 1745.

NOTE: (1) Valutata per una massa volumica indicativa dell'impasto cotto di 1.500 kg/m<sup>3</sup>. (2) Blocchi con giacitura a fori verticali. (3) Resistenza caratteristica secondo il D.M. 20 novembre 1987. (4) Muretti confezionati con malta di resistenza caratteristica di 5 N/mm<sup>2</sup>. (5) Valore di riferimento per una muratura di 35 cm di spessore con intonaco civile di 15 mm su entrambe le facce. (6) Indice di valutazione a 500 Hz. Valore di riferimento per una muratura di 35 cm di spessore con intonaco civile di 15 mm su entrambe le facce. (7) Valore assegnato a murature in blocchi di classe 45 soggette a carico di esercizio a partire dallo spessore di 20 cm più intonaco.

Gli elementi di classe P hanno percentuale di foratura massima del 55% con massa volumica apparente variabile in funzione della percentuale di foratura e compresa fra 825 e 675 kg/m<sup>3</sup>.

## Quaderni Alveolater®



La perlite impiegata per la produzione dei blocchi Perlater®.

Il peso della muratura, senza intonaco, oscilla fra 900 e 1.000 kg/m<sup>3</sup> per le murature in blocchi semipieni; fra 860 e 950 kg/m<sup>3</sup> per le murature in blocchi forati al 50%; fra 790 e 870 kg/m<sup>3</sup> per le murature in blocchi forati al 55%.

## Approfondimento

I blocchi Perlater® possiedono caratteristiche meccaniche superiori rispetto a quelle dei classici elementi in laterizio alveolato. Infatti, l'intima miscelazione della perlite con la matrice argillosa e la sua inalterabilità nel corso della produzione dei blocchi determinano la sostanziale conservazione delle caratteristiche di resistenza meccanica del laterizio non alleggerito. La resistenza è pertanto superiore rispetto a quella di elementi di uguale geometria e prodotti con la stessa argilla, ma alleggeriti con polistirolo o altri materiali organici.

### Dati di riferimento blocchi Perlater® T.

Classe	T
Murature realizzabili	Tamponamenti, contropareti non portanti, divisori
Foratura (%)	55 ÷ 70
Massa volumica <sup>(1)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	450 ÷ 675
Classificazione dei blocchi secondo norma UNI 8942/1 <sup>(*)</sup>	BF 11-21 <sup>(2)</sup>
Classificazione secondo UNI EN 771-1 <sup>(**)</sup>	LD
<b>Caratteristiche termiche, acustiche e di resistenza al fuoco</b>	
Trasmittanza <sup>(3)</sup> (W/m <sup>2</sup> K) <sup>(***)</sup>	0,55 ÷ 0,57
Conduktività termica equivalente (W/mK) <sup>(***)</sup>	0,22 ÷ 0,23
Potere fonoisolante della muratura <sup>(4)</sup> (dB)	46
Resistenza al fuoco <sup>(5)</sup> (EI)	180

(\*) La norma UNI 8942 è stata ritirata nel maggio 2005. (\*\*) Elementi a bassa densità (Low Density), con massa volumica apparente inferiore a 1000 kg/m<sup>3</sup>. (\*\*\*) Valori di calcolo secondo UNI EN 1745.

NOTE: (1) Valutata per una massa volumica indicativa dell'impasto cotto di 1.500 kg/m<sup>3</sup>. (2) Blocchi con giacitura a fori verticali. (3) Valore di riferimento per una muratura di 35 cm di spessore con intonaco civile di 15 mm su entrambe le facce. (4) Indice di valutazione a 500 Hz. Valore di riferimento per una muratura di 30 cm di spessore con intonaco civile di 15 mm su entrambe le facce. (5) Valore assegnato a murature in blocchi con foratura pari al 60% a partire dallo spessore di 15 cm più intonaco.

## Perlater® classe T

Blocchi per murature di tamponamento

### Descrizione

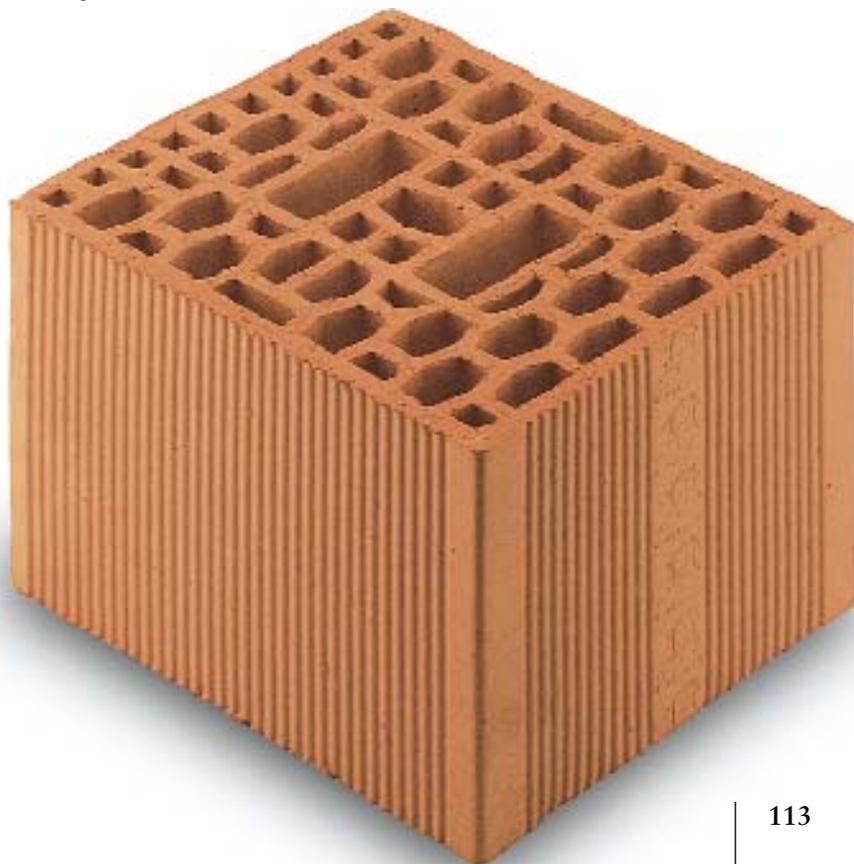
Anche le pareti in laterizio Perlater®, così come quelle in blocchi Alveolater®, se ben dimensionate, non richiedono l'aggiunta di materiali isolanti artificiali; lasciano traspirare il vapore prodotto all'interno delle abitazioni, non danno problemi di condensazione e, per l'inerzia termica che le caratterizza, mantengono sempre alla giusta temperatura la superficie interna dei muri e tutte le caratteristiche prestazionali rimangono inalterate nel tempo. Oltre che per pareti monostrato, i blocchi Perlater® T possono naturalmente essere impiegati anche per la realizzazione di pareti a doppio strato, con o senza isolante interposto.

La percentuale di foratura degli elementi di classe T è superiore al 55%, con un massimo del 70%, e la massa volumica apparente è compresa fra 675 e 475 kg/m<sup>3</sup>. I limiti di percentuale di foratura sono molto ampi; quindi anche la massa volumica della muratura può variare sensibilmente. Il peso a metro cubo, con esclusione dell'intonaco, può variare da 600 a 830 kg/m<sup>3</sup>.

Quaderni Alveolater®



Blocco Perlater® classe T.



Quaderni Alveolater®

**alveolater®**  
Muratura-Armata

Per edifici più alti e sicuri in zona sismica

## Blocchi Alveolater® Muratura Armata

Blocchi per murature portanti armate in zona sismica (classe 45)

### Descrizione

La muratura armata è la soluzione ideale per le costruzioni in zona sismica in quanto permette di superare i limiti di altezza ammessi per le costruzioni in muratura ordinaria, fino a un massimo di 25 metri in zona a bassa sismicità; ovvero, nel caso di dimensionamento semplificato, è possibile ridurre fino a 2 punti la percentuale di muratura richiesta nelle due direzioni principali del fabbricato.

I blocchi consentono la realizzazione di murature di spessore 30 cm, con il tradizionale formato di 25 x 30 cm, la cui validità ergonomica ed economica è ormai più che consolidata, e di 25 cm, con il formato quadrato 25 x 25 cm.

Il "sistema" è completato da mezzi blocchi di formato 12 x 30, 16,5 x 30, 12 x 30, 14,5 x 25 e 12 x 25 cm. Tutti i blocchi sono caratterizzati dal profilo esterno a forma di "C" e il loro accostamento speculare realizza i vani per l'alloggiamento delle armature.

Rispetto ad altri sistemi costruttivi, la muratura armata consente una maggiore economicità e una notevole semplificazione delle operazioni di cantiere.

### Approfondimento

Le prime indicazioni relative alla muratura armata risalgono al Decreto ministeriale 19 giugno 1984 Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche.

In quel Decreto, come pure nel successivo Decreto 24 gennaio 1986, la muratura armata era ammessa solo come sistema costruttivo, da sottoporre all'esame del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici per ottenere la necessaria "idoneità tecnica", da rinnovare ogni tre anni. Questi decreti diedero origine ai cosiddetti "sistemi omologati".

Successivamente, con il D. M. 16 gennaio 1996, la muratura armata è diventata "metodo costruttivo", così come lo sono la muratura semplice, il cemento armato, le strutture in legno e in metallo. Pertanto non è più prevista la procedura di omologazione.

La muratura armata è costituita da elementi resistenti semipieni aventi le caratteristiche previste dal D.M. 20 novembre 1987 e collegati mediante giunti continui di malta con resistenza media maggiore di 5 MPa (Ordi-

**Blocco Alveolater® Muratura Armata di forma a "C".**

nanza Protezione Civile 3274/2003 e 3431/2005), nella quale sono inserite armature metalliche verticali concentrate, armature orizzontali concentrate (coincidenti, per interpiani di normale altezza, con le armature dei cordoli di piano) e armature orizzontali diffuse, che le conferiscono duttilità e resistenza a trazione.

Le armature sono prescritte agli incroci dei muri, in corrispondenza delle aperture ma anche nel corso del muro, quando la distanza fra muri portanti fra loro ammortati supera i 4 metri.

L'armatura fa sì che la muratura possa assorbire le sollecitazioni di trazione, sollecitazioni alle quali la muratura semplice non è in grado di resistere, e aumenta la duttilità strutturale dell'insieme.

### Dati di riferimento blocchi Alveolater®Muratura Armata.

Classe	45
Foratura (%)	40 ÷ 45
Massa volumica <sup>(1)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	800 ÷ 870
Classificazione dei blocchi secondo norma UNI 8942/1 <sup>(*)</sup>	BSA 11-31 <sup>(2)</sup>
Classificazione secondo UNI EN 771-1 <sup>(***)</sup>	LD
<b>Resistenza meccanica dei blocchi<sup>(3)</sup></b>	
Resistenza a compressione nella direzione dei carichi verticali ( $f_{bk}$ )	12 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione nella direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della muratura ( $f'_{bk}$ )	2 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di variazione $\delta$	< 0,20
<b>Resistenza meccanica della muratura<sup>(3)</sup></b>	
Resistenza caratteristica a compressione <sup>(4)</sup> ( $f_k$ )	5 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a taglio in assenza di carichi verticali <sup>(4)</sup> ( $f_{vk0}$ )	0,25 N/mm <sup>2</sup>
<b>Caratteristiche termiche, acustiche e di resistenza al fuoco</b>	
Trasmittanza <sup>(5)</sup> (W/m <sup>2</sup> K) <sup>(***)</sup>	0,80
Conduttività termica equivalente (W/mK) <sup>(***)</sup>	0,29
Potere fonoisolante della muratura <sup>(6)</sup> (dB)	> 54
Resistenza al fuoco <sup>(7)</sup> (REI)	180

(\*) La norma UNI 8942 è stata ritirata nel maggio 2005. (\*\*) Elementi a bassa densità (Low Density), con massa volumica apparente inferiore a 1000 kg/m<sup>3</sup>. (\*\*\*) Valori di calcolo secondo UNI EN 1745.

NOTE: (1) Valutata per una massa volumica indicativa dell'impasto cotto di 1450 kg/m<sup>3</sup>. (2) Blocchi con giacitura a fori verticali. (3) Resistenza caratteristica secondo il D.M. 20 novembre 1987. (4) Muretti confezionati con malta M5 (resistenza caratteristica 5 N/mm<sup>2</sup>). (5) Valore di riferimento per una muratura di 30 cm di spessore con intonaco civile di 15 mm su entrambe le facce. (6) Indice di valutazione a 500 Hz. Valore di riferimento per una muratura di 30 cm di spessore con intonaco civile di 15 mm su entrambe le facce. (7) Valore assegnato a murature in blocchi di classe 45 soggette a carico di esercizio a partire dallo spessore di 20 cm più intonaco.

Quaderni Alveolater®

**alveolater®**  
Setti Sottili

Laterizi ad alta tecnologia  
per il risparmio energetico

**Blocco Iper, il precursore dei  
blocchi Alveolater®Setti  
Sottili.**

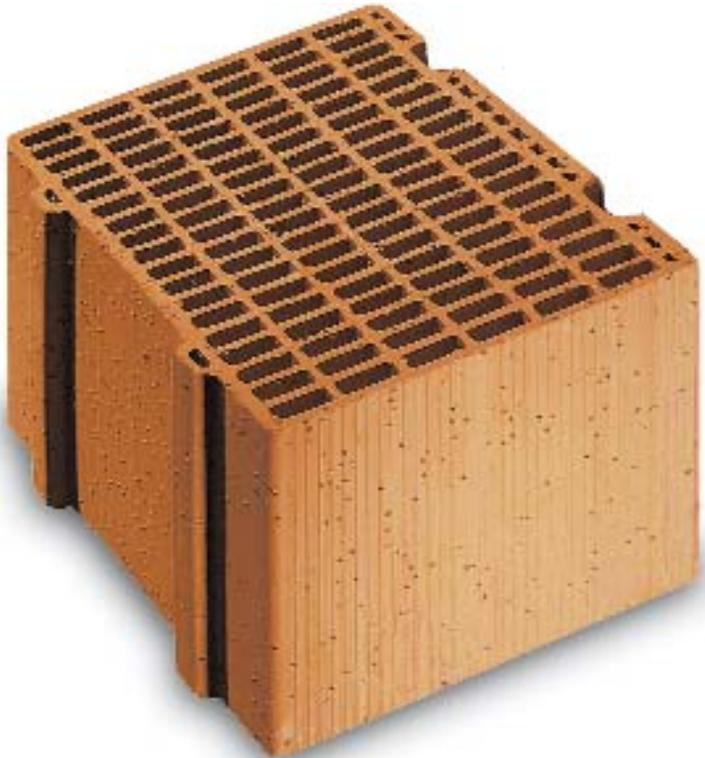
## Blocchi Alveolater®Setti Sottili

**Blocchi ad alta tecnologia per il contenimento dei consumi energetici  
(classe 60 per murature di tamponamento)**

### Descrizione

I blocchi per tamponamento Alveolater®Setti Sottili vengono utilizzati per costruire murature di tamponamento nel rispetto delle trasmittanze limite U previste nelle tabelle dell'Allegato C del Decreto legislativo 192/2005 e del successivo Decreto 311/2006.

Il ridotto spessore dei setti interni (4 ÷ 5 mm), il disegno ottimizzato ai fini termici, associati a un maggiore spessore della parete e all'impiego di malta termica per la posa in opera dei blocchi, consentono di raggiungere trasmittanze particolarmente ridotte ( $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$  per pareti



non intonacate di spessore cm 48;  $U = 0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$  per pareti di spessore cm 38;  $U = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$  per pareti di spessore cm 35;  $U = 0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$  per pareti di spessore cm 30. Valori di calcolo secondo UNI EN 1745. Conduttività sperimentale  $\lambda_{10, \text{dry}}$  dell'argilla di massa  $1.550 \text{ kg/m}^3 = 0,33 \text{ W/mK}$ ).

## Approfondimento

### Perché i setti sottili

Progettare blocchi in laterizio a setti di spessore ridotto significa sfruttare al meglio le proprietà dell'aria in quiete realizzando blocchi in laterizio con un elevato numero di file di fori nel senso perpendicolare al flusso termico.

L'aria in quiete è un ottimo isolante. La conduttività delle lame d'aria è funzione tuttavia della dimensione della cavità: aumentandone la dimensione, l'aria non può più essere considerata in quiete e la sua capacità isolante diminuisce.

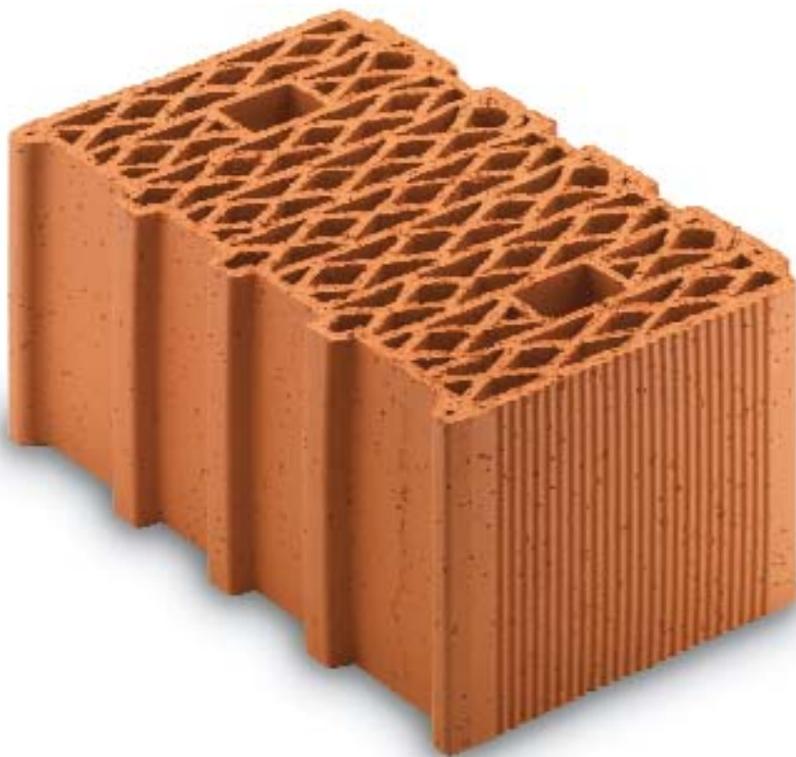
La tecnica dei setti sottili può essere applicata, in Italia, ai soli elementi per tamponamento. Infatti, la geometria dei blocchi semipieni, o comunque dei blocchi strutturali, è vincolata dalle prescrizioni previste dalle normative vigenti. Sia il Decreto ministeriale 20 novembre 1987, che il Decreto ministeriale 16 gennaio 1996, ma anche l'Ordinanza del Pre-

Quaderni Alveolater®

**alveolater**  
Setti Sottili

*Laterizi ad alta tecnologia  
per il risparmio energetico*

**Blocco Alveolater®Setti  
Sottili per murature di 38 cm  
di spessore.**



sidente del Consiglio dei ministri 3274 (e la successiva Ordinanza 3431) fissano in 10 mm lo spessore delle pareti esterne (al netto della rigatura) e in 8 mm lo spessore dei setti interni. Per migliorare le prestazioni termiche dei laterizi, già a partire dagli anni '60 si affrontarono studi e ricerche, oltre che su possibili miglioramenti delle prestazioni della mate-

Quaderni Alveolater®



Laterizi ad alta tecnologia  
per il risparmio energetico

ria prima, anche su possibili disegni innovativi, seguendo la strada dei disegni complessi, dei setti sfalsati, del cosiddetto "aumento del percorso del calore".

Queste soluzioni non ebbero particolare fortuna per le difficoltà di produzione. In seguito, attraverso accurate analisi agli elementi finiti, si verificò che la complessità del disegno, e in particolare modo lo sfalsamento dei setti, dava un limitato contributo al miglioramento della capacità isolante del blocco.



**Alcune fasi della produzione  
dei blocchi Alveolater®Setti  
Sottili.**

Il primo brevetto relativo ai blocchi a setti sottili risale al 1968. Ma questa intuizione fu ripresa soltanto nei primi anni '90, con i brevetti depositati nell'agosto e novembre 1992 e nel febbraio 1993 in Germania,

brevetti estesi in Italia nel 1995. Nel 1994 un brevetto del Consorzio Alveolater® prevedeva elementi con percentuale di foratura del 60 – 65%, pareti esterne di 4 mm e setti interni di 1,5 mm, a disegno semplice e setti allineati, senza comunque escludere, nelle rivendicazioni, altri disegni o spessori.

Prove industriali presso lo stabilimento Celam di Lucera (Gruppo Fantini) furono condotte a fine 1994, utilizzando una filiera del tutto simile alle filiere per filtri catalitici, e quindi senza ponti e tasselli.

L'anno successivo (1995), presso il nuovo stabilimento Celam Alveolater® di Lucera, fu sperimentato il blocco IPER 30, risultato di una ricerca condotta in collaborazione con il Dipartimento di Energetica dell'Università Politecnica delle Marche. Un articolo in proposito è stato pubblicato sul numero 6 (novembre 1966) di Alveolater® Notizie.

### Valori limite di trasmittanza e impiego dei blocchi Alveolater®Setti Sottili.

Zona climatica	2006 (W/m <sup>2</sup> K)	2008 (W/m <sup>2</sup> K)	Spessore parete in blocchi Alveolater®Setti Sottili
A	0,85	0,72	cm 30
B	0,64	0,54	cm 30
C	0,57	0,46	cm 35
D	0,50	0,40	cm 35 con malta termica (o, in alternativa, cm 38)
E	0,46	0,37	cm 38
F	0,44	0,35	cm 48 (o, in alternativa, cm 38 con malta termica)

La limitata sensibilità alle problematiche energetiche di quegli anni non consentì di apprezzarne il contenuto innovativo. Il Decreto 192/2005, con i traumatici valori di trasmittanza richiesti alle murature, ha rinnovato l'interesse dei produttori, sollecitati anche dalle richieste del mercato. Ecco quindi che in questi ultimi mesi numerosi produttori associati al Consorzio Alveolater® guardano con particolare attenzione ai blocchi a setti sottili.

La tabella mostra le possibilità di questi nuovi blocchi, con posa in opera con malta tradizionale o con malta termica Alveolater® (conduttività 0,243 W/mK). Il limite di 230 kg/m<sup>2</sup> previsto per le pareti opache (nel caso dei laterizi, compresa la malta per la posa ma esclusi gli intonaci) nelle località con valore medio mensile di irradianza, sul piano orizzontale nel periodo di massima insolazione, maggiore o uguale a 290 W/m<sup>2</sup>, è già raggiunto dalle pareti di spessore 30 cm.



*Malta premiscelata ad alte prestazioni termiche*

*La malta premiscelata Alveolater® ha una conduttività termica sostanzialmente equivalente a quella dei laterizi Alveolater® e Perlater®.*

## Malta Alveolater®

**Malta premiscelata ad alte prestazioni termiche per la posa in opera di elementi in laterizio.**

### Descrizione

La malta Alveolater®, a base di cemento Portland, perlite e additivi aeranti, ha una conduttività termica sostanzialmente equivalente a quella dei laterizi Alveolater® e Perlater®, e pertanto le murature realizzate con blocchi e malta Alveolater® sono prive di ponti termici e dotate di un maggiore isolamento termico.

A un chilogrammo di prodotto premiscelato corrisponde indicativamente un litro di malta pronta all'uso, che va applicata a giunti continui di spessore di 10 ÷ 12 mm su blocchi in laterizio preventivamente bagnati (saturi a superficie asciutta).



### Caratteristiche tecnico prestazionali Malta Alveolater®.

Resistenza media a compressione	> 7 MPa
Resistenza media a flessione	> 1 MPa
Conduttività termica $\lambda$	0,243 W/mK
Massa volumica a secco	1.000 kg/m <sup>3</sup>

La malta Alveolater® è prodotta e distribuita da Tower s.r.l. di San Mauro Pascoli (Fc).

## Un esempio di calcolo termico

Quaderni Alveolater®

Come si è detto nel capitolo relativo alla norma UNI EN 1745, dal primo aprile 2006 la determinazione della conduttività equivalente del blocco e la trasmittanza della parete viene eseguita generalmente seguendo la procedura di calcolo indicata nella norma UNI EN 1745.

Il valore della conduttività termica “ $\lambda$ ” dell'impasto, elemento fondamentale per la corretta definizione delle prestazioni della parete, può essere ricavata dalla tabella Appendice A, Prospetto A.1 della norma, utilizzando prudenzialmente il valore  $\lambda_{10, dry}$  90%. In alternativa può essere utilizzato un valore sperimentale ottenuto in laboratorio su almeno tre provini rappresentativi della produzione, seguendo poi le indicazioni che la norma fornisce al punto 4.2.2.4; ovvero ricorrere a una prova su tre pareti secondo quanto indicato al punto 5.

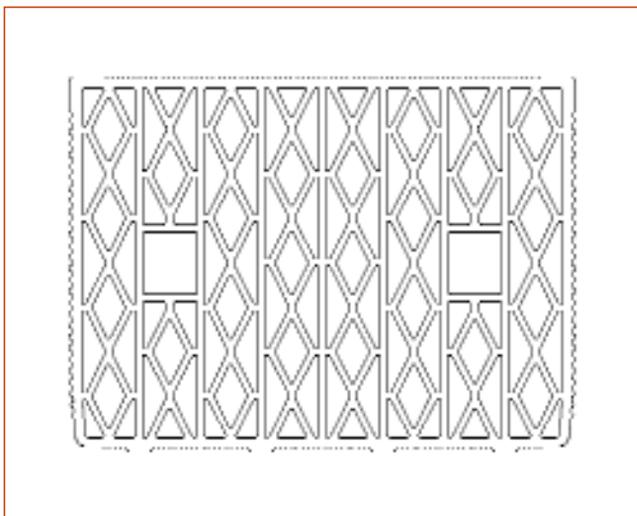
Si riporta di seguito un esempio di calcolo relativo a un blocco per tamponamento a setti sottili, tipo BSS 55, formato 35 x 25 x 19 cm, spessore della parete 35 centimetri.

Il calcolo della trasmittanza è stato svolto con il programma CRTherm, conforme ai requisiti di accuratezza previsti dalla norma UNI EN 1745, Appendice D, utilizzando il metodo degli elementi finiti applicato a una sezione piana

bidimensionale dei blocchi parallela alla direzione macroscopica del flusso termico ed equidistante dai letti di malta che separano due corsi orizzontali successivi di blocchi.

È stato utilizzato il valore di conduttività sperimentale dell'impasto con massa volumica di 1550 kg/m<sup>3</sup>; la resistenza termica delle cavità dei blocchi è stata valutata secondo la metodologia indicata nella UNI EN ISO 6946-1996, Appendice B, punto B.3. mentre le resistenze termiche superficiali sono state ricavate dal punto 5.2. della norma.

Si è poi tenuto conto della presenza della malta di allettamento fra i corsi di elementi sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco (descritta dal modello bidimensionale sopra citato) la potenza dispersa dai giunti di malta, supponendo identiche le differenze di temperatura sulla porzione di struttura e sulla malta (malta e struttura in “parallelo”).



*Disegno del blocco a setti sottili di cm 35 utilizzato per l'esempio di calcolo.*

La malta è stata trattata come un mezzo omogeneo con conducibilità ricavata dal Prospetto A.12 della norma UNI EN 1745, assumendo uno spessore del giunto pari a 7 mm.

I dati di partenza risultano pertanto:

#### Parete

Spessore parete	$s$	=	0,35	m
Dimensione blocco		=	35x25x19	cm
Massa volumica		=	10,40	kg
Coefficiente liminare interno:	$\alpha_i$	=	7,7	W/m <sup>2</sup> K
Coefficiente liminare esterno:	$\alpha_e$	=	25	W/m <sup>2</sup> K

#### Materiale

Peso specifico impasto	$\rho$	=	1.550	kg/m <sup>3</sup>
Conducibilità impasto	$\lambda$	=	0,33	W/mK

#### Malta

Spessore giunti di malta	$s$	=	7	mm
Peso specifico	$\rho$	=	1.800	kg/m <sup>3</sup>
Conducibilità	$\lambda$	=	0,93	W/mK
Tipo giunto di malta	tg	=	interrotto per 2 cm	

Il calcolo fornisce i seguenti risultati:

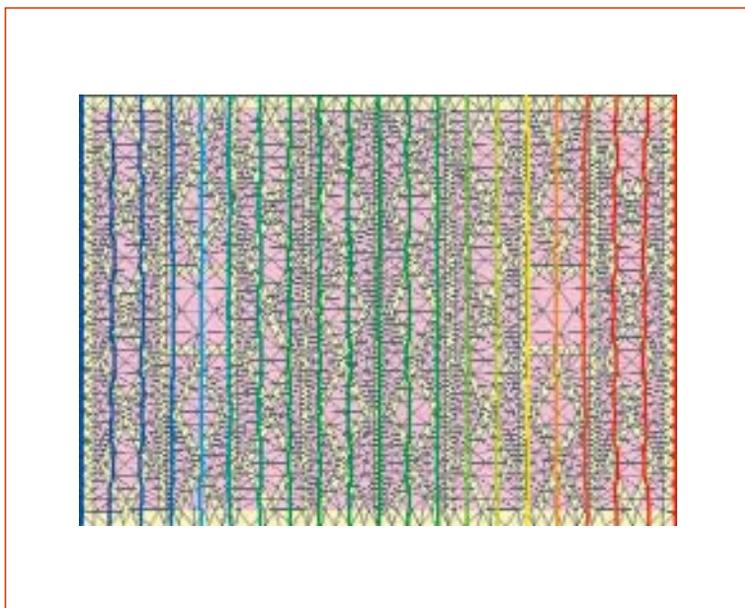
Conducibilità equivalente del blocco	$\lambda_b$	=	0,127	W/mK
Conducibilità equivalente della parete	$\lambda_{eq}$	=	0,158	W/mK
Conduttanza della parete	$C$	=	0,453	W/m <sup>2</sup> K
Resistenza termica della parete	$R$	=	2,207	m <sup>2</sup> K/W
Trasmittanza della parete	$U$	=	0,420	W/m <sup>2</sup> K

Nel caso di parete intonacata, con un intonaco in malta cementizia di 1,5 cm per parte, di conducibilità 0,90 W/mK si ricava una trasmittanza  $U_{int}$  di 0,41 W/m<sup>2</sup>K

Nel caso di utilizzo di malta termica per la posa si ottiene un sensibile miglioramento della conducibilità equivalente di parete, che scende a 0,133 W/mK. La trasmittanza della parete, senza intonaco, risulta quindi di 0,36 W/m<sup>2</sup>K

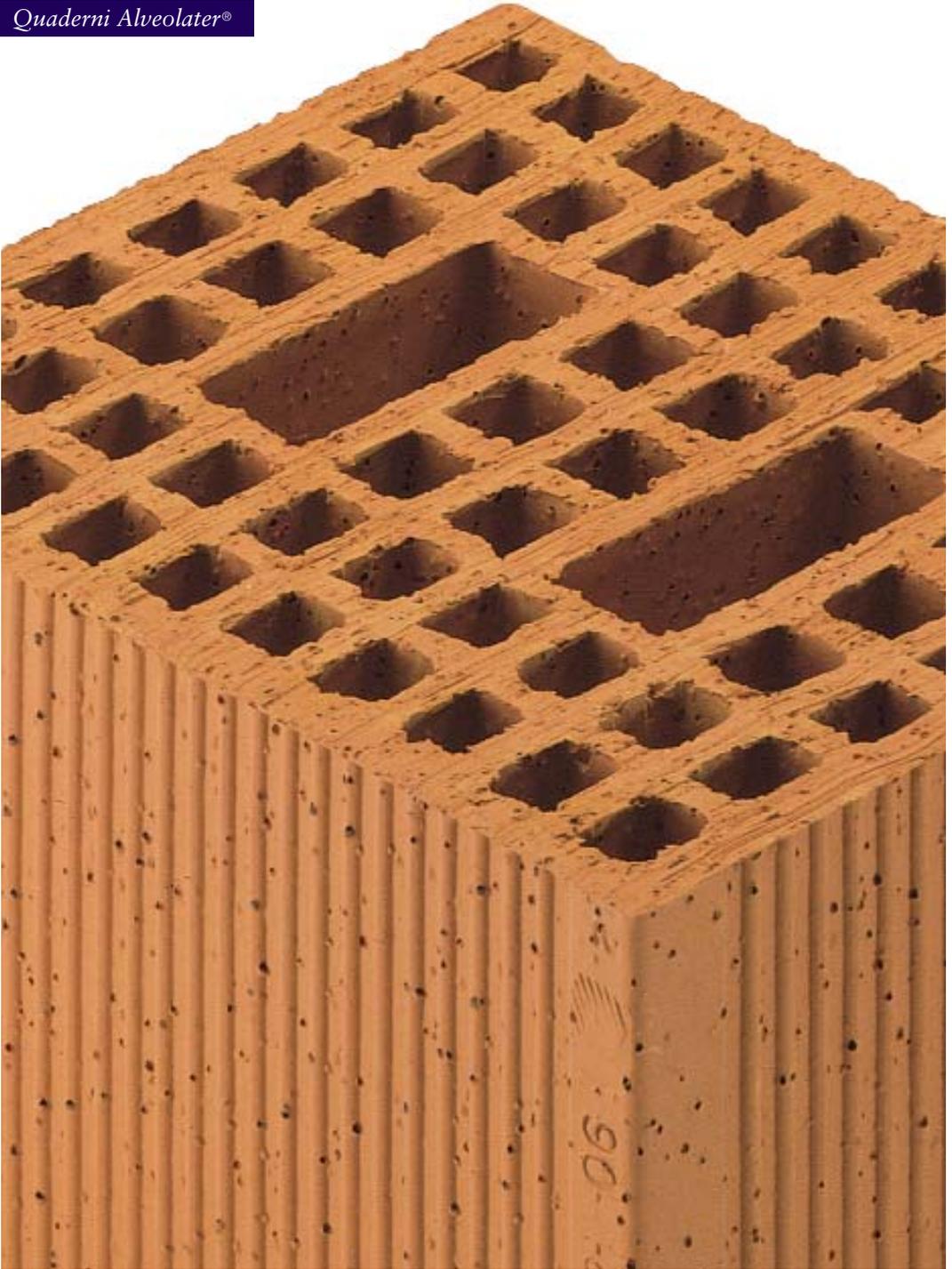
Pertanto, con un intonaco termico di 4 cm di conducibilità 0,09 W/mK si ha una trasmittanza di parete di 0,31 W/m<sup>2</sup>K, valore di estremo interesse.

Di tutti i numeri sopra riportati, il valore di conduttività equivalente del blocco è certamente quello maggiormente indicativo, perché consente, una volta verificato il valore di conduttività della materia prima e dell'origine del dato (di tabella o sperimentale), un confronto effettivo fra le caratteristiche dei blocchi presenti sul mercato.



Disegno della mesh e andamento del flusso termico.

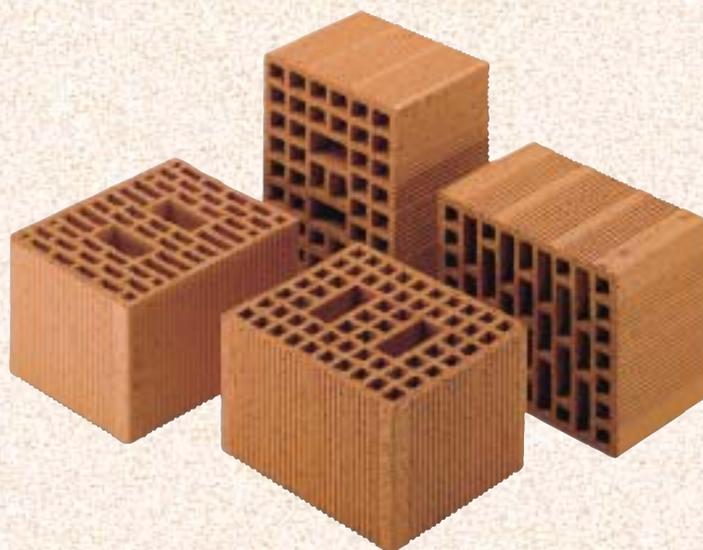
È anche opportuno ricordare quanto detto in precedenza, ossia che al fine di evitare le incertezze legate alle prove di conduttività, sarebbe consigliabile utilizzare, ai fini dei calcoli di trasmittanza, i valori tabellati. Ma è altrettanto vero che alcune argille (come quella dell'esempio), per composizione e granulometria, possono avere valori di conduttività minori rispetto a quelli di tabella. Spetta quindi al professionista un giudizio di merito sui parametri utilizzati per il calcolo.





alveolater

*Laterizi ad alte prestazioni*



## Gli edifici in muratura di laterizio

Dal 1986, anno della fondazione, il Consorzio Alveolater® ha pubblicato numerosi quaderni, guide e CD ROM per la divulgazione di ricerche ed esperienze di laboratorio, per documentazione e interpretazione di nuove normative, per il calcolo strutturale e termico; tutte iniziative volte alla conoscenza e al migliore impiego del prodotto. In questa attività si inserisce il *Quaderno 6*, che tratta, fra l'altro, delle normative sulle costruzioni in muratura e in particolare sulla muratura armata, cercando di fare una sintesi ragionata fra Ordinanza 3274/2003 e *Norme tecniche per le Costruzioni* (decreto 14 settembre 2005) nella versione disponibile più recente. In queste pagine ci sono quindi indicazioni progettuali, statiche, ma anche termiche e acustiche, nonché informazioni sulla marcatura CE, sui prodotti tradizionali e innovativi e sulle loro prestazio-

 **alveolater®**

*Laterizi ad alte prestazioni*

COPIA OMAGGIO