

I quaderni del Consorzio Alveolater®

5

A cura di Giorgio Zanarini

Costruire in Alveolater®

Suggerimenti per la progettazione
e l'esecuzione di murature
in blocchi Alveolater®

 **alveolater®**

Alveolater.® Ecco dove

CELAM ALVEOLATER® ▲▲

Via San Rocco, 45
71036 Lucera (Fg)
tel. 0881527111
fax. 0881527248

COOPCOSTRUTTORI ▲

Via dei Laterizi, 2/A
44010 Filo d'Argenta (Fe)
tel. 0532802023
fax 0532856028

CURRÒ CARMELO LATERIZI ▲

Contrada Timoniere
98040 Torregrotta (Me)
tel. 0909942181
fax 0909943464

FORNACIAI ▲

Via C. Colombo, 56
40131 Bologna
tel. 0516328111
fax 051702570

GIULIANE RDB ▲▲

Via Isonzo, 145
34071 Cormòns (Go)
tel. 0481638111
fax 048160012

Stabilimento:

Cormòns (Go)
tel. 0481638111
fax 048160012
Sagrado (Go)
tel. 04819226
fax 048192768

GRUPPO STABILA ▲

Stabilimento La Capiterlina
Via Capiterlina, 141
36033 Isola Vicentina (Vi)
tel. 0444977009
fax 0444976780

I.L.A.P. ▲

S.S. 121 km 10 Piano Tavola
95040 Belpasso (Ct)
tel. 095391202
fax 0957131967

ILAS ALVEOLATER® ▲

Via San Rocco, 45
71036 Lucera (Fg)
tel. 0881527111
fax 0881527248

Stabilimento:

San Martino Valle Caudina (Av)
tel. 0824840149
fax 0824840907

LA CENTRALE LA FAUCI ▲

Via San Nicola
98040 Valdina (Me)
tel. 0909941072
fax 0909943862

LATERIZI ALAN METAURO ▲▲▲

Via S. Anna, 36
61030 Cartoceto (Ps)
tel. 0721897526
fax 0721897198

Stabilimento:

Via Montefeltro, 118
61010 Secchiano Marecchia (Ps)
tel. 0541912331
fax 0541912154

LATERIZI BRUNORI ▲▲

Via Ringhiera, 1
40020 Bubano Mordano (Bo)
tel. 054251141
fax 054251143

LATERIZI MARGONARA ▲▲

Via Ronchi di Palidano
46020 Ronchi di Palidano (Mn)
tel. 037658465/6
fax 0376528223

LATER SISTEM ▲

Via della Nautica, 3
09122 Cagliari
tel. 070240190
fax 070240941

NENCINI LATERIZI ▲

Via Salaiola, 28
57010 San Pietro in Palazzi
Cecina (Li)
tel. 05866181
fax 0586662416

NIGRA INDUSTRIA LATERIZI ▲

Traversa Mazzini, 2
10037 Torrazza Piemonte (To)
tel. 0119180034
fax 0119189517

RDB FANTINI ▲

Via P. Loffredo, 57
71100 Foggia
tel. 0881771207
fax 0881709802
Stabilimento:
Lattarico (Cs)
tel. 0984939820/106
fax 0984938092

RIL RONDI INDUSTRIA LATERIZI ▲

Via Rovasenda, 79
13045 Gattinara (Vc)
tel. 0163831012
fax 0163834086

SABA ▲

Via San Rocco, 45
71036 Lucera (Fg)
tel. 0881527111
fax 0881527248

SANLORENZO LATERIZI ▲

Via Salaiola, 28
57010 San Pietro in Palazzi
Cecina (Li)
tel. 05866181
fax 0586662416
Stabilimento:
Grosseto
tel. 056420685
fax 056426304

SARDA LATERIZI ▲

Via Pigafetta, 1
07046 Porto Torres (Ss)
tel. 079516104
fax 079516170

SILA SOCIETÀ INDUSTRIA LATERIZI E AFFINI ▲

Via Calatafimi, 32
45100 Rovigo
tel. 0425405218
fax 0425908556

PRODUZIONE:

- ▲ Blocchi Alveolater®
- ▲ Blocchi Perlater®
- ▲ Blocchi Alveolater® alleggeriti con segatura
- ▲ Blocchi Alveolater® per muratura armata
- ▲ Blocchi Iper®

Tipologie di murature	pag. 3	Influenza dell'intonaco sulla resistenza al fuoco	34
La posa in opera	3	Resistenza al fuoco di pareti a più strati	35
Lo stoccaggio in cantiere	5		
La scelta degli elementi	5	La muratura in zona sismica	37
Le malte	6	Gli edifici in muratura in zona sismica	37
La bagnatura dei laterizi	7	La muratura armata	38
Gli spessori delle murature portanti	7	La muratura armata Alveolater®	40
I giunti di malta	7		
Una ricerca sui giunti di malta	9	Le cure da porre nella realizzazione delle costruzioni	41
Lo sfalsamento dei giunti verticali	14	L'esecuzione della muratura	41
Caratteristiche prestazionali	15	I rinforzi locali	41
La resistenza meccanica	15	Il collegamento dei muri e dei solai	42
Le prestazioni termiche	16	La formazione di nicchie e incassature	44
Le caratteristiche della certificazione energetica	17	Il collegamento delle murature di tamponamento col telaio in cemento armato	45
La "dichiarazione" del produttore	22	Gli intonaci	46
La marchiatura dei prodotti	23	I materiali per la finitura superficiale e la tinteggiatura	48
Una ricerca sul comportamento termico	24		
Le prestazioni acustiche	26	Come e quando abitare una casa in laterizio	49
Una ricerca sulle prestazioni acustiche	28	Alcune semplici regole	49
La reazione al fuoco	29		
La resistenza al fuoco	31		
La Circolare 91	31	NORMA UNI 8942 [estratti] PARTE 1^a	51
Una ricerca sul comportamento al fuoco	32	0. Premessa	51
Interpretazione dei risultati sperimentali	33	1. Scopo	51
		2. Termini e definizioni	51

3. Sistema di classificazione	52	ALLEGATI	68
4. Esempi di classificazione	53	ALLEGATO 1	68
PARTE 2ª	54	1.1.1 Determinazione sperimentale della resistenza a compressione degli elementi resistenti artificiali	68
1. Scopo	54	1.1.2 Determinazione sperimentale della resistenza a compressione degli elementi resistenti naturali	68
2. Campo di applicazione	54	1.2.2 Resistenza a compressione nella direzione ortogonale a quella dei carichi verticali e nel piano della muratura	69
3. Campionamento	54	1.3 Resistenza a compressione degli elementi resistenti naturali	70
4. Limiti di accettazione	54	ALLEGATO 2	71
5. Dichiarazione di conformità e documentazione tecnica d'informazione	55	2.1 Determinazione sperimentale della resistenza a compressione e della resistenza a taglio della muratura	71
APPENDICE A		2.1.1 Resistenza a compressione della muratura	71
Modalità per i controlli effettuati dal produttore	58	2.1.1.1 Caratteristiche dei provini	72
A 0. Premessa	58	DECRETO MINISTERIALE 20 NOVEMBRE 1987 [estratti]	63
A 1. Controllo del prodotto finito	59	1.2.2 Muratura costituita da elementi resistenti artificiali	63
APPENDICE B [estratti]		1.3 Concezione strutturale dell'edificio	64
Limiti di accettazione dei difetti visibili	60	1.3.1 Collegamenti	65
B 1. Prodotti con massa normale	60	1.3.1.1 Cordoli	65
B 4. Prodotti con massa alveolata	61	1.3.1.2 Incatenamenti orizzontali interni	66
DECRETO MINISTERIALE 20 NOVEMBRE 1987 [estratti]	63	CAPITOLO 2° [estratti]	
1.2.2 Muratura costituita da elementi resistenti artificiali	63	Murature formate da elementi resistenti artificiali	67
1.3 Concezione strutturale dell'edificio	64	2.1 Dimensionamento semplificato	67
1.3.1 Collegamenti	65	DECRETO MINISTERIALE 16 GENNAIO 1996 [estratti]	73
1.3.1.1 Cordoli	65	C.2. Altezza massima dei nuovi edifici	73
1.3.1.2 Incatenamenti orizzontali interni	66	C.5. Edifici in muratura	74
CAPITOLO 2° [estratti]		C.5.2. Edifici in muratura ordinaria	75
Murature formate da elementi resistenti artificiali	67	C.5.3. Edifici in muratura armata	78
2.1 Dimensionamento semplificato	67	CIRCOLARE N. 65/AA.GG. 10 APRILE 1997 [estratti]	79
		C.5. Edifici in muratura	79
		C.5.3. Edifici in muratura armata	80

Tipologie di murature

Quaderni Alveolater®

Con Alveolater® si possono realizzare:

- murature portanti (strutturali);
- murature non portanti o di tamponamento;
- murature per divisori interni.

E anche:

- murature monostrato;
- murature composte;
- murature a doppia parete,

ottenute realizzando due pareti in Alveolater®, collegate fra loro da uno strato di malta, ed eventualmente anche mediante connettori trasversali (il paramento esterno può essere anche in laterizio a faccia a vista);

- murature a cassa vuota.

Naturalmente è possibile costruire murature doppie o a cassa vuota nelle

quali la parete esterna è in laterizio Alveolater®, mentre la parete interna è in laterizio normale, o viceversa.

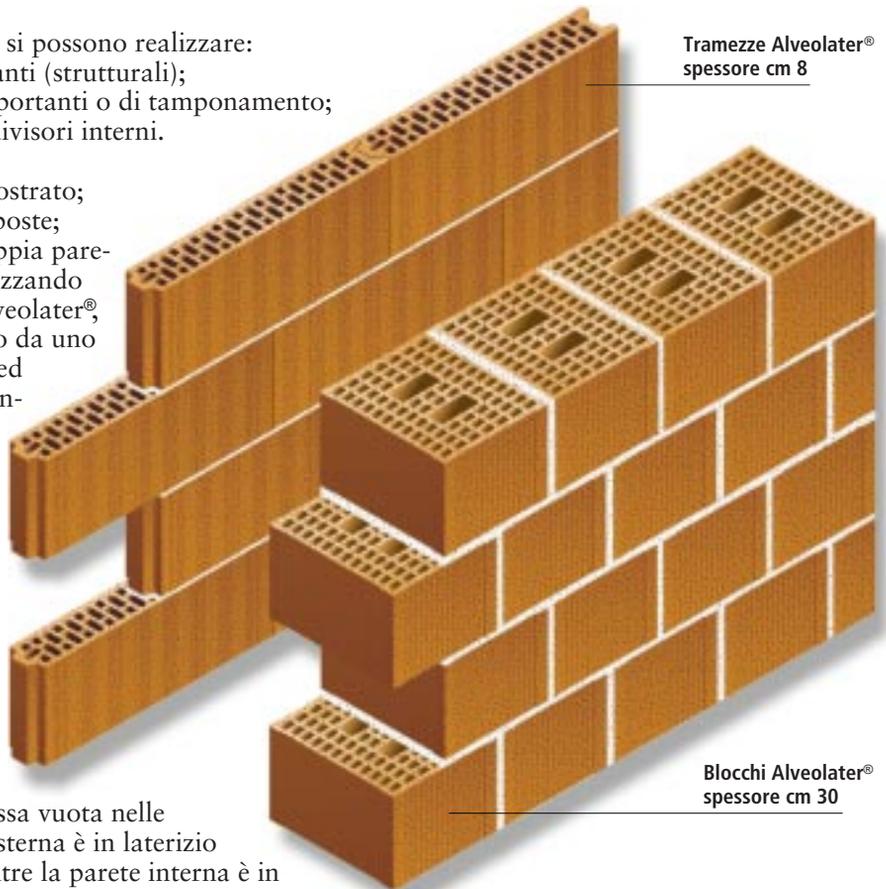
Le normative alle quali i prodotti Alveolater® si attengono sono:

- decreto ministeriale 20 novembre 1987 *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*;
- decreto ministeriale 16 gennaio 1996 *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*;
- norma UNI 8942/86 *Prodotti di laterizio per murature*.

In allegato ne sono riportati ampi stralci.

Per semplicità di identificazione, i laterizi Alveolater® sono suddivisi in classi, in funzione della percentuale di foratura, e precisamente:

- classe 45, semipieni (foratura minore del 45 per cento), impiegabili per murature portanti anche in zona sismica (con esclusione dei blocchi a incastro); classificazione UNI BSA 11-31;



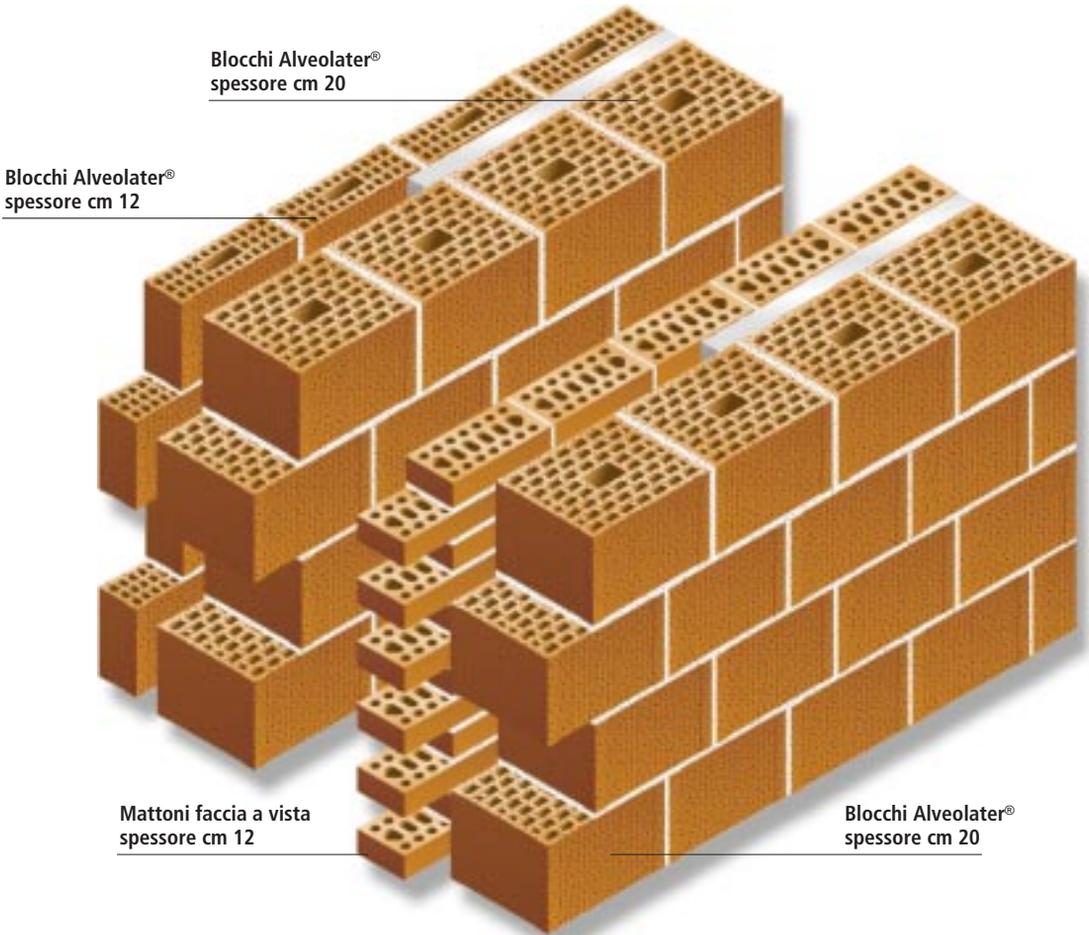
Tramezze Alveolater®
spessore cm 8

Blocchi Alveolater®
spessore cm 30

Esempio di murature monostrato in blocchi Alveolater®: la prima in elementi per divisori, la seconda in blocchi portanti per zona sismica.

Quaderni Alveolater®

- classe 50, forati strutturali (foratura non superiore al 50 per cento) impiegabili per costruzioni in zone non sismiche; classificazione UNI BSB 11-31;
- classe 55, forati strutturali (foratura non superiore al 55 per cento) impiegabili per costruzioni in zone non sismiche e per tamponamenti; classificazione UNI BSB 11-31;



Pareti pluristrato in blocchi Alveolater® con e senza isolante interposto. La parete esterna può essere realizzata anche in mattoni faccia a vista.

- classe 60, forati (foratura superiore al 55 per cento, con un massimo del 70 per cento) per esclusivo uso di tamponamento; classificazione UNI BF 11-31 se con posa a fori verticali; BF 00-31 se con posa a fori orizzontali.
- Secondo il decreto 20 novembre 1987, infatti, anche i forati, purché la loro percentuale di foratura sia inferiore al 55 per cento, possono essere impiegati come elementi portanti; mentre vanno tassativamente esclusi (per scopi strutturali) elementi con percentuale di foratura superiore al 55 per cento.

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, dalla neve, dagli spruzzi di fango e del sale antighiaccio dovuti a un eventuale passaggio di veicoli (Eurocodice 6, punto 6.2.2).

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 sbecchature), 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 particolare 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, la scelta va fatta riferendosi alla norma UNI 8942, parte 2^a, *Limiti di accettazione* (vedi allegati).

Se si prevede che i blocchi rimangano in cantiere per qualche tempo è necessario predisporre un'area di stoccaggio piana e assicurarsi che abbiano una buona protezione. I blocchi, inoltre, per evitare che vengano a contatto con sostanze che potrebbero causare efflorescenze o scarsa aderenza dell'intonaco, non devono appoggiare direttamente sul terreno.

Le Malte

Il decreto 20 novembre 1987 fissa le caratteristiche delle malte per la posa in opera dei laterizi e le suddivide in quattro categorie (M1, M2, M3, M4) in funzione della loro composizione.

Stabilisce anche i valori minimi di resistenza che le malte preconfezionate devono assicurare per essere assegnate alle varie classi.

Nella pratica si è pertanto creata una relazione fra composizione e resistenza e quindi la malta M1 è una malta cementizia con resistenza superiore a 12 MPa (120 kg/cm²); la malta M2 è una malta cementizia con resistenza superiore a 8 MPa (80 kg/cm²), la malta M3 è una malta bastarda con resistenza superiore a 5 MPa (50 kg/cm²), la malta M4 è una malta bastarda con resistenza superiore a 2,5 MPa (25 kg/cm²) (tabella 1).

In zona sismica sono ammesse soltanto le malte cementizie, e quindi le malte di tipo M1 e M2.

Con i laterizi Alveolater® le malte M2 e M3, come pure le malte alleggerite di pari classe, rappresentano il giusto equilibrio fra resistenza meccanica e conduttività termica.

L'Eurocodice 6, al punto 3.6.2.4, riporta una formula che consente di ricavare la resistenza della muratura costruita con l'impiego di malta alleggerita, qualora non siano disponibili dati sperimentali:

$$f_k = K f_b^{0,65}$$

(dove: K = 0,70 se la densità della malta è compresa fra 700 e 1500 kg/m³, 0,55 se la densità della malta è di 500÷600 kg/m³; f_b è la resistenza meccanica del singolo blocco).



La malta Alveolater®, confezionata in sacchi da 30 kg ha le stesse caratteristiche di isolamento termico dei blocchi Alveolater® e Perlater®. Utilizzata con questi elementi elimina i ponti termici causati dalle malte preparate in cantiere e conferisce alle murature un più elevato isolamento termico complessivo.

Tabella 1. Classificazione delle malte (decreto ministeriale 20 novembre 1987).

Classe	Tipo	Resistenza media	Composizione				
			Cemento parti	Calce aerea parti	Calce idraulica parti	Sabbia parti	Pozzolana parti
M4	idraulica	>2,5	-	-	1	3	-
M4	pozzolanica	>2,5	-	1	-	-	3
M4	bastarda	>2,5	1	-	2	9	-
M3	bastarda	>5,0	1	-	1	5	-
M2	cementizia	>8,0	1	-	0,5	4	-
M1	cementizia	>12,0	1	-	-	3	-

La bagnatura dei laterizi

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.

Gli spessori delle murature portanti

Secondo le attuali normative, lo spessore minimo delle murature portanti in laterizio normale o alleggerito in pasta, e quindi anche in Alveolater®, deve essere almeno pari a:

- in zona non sismica:

. cm 20, per murature in elementi semipieni (classe 45);

. cm 25, per murature in elementi forati (classe 50-55);

- in zona sismica:

. cm 24. Si possono impiegare esclusivamente elementi pieni o semipieni e il limite minimo di 24 cm vale sia per il laterizio normale che per il laterizio alleggerito.

Tutti questi valori sono al netto degli intonaci.

È bene utilizzare elementi che garantiscano, con ampia sicurezza, il rispetto degli spessori stabiliti, ricordando che, ai fini della durabilità e dell'affidabilità termica, il modestissimo maggiore costo di qualche centimetro in più nello spessore del muro sarà ampiamente ripagato nel corso della vita utile dell'edificio.

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.

Per i blocchi a incastro, che sono messi in opera senza giunto verticale di malta, o nei quali il giunto è concentrato in una “tasca” (il loro impiego è limitato alle zone non classificate sismiche, come chiaramente espresso dal decreto ministeriale 16 gennaio 1996 e dalla relativa circolare illustrativa n. 65 del 10 aprile 1997), è obbligatoria la determinazione della resistenza meccanica su muretti, anche nel caso di blocchi semipieni ($F/A \leq 45\%$).

Infatti le tabelle A e B del decreto 20 novembre 1987, che consentono di ricavare la resistenza del muro conoscendo la resistenza della malta e dei blocchi, sono applicabili soltanto ai blocchi semipieni e in presenza di giunti di malta continui, verticali e orizzontali.

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 al carico verticale delle murature realizzate con giunti continui verticali e orizzontali va valutata applicando la formula prevista al punto 3.6.2.2

$$f_k = K f_b^{0,65} f_m^{0,25}$$

(dove K può variare da 0,60 a 0,40 in funzione delle caratteristiche del laterizio e della malta, mentre f_b e f_m sono le resistenze a compressione di blocchi e 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 K è variabile da 0,30 per $b/t = 0,8$ a 0,6 per $b/t \leq 0,5$ cioè in funzione del rapporto fra la distanza fra gli assi delle strisce di malta (b) e lo spessore del muro (t).

Un blocco semipieno (gruppo 2a, volume dei fori compreso fra il 25 e il 45 per cento 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 in conto la forma del blocco), in opera con una malta con resistenza di 8 N/mm^2 , può assicurare una resistenza caratteristica a compressione della muratura di 5,4 N/mm^2 .

Lo stesso blocco con la stessa malta, distesa però su due strisce parallele di 6 cm ognuna, fornisce soltanto 2,9 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.

In entrambi i casi questa posa “particolare” va però a scapito della resistenza della muratura agli sforzi taglianti: con giunti orizzontali interrotti la resistenza a taglio in assenza di carichi verticali f_{vk0} si riduce secondo il rapporto g/t (larghezza totale delle due strisce di malta diviso lo spessore del muro) e quindi, nel caso prima esaminato, si riduce a $6+6/30=0,4 f_{vk0}$.

Una ricerca sui giunti di malta

Una piccola interruzione nei giunti di malta può 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 ini-



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 per cento. Applicando la formula fornita dall'Eurocodice, una muratura a giunti continui (blocchi semipieni e malta di resistenza 8 N/mm²) ha una resistenza di 5,4 N/mm². La stessa muratura eseguita a giunti interrotti (malta distesa su due cordoni paralleli di 6 cm) può fornire una resistenza di soli 2,9 N/mm².

zialmente 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 di blocchi alveolati con giunti orizzontali eccessivamente interrotti e, spesso, con giunti verticali poco “caricati” (se non addirittura privi) di malta.

Questo, ovviamente, non tanto per migliorare le prestazioni termiche del muro, quanto per ridurre i consumi di malta e accelerare le operazioni di posa.

Il Consorzio Alveolater®, ritenendo che l'interruzione dei giunti di malta sia la causa principale di possibili difetti delle murature, sia per concentrazione di tensioni che per insufficiente resistenza a taglio (certamente non compensate né giustificabili dal

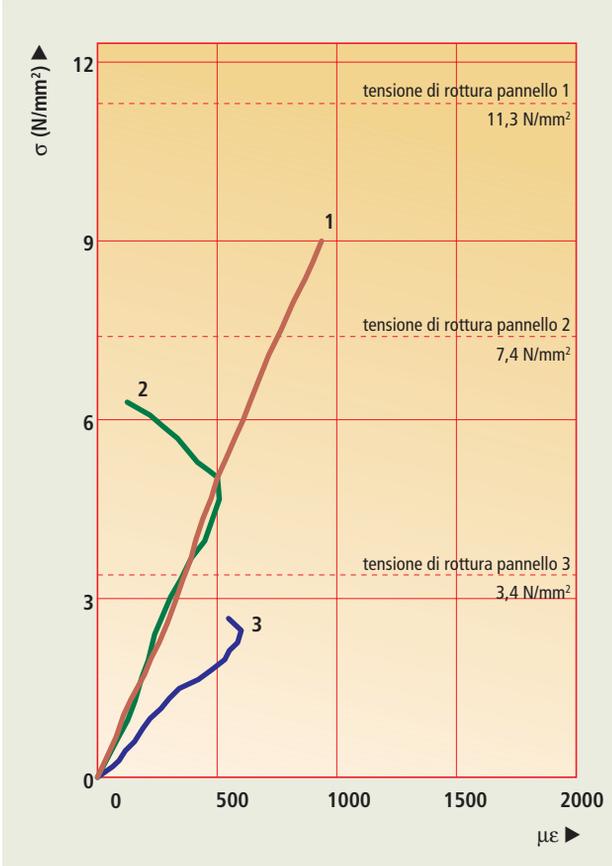
leggero miglioramento ottenibile ai fini termici o dalle economie di cantiere), ha ritenuto necessario eseguire prove sperimentali su muretti al fine di valutare l'influenza del tipo di giunto sul comportamento del muro, sia sulla resistenza a compressione, sia, soprattutto, sul comportamento a taglio.

Le prove sono state eseguite presso l'Istituto di scienza e tecnica delle costruzioni della facoltà di Ingegneria dell'Università di Ancona, operando con i seguenti materiali:

- blocco semipieno a facce piane ($F/A \leq 45\%$);
- malta premiscelata di classe M1 secondo il decreto 20 novembre 1987.

Le modalità di posa sono state:

- a giunti continui verticali e orizzontali;
- a giunti interrotti con interruzione di 5 cm (e quindi strisce di malta di 12 cm circa);
- a giunti interrotti, con interruzione di 15 cm (due strisce di 5 cm circa);
- a giunti solo orizzontali interrotti (strisce di 5 cm).



Nel grafico l'andamento tensione-deformazioni in funzione delle modalità di confezione dei pannelli: pannello 1, giunti continui verticali e orizzontali (blocchi bagnati); pannello 2, giunti interrotti per 5 cm, verticali e orizzontali (blocchi bagnati); pannello 3, giunti orizzontali interrotti per 15 cm, giunti verticali assenti (blocchi asciutti).

Inoltre, per valutare l'influenza della bagnatura dei blocchi sul comportamento del muro, si sono costruiti muretti con blocchi asciutti e muretti con blocchi saturi a superficie asciutta, posti in opera:

- a giunti continui verticali e orizzontali;
- a giunti solo orizzontali interrotti (strisce di 5 cm), privi quindi dei giunti verticali.

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.

Per verificare un possibile incremento di resistenza a taglio nelle murature armate, sono stati confezionati anche tre muretti con blocchi a facce piane e giunti orizzontali e verticali continui e tre muretti con blocchi a incastro, con giunti orizzontali continui. In entrambi i casi i giunti orizzontali sono stati armati con 2 ferri di diametro 5 mm.

In totale sono stati costruiti 66 muretti. La malta ha fornito una resistenza superiore a 20 N/mm².

Prendendo a riferimento il valore di resistenza del muro eseguito secondo le regole tradizionali, dai dati riportati in tabella 2 si rileva che:

- la posa in opera a blocchi asciutti provoca, nei blocchi a facce piane, una non trascurabile riduzione di resistenza (15 per cento);

Tabella 2. Prove a carico verticale. Riepilogo dei carichi di rottura dei muretti.

Muretti con blocchi a facce piane	Carichi 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 5 cm, blocchi bagnati	2219	2404	2526	2383
Giunti con interruzione 15 cm, blocchi bagnati	1446	1418	1299	1388
Giunti solo orizzontali, con interruzione 15 cm, blocchi bagnati	1373	1030	1318	1240
Giunti solo orizzontali, con interruzione 15 cm, blocchi asciutti	1021	1157	1076	1085
Muretti con blocchi a incastro	Carichi di rottura kN			Media kN
Giunti continui, blocchi bagnati	2802	2628	2389	2606
Giunti continui, blocchi asciutti	1748	2118	2250	2038
Giunti con interruzione 15 cm, blocchi bagnati	1715	1603	1090	1469
Giunti con interruzione 15 cm, blocchi asciutti	1457	1771	1300	1509

- l'interruzione dei giunti per 5 cm riduce la resistenza del 20 per cento;
- l'interruzione dei giunti per 15 cm riduce la resistenza del 54 per cento;
- l'interruzione dei giunti per 15 cm e l'assenza di giunti verticali riduce la resistenza del 58 per cento;
- l'interruzione dei giunti per 15 cm e l'assenza di giunti verticali, con blocchi asciutti, riduce la resistenza del 64 per cento.

L'apparecchiatura di prova impiegata nella ricerca sui giunti di malta con muretto posizionato per la determinazione della resistenza a carico verticale.



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 per cento circa, che sale al 30 per cento nel caso di posa a blocchi asciutti.

Muri realizzati con blocchi a incastro con giunti orizzontali interrotti per 15 cm si comportano tuttavia meglio di analoghi muri costruiti con blocchi a facce piane messi in opera senza giunto verticale. La resistenza, infatti, è superiore del 15 per cento circa.

Nelle prove a compressione diagonale (v. tab. 3) si evidenzia l'importanza del giunto verticale, anche se interrotto. È risultata inoltre essenziale la bagnatura dei blocchi: la superficie asciutta, infatti, riducendo l'aderenza calcestruzzo/laterizio, deprime fortemente il comportamento a taglio.

Sono stati provati anche i tre muretti realizzati con blocchi asciutti, a incastro, e armatura con 2 ferri di diametro 5 mm nel primo e nel terzo corso. Il carico medio di rottura è stato di 58,5 kN, e quindi dello stesso ordine di grandezza di muretti analoghi, non armati; mentre tre pannelli armati, realizzati con blocchi a facce piane e sempre con blocchi asciutti, hanno dato il valore medio di 240,5 kN, e quindi anche in questo caso dello stesso ordine di grandezza degli analoghi pannelli non armati. Ma l'influenza dell'armatura nei giunti verrà meglio esaminata nella seconda fase della ricerca.

Tabella 3. Prove a compressione diagonale. Riepilogo dei carichi di rottura dei muretti.

Muretti con blocchi a facce piane	Carichi 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 5 cm, blocchi bagnati	386,3	379,4	400,1	388,6
Giunti con interruzione 15 cm, blocchi bagnati	331,2	328,5	350,7	336,8
Giunti solo orizzontali, con interruzione 15 cm, blocchi bagnati	83,6	108	115,4	102,3
Giunti solo orizzontali, con interruzione 15 cm, blocchi asciutti	46,9	34,5	51,1	44,3
Muretti con blocchi a incastro	Carichi di rottura kN			Media kN
Giunti continui, blocchi bagnati	142,1	174,5	176,6	164,4
Giunti continui, blocchi asciutti	44,7	78	73,1	65,3
Giunti con interruzione 15 cm, blocchi bagnati	178	94,8	106,4	126,4
Giunti con interruzione 15 cm, blocchi asciutti	34	35,9	45,8	38,6

Lo sfalsamento dei giunti verticali

I blocchi Alveolater® 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 lo sfalsamento (S) dei giunti verticali si può assumere il seguente riferimento:

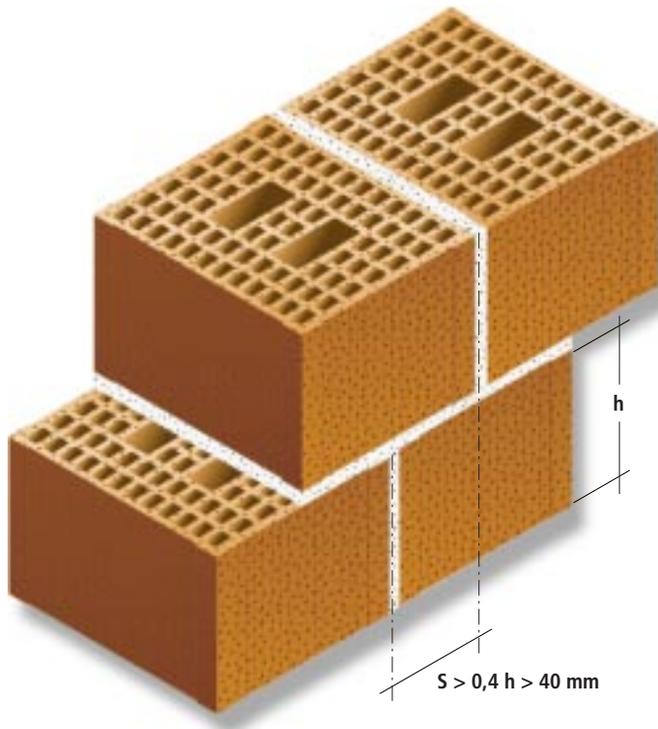
$$S > 0,4 h > 40 \text{ mm}$$

(dove h è l'altezza del mattone o del blocco).

La sovrapposizione (S) deve quindi essere maggiore di 0,4 volte l'altezza dell'elemento (h) e comunque sempre maggiore di 40 mm (Eurocodice 6, punto 5.1.4).

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

Nelle murature la sovrapposizione tra i blocchi (S) deve essere maggiore di 0,4 volte l'altezza dell'elemento (h) e comunque sempre maggiore di 40 mm.
Per un blocco di 20 cm di altezza la sovrapposizione dovrà quindi essere non inferiore a 8 cm.



Caratteristiche prestazionali

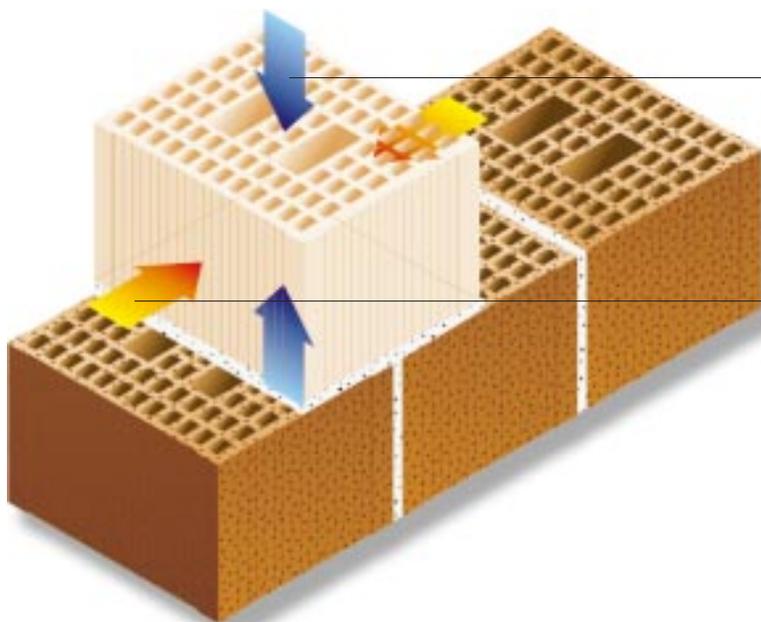
Quaderni Alveolater®

La resistenza meccanica

La resistenza caratteristica minima dei blocchi è fissata dal decreto 16 gennaio 1996 (valido in zone sismiche) in 5 N/mm^2 per il carico verticale e in $1,5 \text{ N/mm}^2$ per il carico in direzione perpendicolare ai fori e nel piano della muratura. Per gli elementi pieni è richiesta soltanto una resistenza caratteristica ai carichi verticali di 7 N/mm^2 .

Azioni in direzione
dei carichi verticali

Azioni in direzione
ortogonale ai carichi verticali
e nel piano della muratura



Il decreto 20 novembre 1987 non fissa limiti di resistenza per i materiali artificiali, se non in modo implicito, in quanto la tabella A, che consente di prevedere la resistenza meccanica del muro in funzione della resistenza dei blocchi e della malta, vale per resistenze caratteristiche a compressione variabili da 2 a 40 N/mm^2 . Si può quindi ritenere che 2 N/mm^2 sia il minimo valore di resistenza ammesso per gli elementi artificiali, e quindi anche per i laterizi (che tuttavia superano sempre, e abbondantemente, questo valore).

Può sembrare una inutile precisazione, ma è bene ricordare che il decreto sismico limita le altezze massime degli edifici in muratura in funzione della sismicità della zona, mentre il decreto per le zone ordinarie pone limiti all'altezza degli edifici (3 piani) soltanto se si esegue il dimensionamento semplificato. Se si ri-

I blocchi per murature portanti devono resistere ad azioni sia in direzione dei carichi verticali sia in direzione ortogonale a quella dei carichi verticali e nel piano della muratura.

corre al calcolo esteso il limite è dato esclusivamente dalle sollecitazioni e dalla resistenza dei materiali.

In funzione della percentuale di foratura, i blocchi Alveolater® forniscono mediamente le resistenze di tabella 4, che comunque vanno assunte come puro riferimento e devono essere confermate dai rapporti di prova dei singoli produttori.

Tabella 4. Resistenza meccanica dei blocchi Alveolater® e della muratura.

Classe Alveolater®	F/A	Resistenza del blocco	Tipo di malta	Resistenza del muro a compressione	Resistenza del muro a taglio
	%	N/mm ²		N/mm ²	N/mm ²
45	$F/A \leq 45$	14	M3	5,5	0,20
50	$45 < F/A \leq 50$	12	M3	4,0	0,18
55	$50 < F/A \leq 55$	10	M3	3,5	0,15

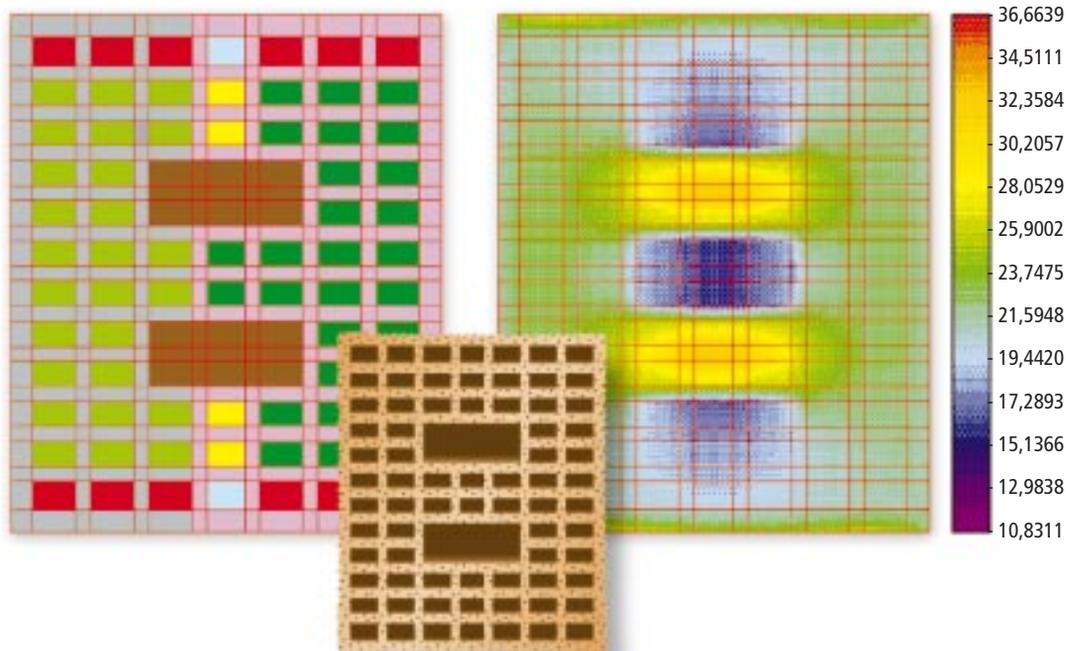
Alla resistenza del muro, sperimentale o ricavata dalla tabella A del decreto ministeriale 20 novembre 1987, va applicato un coefficiente di sicurezza pari a 5. Pertanto il tasso di lavoro massimo ammesso per murature delle caratteristiche sopra indicate sarà rispettivamente di 1,1 - 0,8 e 0,7 N/mm².

Le prestazioni termiche

Sulla Gazzetta Ufficiale del 5 maggio 1998 n. 102 è stato pubblicato il decreto 2 aprile 1998 del Ministero dell'Industria *Modalità di certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti ad essi connessi* riguardante l'obbligo di certificazione delle caratteristiche energetiche dei componenti di edifici o impianti, il cui elenco è riportato in allegato alla legge. Il decreto è in vigore dal 4 novembre 1998 mentre i materiali e i componenti prodotti nel periodo 5 maggio - 4 novembre 1998 potranno essere smaltiti entro il mese di marzo 2000. Il decreto impone la certificazione per tutti i prodotti che nella denominazione di vendita, nell'etichetta o nella pubblicità facciano riferimento alle caratteristiche energetiche o comunque per i quali vengano usate espressioni che possano indurre l'acquirente a ritenere il prodotto destinato a un utilizzo ai fini del risparmio energetico.

Nell'Allegato A, punto II, comma b), *Manufatti, elementi per murature e chiusure perimetrali*, il decreto stabilisce che devono essere certificati gli elementi per murature in laterizio alleggerito in pasta o in laterizio normale con prestazioni termiche speciali

ottenute mediante una geometria ottimizzata. Per tali prodotti vanno certificate la massa volumica e la resistenza termica areica, ovvero la resistenza termica riferita all'unità di area (m^2).



Le caratteristiche della certificazione energetica

La certificazione deve essere rilasciata utilizzando, nell'ordine, una delle procedure previste da:

- regole tecniche obbligatorie in uno Stato membro CEE;
- norme europee elaborate dal CEN, CENELEC, ETSI o, in assenza, da norme nazionali;
- regole legalmente applicate in paesi esterni alla CEE;
- norme tecniche emesse da organismi di normazione di paesi esterni alla CEE.

In Italia è in vigore la legge 10/91 e successivamente sono stati emanati, fra gli altri, il d.p.r. 26 agosto 1993 n. 412 *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4 della legge 9 gennaio 1991 n. 10* e il decreto ministeriale 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.*

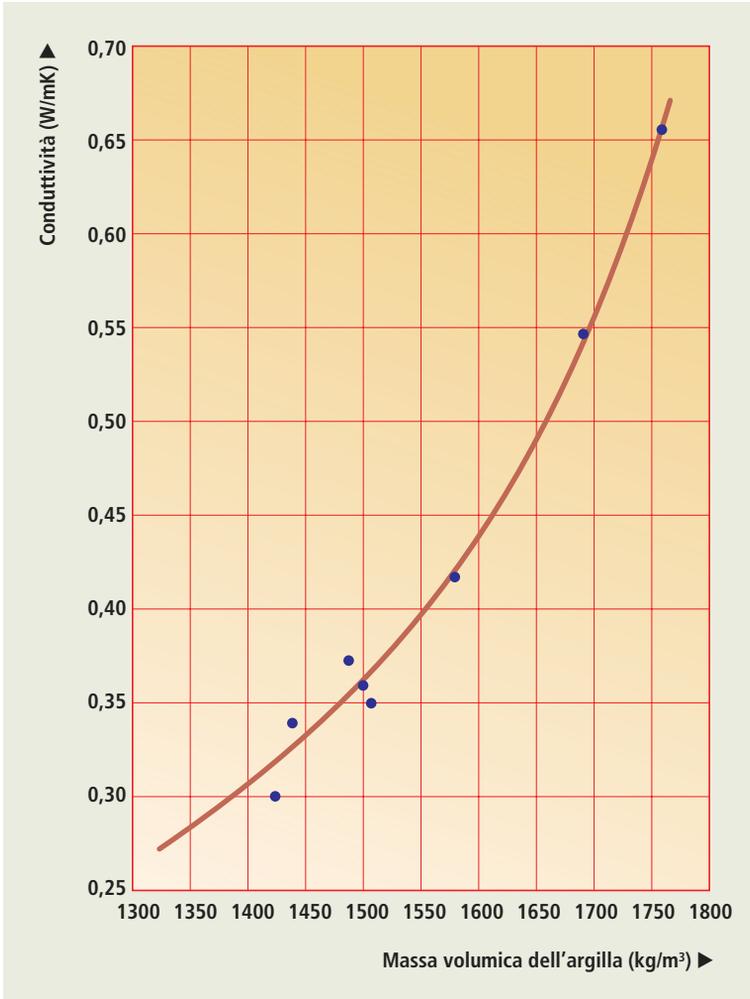
La mesh per il calcolo agli elementi finiti secondo UNI 10355 e l'andamento del flusso termico. Al centro il blocco.

A queste leggi e decreti si deve fare riferimento e in particolare al decreto ministeriale 6 agosto 1994 che ha recepito la norma UNI 10355 che ha quindi valore di legge e, pertanto, deve essere applicata in via prioritaria.

La norma UNI 10355 porta il titolo *Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo* e definisce il metodo

di calcolo agli elementi finiti che consente di ricavare la resistenza termica areica di una parete in muratura in funzione della conduttività termica λ del materiale costituente il blocco, del disegno del blocco stesso, del tipo di apparecchiatura della muratura, della malta impiegata nei giunti e del loro spessore, del contenuto di umidità del muro (interno/esterno).

Il valore della conduttività termica potrà essere ricavato dalle tabelle della norma UNI 10351 *Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore* (tabella 5) o mediante una prova sperimentale, eseguita secondo la norma UNI 7745 *Materiali isolanti. Determinazione della conduttività termica con il metodo della pia-*



Conduttività termica sperimentale dell'argilla.

stra calda con anello di guardia, su di un provino di argilla che rispetti esattamente le caratteristiche dell'impasto impiegato per la produzione, sia per composizione (ad esempio dosaggio degli elementi di alleggerimento), sia per tecnologia di formatura (il comportamento termico di una stessa argilla è infatti ben diverso a seconda che il provino sia formato a mano o trafilato).

In tabella 6 sono riportati alcuni valori sperimentali. Quindi la verifica delle prestazioni termoisolanti di prodotti in laterizio alleggerito in pasta o in laterizio normale, ma con caratteristiche energetiche migliorate, dovrà essere eseguita mediante un calcolo termico agli elementi finiti secondo UNI 10355, da rinnovare nel caso venga utilizzata una diversa materia prima o venga modificato il disegno del blocco.

Naturalmente il calcolo, per sua stessa natura, può essere eseguito da un professionista a ciò abilitato (iscritto all'albo), mentre la eventuale prova sperimentale di conduttività dovrà essere eseguita presso un laboratorio riconosciuto.

Rispetto al calcolo, le certificazioni sperimentali di determinazione della trasmittanza termica unitaria su parete, eseguite abitualmente secondo la norma americana ASTM C 236, hanno certamente meno valore. Infatti una norma tecnica emessa da

Tabella 5. Valori di conduttività UNI 10351.

Densità kg/m ³	Conduttività λ di riferimento W/mK	Fattore di maggiorazione %	Conduttività utile di calcolo W/mK
600	0,13	90	0,25
800	0,18	65	0,30
1000	0,24	48	0,36
1200	0,32	35	0,43
1400	0,40	25	0,50
1600	0,50	18	0,59
1800	0,63	14	0,72
2000	0,80	12	0,90

Tabella 6. Valori sperimentali.

Massa kg/m ³	Conduttività λ dell'argilla W/mK	Tipo di campione
1422	0,30	piastra 50x50x5 cm
1442	0,335	disco formato a mano $\varnothing = 20$ cm
1493	0,373	disco trafilato $\varnothing = 20$ cm
1500	0,361	disco formato a mano $\varnothing = 20$ cm
1505	0,35	piastra 50x50x5 cm
1590	0,406	disco trafilato $\varnothing = 20$ cm
1690	0,548	disco trafilato $\varnothing = 20$ cm
1755	0,655	disco trafilato $\varnothing = 20$ cm

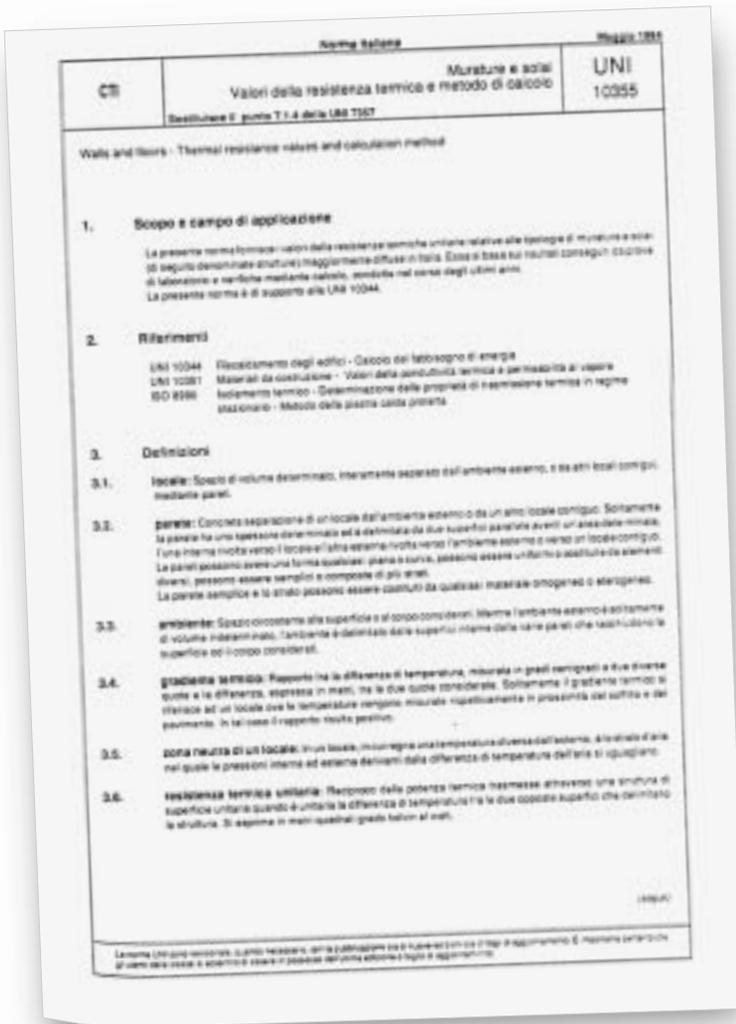
organismi di normazione di paesi esterni alla CEE, utilizzabile in assenza di norme obbligatorie nazionali o di norme comunitarie, o di norme di stati membri della CEE, è applicabile ma deve essere approvata «...dall'autorità competente di uno dei paesi dell'Unione europea».

La norma ASTM C 236 al momento non ha questa approvazione. Inoltre la UNI 10355, al punto 4.5. evidenzia che il valore relativo a una singola prova sperimentale «...non è significativo se non include informazioni sul contenuto di umidità del manufatto in prova e sulle resistenze termiche superficiali di scambio durante la prova».

Infatti non sempre nelle prove sperimentali i coefficienti liminari α_i e α_e hanno i valori standard di 8 e 23 W/m² °C, e questo influenza in modo rilevante il risultato finale. Ma soprattutto la prova sperimentale non può essere rappresentativa del comportamento della muratura reale, in opera, soggetta all'umidità atmosferica, situazione che invece il calcolo simula con grande precisione.

Se, quindi, si utilizzano rapporti di prove sperimentali, bisogna porre attenzione alle modalità esecutive e alle condizioni del muretto di

prova: se il muretto è stato confezionato senza bagnare i blocchi e se i giunti di malta non sono eseguiti secondo le modalità prescritte in progetto (ad esempio sono interrotti mentre il progetto richiede giunti continui), il risultato sperimentale dovrà essere utilizzato con le necessarie cautele, maggiorandolo in modo da tenere conto della effettiva situazione della muratura in opera, ma anche del fatto che una sola prova, per i limiti che



La prima pagina della Uni 10355. La norma stabilisce i criteri di calcolo della resistenza termica per murature e solai.

le prove stesse hanno, non può essere con certezza rappresentativa delle prestazioni della muratura. Il calcolo è certamente il metodo più attendibile, sia perché tiene esattamente conto del disegno del blocco e dell'effettiva materia prima, sia perché consente un oggettivo confronto fra prodotti diversi per disegno o per materia prima, sia perché darà sempre lo stesso risultato, in qualunque momento verrà eseguito.

Se invece si farà ricorso ai valori di resistenza termica R della muratura, tabellati nella UNI 10355, bisognerà scegliere il valore relativo a un blocco che più assomigli, per disegno, per massa volumica e per posa in opera (direzione della foratura e spessore dei giunti di malta), al blocco che si intende impiegare.

Il modo più semplice per essere certi che il prodotto inviato al cantiere fornisca la prestazione termica prevista (trasmittanza U o resistenza termica R), consiste nel controllo del disegno, della percentuale di foratura e della massa, che devono corrispondere a quanto indicato nel rapporto di prova o nella relazione di calcolo. Naturalmente la posa in opera dovrà essere conforme a quanto indicato nel rapporto o nella relazione.

I produttori associati al Consorzio Alveolater® hanno comunque stabilito di certificare la produzione secondo UNI 10355.

A causa dei tempi tecnici richiesti dalle prove sperimentali di conduttività, l'adeguamento avverrà con gradualità.

Nel frattempo verranno ancora utilizzate le tradizionali prove su muretto eseguite secondo le norme americane ASTM o norme analoghe.

Muri realizzati con blocchi Alveolater® e provati in laboratorio, forniscono indicativamente i valori di trasmittanza U di tabella 7 in funzione della classe di appartenenza.

Tabella 7. Trasmittanza U di murature spessore cm 30 (intonacate) in blocchi Alveolater® e Conduttività equivalente della parete in laterizio senza intonaco.

		Classi Alveolater®			
		45	50	55	60
Trasmittanza U	W/m ² K	0,78	0,77	0,75	0,72
Conduttività equivalente λ_e	W/mK	0,27	0,265	0,26	0,245

Questi valori di trasmittanza rappresentano la media di numerosissime prove sperimentali su blocchi di diverso disegno e prodotti con argille di diverse composizioni chimiche e granulometriche, ma sono con ogni probabilità inferiori rispetto ai valori di trasmittanza ottenibili con il calcolo, che tiene conto delle maggiorazioni legate alla massa e all'umidità presente nella muratura e, quindi, vanno opportunamente maggiorati.

Quaderni Alveolater®

Fac-simile di dichiarazione dei produttori di blocchi Alveolater® nella quale si fa riferimento alla prova di conduttività e al calcolo termico secondo UNI 10355.

La "dichiarazione" del Produttore

Il decreto stabilisce, all'art. 3, che la certificazione può essere costituita da una dichiarazione del produttore che, oltre a riportare i valori di resistenza termica e massa volumica, dovrà specificare come siano state ottenute le prestazioni dichiarate.



Dichiarazione del produttore 

Società Sede

Dichiarazione ai sensi del decreto Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato 2 aprile 1998 *Certificazione energetica degli edifici* (art. 1 comma 2 punto d e art. 3).

Blocco di laterizio alleggerito in pasta tipo

Sulla base delle prove di conduttività termica eseguite presso il laboratorio secondo la norma UNI 7745 in data e del successivo calcolo di resistenza termica secondo UNI 10355 eseguito da, in data

la scrivente società dichiara

Massa volumica dell'argilla

$M = \dots\dots\dots \text{ kg/m}^3$

Massa volumica apparente del blocco

$M = \dots\dots\dots \text{ kg/m}^3$

Resistenza termica di parete non intonacata, realizzata con giunti di malta di spessore cm, continui su entrambe le facce (o interrotti o a incastro ecc.)

$R = \dots\dots\dots \text{ m}^2\text{K/W}$

Resistenza termica di parete intonacata, spessore dell'intonaco cm, realizzata con giunti di malta di spessore cm, continui su entrambe le facce (o interrotti o a incastro ecc.)

$R_i = \dots\dots\dots \text{ m}^2\text{K/W}$

Ai valori sopra indicati di Resistenza termica corrispondono valori di Trasmissanza U e Conduttanza C rispettivamente pari a:

Parete non intonacata

$U = \dots\dots\dots \text{ W/m}^2\text{K}$

$C = \dots\dots\dots \text{ W/m}^2\text{K}$

Parete intonacata

$U_i = \dots\dots\dots \text{ W/m}^2\text{K}$

$C_i = \dots\dots\dots \text{ W/m}^2\text{K}$

Timbro e firma

Data

Laterizi ad alte prestazioni termiche

La marchiatura dei prodotti

Sui prodotti, sulle confezioni o sugli imballi, vanno riportati il valore della massa volumica e la resistenza termica della parete non intonacata.

È preferibile indicare la massa volumica dell'argilla. Da essa infatti si può ricavare la massa volumica apparente semplicemente moltiplicandola per il complemento a 1 della percentuale di foratura (ad esempio: $1450 \times (1 - 0,45) \approx 800 \text{ kg/m}^3 = \text{blocchi semipieni con foratura del 45 per cento alleggeriti in pasta, con argilla di massa volumica } 1450 \text{ kg/m}^3$).



Inoltre, la massa volumica dell'argilla è un dato univoco, mentre una stessa massa volumica apparente può definire blocchi di diverse caratteristiche. Infatti $800 = 1450 \times (1 - 0,45) = 1600 \times (1 - 0,50)$.

Oltre a questi dati, dovranno essere riportate le indicazioni necessarie per identificare la partita della quale i prodotti fanno parte.

Quindi, un blocco in laterizio a prestazioni termiche migliorate, per essere ben identificabile e per rispondere alle richieste del decreto, deve essere marchiato con:

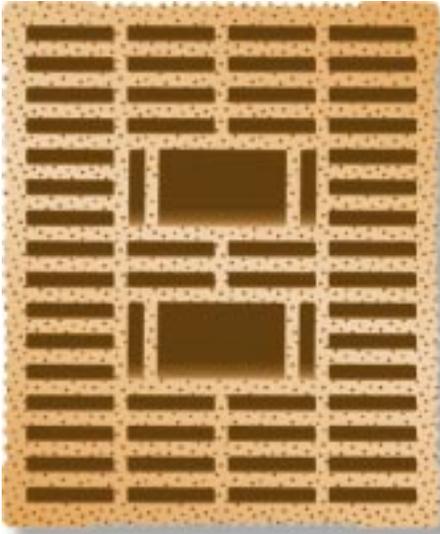
- nome del produttore;
- stabilimento (nel caso di più stabilimenti della stessa società);
- data di produzione (ed eventualmente turno di produzione);
- percentuale di foratura;
- massa volumica dell'argilla;
- resistenza termica.

In alternativa, queste informazioni possono essere riportate sull'imballo nel caso di componenti che, per dimensioni o per tipologia, non consentano una marchiatura diretta.

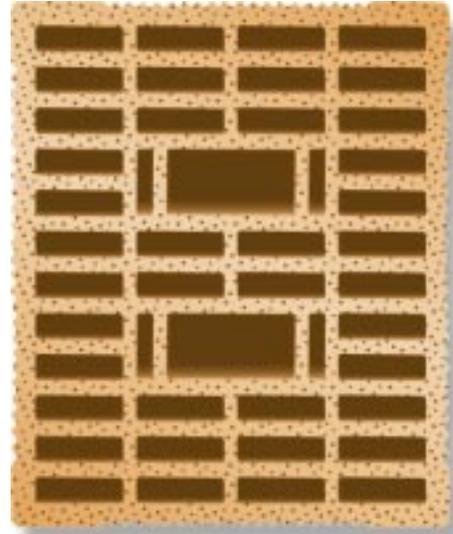
Un blocco di laterizio a prestazioni termiche migliorate, per essere ben identificabile e per rispondere alle richieste del decreto 2 aprile 1998, deve essere marchiato con: nome del produttore, stabilimento, data di produzione, percentuale di foratura, massa volumica e resistenza termica. Nel caso di componenti che per dimensioni o tipologia non consentono una marchiatura diretta, queste informazioni possono essere riportate sull'imballo.

Una ricerca sul comportamento termico

Attraverso il metodo di calcolo previsto dalla norma UNI 10355 è anche possibile confrontare l'efficienza energetica di blocchi di diverso disegno.



Foratura 45%
Dimensioni 30x25 cm (spessore del muro 30 cm)



Foratura 55%
Dimensioni 30x25 cm (spessore del muro 30 cm)

Blocchi termicamente ottimizzati, risultato della ricerca condotta dal Consorzio Alveolater® in collaborazione col Dipartimento di Energetica dell'Università di Ancona. La ricerca ha evidenziato che è possibile migliorare le prestazioni termiche di un blocco, a parità di percentuale di foratura, intervenendo sul rapporto lunghezza-larghezza del singolo foro, senza ricorrere a disegni complessi, a labirinto.

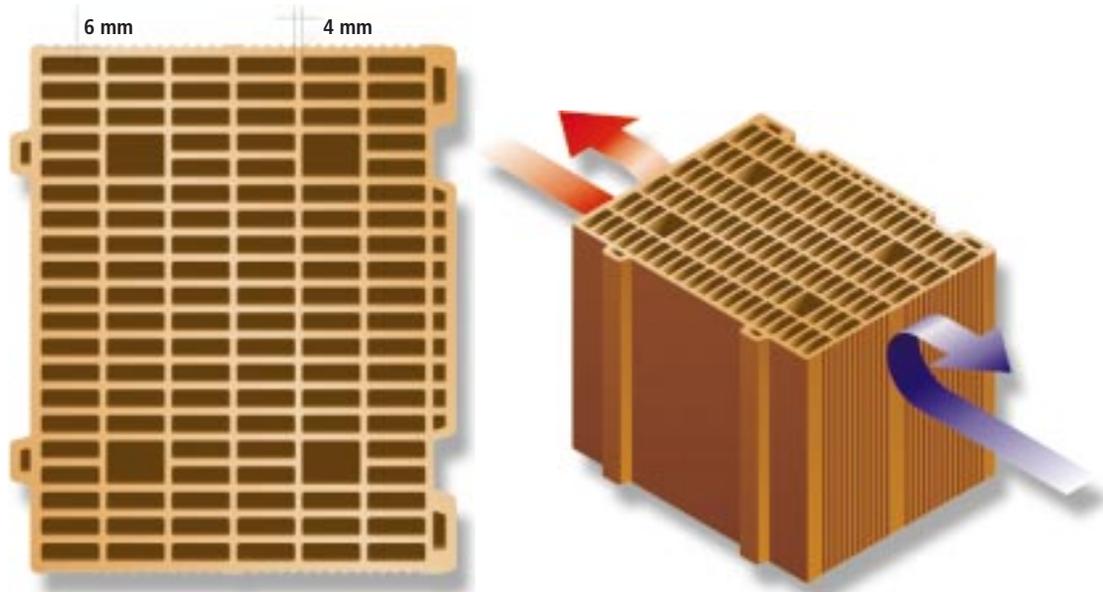
Una ricerca condotta presso il Dipartimento di Energetica dell'Università di Ancona, applicando appunto la norma citata a un elevato numero di blocchi in produzione, ha evidenziato come sia possibile migliorare le prestazioni termiche di un blocco, a parità di percentuale di foratura, intervenendo sul rapporto lunghezza-larghezza del singolo foro, senza necessità di ricorrere a disegni complessi, a labirinto.

Le prestazioni migliori si hanno nei blocchi caratterizzati da fori lunghi e stretti, tali da consentire anche un più elevato numero di file di fori nel senso del flusso termico. Non è invece particolarmente significativo il fatto di avere i fori, e quindi i setti, sfalsati. Intuitivamente lo sfalsamento sembrerebbe determinare un maggior ostacolo al passaggio del calore, ma il miglioramento è soltanto dell'ordine di $1 \div 1,5$ punti percentuali.

La percentuale di foratura influisce sulla resistenza termica. Fissando la dimensione esterna del blocco, assumendo un foro campione e costruendo, con questi elementi prefissati, dei blocchi con foratura da 0 a 70 per cento, accettando una riduzione dello spessore dei setti interni fino a valori inferiori a quelli fis-

sati dalle norme vigenti, si rileva che la resistenza termica aumenta all'aumentare della percentuale di foratura con un andamento praticamente lineare.

Questo concetto è stato alla base della progettazione del blocco Iper, blocco per tamponamento con una percentuale di foratura



Foratura 62%
Dimensioni 30x25 cm (spessore del muro 30 cm)

pari al 62 per cento, spessore delle pareti 6 mm e spessore dei setti 4 mm. Ma nel caso di materiali strutturali, per i quali non è consentito scendere sotto valori di 10 mm per le pareti esterne e di 8 mm per i setti interni, non è possibile progettare blocchi con percentuale di foratura via via crescente utilizzando sempre uno stesso tipo di foro, aumentandone soltanto la numerosità. Bisogna ricorrere a fori di dimensione maggiore e quindi con maggiore conduttività termica equivalente, e questo generalmente comporta una riduzione della resistenza termica. Infatti anche nei blocchi a disegno ottimizzato, risultato della ricerca, il blocco di classe 45 ha una resistenza termica di $1,69 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($U = 0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$), che scende a $1,59 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($U = 0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$) nel blocco di classe 55 (valori di calcolo ottenuti senza maggiorazione della conduttività).

Queste conclusioni valgono per argille con conduttività λ di $0,3 \pm 0,4 \text{ W/mK}$.

Variando la conduttività, i risultati possono differire: ogni blocco dovrebbe pertanto essere progettato in funzione del tipo di argilla che si intende utilizzare.

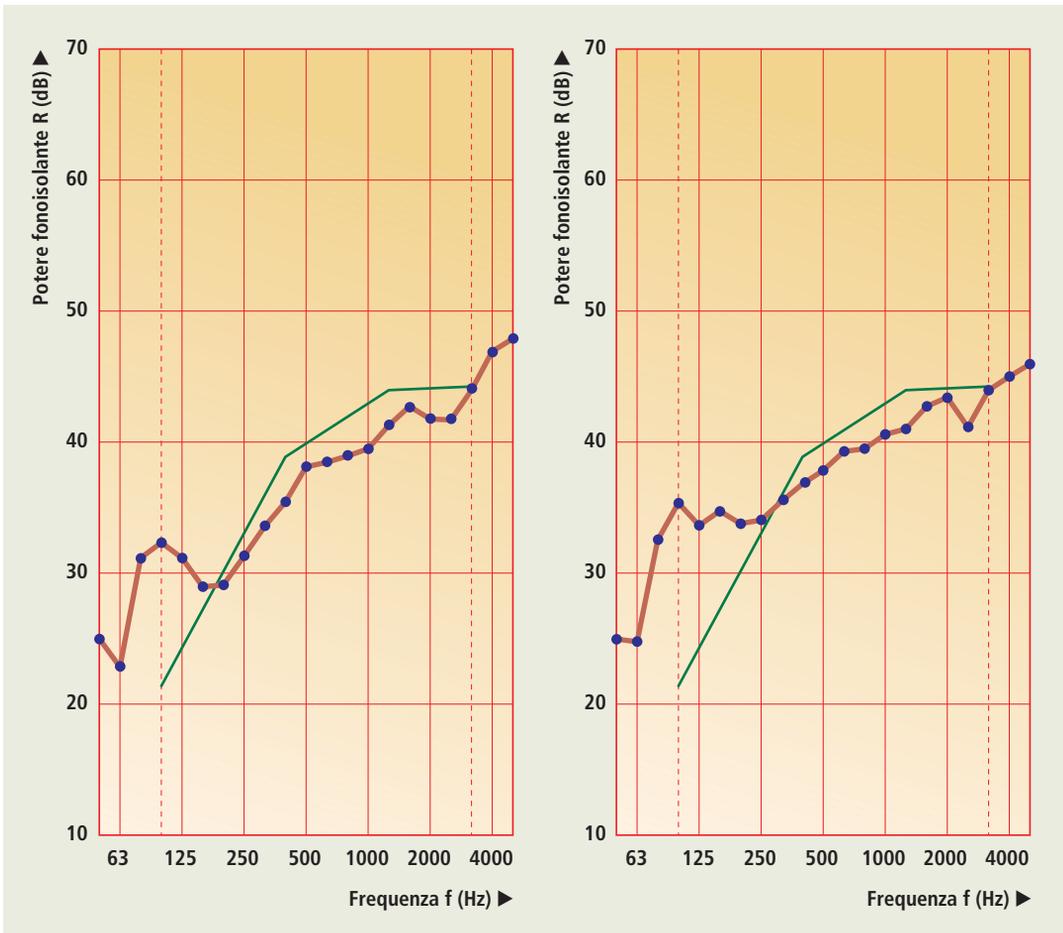
Al blocco Iper-Alveolater® per tamponamento sono stati applicati i concetti emersi nella ricerca dell'Università di Ancona. Per ottenere il maggior numero di file di fori (di forma rettangolare molto allungata e disposti nel senso del flusso termico: 20 file contro le normali 9-12) sono stati progettati setti interni di soli 4 mm di spessore. Ciò ha permesso al blocco di raggiungere valori di isolamento termico molto elevati, mai raggiunti prima da elementi di laterizio di analoghe dimensioni.

Le prestazioni acustiche

Andamento del potere fonoisolante di murature di 12 cm di spessore intonacate: a sinistra, parete in elementi di laterizio normale; a destra, parete in blocchi di laterizio alveolato.

Sulla gazzetta Ufficiale n. 297 del 22 dicembre 1997 è stato pubblicato il decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, 5 dicembre 1997, dal titolo *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*, emanato su proposta del ministro dell'ambiente, di concerto con i ministri della sanità, dei lavori pubblici, dell'industria, del commercio e dell'artigianato.

È un decreto molto breve, composto da una premessa, nella quale si conferma la necessità di fissare criteri e metodologie per il contenimento dell'inquinamento da rumore all'interno degli ambienti abitativi, da 3 articoli "tecnici" (Campo di applicazione, Definizioni, Valori limiti), dall'articolo sull'entrata in vigore (prevista dopo 60 giorni dalla pubblicazione: è quindi in vigore dal 21 febbraio 1998) e da un allegato.



L'allegato prende in considerazione il rumore di calpestio trasmesso attraverso i solai, la capacità di isolamento delle pareti interne di separazione fra unità immobiliari e di facciata e il rumore prodotto dagli impianti tecnologici.

Gli ambienti abitativi sono classificati in sette categorie, riportate nella tabella 8a, mentre i limiti ammessi sono stabiliti nella tabella 8b.

Come prevedibile, i limiti relativi a ospedali e case di cura sono i più impegnativi: un isolamento acustico in opera di 55 dB fra due unità immobiliari (e quindi fra due stanze, o fra stanze e corridoi) o di 45 dB per le facciate è certamente elevato e può creare qualche problema al progettista, che dal 21 febbraio 1998 deve obbligatoriamente eseguire anche queste verifiche e trovare soluzioni efficaci e documentate.

Lo stesso impegno investe il direttore dei lavori che deve controllare la corretta esecuzione delle opere anche ai fini acustici. Allo stato attuale tuttavia la norma si trova in netto anticipo rispetto alla realtà produttiva e dei cantieri: esistono certamente prove di potere fonoisolante in laboratorio, ma molto più rare sono state le verifiche in opera.

Tabella 8a. Classificazione degli ambienti abitativi.

Categoria A	edifici adibiti a residenza e assimilabili
Categoria B	edifici adibiti a uffici e assimilabili
Categoria C	edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed 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

Tabella 8b. Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici.

Categorie di cui alla tabella 6a	R'_w (*)	$D_{2m,nTw}$	$L'_{n,w}$	L_{ASmax}	L_{Aeq}
1. D	55	45	58	35	25
2. A, C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B, F, G	50	42	55	35	35

Note: (*) valori di R'_w riferiti a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari; R'_w : indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti; $D_{2m,n,T,w}$: indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata; $L'_{n,w}$: indice del livello del rumore di calpestio; L_{ASmax} : livello massimo della pressione sonora ponderata A con costante di tempo slow per servizi a funzionamento discontinuo; L_{Aeq} : livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A, per servizi a funzionamento continuo.

Se in passato ci fosse stata maggiore attenzione nell'applicazione delle circolari per edilizia scolastica (Circolare 3150 del 22 maggio 1967) e per edilizia residenziale, anche sovvenzionata (Circolare 1769 del 30 aprile 1966), si sarebbe certamente raggiunta una competenza progettuale che oggi, purtroppo, non è diffusa in modo generale, come sarebbe auspicabile.

Ma una norma, se più avanzata rispetto al sapere diffuso, può però assumere il compito di stimolo.

Le industrie del settore si stanno adeguando e già sono disponibili soluzioni e sistemi, anche se non del tutto nuovi, certamente caratterizzati da semplicità e certezza di risultati.

Una ricerca sulle prestazioni acustiche

Dalla ricerca condotta dall'Andil-Assolaterizi (Associazione nazionale degli industriali dei laterizi) in collaborazione con le Università di Parma e Ferrara si sono ottenute formule sperimentali che consentono un rapido dimensionamento preliminare delle pareti.

Per pareti semplici, con massa M compresa fra 100 e 700 kg/m² vale la formula:

$$R_w = 15,4 \log M + 8 \text{ dB}$$

Per pareti in laterizio alleggerito, con massa M compresa fra 100 e 500 kg/m²:

$$R_w = 16,9 \log M + 3,6 \text{ dB}$$

Per pareti doppie, con distanza fra le due pareti inferiore a 5 cm:

$$R_w = 20 \log M \text{ dB}$$

(dove R_w esprime l'indice di valutazione del potere fonoisolante e, nel caso di pareti doppie, M è la somma delle masse delle due pareti).

Se l'intercapedine è riempita di argilla espansa sfusa, il potere fonoisolante aumenta di 1 dB.

Con lana di roccia l'aumento è di 2 dB, mentre se una delle due pareti è svincolata dalla struttura, il potere fonoisolante aumenta di 3 dB. Successive elaborazioni hanno consentito di verificare l'efficacia di intercapedini superiori a 10 cm.

Con una doppia tramezza alveolata di cm 8, intercapedine di 10 cm e intonaco si può prevedere un potere fonoisolante di 57 dB; 58 dB se le tramezze hanno spessore di 10 cm; 59 dB con spessore di 12 cm.

Questi valori vanno poi ridotti per tenere conto dell'influenza di altre strutture (cammini di fiancheggiamento).

L'isolamento acustico in opera R'_w di una partizione può essere espresso da:

$$R'_w = R_w - C_F$$

Il termine di riduzione C_F (dB) assume i valori di tabella 9.

Tabella 9. Riduzione del potere fonoisolante delle pareti in opera.

Massa superficiale della partizione	Massa superficiale media degli elementi di fiancheggiamento omogenei, non coperti da rivestimento isolante								
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	termine di riduzione C_F								
kg/m ²	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
100	2	1	0	0	0	0	0	0	0
150	3	2	1	1	0	0	0	0	0
200	4	3	2	1	1	1	0	0	0
250	5	3	2	1	1	1	0	0	0
300	6	4	3	2	2	1	1	1	1
350	7	5	4	3	2	2	1	1	1
400	7	5	4	3	3	2	2	1	1
450	8	6	5	4	3	2	2	2	1
500	8	6	5	4	3	3	2	2	2

Il comportamento al fuoco

La normativa italiana attuale introduce e distingue due fondamentali concetti:

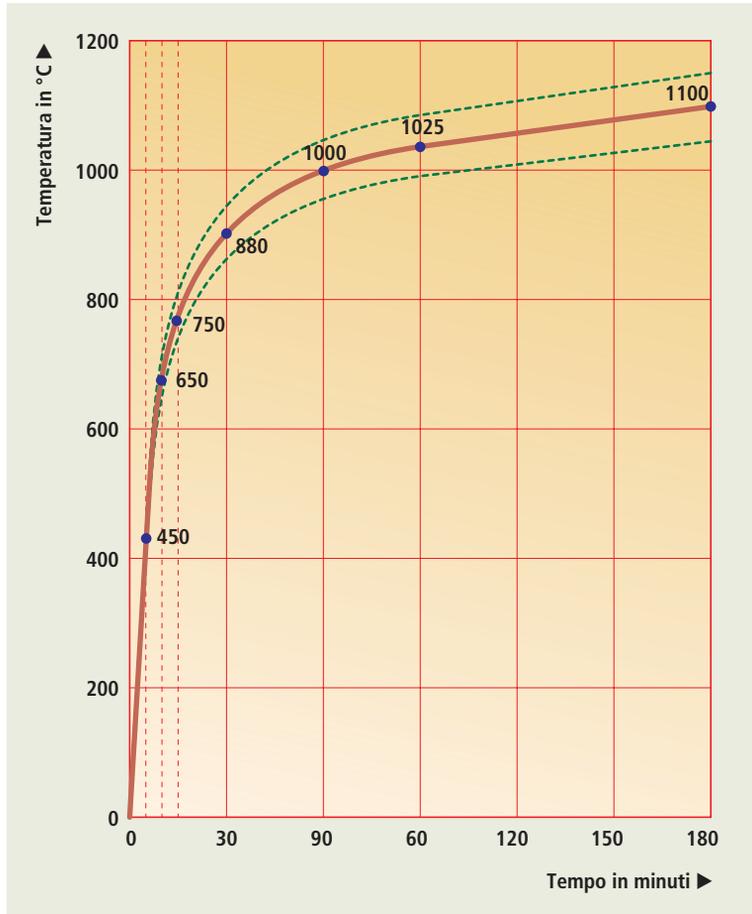
- la **reazione al fuoco** (decreto ministeriale 26 giugno 1964: *Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi*);
- la **resistenza al fuoco** (*Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile*, Circolare n. 91/1961 del Ministero dell'Interno).

La reazione al fuoco

Per reazione al fuoco di un materiale si intende «...il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è

sottoposto. In relazione a ciò i materiali sono assegnati alle classi 0, 1, 2, 3, 4, 5 con l'aumentare della loro partecipazione alla combustione; quelli di classe 0 non sono combustibili». La classe di reazione al fuoco fornisce quindi un giudizio sulla attitudine del materiale a contribuire o meno all'incendio.

Andamento della temperatura dell'incendio nella camera di prova in funzione del tempo.



Il decreto ministeriale 14 gennaio 1985 (all'art. 1) attribuisce ai materiali di seguito elencati classe di reazione 0:

- materiali da costruzione, compatti od espansi a base di ossidi metallici (ossido di calcio, magnesio, silicio, alluminio ed altri) o di composti inorganici (carbonati, solfati, silicati di calcio ed altri) privi di leganti organici;
- materiali isolanti a base di fibre minerali (di roccia, di vetro, ceramiche ed altre) privi di leganti organici;
- materiali costituiti da metalli con o senza finitura superficiale a base inorganica.

Il laterizio (normale o alleggerito; l'alleggerimento è del tutto influente nell'ambito della reazione al fuoco) è un materiale non combustibile e quindi di classe 0, in quanto rientra fra i materiali da costruzione del primo tipo.

La resistenza al fuoco

La resistenza al fuoco è definita come «...l'attitudine di un elemento costruttivo - sia esso componente o struttura - a conservare, secondo un programma termico prestabilito e per un certo periodo di tempo, la stabilità (indicata con il simbolo R), la tenuta (indicata con il simbolo E) e l'isolamento termico (indicato con il simbolo I)».

La stabilità R è l'attitudine di un elemento da costruzione a conservare la propria resistenza meccanica sotto l'azione dell'incendio; la tenuta E è la capacità di un elemento da costruzione di non lasciare passare fiamme, vapori o gas caldi dal lato esposto a quello non esposto; l'isolamento I è l'attitudine di un elemento costruttivo a ridurre, entro determinati limiti, la trasmissione del calore.

Il valore di resistenza al fuoco REI è espresso in minuti e rappresenta il tempo al di sotto del quale l'elemento costruttivo è in grado di mantenere e garantire la propria stabilità, tenuta ed isolamento, ed è determinato dal più basso valore di uno dei tre parametri: R, E ed I.

La Circolare 91

La Circolare n. 91 è suddivisa in tre parti, nelle quali si affrontano i seguenti argomenti.

1 - Valutazione del carico d'incendio e conseguente classificazione degli edifici.

La prima parte è dedicata alla illustrazione del metodo di calcolo per la valutazione del carico d'incendio. Il carico d'incendio non è altro che la quantità equivalente di legno per unità di superficie (kg/m^2) presente in un locale o in un piano dell'edificio. La parola "equivalente" indica che le varie quantità di materiali combustibili presenti nel locale o nel piano devono essere "trasformate" in legno, unità di misura di riferimento.

La trasformazione è operata sulla base dei valori di potere calorifico superiore dei materiali combustibili presenti rispetto a quello del legno, assunto pari a $4400 \text{ kCal}/\text{kg}$. Il valore del carico d'incendio è utilizzato per la determinazione della classe del piano o del locale.

Per classe si intende, in questo caso, il numero che esprime la durata minima di resistenza (espressa sempre in minuti) del sin-

golo elemento costruttivo o delle strutture che delimitano un locale o un piano dell'edificio; le classi previste sono sette: Classe 15, 30, 45, 60, 90, 120 e 180.

2 - Definizione della resistenza al fuoco per varie tipologie di elementi costruttivi.

La Circolare fornisce una serie di valori tabellati di resistenza minima per alcuni tipi di struttura (murature, solai, ecc.), unitamente a una serie di valori degli spessori minimi delle protezioni necessarie a garantire un certo valore resistenza al fuoco.

3 - Modalità di prova per la determinazione sperimentale della resistenza al fuoco di un elemento costruttivo.

La circolare specifica che la resistenza al fuoco di un elemento costruttivo deve essere valutata sperimentalmente.

La prova di resistenza al fuoco prevede, per quanto riguarda le pareti in laterizio non caricate, le seguenti modalità di esecuzione:

- si costruisce su un apposito telaio di acciaio un pannello di muratura di dimensioni minime pari a 2x2 m e lo si lascia stagionare per almeno tre mesi;
- terminata la fase di stagionatura si monta il provino sull'attrezzatura di prova formata da un forno all'interno del quale è possibile impostare l'andamento della temperatura (v. fig. pag. 30); per temperatura del forno si intende la media di almeno tre misure eseguite a una distanza di 10 cm dal provino;
- sulla faccia esterna vengono posizionate almeno tre termocopie che hanno lo scopo di rilevare la temperatura della superficie non esposta;
- una volta iniziata la prova, e quindi impostata la curva di temperatura nel forno, il valore di resistenza al fuoco REI è determinato, nel caso di pareti tagliafuoco non portanti, in corrispondenza di uno dei seguenti eventi:
 - . passaggio di fuoco o fumi dall'interno (forno) verso l'esterno (crisi di tenuta E);
 - . raggiungimento di una temperatura di 150 °C sulla superficie non esposta al fuoco (crisi di isolamento I);
 - . perdita di stabilità (crisi di stabilità R).

Se nessuno degli eventi più sopra citati si verifica durante un tempo di 180 minuti la prova viene interrotta (quindi il valore massimo di REI classificabile è pari a 180 min).

Una ricerca sul comportamento al fuoco

La necessità di aggiornare i valori di resistenza riportati nelle tabelle della Circolare 91, ha spinto l'Andil-Assolaterizi a intraprendere, in collaborazione con il Centro Studi ed Esperienze Antincendio del Ministero dell'Interno di Roma Capannelle, una vasta campagna sperimentale sul comportamento al fuoco delle pareti in laterizio.

Sulla base dei risultati ottenuti è stata stilata una proposta di revisione che ci si augura venga tramutata in norma.

Sono state eseguite diciassette prove su pareti di spessore compreso tra 8 e 25 cm (tutte non intonacate) in mattoni pieni e in blocchi di laterizio tradizionale e in laterizio alleggerito in pasta, semipieni e forati - secondo la definizione data dal decreto ministeriale 20 novembre 1987 - rilevando l'andamento delle temperature sia sulle superfici esterne del provino (superficie esposta e non esposta al fuoco) sia internamente alla parete.

Interpretazione dei risultati sperimentali

Il valore di resistenza al fuoco è risultato dipendere esclusivamente dal parametro I (isolamento).

Durante le prove, indipendentemente dal valore di REI raggiunto, e quindi dal tipo di elementi resistenti utilizzati, tutte le pareti hanno conservato la loro stabilità (R) e soprattutto non hanno presentato fenomeni di passaggio di vapori o fumi verso l'esterno (tenuta E).

Si sono poi rilevati tre diversi tipi di comportamento.

1 - Parete a bassa inerzia termica: contraddistingue il comportamento di una parete di spessore modesto (6-8-10 cm) in elementi resistenti di tipo leggero (tramezze a fori orizzontali in laterizio normale). Inizialmente la parete mette in gioco la scarsa inerzia termica di cui dispone; successivamente la temperatura sulla faccia esposta aumenta in modo più o meno proporzionale a quella della forno. Il valore di REI è determinato dal superamento della temperatura di 150 °C sul lato non esposto. Il tempo di resistenza può essere stimato nell'ordine di 30÷60 minuti. Si ricorda che per inerzia termica si intende l'effetto combinato di massa, calore specifico e conduttività termica. Durante una prova al fuoco il fattore inerzia termica gioca un ruolo decisivo soprattutto su pareti (come le tramezzature) dotate di scarsa resistenza termica.

2 - Parete più pesante delle tradizionali tramezzature: anche se di spessore ancora piuttosto contenuto (12-14-16 cm), il calore fornito dal forno viene inizialmente immagazzinato dalla parete senza un aumento apprezzabile della temperatura sulla faccia esposta; in seguito il calore fornito alla parete dà origine al fenomeno di evaporazione dell'acqua contenuta nel manufatto (acqua di equilibrio con l'ambiente esterno).

Questa fase, che può durare da 15 a 30 minuti circa, essicca completamente il provino; la resistenza raggiunta in corrispondenza del superamento della temperatura di 150 °C è di circa 120 minuti.

3 - Parete ad alta inerzia termica: contraddistingue il comportamento di una parete in laterizio di spessore pari o superiore a

16 cm circa. In questo caso la resistenza REI è sempre superiore a 180 minuti (tempo massimo di durata della prova).

Si sommano inizialmente l'effetto di inerzia termica ed evaporazione dell'umidità; in seguito la parete si porta in equilibrio con i due ambienti (interno ed esterno) per poi giungere a una condizione nella quale a un aumento della temperatura del forno corrisponde un aumento della temperatura sulla faccia non esposta.

In conclusione, dall'analisi dei risultati sperimentali è emerso che il valore di REI, oltre che dallo spessore della parete, dipende dall'inerzia termica della stessa. Ed è proprio sulla base di questa considerazione che è stata stilata la proposta di modifica della tabella 2 della Circolare n. 91 riportata in tabella 10.

Tabella 10. Riepilogo dei risultati di prova della campagna sperimentale Andil-Assolaterizi in collaborazione col Centro Studi ed Esperienze Antincendio del Ministero dell'Interno.

Tipo di materiale	REI 15	REI 30	REI 45	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180
	Spessore pareti						
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Pieno (F/A<15%)	6	6	6	8	8	10	15
Semipieno (F/A<45%)							
- alleggerito	6	6	6	8	10	12	15
- normale	6	6	8	8	10	12	15
Forato (F/A<55%)							
- alleggerito	6	8	10	10	12	12	20
- normale	8	8	10	12	12	15	20
Forato per tamponamento (F/A>55%)							
- alleggerito	8	8	10	12	15	20	20
- normale	8	10	12	15	20	25	25

Influenza dell'intonaco sulla resistenza al fuoco

Tutte le prove svolte nell'ambito della ricerca presentata sono state svolte su pareti non intonacate realizzate con giunti di malta orizzontali e verticali continui.

I valori di REI ottenuti sono stati poi confrontati con una serie di dati sperimentali preesistenti, alcuni dei quali relativi a pareti dello stesso tipo di quelle utilizzate per la ricerca ma intonacate su entrambe le facce, al fine di valutare l'incremento di resistenza dovuto alla presenza dell'intonaco.

Tale confronto ha evidenziato che:

- la presenza dell'intonaco influenza in modo molto evidente soprattutto la resistenza offerta da pareti di spessore modesto (6-8-10 cm), nelle quali il grado di isolamento può venire compromesso dalla comparsa, sulla superficie a contatto con il forno, di fessure causate da fenomeni di dilatazione termica; lo strato di intonaco svolge in questo caso una prima azione di "protezione" che va evidentemente oltre il semplice contributo offerto dalla sua resistenza termica;
- il contributo offerto alla resistenza al fuoco dipende quasi esclusivamente dall'intonaco presente sulla faccia esposta al fuoco;
- l'incremento di REI ottenuto su pareti intonacate dipende sia dallo spessore che dal tipo di intonaco utilizzato; questa constatazione risulta già presente all'interno della Circolare n. 91 (vedi tabella 5 della Circolare).

Sulla base dell'analisi dei dati ottenuti su pareti intonacate e tenendo conto di quanto evidenziato in precedenza, è stato possibile stilare una tabella (v. tab. 11) nella quale, in funzione del tipo di intonaco presente sulla faccia direttamente esposta al fuoco, sono riportati gli incrementi di resistenza al fuoco da sommare al valore di REI della parete non intonacata.

Tabella 11. Valore di incremento REI a seconda del tipo di intonaco utilizzato.

Tipo di intonaco		Δ REI
Malta cementizia o bastarda	spess. almeno 1 cm	15
	spess. almeno 2 cm	30
Intonaco a base gesso, argilla espansa o altri inerti leggeri	spess. almeno 1 cm	30
	spess. almeno 2 cm	60

Nel caso ad esempio di una parete in laterizio semipieno alleggerito di 8 cm di spessore (REI 60) sarà possibile ottenere un valore di REI pari a 90 minuti semplicemente intonacandola con malta cementizia o bastarda di spessore pari a 2 cm nella faccia esposta al fuoco.

Resistenza al fuoco di pareti a più strati

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche del Canada, presenta in *Ten Rules of Fire Endurance Rating* una serie di regole sperimentali che possono essere molto utili in fase di progetto della resistenza al fuoco di una struttura.

Regola 1: *La resistenza al fuoco di una struttura costituita da una serie di strati di materiali diversi, è superiore alla somma delle singole resistenze al fuoco rilevate su ogni componente.*

Si tratta di una regola sicuramente conservativa in quanto è facilmente dimostrabile che raddoppiando lo spessore di un elemento la sua resistenza al fuoco assume valori superiori al doppio.

Regola 2: *La resistenza al fuoco di una struttura non diminuisce con l'aggiunta di ulteriori strati di materiali.*

Aggiungere strati a una struttura in laterizio vuole dire, in primo luogo, aumentarne sia il peso che la resistenza termica.

Ne consegue che aumenta anche l'inerzia termica e quindi diminuisce la velocità di variazione della temperatura all'interno della parete.

Regola 3: *La resistenza al fuoco di strutture che contengono intercapedini o cavità è superiore alla resistenza di strutture simili e dello stesso peso ma senza intercapedini.*

Un'altra conferma dell'influenza dell'inerzia termica nello sviluppo di REI. Se la parete è forata (o con intercapedine) la sua resistenza termica, rispetto a una parete piena di uguale peso, è sicuramente superiore, come superiore sarà l'inerzia termica della struttura.

Regola 4: *Più un'intercapedine è posta distante dalla superficie esposta al fuoco e più positivo è il suo effetto nei confronti della resistenza al fuoco.*

Regola 5: *La resistenza al fuoco non può essere incrementata aumentando lo spessore dell'intercapedine d'aria.*

Questa regola è di chiara derivazione sperimentale. È stato dimostrato che aumentando lo spessore delle intercapedini oltre 1,75 cm non si ottengono incrementi significativi di resistenza al fuoco.

Regola 6: *Eventuali strati a bassa conduttività termica sono meglio utilizzati se vengono posti dalla parte in cui esiste una maggiore probabilità di incendio.*

Regola 7: *La resistenza al fuoco di strutture non simmetriche dipende dalla direzione del flusso di calore.*

Anche questa affermazione è di diretta derivazione sperimentale e rappresenta una conseguenza delle precedenti regole 4 e 6.

Regola 8: *La presenza di umidità, se non è causa di scheggiature esplosive, aumenta la resistenza al fuoco.*

Questa regola è valida soprattutto per le murature in mattoni. La presenza di diversi tenori di umidità è, in generale, la causa principale delle dispersioni dei dati sperimentali specialmente su pareti in laterizio di spessore esiguo (6 e 8 cm).

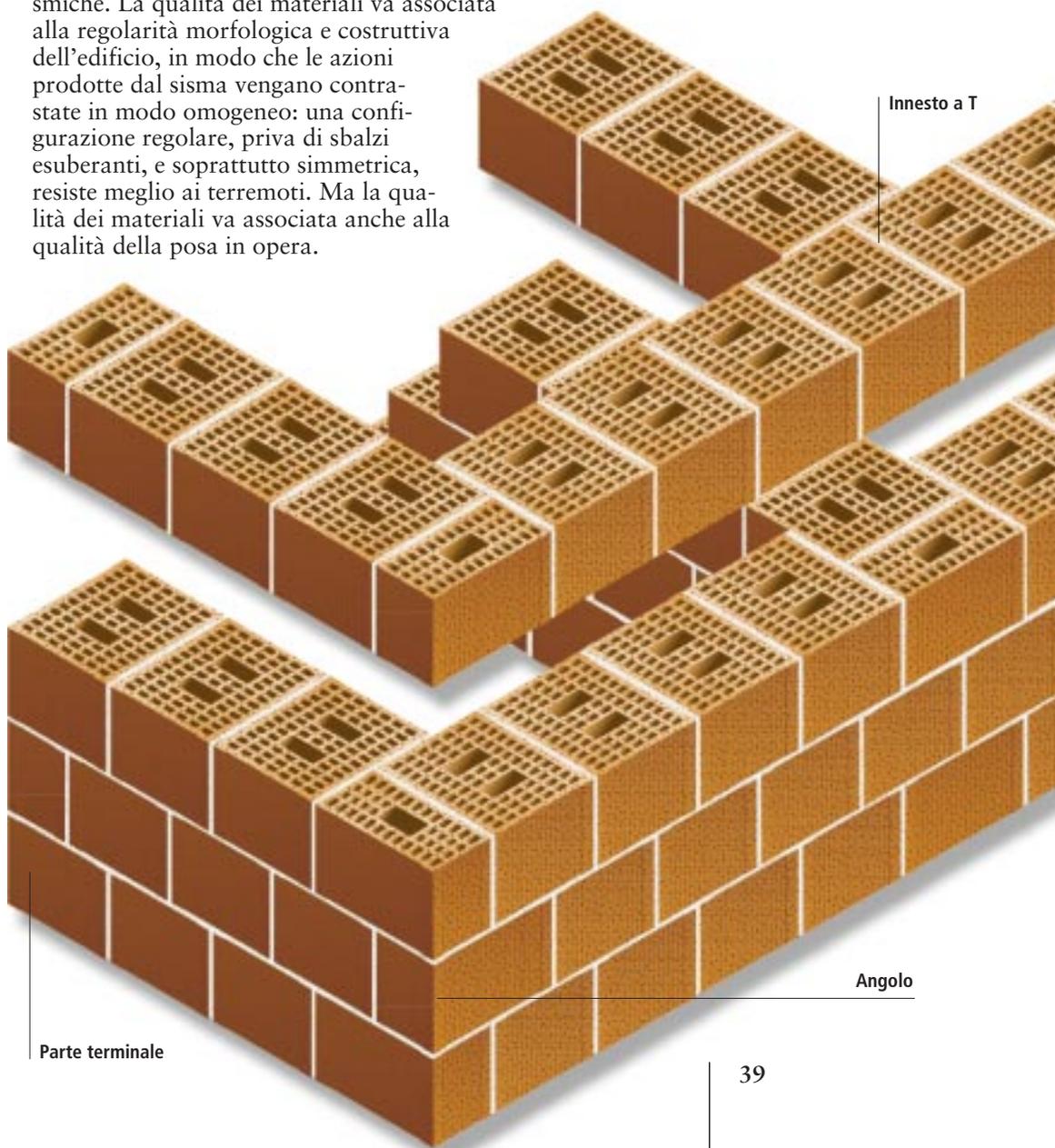
La muratura in zona sismica

Quaderni Alveolater®

Gli edifici in muratura in zona sismica

L'impiego di blocchi in laterizio rispondenti alle prescrizioni di legge per percentuale di foratura, dimensione massima dei fori, spessore di pareti e setti e resistenza meccanica non sono, da soli, garanzia di un buon comportamento alle sollecitazioni sismiche. La qualità dei materiali va associata alla regolarità morfologica e costruttiva dell'edificio, in modo che le azioni prodotte dal sisma vengano contrastate in modo omogeneo: una configurazione regolare, priva di sbalzi esuberanti, e soprattutto simmetrica, resiste meglio ai terremoti. Ma la qualità dei materiali va associata anche alla qualità della posa in opera.

Soluzioni d'angolo, di innesto a "T" e di parte terminale del muro in un esempio di muratura in blocchi Alveolater® per zona sismica.

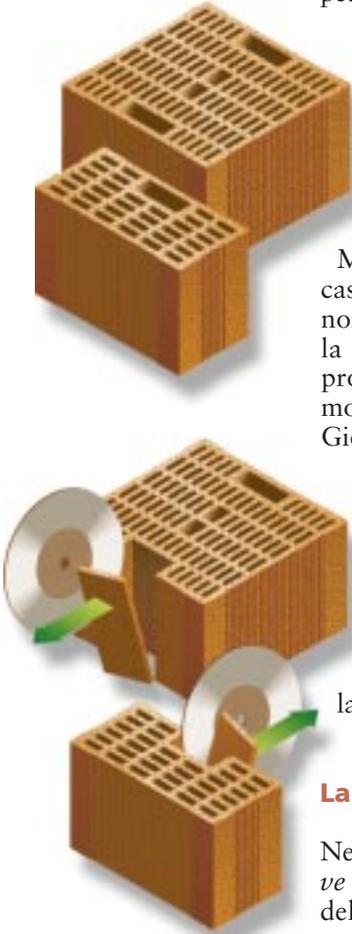


Innesto a T

Angolo

Parte terminale

Quaderni Alveolater®



Esempio di blocchi Alveolater® per muratura armata: in alto il blocco normale di 30x30x19 cm e il mezzo blocco coordinato di 14,5x30x19. Per creare i vani di alloggiamento delle armature è sufficiente rimuovere con una sega per murature o un flessibile le cartelle a chiusura dei fori di rottura già predisposte.

Le squadre che costruiscono il muro devono avere uguale competenza e cura: a parità di materiali, la qualità dell'esecuzione può portare a resistenze finali variabili nell'ordine del 30 per cento. Con queste precauzioni progettuali ed esecutive la muratura è in grado di fornire prestazioni eccellenti, e non seconde rispetto ad altri sistemi costruttivi.

È ancora diffuso il convincimento che le strutture a telaio in cemento armato siano le sole ammesse in zona sismica e siano, al di là di tutto, più affidabili, citando ad esempio i cedimenti delle costruzioni in muratura.

Ma non si deve invece dimenticare che nella maggioranza dei casi le costruzioni presenti sul nostro territorio sono vecchie, se non antiche, e per queste costruzioni vale quanto riportato nella relazione della Commissione incaricata di studiare e proporre le norme obbligatorie per i comuni colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri anteriori, pubblicata sul *Giornale del Genio civile*, 1909: «...in generale le murature costituenti gli edifici sono di pessima struttura, il materiale pietroso impiegato è quasi sempre di forma irregolare e più generalmente di ciottoli fluviali nemmeno spaccati, le malte non presentano consistenza per cattiva calce e cattive sabbie e i fabbricati non hanno fondazioni corrispondenti a un buon tipo costruttivo». Le costruzioni mal fatte hanno portato discredito e diffidenza verso le costruzioni in muratura e troppo spesso quindi si confonde la muratura in laterizio con le murature povere del passato.

La muratura armata

Nel decreto ministeriale 19 giugno 1984 *Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche*, come pure nel successivo decreto del 24 gennaio 1986, la muratura armata era ammessa solo come sistema costruttivo da sottoporre all'esame del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per la necessaria omologazione, da rinnovare ogni tre anni. Questo diede origine ai cosiddetti "sistemi omologati". Ma la muratura armata era preesistente. Già dopo il terremoto di Messina del 1908 ci fu un'amplessima fioritura di ipotesi e di proposte per associare alla resistenza della muratura la duttilità del ferro: ipotesi e proposte che rimasero però praticamente solo a livello di progetto.

Oggi, con il decreto ministeriale 16 gennaio 1996, la muratura armata è entrata a fare parte dei metodi costruttivi ammessi, insieme alle costruzioni in muratura semplice, in cemento armato, in legno e in metallo. La muratura armata prevista dal decreto è una muratura ad armatura concentrata. Le armature infatti sono concentrate agli incroci dei muri, in corrispondenza delle aperture e nel corso del muro, quando la lunghezza libera, ov-

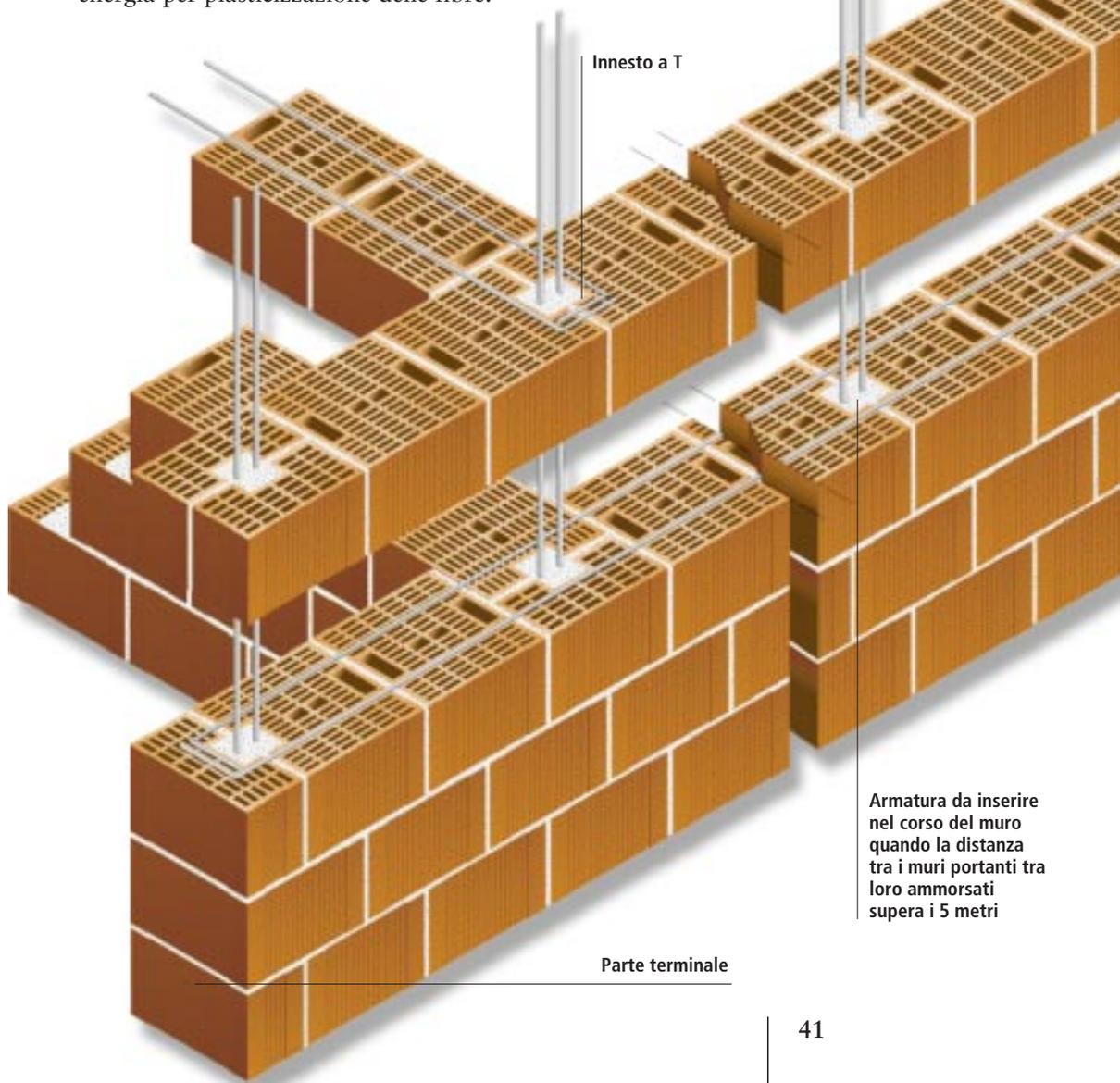
vero la distanza fra muri portanti fra loro ammassati, supera i 5 metri. La muratura armata è una muratura portante rinforzata in modo localizzato e, in alcuni casi, anche in modo diffuso, mediante barre metalliche e getti integrativi di conglomerato.

L'armatura resiste alle sollecitazioni di trazione, sollecitazioni alle quali la muratura semplice non è in grado di resistere, e aumenta la duttilità strutturale. I vantaggi che la muratura armata può fornire sono prevalentemente di ordine strutturale, anche se non mancano riflessi economici.

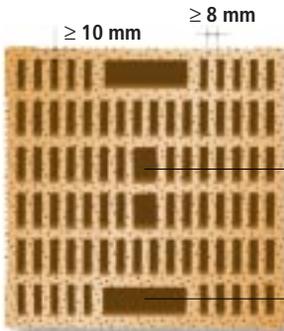
Sollecitata dal sisma, la struttura risponde in funzione del suo periodo di oscillazione, e attenua gli effetti del sisma dissipando energia per plasticizzazione delle fibre.

Quaderni Alveolater®

Soluzioni di innesto a "T" e di parte terminale del muro in un esempio di muratura armata in blocchi Alveolater®.

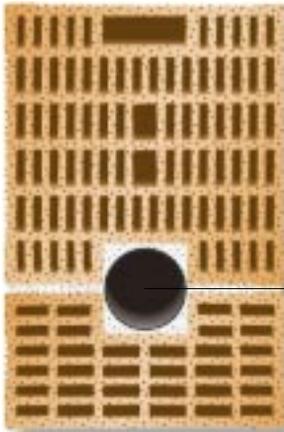


Quaderni Alveolater®



1 - fori per i pollici: area della sezione $\leq 12 \text{ cm}^2$ per elementi semipieni con foratura $\leq 45\%$

2 - fori di presa: area della sezione $\leq 35 \text{ cm}^2$; n. 1 foro per elementi di sezione $\geq 300 \text{ cm}^2$, n. 2 fori per elementi di sezione $\geq 580 \text{ cm}^2$



1 - Vano per l'alloggiamento delle armature: nel vano è inscrivibile un cilindro con $\varnothing \geq 6 \text{ cm}$

Sezioni del blocco per muratura armata Alveolater®, del semiblocco e del vano per l'inserimento delle armature verticali creato con l'accostamento degli elementi.

La muratura armata è più duttile di una muratura normale, soprattutto di una muratura normale realizzata con blocchi di grandi dimensioni: ha quindi maggiore capacità di deformazione, e questo consente di assorbire meglio le sollecitazioni sismiche dissipando energia. Con la muratura armata è possibile superare i limiti di altezza ammessi per le costruzioni in muratura ordinaria, fino a un massimo di 25 metri in zona bassa sismicità (nella stessa zona $s = 6$ l'altezza consentita per muratura ordinaria è di 16 metri) e, nel caso di dimensionamento semplificato, ridurre sensibilmente la percentuale di muratura richiesta nelle due dimensioni del fabbricato (1,5 per cento in meno) e aumentare da 0,5 a 0,6 il coefficiente riduttivo dell'area resistente totale di piano.

La muratura armata Alveolater®

Dopo una serie numerosa di prove sperimentali di laboratorio eseguite negli anni '91-'92, il Consorzio ha recentemente progettato e realizzato un blocco per muratura armata.

Si è partiti dall'assunto fondamentale che la forma quadrata di un blocco consente di conservare la stessa modularità sia in direzione X che in direzione Y, e che lo spessore di 30 cm assicura un buon isolamento termico e un sufficiente incremento strutturale rispetto al minimo consentito dal decreto in vigore (spessore minimo 24 cm).

Stabilita quindi la dimensione base modulare di 30x30 cm, è stato disegnato il blocco tenendo bene anche in evidenza le indicazioni emerse nel corso della ricerca eseguita presso il Dipartimento di Energetica dell'Università di Ancona.

La presenza di fori di presa a filo esterno del blocco, chiusi soltanto dalla cartella di 10 mm, permette di realizzare una muratura normale in tutto il corso del muro. In corrispondenza degli angoli, degli incroci fra i muri e dei rinforzi nelle pareti di lunghezza superiore a 5 m, le cartelle esterne a protezione dei fori di presa vengono invece tolte con un colpo di mazzetta, o meglio, con sega o flessibile, creando, con l'accostamento di due blocchi, i vani necessari per l'alloggiamento dei ferri d'armatura. Si evita così la fornitura al cantiere di blocchi a facce piane e di blocchi per l'alloggiamento delle armature.

Il disegno, caratterizzato da 14 file di fori, lunghi e stretti, nel senso del flusso termico, assicura un elevato isolamento: la trasmittanza della parete intonacata di 32 cm di spessore, calcolata secondo la norma UNI 10355 (partendo da una conduttività sperimentale di 0,373 W/mK), è infatti di 0,85 W/m²K.

La muratura delle nicchie sottofinestra, di spessore minore di 24 cm e quindi non strutturale, è collegata alla muratura portante mediante tralicci piani.

Le cure da porre nella realizzazione delle costruzioni

L'esecuzione della muratura

I giunti di malta devono essere il più possibile regolari e riempiti con cura fino al bordo esterno; lo spessore deve essere costante e nei limiti di norma (non inferiore a 5 e non superiore a 15 mm); i corsi devono essere orizzontali e paralleli e gli spigoli devono essere perfettamente verticali.

I laterizi vanno bagnati prima della posa in opera; devono essere ben assestati, con le tecniche di allettamento e percussione tradizionali.

Alla fine della giornata, si deve:

- proteggere il lavoro con teli di plastica per conservare un ambiente umido che favorisca la presa della malta;
- proteggere sempre la muratura dalla pioggia con analoghi sistemi, in modo che l'acqua non dilavi la malta (che non ha ancora esaurito la fase di presa) e ne riduca la resistenza.

In ogni caso è necessario:

- mantenere la muratura umida finché non abbia raggiunto un'adeguata resistenza, particolarmente se si opera in condizioni sfavorevoli (bassa umidità relativa, alta temperatura e/o elevata ventilazione) (cfr. Eurocodice 6, punto 6.7.2);
- non caricare la muratura fino a quando non abbia raggiunto l'adeguata resistenza per portare il carico senza danneggiamento (idem);
- assicurarsi che il progetto preveda i necessari giunti di dilatazione, che dovranno rimanere liberi da materiale solido e rifiniti, se necessario, con un sigillante flessibile;
- sospendere il lavoro quando la temperatura scende al di sotto dei 5 °C.

I rinforzi locali

La muratura ben progettata dovrebbe teoricamente essere soggetta a soli sforzi di compressione.

Nella pratica tuttavia, per il ritiro delle malte, per le variazioni termiche, per eventuali assestamenti strutturali, sono presenti anche sforzi di trazione, che possono produrre piccole lesioni nel paramento murario.

Questo fatto può risultare ancora più evidente nel caso vengano utilizzati blocchi di elevata dimensione perché, riducendosi fortemente la numerosità dei giunti di malta, le tensioni tendono a concentrarsi in pochi punti, ben localizzati.

Inserendo nei giunti di malta tondi per cemento armato di piccolo diametro, ma meglio ancora tralicci piani, si può aumentare la resistenza della muratura alle sollecitazioni agenti sia entro che fuori dal proprio piano.

Si possono così contrastare le fessurazioni in corrispondenza degli spigoli delle aperture, si possono solidarizzare meglio le intersezioni dei muri, evitare le fessurazioni nelle murature che appoggiano su travi o su travi in spessore e ridurre l'influenza negativa dei carichi concentrati.

Il collegamento dei muri e dei solai

Il decreto ministeriale 20 novembre 1987 prescrive che le murature portanti debbano avere, per quanto possibile, funzione sia strutturale che di controventamento, affidando ai solai il compito di ripartire le azioni orizzontali fra i muri di controventamento.

I solai devono quindi essere di adeguata rigidità e collegati ai muri mediante cordoli.

Queste prescrizioni, corrette dal punto di vista strutturale, possono però causare qualche inconveniente alle pareti in muratura. Infatti, se il calcestruzzo della soletta dei solai è gettato con un rapporto acqua/cemento troppo elevato o è di granulometria fine, oppure se non è sufficientemente protetto in fase di maturazione, può avere un ritiro molto elevato.

Poiché la soletta è armata, il ritiro non può esaurirsi all'interno della soletta stessa, ma necessariamente si manifesta in corrispondenza del nodo muro-cordolo-solaio.

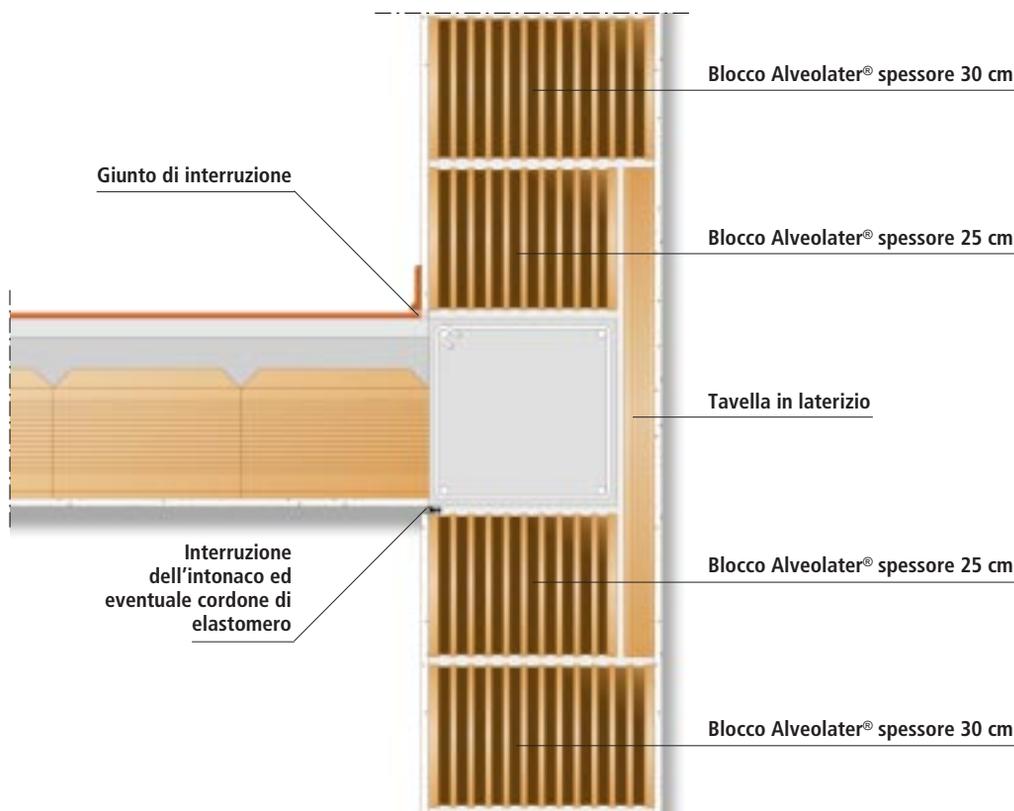
Allo stesso modo se un solaio è troppo deformabile, la sua deformazione può causare una rotazione agli appoggi che tende a sollevare il cordolo, o a caricarlo eccentricamente, staccandolo dalla muratura sottostante.

Bisognerà quindi assicurarsi che:

- la posa dei laterizi sia eseguita con un giusto sfalsamento dei blocchi, con giunti di malta di spessore costante e mai inferiore a 5 mm (meglio ancora se compresi fra 10 e 15 mm);
- i laterizi siano giustamente bagnati, in modo che risulti massima l'adesione fra malta e laterizio;
- i solai siano opportunamente rigidi e quindi di altezza adeguata, intendendo lo spessore minimo ammesso dalla normativa attuale (1/25 o 1/30 della luce a seconda che si impieghino solai ad armatura lenta o precompressi) come limite inferiore di riferimento e non, come spesso accade, spessore vincolante da non superare;
- la soletta in calcestruzzo sia protetta dall'irraggiamento diretto o comunque sia bagnata a sufficienza per i primi giorni dopo il getto, in modo da limitare il valore finale del ritiro.

Fra muratura e cordolo si può anche interporre una guaina o altri mezzi che impediscano la penetrazione del getto all'interno dei fori dei blocchi e consentano libertà di piccoli movimenti; come pure la continuità della soletta può essere interrotta mediante un giunto realizzato, ad esempio, evitando la sovrapposizione fra pannelli di rete successivi.

È consigliabile rivestire esternamente il cordolo con materiali omogenei con il paramento murario, ad esempio con tavelle in laterizio che garantiscano la continuità della parete, messe in opera a struttura ultimata, più precisamente quando muro e solaio hanno esaurito la maggior parte dei movimenti di assestamento.



Fra l'altro, il rivestimento del cordolo migliora anche le prestazioni termiche del fabbricato, contenendo l'effetto di ponte termico e quindi riducendo o annullando il rischio di formazioni di condensa o di muffe localizzate.

È anche opportuno che i solai siano orditi in modo da caricare il più uniformemente possibile le murature. Questo si può realizzare alternando la direzione di orditura dei solai ai vari piani.

Come contenere l'effetto di ponte termico e ridurre il rischio di cavillature, sia all'esterno che all'interno, in corrispondenza dei cordoli.

La formazione di nicchie e incassature

Non c'è dubbio che la consuetudine di eseguire tracce per gli impianti elettrici a struttura muraria ultimata incida negativamente sulla qualità, ma anche sulla durabilità, della costruzione. L'Eurocodice 6 tratterà anche di questo argomento e fisserà delle dimensioni massime consentite senza necessità di calcolo, distinguendole fra “incassature” e “nicchie verticali” e “incassature orizzontali” o “incassature inclinate”. Dalle tabelle 12a e 12b si possono ricavare utili indicazioni di riferimento.

Nella determinazione della profondità della traccia va inclusa la profondità di ogni foro raggiunto durante la formazione della traccia stessa. La normativa italiana implicitamente non consente la formazione di tracce che possano causare una riduzione dello spessore del muro al di sotto dei minimi spessori ammessi. Se le tracce hanno dimensioni rilevanti, il calcolo ne deve tenere conto, soprattutto quando si opera in zona sismica (il decreto ministeriale 24 gennaio 1986, ora superato dal decreto ministeriale 16 gennaio 1996, non consentiva l'inserimento nel muro di canne fumarie e vuoti in genere).

Tabella 12a. Incassature e nicchie verticali.

Spess. del muro mm	Eseguite dopo la costruzione della muratura		Eseguite durante la costruzione della muratura	
	Profondità max. mm	Larghezza max. mm	Larghezza max. mm	Spessore minimo residuo del muro mm
≤ 115	30	100	300	70
116÷175	30	125	300	90
176÷225	30	150	300	140
226÷300	30	175	300	175
> 300	30	200	300	215

Tabella 12b. Incassature orizzontali e inclinate.

Spess. del muro mm	Profondità max. per incassature di lunghezza illimitata mm	Profondità max. per incassature di lunghezza ≤ 1250 mm mm
≤ 115	0	0
116÷175	0	15
176÷225	10	20
226÷300	15	25
> 300	20	30

Il collegamento delle murature di tamponamento col telaio in cemento armato.

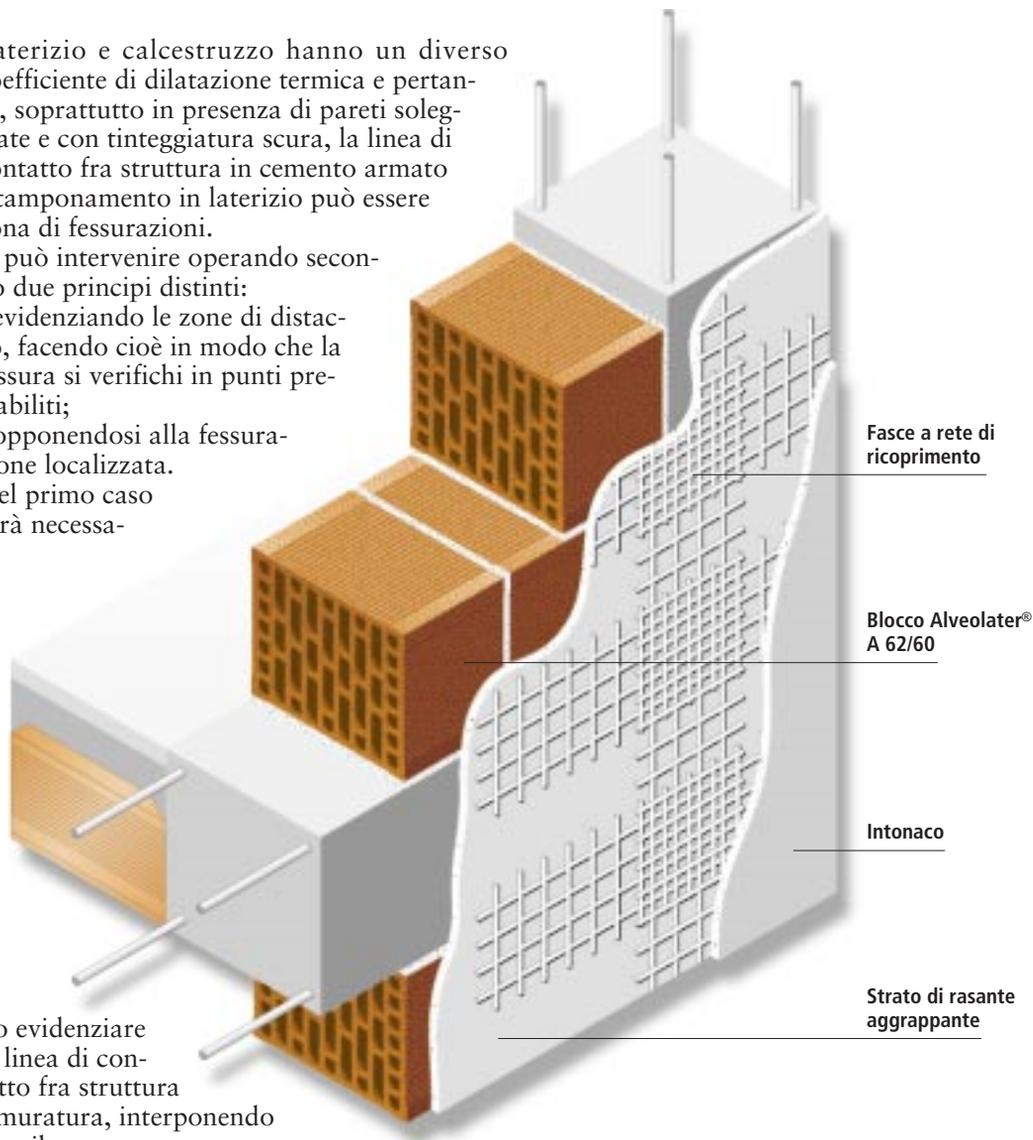
Quaderni Alveolater®

Laterizio e calcestruzzo hanno un diverso coefficiente di dilatazione termica e pertanto, soprattutto in presenza di pareti soleggiate e con tinteggiatura scura, la linea di contatto fra struttura in cemento armato e tamponamento in laterizio può essere zona di fessurazioni.

Si può intervenire operando secondo due principi distinti:

- evidenziando le zone di distacco, facendo cioè in modo che la fessura si verifichi in punti pre-stabiliti;
- opponendosi alla fessurazione localizzata.

Nel primo caso sarà necessa-



rio evidenziare la linea di contatto fra struttura e muratura, interponendo fra pilastro e muratura un materiale resiliente e sigillante. I materiali di sigillatura accetteranno le differenti deformazioni termiche dei materiali e, mantenendosi integri, eviteranno la penetrazione di acqua meteorica. Nel secondo caso invece, non volendo evidenziare la zona di giunzione fra pilastri e tamponamento, si inserirà nell'intonaco una sottile rete metallica o in fibra di vetro, estesa fino a 20÷30 cm oltre la zona interessata da possibili lesioni.

Protezione della zona di contatto tra struttura in cemento armato e tamponamento in laterizio.

Gli intonaci

Un buon intonaco su pareti in laterizio va fatto nel rispetto dei magisteri tradizionali, indipendentemente dal tipo di intonaco usato, preparato in cantiere o premiscelato in stabilimento.

Devono essere stesi due, o meglio tre strati complessivamente, di cui il primo con funzione di aggrappaggio (rinzafo), il secondo per realizzare l'opportuno spessore (corpo o arriccio), e il terzo di finitura (stabilitura).

Il rinzafo deve rendere il supporto regolare e idoneo ad assicurare buona aderenza agli strati successivi.

La malta deve essere ad alto dosaggio di leganti idraulici (cemento e calce idraulica) e con inerti di granulometria più grossa rispetto agli strati successivi.

Nel secondo strato, con prevalenti funzioni di tenuta e di impermeabilità, gli inerti devono essere più fini e il dosaggio di leganti deve essere minore, in modo da limitare il ritiro e assicurare elasticità allo strato.

Per il terzo strato, infine, che ha una funzione estetica di finitura, si deve usare sabbia fine, riducendo ulteriormente il dosaggio di cemento.

Prima di essere usato come supporto del successivo, ogni strato deve avere il tempo necessario per raggiungere le giuste caratteristiche di resistenza e di maturazione. La parete in laterizio deve essere preventivamente bagnata, soprattutto quando il laterizio presenta un elevato assorbimento d'acqua.

Bisogna ricordare che pareti eccessivamente calde, soleggiate o battute dal vento e in condizioni di bassa umidità relativa dell'aria non rappresentano certo condizioni ideali per eseguire buone intonacature, e che anche l'eccesso di cemento, come pure un eccesso di acqua nell'impasto, possono essere causa di fessurazioni e distacchi. In sintesi, quindi, per avere una parete ben intonacata è necessario che:

- la superficie presenti una buona planarità, in modo che lo spessore dell'intonaco sia il più possibile uniforme;
- i giunti di malta fra blocco e blocco siano continui e ben costipati, senza vuoti, rientranze o sbavature;
- la superficie del muro venga abbondantemente bagnata;
- sia fatto un accurato rinzafo;
- lo spessore totale non sia inferiore a $1,5 \div 2$ cm;
- le condizioni ambientali siano idonee, evitando di operare con temperature troppo elevate o troppo basse, vento, umidità ambiente troppo bassa (le condizioni ideali possono variare fra 5 e 20 °C, con umidità relativa pari al 50 per cento circa);
- il dosaggio di cemento non sia eccessivo;
- l'intonaco venga bagnato per alcuni giorni;
- la tinteggiatura sia eseguita soltanto dopo l'esaurirsi del ritiro idraulico dell'intonaco.

Nel caso si usi un intonaco premiscelato da stendere in un solo strato, si concentrano in un'unica miscela più prestazioni e si riducono, anche notevolmente, i tempi di esecuzione.

È necessario quindi richiedere al produttore le specifiche indicazioni di posa e, soprattutto, indicazioni sullo spessore minimo da applicare, che non può certamente scendere sotto i 2 cm, per ridurre anche i fenomeni di *shock* termico dovuti alla differente conduttività termica fra laterizio e intonaco.

Anche per i premiscelati è ormai consuetudine realizzare un rinzaffo, a mano o a macchina, e successivamente un intonaco di sottofondo con trattamento di finitura.

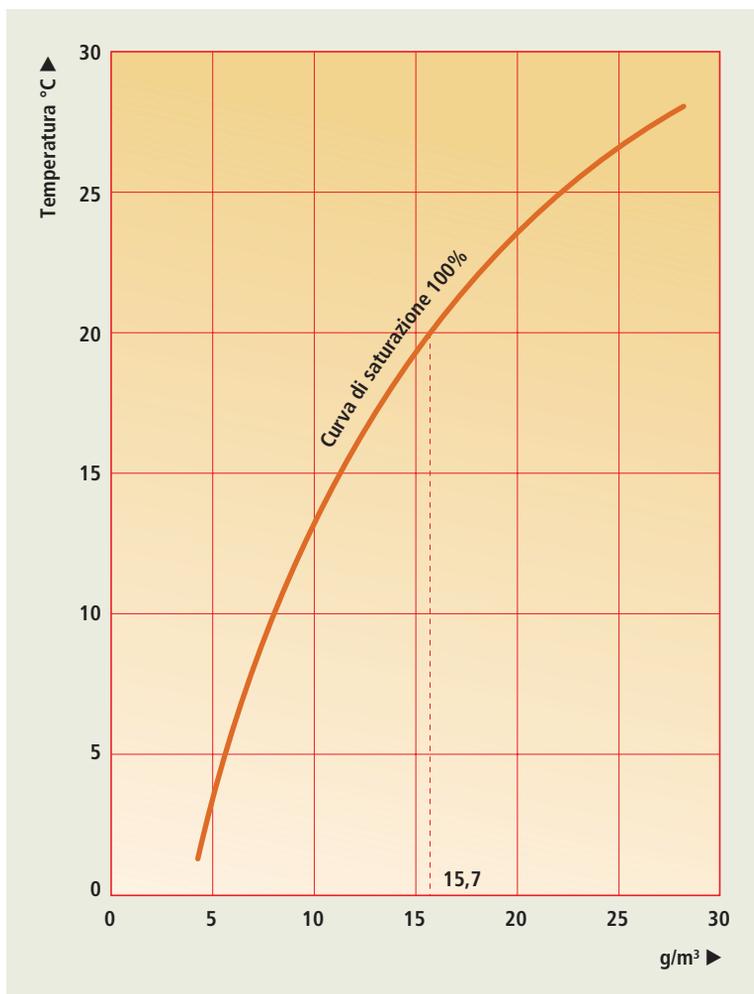
I materiali per la finitura superficiale e la tinteggiatura

L'aria può immagazzinare acqua sotto forma di vapore acqueo e, per ogni temperatura, la quantità di vapore disciolto può raggiungere un valore limite massimo.

A questo valore massimo corrisponde, per quella temperatura, un'umidità relativa del 100 per cento. L'umidità relativa del 100 per cento è ovviamente una condizione limite: riducendo il tasso di vapore acqueo, l'umidità relativa scenderà fino a valori più consueti.

Dal grafico a fianco si rileva il massimo contenuto di vapore in funzione della temperatura dell'aria;

dal grafico a pagina seguente si ha invece la quantità di vapore disciolta nell'aria (espressa in g/m^3) in funzione della temperatura e dell'umidità relativa.



Massimo contenuto di vapore in funzione della temperatura dell'aria.

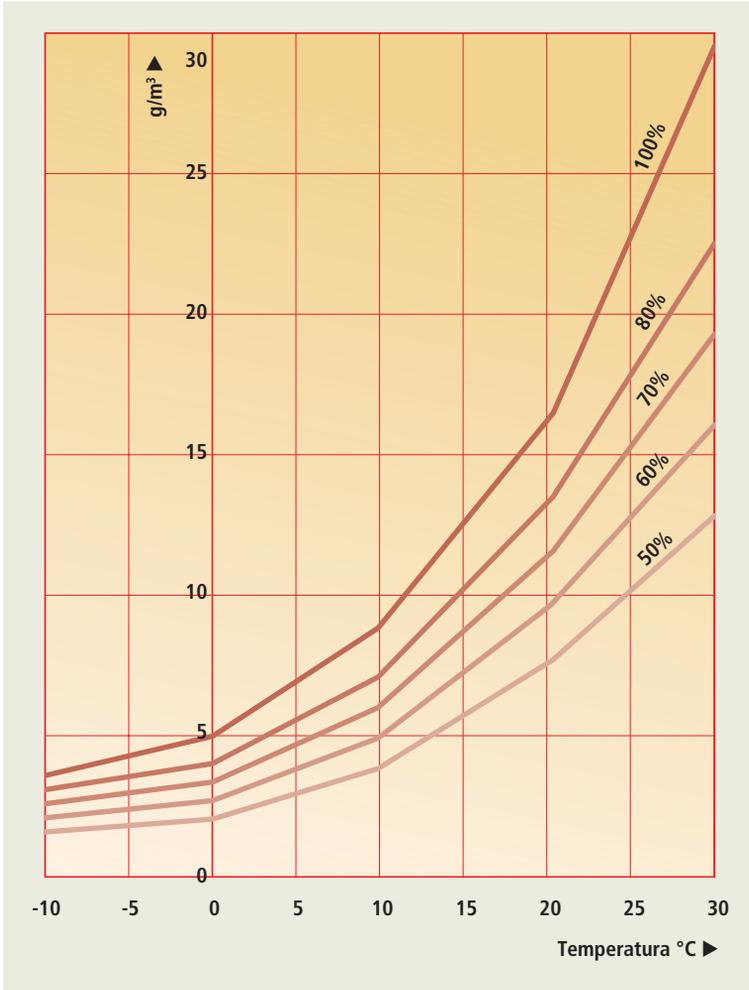
Il vapore tende a spostarsi dalle zone di maggior concentrazione verso zone a minore concentrazione: in inverno, ad esempio, andrà dall'interno verso l'esterno dell'abitazione.

Se la resistenza al passaggio del vapore è bassa, come nel caso di laterizio alveolato, tutto il vapore attraverserà la parete. In caso contrario il vapore condenserà all'interno della parete stessa.

Per evitare che anche una muratura che "respira", ossia che offre scarsa resistenza al passaggio del vapore, si comporti in modo non corretto, si dovranno impiegare intonaci e tinteggiature a essa omogenee. La finitura superficiale non dovrà quindi alterare il comportamento igrometrico della parete.

Bisogna pertanto evitare nel modo più accurato l'impiego di finiture superficiali caratterizzate da bassa permeabilità al vapore, le quali, bloccandone la migrazione, creerebbero pericolosi ristagni di vapore, con formazione di bolle e distacchi dell'intonaco e della finitura.

(La resistenza al passaggio del vapore,



Quantità di vapore contenuto nell'aria al variare della temperatura e dell'umidità relativa.

espressa dal coefficiente di diffusione del vapore, viene indicata con la lettera μ e indica di quante volte la resistenza data da un materiale è superiore a quella dell'aria, posta convenzionalmente uguale a 1).

Quando e come abitare una casa in laterizio

Alcune semplici regole

Per potere assicurare il comfort ottimale, la muratura deve smaltire tutta l'umidità in eccesso dovuta alle varie fasi di costruzione. Appena eseguita, infatti, la muratura contiene una quantità di acqua pari circa al 15 per cento del proprio peso. Poi va considerata l'acqua portata dall'intonaco, l'acqua meteorica accumulata durante la realizzazione dell'opera, l'acqua delle tinteggiature ecc.



La casa non deve essere abitata immediatamente dopo il termine dei lavori. La presenza del 15 per cento di acqua contenuta nella muratura appena eseguita comporta infatti un aumento della trasmittanza di oltre il 20 per cento. A copertura eseguita, quindi, bisognerà lasciare l'edificio per qualche mese in condizioni di massima ventilazione. Nei primi tempi, inoltre, si dovrà abbondantemente aerarla.

La presenza del 15 per cento di acqua comporta un aumento della trasmittanza U di oltre il 20 per cento; 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.

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.

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'aerazione 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 di aria con il 60 per cento 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.), peggiorando le caratteristiche di isolamento delle strutture in quei punti e innescando un circolo vizioso che può essere interrotto soltanto da una radicale modifica della gestione dell'impianto.

Riferimenti

- *La corretta esecuzione delle murature*, ed. Laterconsult, Roma.
- Decreto 2 aprile 1998, *Modalità di certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici*, L'industria dei Laterizi n. 53/98.
- *Documenti di acustica*, Università di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria.
- Ministero dell'Interno, *Ricerca sperimentale per la determinazione della resistenza al fuoco di varie tipologie di solai e pannelli murari con elementi in laterizio*, svolta in collaborazione con Andil-Assolaterizi, marzo 1995.
- Università degli studi di Ferrara, Istituto di Ingegneria, *Rapporto conclusivo relativo alla ricerca svolta, in laboratorio e in opera, sulle prestazioni acustiche di strutture orizzontali e verticali in laterizio*, settembre 1995.
- Pagine Web Andil www.laterizio.it.
- Eurocodice 6.

PARTE 1ª

0. Premessa

La norma UNI 8942 è divisa in parti che trattano:

- terminologia e sistema di classificazione (UNI 8942/1);
- limiti di accettazione (UNI 8942/2);
- metodi di prova (UNI 8943/3).

1. Scopo

La presente norma definisce i prodotti in laterizio, per murature (portanti e non) e quelli per rivestimento. Indica inoltre le caratteristiche da utilizzare per la loro classificazione in base alla morfologia, tecnologia di produzione e di posa.

2. Termini e definizioni

I prodotti in laterizio per murature sono definiti come segue.

2.1. mattoni:

Prodotti di laterizio per murature di forma generalmente parallelepipeda, con volume minore o uguale a 5500 cm³.

2.2. blocchi:

Prodotti di laterizio per murature di forma generalmente parallelepipeda, con volume maggiore di 5500 cm³.

Nota - Con i termini elemento o unità si intendono correntemente o un mattone o un blocco.

2.3. mattoni o blocchi da rivestimento:

Mattoni o blocchi prodotti in modo da poter essere posti in opera a faccia a vista (senza intonaco).

Nota - Commercialmente comprendono materiali detti da paramano e listelli e piastre da rivestimento.

2.4. pezzi complementari, speciali o di corredo:

Prodotti di laterizio impiegati per la realizzazione di particolari costruttivi della muratura, quali multipli e sottomultipli, mazette, architravi, passaggi di impianti, ecc. che consentono di realizzare sistemi murari.

Nota - Sono denominati genericamente mattoni e blocchi comuni tutti i materiali non da rivestimento.

3. Sistema di classificazione

I prodotti in laterizio per murature sono classificati secondo i criteri seguenti:

- percentuale di foratura (codice alfabetico) (vedere 3.1);
- giacitura in opera (1^a e 2^a cifra);
- tecnologia di produzione (3^a e 4^a cifra) (vedere 3.3).

Le classi previste per ogni caratteristica sono quelle indicate in 3.1 a 3.3.

3.1. Percentuale di foratura

Si definisce percentuale di foratura il rapporto $100 F/A$ dove: A è l'area della superficie del blocco o mattone ortogonale alla direzione dei fori e delimitata dal suo perimetro;
Nota - *Questa definizione deve essere adeguatamente interpretata quando il perimetro è caratterizzato da intagli di superfici considerevoli.*

F è la somma delle aree dei fori compresi nell'area A, passanti e non passanti.

In relazione alla percentuale di foratura si classificano

3.1.1. Mattoni pieni

Mattoni aventi una percentuale di foratura minore od uguale al 15% (sigla MP oppure MPR per rivestimento)

3.1.2. Mattoni e blocchi semipieni ¹⁾

Mattoni e blocchi aventi una percentuale di foratura compresa tra il 15 ed il 55% (sigla MS(A) o BS(B) oppure MSR o BSR per rivestimento).

Si dividono in due classi:

- tipo A $15\% \leq 100 F/A \leq 45\%$
- tipo B $45\% < 100 F/A \leq 55\%$

3.1.3. Mattoni e blocchi forati

Mattoni e blocchi aventi una percentuale di foratura maggiore del 55% (sigla MF o BF oppure MFR o BFR per rivestimento).

3.2. Giacitura in opera

In relazione alla posizione di giacitura in opera si classificano

3.2.1. Mattoni e blocchi a fori verticali

Prodotti destinati ad essere posati con foratura ortogonale al piano orizzontale di posa (sigla 11).

3.2.2. Mattoni e blocchi a fori orizzontali

Prodotti destinati ad essere posati con foratura parallela al piano orizzontale di posa (sigla 00).

3.3. Tecnologia di produzione

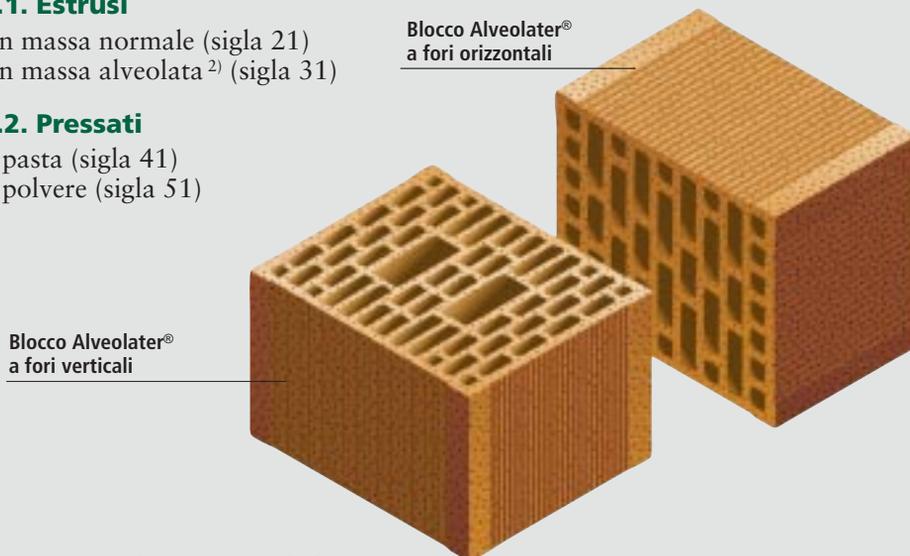
In relazione alla tecnologia di produzione si classificano

3.3.1. Estrusi

- con massa normale (sigla 21)
- con massa alveolata²⁾ (sigla 31)

3.3.2. Pressati

- in pasta (sigla 41)
- in polvere (sigla 51)



3.3.3. Formati a mano (sigla 91)

3.3.4. I prodotti possono, durante o dopo il ciclo di produzione, essere rettificati o calibrati (sigla R o C).

4. Esempi di classificazione

I prodotti oggetto della presente norma devono essere designati indicando nell'ordine il termine normalizzato e le classi di appartenenza di cui in 3.1, 3.2 e 3.3 oppure il codice corrispondente.

Esempio: Mattone semipieno da rivestimento, a fori verticali, estruso, rettificato (codice MSR 11-21R) secondo UNI 8942/1.

Esempio di blocchi Alveolater®: a sinistra un blocco a fori verticali di classe 55 (foratura 55 per cento) per murature portanti in zona non sismica e pareti di tamponamento, a destra un blocco a fori orizzontali di classe 60 (foratura compresa tra il 55 e il 70 per cento) per tamponamenti.

¹⁾ Quando i fori trasversali (o ortogonali) singolarmente sono maggiori del 10% di A, devono essere contornati da almeno due pareti o da un'unica parete con spessore almeno doppio di quello minimo ammesso per una parete. L'area di detti fori non deve superare comunque il 15% di A.

²⁾ Laterizio alleggerito mediante alveoli vuoti, tra loro non comunicanti, diffusi uniformemente nella massa di argilla cotta. Il valore corrente di massa volumica in pasta non è maggiore di 1450 kg/m³. Il diametro massimo degli alveoli deve essere minore di 2,5 mm.

PARTE 2^a

1. Scopo

La presente norma indica le caratteristiche ed i relativi limiti di accettazione dei prodotti di laterizio per murature portanti e non portanti e per rivestimento.

La definizione dei limiti è correlata ai piani di campionamento previsti sia per il caso di controllo della fornitura alla consegna, sia per il caso di controlli effettuati durante la fase di produzione (autocontrollo, vedere appendice A).

2. Campo di applicazione

La presente norma si applica ai prodotti di laterizio definiti e classificati nella UNI 8942/1

3. Campionamento

3.1. Si definisce provino ogni singolo prodotto intero di laterizio.

3.2. Il campionamento per il collaudo di accettazione della fornitura alla consegna, quando richiesto, viene effettuato garantendo la casualità del prelievo dei provini. A tale fine si può considerare sufficiente la suddivisione della fornitura in un numero di parti pari al numero dei provini da prelevare, con prelievo casuale di un provino da ogni parte di fornitura così formata.

I provini che non superano la prova di aspetto non sono ammessi alle prove successive.

I provini utilizzati per il controllo delle dimensioni possono essere utilizzati per altre prove.

3.3. Il campionamento per il controllo in stabilimento (autocontrollo) viene effettuato secondo la modalità riportata nell'appendice A, prelevando le quantità indicate nel prospetto I prima colonna.

4. Limiti di accettazione

Nota - Non sono considerati prodotti formati a mano data la variabilità dei valori delle caratteristiche. Detti valori potranno essere concordati alla fornitura.

[v. prospetto pag. 56]

5. Dichiarazione di conformità e documentazione tecnica d'informazione

Ogni fornitura deve essere accompagnata da una dichiarazione del produttore attestante la rispondenza della fornitura stessa ai limiti di accettazione previsti dalla presente norma.



*Carico di un automezzo in stabilimento.
Ogni fornitura deve essere accompagnata da una dichiarazione del produttore attestante la rispondenza della fornitura stessa ai limiti di accettazione previsti dalla norma UNI 8942.*

I documenti tecnici di informazione devono essere compilati secondo UNI 9038.

Prospetto I - Numero di provini da prelevare

Caratteristica	N. provini	
	autocontrollo	collaudo
Aspetto	125	125 *
Dimensioni	10	10
Forma	10	10
Massa volumica	10	10
Inclusioni calcaree	4	4
Efflorescenze	4 (3+1)	4 (3+1)
Imbibizione (o assorbimento specifico)	4	4
Porosità **	8 (4+4)	8 (4+4)
Assorbimento d'acqua	4	4
Resistenza a compressione	30	6
Resistenza a trazione per taglio (prova indiretta)	30	10
Resistenza a trazione per flessione su listelli ***	3	—

* Il prelievo deve essere effettuato dal lotto al momento della consegna (presso il fornitore) in modo casuale.

** È una prova che può anche servire per simulare il rischio di gelività.

*** Prova sostitutiva della resistenza a trazione per taglio.

Caratteristica	Prodotti con massa normale	Prodotti da rivestimento*
	Limite e/o tolleranza	
Aspetto	vedere appendice B	vedere appendice B
Dimensioni		
- lunghez. nel senso dei fori	± 4% (max. ± 8 mm)	± 3% (max. ± 3 mm)
- altre dimensioni	± 3% (max. ± 6 mm)	± 2% (max. ± 5 mm)
- spessore pareti: interne*	6 mm min.	6 mm min.
esterne*	7 mm min.	15 mm min.
Forma e massa volumica		
- planarità facce lungo le diagonali	fino a 10 cm ± 3 mm; oltre 10 cm ± 3% (max. ± 6 mm)	fino a 10 cm ± 2 mm; oltre 10 cm < 2% (max. ± 5 mm)
- rettilineità degli spigoli	fino a 10 cm ± 3 mm; oltre 10 cm ± 3% (max. ± 6 mm)	fino a 10 cm ± 2 mm; oltre 10 cm ± 2%
- ortogonalità degli spigoli	da concordare	fino a 10 cm ≤ 2 mm; oltre 10 cm ≤ 2%
- percentuale foratura	nominale $\begin{matrix} + 2 \\ - 5 \end{matrix}$	nominale $\begin{matrix} + 2 \\ - 5 \end{matrix}$
- massa volumica	nominale ± 8%	nominale ± 8%
- densità apparente	da concordare	da concordare
Resistenza meccanica		
- resistenza a compressione valore caratteristico*	min. nominale - 8%	min. nominale - 8%
- coefficiente di variazione della resistenza a compressione C _v	20% max.	20% max.
- trazione per taglio	da concordare	da concordare
- flessione per taglio	da concordare	da concordare
Determinazione delle inclusioni		
- inclusioni calcaree	diametro medio crateri < 15 mm; max. 3 crateri 7 < Ø < 15 per dm ²	diametro medio crateri < 15 mm; max. 1 cratere 3 < Ø < 5 per dm ²
- efflorescenza	grado medio	grado leggero
Comportamento ad azioni igrotermiche		
- imbibizione	8 a 20 g/dm ²	8 a 20 g/dm ²
- assorbim. acqua quantità	10 a 25%	10 a 25%
- rischio gelività	basso per esterni	basso
- porosità	tracciare curva porosimetrica con in ascisse il diametro dei pori	

Prodotti rettificati calibrati o pressati a secco*	Prodotti con massa alveolata	Metodo UNI 8942/3
vedere appendice B	vedere appendice B	punto 4
$\pm 1\%$ (max. ± 5 mm)	$\pm 4\%$ (max. ± 8 mm)	punto 5
$\pm 1\%$ (max. ± 1 mm)	$\pm 3\%$ (max. ± 6 mm)	punto 5
(stessi limiti secondo se comuni o da rivestimento)	7 mm min. 10 mm min.	punto 5 punto 5
fino a 10 cm < 1 mm; oltre 10 cm < 1%	fino a 10 cm ≤ 3 mm; oltre 10 cm $\leq 3\%$ (max. ± 6 mm)	punto 6
fino a 10 cm < 1 mm; oltre 10 cm < 1%	fino a 10 cm ≤ 3 mm; oltre 10 cm $\leq 3\%$ (max. ± 6 mm)	punto 6
fino a 10 cm < 1 mm; oltre 10 cm < 1%	da concordare	punto 6
nominale $\begin{matrix} +2 \\ -5 \end{matrix}$	nominale $\begin{matrix} +2 \\ -5 \end{matrix}$	punto 6
nominale $\pm 8\%$	nominale $\pm 8\%$	punto 7
da concordare	≤ 1450 kg/m ³	punto 7
min. nominale -8%	min. nominale -8%	punto 8
20% max.	20% max.	punto 8
da concordare	da concordare	punto 9
da concordare	da concordare	punto 10
(stessi limiti secondo se comuni o da rivestimento)	diametro medio crateri < 15 mm; max. 3 crateri $7 < \emptyset < 15$ per dm ²	punto 11
grado medio (o da concordare)	grado medio	punto 12
8 a 20 g/dm ²	12 a 30 g/dm ²	punto 13
10 a 25%	15 a 40%	punto 14
basso per esterni (da concordare per gli altri)	basso per esterni (da concordare per gli altri)	punto 14
e in ordinate il volume dei pori in rapporto al volume apparente del campione		punto 15

Note

* I limiti per la dimensione e la forma si intendono riferiti sulle sole facce o spigoli, oggetto della lavorazione e del controllo.

* Gli spessori indicati costituiscono dei valori minimi per la produzione e le manipolazioni nelle varie fasi sino alla messa in opera. Per quanto concerne le caratteristiche meccaniche dei singoli elementi (mattoni o blocchi) e le loro composizioni costruttive si dovrà far riferimento a specifiche prescrizioni progettuali o, quando esistono, a norme specifiche riguardanti particolari applicazioni.

* Espresso con f_b : la grandezza f_b è valida sia in direzione perpendicolare sia in direzione parallela al piano di posa.

APPENDICE A**Modalità per i controlli effettuati dal produttore****A 0. Premessa**

Il controllo in stabilimento può essere effettuato secondo due criteri che intervengono su fasi differenti del processo di produzione e possono essere fra di loro complementari:

a) controllo sul processo realizzato mediante l'esame delle materie prime utilizzate, della condotta delle apparecchiature del ciclo di produzione.

Nota - *Questo controllo non è considerato nelle presente norma.*

b) controllo del prodotto finito realizzato con l'esame delle caratteristiche dei provini, costituiti da singoli prodotti, prelevati al termine del ciclo di produzione.

Prospetto II - Frequenza dei prelievi

Caratteristica	Frequenza per prodotti		Criterio registrazione dati (vedere appendice B)
	normali	da paramento	
Aspetto	bigiornaliera	bigiornaliera	Scheda bigiornaliera con carta di controllo <i>P</i>
Dimensioni	mensile*	mensile*	Scheda mensile
Forma	mensile	mensile	Scheda mensile
Inclusioni calcaree	15 giorni	giornaliera	Scheda quindicinale prodotti normali - Scheda giornaliera prodotti paramento
Efflorescenze	mensile	mensile	Scheda mensile
Imbibizione	giornaliera	giornaliera	Scheda giornaliera con carta di controllo <i>FW</i>
Porosità	-	giornaliera	
Assorbimento d'acqua	bigiornaliera	giornaliera	
Resistenza a compressione	settimanale	settimanale	Scheda settimanale con carta di controllo \bar{x}_w
Resistenza a trazione per taglio (prova indiretta)	settimanale	settimanale	
Resistenza a trazione per flessione su listelli	settimanale	settimanale	

* Oppure ad ogni cambio delle filiere.

A 1. Controllo del prodotto finito

Quaderni Alveolater®

A 1.1. Campionamento

Prelevare casualmente il numero di provini, indicati nel prospetto I, fra i pezzi prodotti nella giornata in cui si esegue la verifica.

La frequenza dei prelievi è riportata nel prospetto II.

A 1.2. Limiti di accettazione

Vedere 4.

A 1.3. Registrazione dei risultati

I risultati ottenuti dalle singole prove devono essere riportati su schede o appositi diagrammi (carte di controllo)¹⁾ in modo da evidenziare l'oscillazione dei valori delle caratteristiche esaminate.

Accanto a ogni registrazione devono figurare la data di produzione del prodotto usato come provino e la firma del responsabile addetto ai controlli.



CONSORZIO ALVEOLATER®

Società XYZ Stabilimento XYZ

Blocco Alveolater® tipo: cm 30 x 14,5 taglio: cm 25 Classe Alveolater®: 45

Verifica delle dimensioni

Campioni blocchi:			
n. 1 sez. cm 30 x 14,5	taglio 25	n. 2 sez. cm 30 x 14,4	taglio 25
n. 3 sez. cm 29,9 x 14,5	taglio 25	n. 4 sez. cm 29,9 x 14,4	taglio 25
I limiti di accettazione sono (vedi UNI 8942/86 Parte 2°):			
Taglio = ± 4% max. mm 8		Sezione = ± 3% max. mm 6	
La partita risulta:			
Conforme per dimensione			

Verifica della percentuale di foratura

Dimensione del foro mm	Sezione mm ²	Fori uguali n.	Sezione totale mm ²
80 x 40	3200	1	3200
27 x 16	432	8	3456
29,5 x 14	413	4	1652
19 x 15	285	16	4560
29 x 13,5	391,5	4	1566
25 x 16	400	8	3200
Sezione rilevata del blocco = mm 145 x 30			
Sezione di riferimento = mm 143 x 298			
Area totale dei fori = mm ² 17634			
F/A = % 41,4			
La partita risulta:			
Conforme per foratura			
alla classe dichiarata			

Laterizi ad alte prestazioni termiche

Prima pagina del verbale di controllo di produzione del Consorzio Alveolater®.

¹⁾ Informazioni sulle carte di controllo sono date nell'appendice C.

APPENDICE B [estratti]**Limiti di accettazione dei difetti visibili****B 1. Prodotti con massa normale****B 1.1. Mattoni pieni (privi di foratura)**

Piccoli intagli o fessure superficiali dovuti ai normali metodi di produzione ovvero scheggiature imputabili al trasporto degli elementi.

Tali difetti non costituiscono motivo di rifiuto.

B 1.2. Prodotti con fori verticali: mattoni pieni (foratura <15%), mattoni e blocchi semipieni

Ai fini dell'accettazione di un elemento sono ammesse:

- 1 fessura interna nella direzione dei fori interessante tutta la dimensione dell'elemento per elementi con una sezione fino a 700 cm²; 2 fessure per sezioni maggiori di 700 cm²;
- 4 fessure nella direzione dei fori sulle pareti esterne, non maggiori del 20% della dimensione dell'elemento misurata secondo la direzione della fessura stessa;
- 2 fessure ortogonali alla direzione dei fori sulle pareti e sulle facce esterne, non maggiori del 10% della dimensione dell'elemento misurata secondo la direzione della fessura stessa (due fessure concorrenti in uno spigolo, ai fini del computo, sono da considerarsi come una sola).

In ogni caso il numero totale delle fessure ammesse sulla superficie esterna complessiva dell'elemento non deve superare il valore 4.

Prospetto III - Limiti di accettazione

Setti tagliati da un piano orizzontale (numero di file parallele a quello di posa)	Numero massimo "fessure" interne trasversali	Numero massimo "fessure" interne longitudinali	Numero totale massimo "fessure" interne**
2	1	0	1
3	1	1	1
4	1	1	2
5 e più	1	2	3

* due fessure trasversali interessanti due facce contigue e concorrenti nello spigolo comune alle due facce, ai fini del computo, sono da considerarsi come una sola.

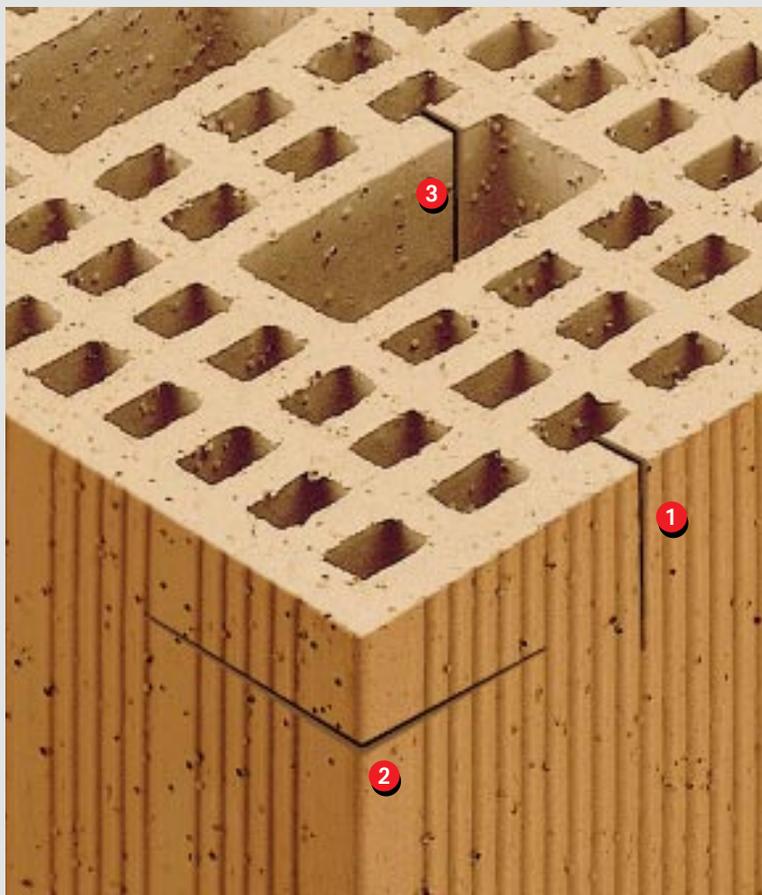
** Il numero figurante nella quarta colonna non è necessariamente uguale alla somma dei numeri figuranti nella seconda e nella terza.

Non sono da considerarsi nel computo lesioni aventi una estensione $\leq 5\%$ della lunghezza dell'elemento, misurata secondo la direzione della lesione stessa.

B 1.3. Prodotti a fori orizzontali: blocchi semipieni, mattoni e blocchi forati

Fessure aventi una estensione $\leq 20\%$ della lunghezza dell'elemento, misurata secondo la direzione della fessura stessa. Tali difetti non costituiscono motivo di rifiuto.

Il numero delle fessure di lunghezza maggiore ($> 20\%$) tollerato per ciascun elemento è riportato nel prospetto III; sulla superficie esterna non sono ammesse fessure con estensione maggiore del 20% della lunghezza dell'elemento, misurata secondo la direzione della fessura stessa.



B 1.4. Protuberanze e scagliature

Per ciascun elemento non è tollerata sulla superficie nessuna protuberanza o scagliatura di diametro medio maggiore di 30 mm; protuberanze e scagliature di diametro minore non devono essere sistematiche.

La numerosità degli elementi non conformi, ammessa globalmente nel campione, per fessure, scagliature, protuberanze, deve risultare $NA \leq 21$ (NA = numero di accettazione).

B 4. Prodotti con massa alveolata

I limiti di accettazione di questi materiali sono gli stessi di quelli relativi ai prodotti con massa normale.

- 1 - Non ammesse se $> 20\%$ di a
- 2 - Non ammesse se $> 10\%$ di a
- 3 - Ammesse: n. 1 per $A \leq 700$ cm²; n. 2 per $A > 700$ cm²

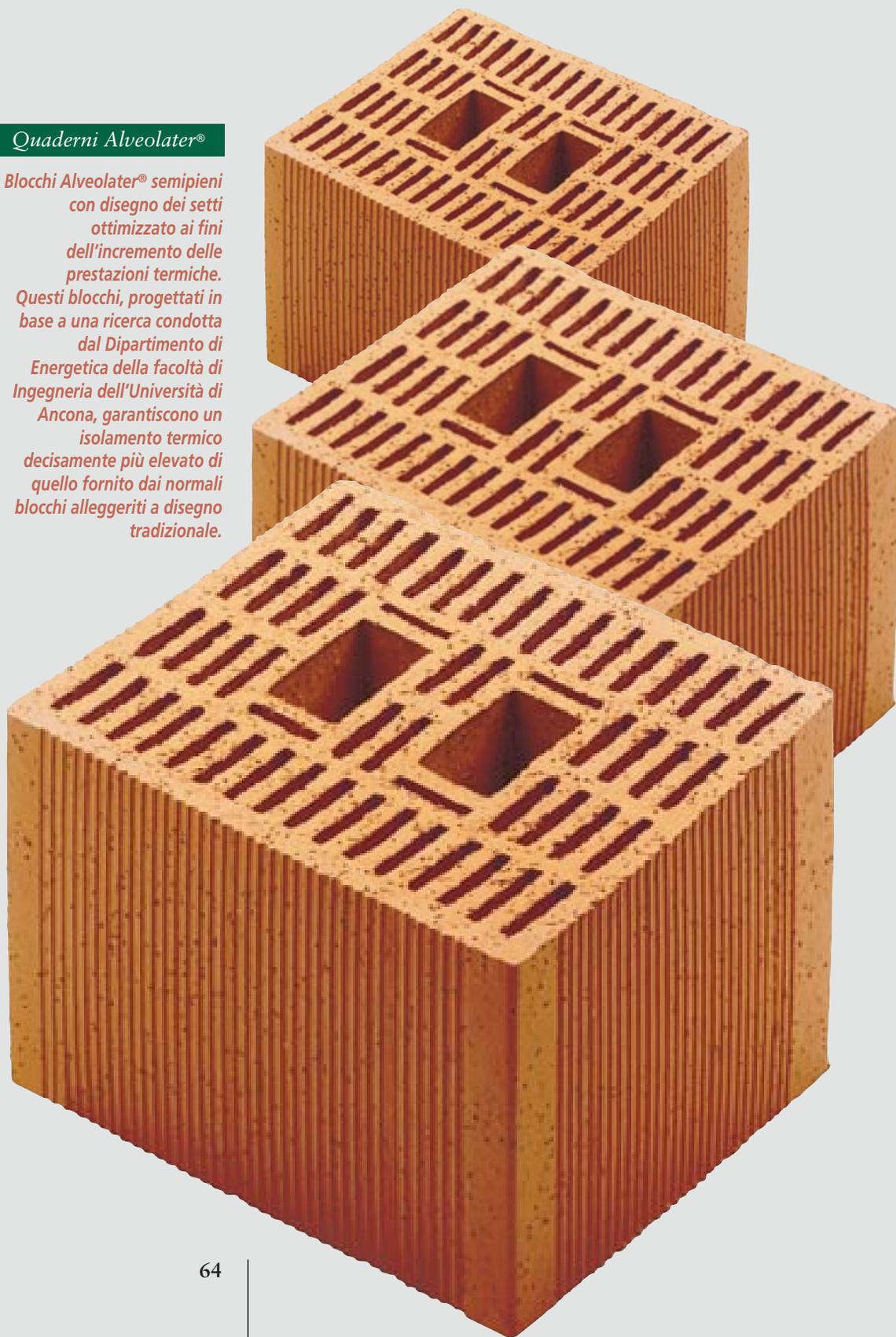
a: dimensioni del blocco nel senso della direzione della fessura
A: area della sezione del blocco

Fessure ammesse e non ammesse ai fini dell'accettazione di un elemento.

Quaderni Alveolater®

Blocchi Alveolater® semipieni con disegno dei setti ottimizzato ai fini dell'incremento delle prestazioni termiche.

Questi blocchi, progettati in base a una ricerca condotta dal Dipartimento di Energetica della facoltà di Ingegneria dell'Università di Ancona, garantiscono un isolamento termico decisamente più elevato di quello fornito dai normali blocchi alleggeriti a disegno tradizionale.



DECRETO MINISTERIALE 20 NOVEMBRE 1987 [estratti]

1.2.2 Muratura costituita da elementi resistenti artificiali

La muratura è costituita da elementi resistenti aventi generalmente forma parallelepipedica, posti in opera in strati regolari di spessore costante e legati tra di loro tramite malta. Gli elementi resistenti possono essere in:

- laterizio normale;
- laterizio alleggerito in pasta;
- calcestruzzo normale;
- calcestruzzo alleggerito.

Gli elementi resistenti artificiali possono essere dotati di fori in direzione normale al piano di posa (elementi a foratura verticale) oppure in direzione parallela (elementi a foratura orizzontale).

Elementi resistenti in laterizio

Si distinguono le seguenti categorie in base alla percentuale di foratura \emptyset ed all'area media della sezione normale di un foro f :

Elementi pieni	$\emptyset \leq 15\%$	$f \leq 9 \text{ cm}^2$
Elementi semipieni	$15\% < \emptyset \leq 45\%$	$f \leq 12 \text{ cm}^2$
Elementi forati	$45\% < \emptyset \leq 55\%$	$f \leq 15 \text{ cm}^2$

La percentuale di foratura è espressa dalla formula seguente:

$$\emptyset = 100 \frac{F}{A}$$

in cui:

F = area complessiva dei fori passanti e profondi non passanti;

A = area lorda della faccia delimitata dal suo perimetro.

La distanza minima tra un foro ed il perimetro esterno non potrà essere inferiore a cm 1 al netto dell'eventuale rigatura, mentre la distanza fra due fori non potrà essere inferiore a cm 0,8 con una tolleranza del 10%.

Per elementi da paramento la distanza fra un foro ed il perimetro esterno deve essere di almeno cm 1,5 per elementi lisci, e di cm 1,3 per elementi rigati, al netto della rigatura.

I fori dovranno essere distribuiti pressoché uniformemente sulla faccia dell'elemento.

Quando A sia maggiore di 300 cm², l'elemento può essere dotato di un foro di presa di maggiori dimensioni fino ad un massi-

mo di 35 cm², da computare nella percentuale complessiva della foratura, avente lo scopo di agevolare la presa manuale; per A maggiore di 580 cm², i fori di presa possono essere due con area di ogni foro non maggiore di 35 cm² e da computare nella percentuale complessiva della foratura.

Gli elementi possono avere incavi di limitata profondità destinati ad essere riempiti dal letto di malta.

Elementi resistenti in calcestruzzo

Si distinguono le seguenti categorie in base alla percentuale di foratura come sopra definite:

Elementi pieni	$\emptyset \leq 15\%$
Elementi semipieni	$15\% < \emptyset \leq 45\%$
Elementi forati	$45\% < \emptyset \leq 55\%$

La distanza minima tra un foro ed il perimetro esterno (al netto della eventuale rigatura) e tra due fori non potrà essere inferiore a 1,8 cm.

I fori dovranno essere distribuiti pressoché uniformemente sulla faccia del pezzo e l'area media della loro sezione normale non deve essere superiore a 0,10 A.

Quando A sia maggiore di 900 cm² l'elemento può essere dotato di fori di maggiori dimensioni fino ad un massimo di 0,15 A. Gli elementi possono avere incavi di limitata profondità destinati ad essere riempiti dal letto di malta.

Le caratteristiche di resistenza degli elementi resistenti artificiali in laterizio o calcestruzzo devono essere valutate secondo le indicazioni in allegato 1.

1.3 Concezione strutturale dell'edificio

L'edificio a uno o più piani a muratura portante deve essere concepito come una struttura tridimensionale costituita da singoli sistemi resistenti collegati tra di loro e le fondazioni e disposti in modo da resistere alle azioni verticali ed orizzontali. Detti sistemi sono:

- a) muri sollecitati prevalentemente da azioni verticali;
- b) muri sollecitati prevalentemente da azioni orizzontali;
- c) solai piani.

Ai fini di un adeguato comportamento statico dell'edificio, tutti i muri devono avere, per quanto possibile, sia la funzione portante che di controventamento.

Occorre inoltre assicurare che i solai possano per resistenza e rigidezza assolvere il compito di ripartire le azioni orizzontali fra i muri di controventamento.

Le presenti norme forniscono i criteri per la verifica di sicurezza dei muri; per la verifica di sicurezza dei solai si rimanda alle vigenti norme tecniche emanate in base alla legge 5 novembre 1971, n. 1086.

Possono essere ammessi negli orizzontamenti elementi a volta a semplice o doppia curvatura, alle seguenti condizioni:

- gli elementi siano contenuti all'interno dei riquadri della scatola muraria;
- sia assicurato in tale ambito l'assorbimento delle corrispondenti spinte orizzontali;
- sia comunque garantita la capacità globale dell'impalcato a ripartire le azioni orizzontali tra i muri di controventamento.

1.3.1 Collegamenti

I tre sistemi di elementi piani sopraddetti devono essere opportunamente collegati fra loro. Tutti i muri saranno collegati al livello dei solai mediante cordoli e, tra di loro, mediante ammortamenti lungo le intersezioni verticali. Inoltre essi saranno collegati da opportuni incatenamenti al livello dei solai.

Nella direzione di tessitura dei solai la funzione di collegamento potrà essere espletata dai solai stessi purché adeguatamente ancorati alla muratura. Il collegamento tra la fondazione e la struttura in elevazione sarà di norma realizzato mediante cordolo in c.a. disposto alla base di tutte le murature verticali resistenti, di spessore pari a quello della muratura di fondazione e di altezza non inferiore alla metà di detto spessore.

1.3.1.1 Cordoli

In corrispondenza dei solai di piano e di copertura i cordoli si realizzeranno generalmente in cemento armato, di larghezza pari ad almeno 2/3 della muratura sottostante, e comunque non inferiore a 12 cm e di altezza almeno pari a quella del solaio e comunque non inferiore alla metà dello spessore del muro.

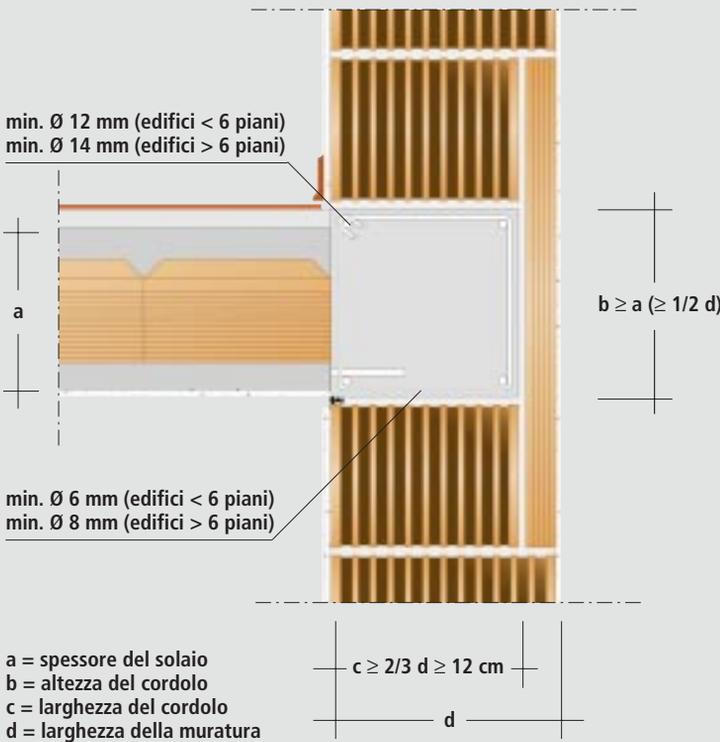
Per i primi tre orizzontamenti, a partire dall'alto, l'armatura minima dei cordoli sarà di almeno 6 cm² con diametro non inferiore a mm 12.

In ogni piano sottostante gli ultimi tre, detta armatura minima sarà aumentata di 2 cm² a piano.

La stessa armatura dovrà essere prevista nel cordolo di base interposto tra la fondazione e la struttura in elevazione. In ogni caso, le predette armature non dovranno risultare inferiori allo 0,6% dell'area del cordolo.

Le staffe devono essere costituite da tondi di diametro non inferiore a 6 mm poste a distanza non superiore a 30 cm.

Per edifici con più di 6 piani, entro e fuori terra, l'armatura dei cordoli sarà costituita da tondi con diametro non inferiore a 14 mm e staffe con diametro non inferiore a 8 mm.



Regole generali relative a dimensioni e staffatura dei cordoli.

In direzione ortogonale al senso di tessitura del solaio gli incatenamenti orizzontali saranno obbligatori per solai con luce superiore ai 4,5 metri e saranno costituiti da armature con una sezione totale pari a 4 cm² per ogni campo di solaio.

Negli incroci a L le barre dovranno ancorarsi nel cordolo ortogonale per almeno 40 diametri; lo squadro delle barre dovrà sempre abbracciare l'intero spessore del cordolo.

1.3.1.2 Incatenamenti orizzontali interni

Gli incatenamenti orizzontali interni, aventi lo scopo di collegare i muri paralleli della scatola muraria ai livelli dei solai, devono essere realizzati per mezzo di armature metalliche. Tali incatenamenti dovranno avere le estremità efficacemente ancorate ai cordoli. Nella direzione di tessitura del solaio possono essere omessi gli incatenamenti quando il collegamento è assicurato dal solaio stesso.

1.4 Spessori minimi dei muri

Lo spessore dei muri non può essere inferiore ai seguenti valori:

a) muratura in elementi resistenti artificiali pieni	cm 12
b) muratura in elementi resistenti artificiali semipieni	cm 20
c) muratura in elementi resistenti artificiali forati	cm 25
d) muratura di pietra squadrata	cm 24
e) muratura listata	cm 40
f) muratura di pietra non squadrata	cm 50

CAPITOLO 2° [estratti]

Murature formate da elementi resistenti artificiali

2.1 Dimensionamento semplificato

Per edifici realizzati in muratura formata da elementi resistenti artificiali pieni o semipieni è possibile omettere le verifiche di sicurezza indicate al successivo punto 2.4 nel caso vengano rispettate le prescrizioni seguenti:

a) l'edificio sia costituito da non più di tre piani entro e fuori terra;

b) la planimetria dell'edificio sia inscrivibile in un rettangolo con rapporti fra lato minore e lato maggiore non inferiore a 1/3;

c) la snellezza della muratura, secondo la definizione del punto 2.2.1.3, non sia in nessun caso superiore a 12;

d) l'area della sezione di muratura resistente alle azioni orizzontali, espressa in percentuale rispetto alla superficie totale in pianta dell'edificio, sia non inferiore al 4% nelle due direzioni principali escluse le parti aggettanti; non sono da prendere in considerazione, ai fini della percentuale di muratura resistente, i muri di lunghezza L inferiore a 50 cm, misurata al netto delle aperture.

Deve inoltre risultare.

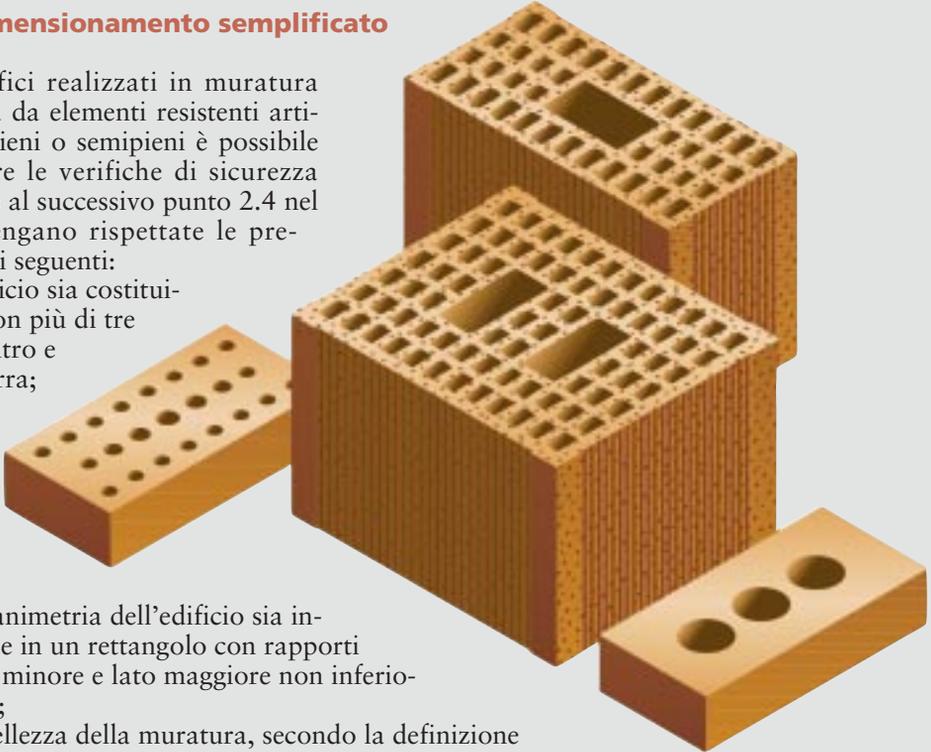
$$\sigma = N / (0,65 A) \leq \bar{\sigma}_m$$

in cui:

N : carico verticale totale alla base del piano più basso dell'edificio;

A : area totale dei muri portanti allo stesso piano;

$\bar{\sigma}_m$: tensione base ammissibile della muratura, definita al punto 2.4.1.



Mattoni pieni (foratura inferiore al 15 per cento) e blocchi Alveolater® semipieni (foratura compresa tra il 15 e il 45 per cento).

I fabbricati realizzati con questo tipo di elementi possono essere verificati con il dimensionamento semplificato.

ALLEGATI

Determinazione sperimentale della resistenza dei materiali

Le prove sui materiali prescritte dalla presente normativa devono essere eseguite presso i laboratori di cui all'art. 20 della legge 5 novembre 1971, n. 1086.

ALLEGATO 1

1.1.1 Determinazione sperimentale della resistenza a compressione degli elementi resistenti artificiali

La produzione degli elementi resistenti artificiali deve essere controllata per ogni stabilimento di produzione mediante prove ufficiali con periodicità almeno annuale. Il controllo di accettazione in cantiere eventualmente richiesto dal direttore dei lavori ha lo scopo di accertare se gli elementi da mettere in opera abbiano le caratteristiche dichiarate dal produttore. Tale controllo sarà effettuato su uno o più campioni costituiti ognuno da tre elementi da sottoporre a prova di compressione.

Per ogni campione siano f_1 , f_2 , f_3 la resistenza a compressione dei tre elementi con

$$f_1 < f_2 < f_3$$

il controllo si considera positivo se risultano verificate entrambe le disequazioni:

$$(f_1 + f_2 + f_3)/3 \geq 1,20 f_{bk}$$

$$f_1 \geq 0,90 f_{bk}$$

Al direttore dei lavori spetta comunque l'obbligo di curare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove ai laboratori siano effettivamente quelli prelevati in cantiere con indicazioni precise sulla fornitura e sulla posizione che nella muratura occupa la fornitura medesima.

1.1.2 Determinazione sperimentale della resistenza a compressione degli elementi resistenti naturali

La produzione degli elementi resistenti naturali deve essere controllata per ogni cava mediante prove ufficiali con periodicità

almeno annuale e comunque ogni qualvolta che cambino sostanzialmente la natura e le caratteristiche meccaniche del materiale. Il controllo di accettazione in cantiere eventualmente richiesto dal direttore dei lavori ha lo scopo di accertare che gli elementi da mettere in opera abbiano le caratteristiche dichiarate dal produttore.

Tale controllo sarà effettuato su uno o più campioni costituiti ognuno da tre elementi da sottoporre a prova di compressione. Per ogni campione, indicate con f_1 , f_2 , f_3 le resistenze a compressione dei tre elementi con $f_1 < f_2 < f_3$, il controllo si considera positivo se risultano verificate entrambe le disequazioni:

$$(f_1 + f_2 + f_3)/3 \geq 1,20 f_{bk}$$

$$f_1 \geq 0,90 f_{bk}$$

Al direttore dei lavori spetta comunque l'obbligo di curare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove ai laboratori siano effettivamente quelli prelevati in cantiere con indicazioni precise sulla fornitura e sulla posizione che nella muratura occupa la fornitura medesima.

1.2 Modalità per la determinazione della resistenza a compressione degli elementi resistenti artificiali

1.2.1 Resistenza a compressione nella direzione dei carichi verticali

Si definisce resistenza caratteristica quella resistenza al disotto della quale ci si può attendere di trovare il 5% della popolazione di tutte le misure di resistenza.

La resistenza di rottura a compressione di un singolo elemento è data dalla seguente espressione:

$$f_{bi} = N/A$$

in cui:

N = carico di rottura applicato in direzione ortogonale al piano di posa;

A = area lorda della sezione normale alla direzione di carico, come definita al punto 1.2.2

Il valore della resistenza caratteristica f_{bk} si ricava dalla formula seguente, applicata ad un numero minimo di 30 elementi:

$$f_{bk} = f_{bm} (1 - 1,64 \delta)$$

in cui:

f_{bm} = media aritmetica della resistenza dei singoli elementi f_{bi} ;

$\delta = s/f_{bm}$ coefficiente di variazione;
 $s =$ stima dello scarto quadratico medio.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_n (f_{bm} - f_{bi})^2}{n - 1}}$$

($n =$ numero degli elementi provati)

Qualora, per ragioni dimensionali (dimensione blocco ≥ 40 cm) si operi su semiblocchi, il valore di f_{bi} è dato dalla media di resistenza dei due semiblocchi.

Il valore della f_{bk} non è accettabile per

$$\delta > 0,2$$

1.2.2 Resistenza a compressione nella direzione ortogonale a quella dei carichi verticali e nel piano della muratura.

La resistenza caratteristica a compressione in direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della muratura sarà dedotta da quella media \bar{f}_{bm} mediante la relazione:

$$\bar{f}_{bk} = 0,7 \bar{f}_{bm}$$

La resistenza media \bar{f}_{bm} sarà ricavata da prove su almeno sei campioni.

1.3 Resistenza a compressione degli elementi resistenti naturali

La resistenza media a compressione f_{bm} degli elementi in pietra, con esclusione dei tufi, deve essere determinata secondo le modalità descritte nel regio decreto 16 novembre 1939, n. 2232, recante le norme per l'accettazione delle pietre naturali da costruzione.

Per i tufi, le prove di cui al punto 1.1.2, in base alle quali le singole cave determineranno la resistenza media a compressione f_{bm} , devono essere eseguite su trenta elementi da provare nella direzione di lavoro.

Non sono ammessi tufi la cui resistenza media a compressione f_{bm} sia inferiore a 20 kg/cm^2 e per i quali il singolo campione abbia resistenza a compressione inferiore a 15 kg/cm^2 . Per tutti gli elementi resistenti naturali si considera convenzionalmente

$$f_{bk} = 0,75 f_{bm}$$

ALLEGATO 2

2.1 Determinazione sperimentale della resistenza a compressione e della resistenza a taglio della muratura

Tramite le prove descritte nel presente allegato può essere determinato il modulo di elasticità normale secante della muratura facendo riferimento all'intervallo

$$0,1 f_k \div 0,4 f_k$$

In mancanza di determinazione sperimentale, potranno assumersi nei calcoli i seguenti valori dei moduli di elasticità:

- modulo di elasticità normale secante E:

$$E = 1000 f_k$$

- modulo di elasticità tangenziale secante G:

$$G = 0,4 E$$



2.1.1 Resistenza a compressione della muratura

La resistenza caratteristica a compressione si determina su n muretti ($n \geq 6$), seguendo sia per la confezione che per la prova le modalità indicate nel seguente paragrafo.

La resistenza caratteristica è data dalla relazione:

$$f_k = f_m - k \cdot s$$

dove:

f_m = resistenza media;

s = stima dello scarto;

k = coefficiente dato dalla tabella seguente:

n	6	8	10	12	20
k	2,33	2,19	2,10	2,05	1,93

Apparecchiatura di prova con muretto posizionato per la determinazione della resistenza a carico diagonale.

La determinazione della resistenza caratteristica deve essere completata con la verifica dei materiali, da condursi come segue:

- malta:

. n. 3 provini prismatici 40 x 40 x 160 mm da sottoporre a flessione, e quindi a compressione sulle 6 metà risultanti, secondo il decreto ministeriale 3 giugno 1968;

- elementi resistenti:

. n. 10 elementi da sottoporre a compressione con direzione del carico normale al letto di posa.

2.1.1.1 Caratteristiche dei provini

I provini (muretti) devono avere le stesse caratteristiche della muratura in esame e ognuno di essi deve essere costituito almeno da tre corsi di elementi resistenti e deve rispettare le seguenti limitazioni:

- lunghezza (b) pari ad almeno due lunghezze di blocco;

- rapporto altezza/spessore (l/t) variabile tra 2,4 e 5.

La confezione avverrà su di un letto di malta alla base e la faccia superiore sarà finita con uno strato di malta.

Dopo una stagionatura di 28 giorni a 20 °C, 70% di umidità relativa, prima di effettuare la prova la faccia superiore di ogni provino viene eventualmente livellata con gesso; il muretto può anche essere contenuto fra due piastre metalliche rettificata, utili per gli spostamenti ed il suo posizionamento nella pressa.

Il provino viene posto fra i piatti della macchina di prova (uno dei quali articolato) e si effettua quindi la centratura del carico. In proposito è consigliabile procedere anche ad un controllo estensimetrico.

Il carico deve essere applicato con una velocità di circa 0,5 MPa ogni 20 secondi.

2.1.2. Resistenza a taglio della muratura in assenza di carichi verticali

La determinazione della resistenza al taglio f_{vk0} della muratura deve essere effettuata mediante prove di compressione diagonale su muretti.

Le prove saranno effettuate su almeno 6 provini.

La resistenza caratteristica f_{vk0} sarà dedotta dalla resistenza media ottenuta f_{vm} mediante la:

$$f_{vk0} = 0,7 f_{vm}$$

DECRETO MINISTERIALE 16 GENNAIO 1996 [estratti]

C.2. Altezza massima dei nuovi edifici.

Per ogni fronte esterna l'altezza dei nuovi edifici, rappresentata dalla massima differenza di livello fra il piano di copertura più elevato ed il terreno, ovvero, ove esista, il piano stradale o del marciapiede nelle immediate vicinanze degli edifici stessi, non può superare nelle strade e negli edifici in piano i limiti riportati nella tabella 2.

Nel caso di copertura a tetto detta altezza va misurata dalla quota d'imposta della falda e, per falde con imposte a quote diverse, dalla quota d'imposta della più alta.

Tabella 2

Tipo di struttura	Altezza massima		
	S=6	S=9	S=12
	m	m	m
Legno	10	7	7
Muratura ordinaria	16	11	7,5
Muratura armata	25	19	13
Pannelli portanti	32	25	16
Intelaiatura	nessuna limitazione		

Sono esclusi dal computo delle altezze gli eventuali torrini delle scale e degli ascensori.

Nel caso che gli edifici abbiano un piano cantinato o seminterato la differenza di livello (misurata sulla stessa verticale) tra il piano più elevato di copertura (o la quota d'imposta delle falde) e quello di estradosso delle strutture di fondazione, può eccedere di non più di quattro metri i limiti stabiliti dalla precedente tabella 2.

Nelle strade o nei terreni in pendio le altezze massime di cui alla precedente tabella possono essere incrementate di 1,50 m purché la media generale delle altezze di tutte le fronti rientri nei limiti stabiliti nella tabella stessa.

Per le costruzioni in legno è ammessa la realizzazione di uno zoccolo in muratura e malta cementizia o in calcestruzzo semplice o armato, la cui altezza non può superare i quattro metri. In tal caso i limiti di cui alla precedente tabella 2 vanno riferiti alla sola parte in legno.

C.5. Edifici in muratura.

C.5.1. Regole generali

Gli edifici in muratura debbono essere realizzati nel rispetto del decreto ministeriale 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, ove non in contrasto con le presenti norme. In particolare, alle predette norme tecniche deve farsi riferimento

per ciò che concerne le caratteristiche fisiche, meccaniche e geometriche degli elementi resistenti naturali e artificiali, nonché per i relativi controlli di produzione e di accettazione in cantiere.

Sia per gli edifici in muratura ordinaria, di cui al seguente punto C.5.2., che per quelli in muratura armata, di cui al seguente punto C.5.3., debbono inoltre essere soddisfatti i seguenti requisiti:

a) la resistenza caratteristica a compressione f_{bk} degli elementi artificiali deve risultare non inferiore ai seguenti valori:

- 7 N/mm² (70 kg/cm²) per gli elementi pieni;

- 5 N/mm² (50 kg/cm²) per gli elementi semipieni nella direzione dei carichi verticali;

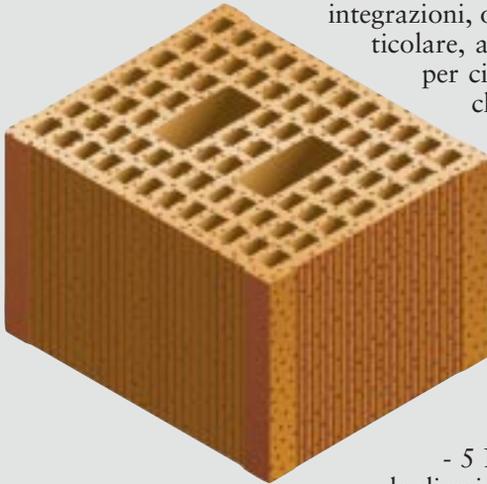
- 1,5 N/mm² (15 kg/cm²) per gli elementi semipieni nella direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della muratura;

b) le strutture costituenti i vari orizzontamenti, comprese le coperture di ogni tipo, non devono essere spingenti. Eventuali spinte orizzontali, comprese quelle esercitate ad esempio da archi e volte, e valutate tenendo conto dell'azione sismica, devono essere eliminate con tiranti o cerchiature oppure riportate alle fondazioni mediante idonee disposizioni strutturali;

c) i solai devono assolvere, oltre alla funzione portante dei carichi verticali, quella di ripartizione delle azioni orizzontali tra i muri maestri;

d) i cordoli, in corrispondenza dei solai di piano e di copertura devono avere larghezza pari a quella della muratura sottostante; è consentita una riduzione di larghezza fino a 6 cm per l'arretramento del filo esterno. L'altezza di detti cordoli deve essere almeno pari a quella del solaio, e comunque non inferiore a cm 15. L'armatura deve essere di almeno cm² 8 con diametro non inferiore a mm 16; le staffe devono avere diametro non inferiore a mm 6 ed interasse non superiore a cm 25;

e) nei solai le travi metalliche e i travetti prefabbricati devono essere prolungati nel cordolo per una lunghezza non inferiore alla metà della larghezza del cordolo stesso e comunque non inferiore a 12 cm; le travi metalliche devono essere munite di appositi ancoraggi;



Blocco Alveolater® semipieno
(foratura 45 per cento) per
muratura portante anche in
zona sismica.

Nella pagina a fianco, il
semiblocco coordinato.

- f) in corrispondenza degli incroci d'angolo dei muri maestri perimetrali sono prescritte, su entrambi i lati, zone di muratura di lunghezza pari ad almeno m 1; tali lunghezze si intendono comprensive dello spessore del muro ortogonale;
- g) nel piano interrato o seminterrato è ammesso realizzare i muri in calcestruzzo armato, con spessori almeno pari a quelli del piano sovrastante.

C.5.2. Edifici in muratura ordinaria.

Gli edifici in muratura ordinaria devono essere costruiti nel rispetto delle seguenti prescrizioni:

a) la pianta dell'edificio deve essere il più possibile compatta e simmetrica rispetto ai due assi ortogonali; in particolare, nel caso di pianta rettangolare, il rapporto tra lato minore e lato maggiore, al netto dei balconi, non deve risultare inferiore ad 1/3.

La distribuzione delle aperture dei muri, in pianta e in alzato, deve essere tale da garantire, per quanto possibile, la simmetria strutturale;

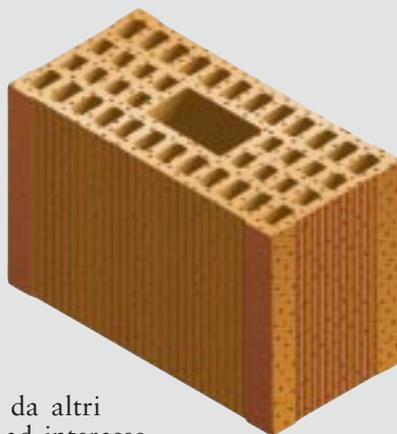
b) ciascun muro maestro deve essere intersecato da altri muri maestri trasversali, ad esso ben ammorsati, ad interasse non superiore a m 7;

c) al di sopra dei vani di porte e finestre devono essere disposti architravi in cemento armato o in acciaio efficacemente ammorsati nella muratura;

d) le fondazioni possono essere realizzate con muratura ordinaria, purché sul piano di spiccato venga disposto un cordolo di calcestruzzo armato, le cui dimensioni ed armatura devono essere conformi a quanto prescritto al punto C.5.1., lettera d);

e) la distanza massima fra lo spiccato delle fondazioni e l'intradosso del primo solaio o fra due solai successivi non deve superare m 5, fermo restando l'obbligo di garantire per i setti murari una snellezza inferiore a 12;

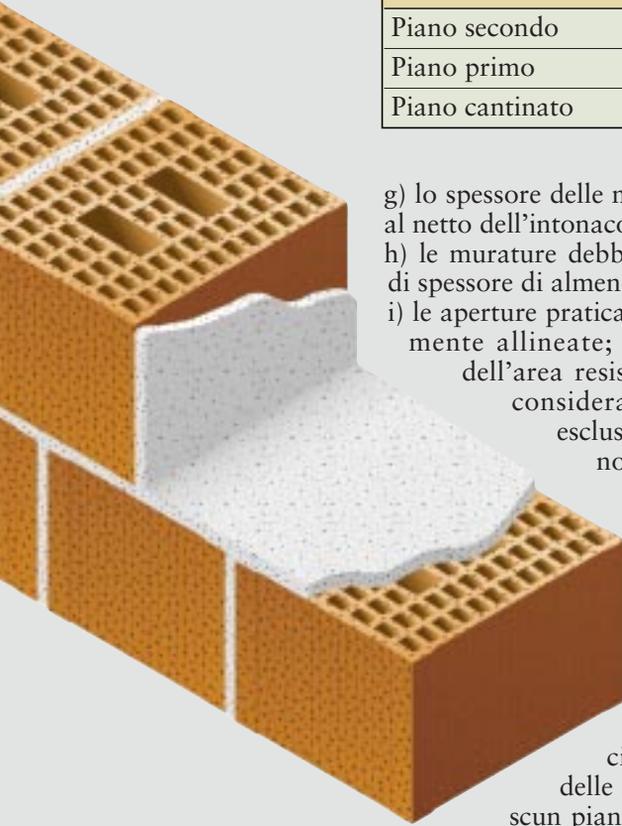
f) la muratura portante deve essere realizzata con elementi artificiali pieni o semipieni, ovvero con elementi di pietra squadrata, con l'impiego di malta cementizia. È ammesso per gli edifici con non più di due piani fuori terra l'uso di muratura listata con l'impiego di malta cementizia. La listatura deve essere realizzata mediante fasce di conglomerato semplice o armato oppure mediante ricorsi orizzontali costituiti da almeno tre corsi in laterizio pieno, posti ad interasse non superiore a m 1,6 ed estesi a tutta la lunghezza e a tutto lo spessore del muro; gli spessori dei muri devono essere non inferiori a quelli indicati nella seguente tabella:



Semiblocco coordinato per muratura portante anche in zona sismica (da impiegarsi in combinazione con il blocco Alveolater® della pagina a fianco) indispensabile per la realizzazione di angoli, innesti, mazzette di porte e finestre ecc.

Tabella 3

	Spessori dei muri in pietrame listato		
	S = 6 cm	S = 9 cm	S = 12 cm
Piano secondo	40	40	50
Piano primo	40	40	65
Piano cantinato	55	55	80



In zona sismica gli elementi resistenti che compongono la muratura (mattoni o blocchi) devono essere collegati fra loro tramite malta cementizia (di classe M1/M2) che deve assicurare il ricoprimento dei giunti orizzontali e verticali.

g) lo spessore delle murature deve essere non inferiore a 24 cm, al netto dell'intonaco;

h) le murature debbono presentare in fondazione un aumento di spessore di almeno cm 20;

i) le aperture praticate nei muri portanti devono essere verticalmente allineate; in alternativa, ai fini della valutazione dell'area resistente di cui alla lettera l) si prendono in considerazione per la verifica del generico piano esclusivamente le porzioni di muri che presentano continuità verticale dal piano oggetto di verifica fino alle fondazioni;

l) nel caso di murature realizzate mediante blocchi artificiali semipieni, ovvero in pietra naturale squadrata con elementi di resistenza caratteristica a compressione non inferiore a 30 kg/cm², l'area della sezione di muratura resistente alle azioni orizzontali, espressa come percentuale della superficie totale dell'edificio, e valutata al netto delle aperture, non deve essere inferiore, per ciascun piano di verifica, ai valori di cui alle tabelle 4a e 4b in funzione della sismicità della zona.

Dette percentuali devono essere rispettate in entrambe le direzioni principali.

Nel caso di murature realizzate mediante blocchi artificiali pieni, l'area suddetta non deve essere inferiore, per ciascun piano di verifica, alle percentuali che si ottengono dalle tabelle 4a e 4b dividendo ciascuna percentuale per 1,25.

Nel caso di murature realizzate in pietra naturale squadrata, costituita da elementi di resistenza caratteristica inferiore a 30 kg/cm², l'area suddetta deve essere adeguatamente incrementata sulla base di motivate valutazioni e comunque non deve essere inferiore, per ciascun piano di verifica, alle percentuali che si ottengono dalle tabelle 4a e 4b moltiplicando ciascuna percentuale per il rapporto $30/f_{bk}$ ove f_{bk} è il valore della resistenza caratteristica degli elementi.

Tabella 4a

Area resistente ai vari piani (zone con S = 12)				
	piano I	piano II	piano III	piano IV
	%	%	%	%
Edifici a 1 piano	6	-	-	-
Edifici a 2 piani	6	6	-	-
Edifici a 3 piani	7	6	6	-
Edifici a 4 piani	7	7	6	6

Tabella 4b

Area resistente ai vari piani (zone con S = 12 oppure S = 9)					
	piano I	piano II	piano III	piano IV	piano V
	%	%	%	%	%
Edifici a 1 piano	5	-	-	-	-
Edifici a 2 piani	5	5	-	-	-
Edifici a 3 piani	6	5	5	-	-
Edifici a 4 piani	6	6	5	5	-
Edifici a 5 piani	7	7	6	6	5

Non sono da prendere in considerazione ai fini del calcolo della percentuale di muratura resistente, i muri aventi rapporto altezza/lunghezza superiore a 3.

Deve inoltre risultare, per ciascun piano di verifica:

$$\sigma = N/(0,50 A) < \bar{\sigma}_m$$

con il seguente significato dei simboli:

N = carico verticale totale relativo al piano in esame;

A = area totale, al netto delle aperture, dei muri resistenti al piano in esame;

$\bar{\sigma}_m$ = tensione base ammissibile della muratura, prevista, per le varie classi di resistenza caratteristica a compressione della muratura.

Tale verifica deve essere effettuata, di regola, per i muri del piano più basso dell'edificio nonché per i muri di ogni piano per il quale si determini almeno una delle seguenti situazioni:

- gli spessori di uno o più muri risultino minori dei corrispondenti spessori del piano inferiore;

- l'incidenza delle aperture risulti superiore a quella relativa al piano inferiore;
m) il sovraccarico non deve essere superiore a $4,00 \text{ kN/m}^2$ (400 kg/m^2).

Ove siano rispettate tutte le precedenti prescrizioni, la verifica rispetto alle azioni sismiche può essere omessa, ferma restando la necessità delle verifiche previste dagli appositi decreti ministeriali nei riguardi dei carichi verticali e delle azioni orizzontali dovute al vento, nonché nei riguardi del terreno di fondazione.

Qualora non tutte le precedenti prescrizioni siano rispettate l'edificio deve essere verificato secondo quanto disposto al punto C.9.5., ferma restando la necessità delle verifiche citate nel precedente comma e il rispetto delle prescrizioni indicate al punto C.5.1

C.5.3. Edifici in muratura armata.

C.5.3.1. Oggetto e ambito di applicazione.

Per muratura armata s'intende quella costituita da elementi resistenti artificiali semipieni tali da consentire la realizzazione di pareti murarie incorporanti apposite armature metalliche verticali e orizzontali.

I blocchi devono essere collegati mediante malta di classe M2, M1, che deve assicurare il riempimento sia dei giunti orizzontali sia dei giunti verticali.

L'armatura deve essere disposta concentrata alle estremità verticali ed orizzontali dei pannelli murari, definiti nel successivo punto C.5.3.4. e diffusa nei pannelli secondo le indicazioni dei successivi punti C.5.3.3.2 e C.5.3.3.3.

Nel caso in cui la muratura sia impiegata per la realizzazione di edifici per i quali sia da attribuire al coefficiente di protezione sismica I, di cui al successivo punto C.6.1.1., un valore maggiore di uno, detta armatura diffusa deve essere integrata dall'armatura diffusa definita nel successivo punto C.5.3.3.4.

È ammessa la realizzazione di edifici mediante muratura armata non conforme alle presenti norme purché ne sia comprovata l'idoneità da una dichiarazione rilasciata dal Presidente del Consiglio superiore dei lavori pubblici, su conforme parere dello stesso Consiglio.

La malta o il conglomerato di riempimento dei vani ove alloggiavano le armature deve avere resistenza caratteristica cubica non inferiore a 15 N/mm^2 (150 kg/cm^2).

CIRCOLARE N. 65/AA.GG. 10 APRILE 1997 [estratti]

Istruzioni per l'applicazione delle *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche* di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996

C.5. Edifici in muratura

C.5.1. Regole generali

Le prescrizioni qui contenute si applicano a tutti gli edifici, sia in muratura ordinaria sia in muratura armata. Si rammenta anzitutto che, conformemente a quanto stabilito dall'art. 3, 1° comma, della legge 2 febbraio 1974 n. 64, è fatto obbligo di osservare, oltre alle norme per le costruzioni sismiche, le norme di carattere generale concernenti la sicurezza delle costruzioni, indicate dall'art. 1, 3° comma della legge stessa.

Pertanto nella realizzazione delle costruzioni sismiche in muratura, deve comunque tenersi conto delle vigenti norme tecniche riguardanti gli edifici in muratura (d.m. 20 novembre 1987), i carichi e i sovraccarichi (d.m. 16 gennaio 1996), i terreni e le opere di fondazione (d.m. 11 marzo 1988), e degli eventuali successivi aggiornamenti.

Per quanto concerne le caratteristiche dei materiali e i relativi controlli, mentre le norme di cui al precedente decreto 24 gennaio 1986 recavano disposizioni nell'apposito allegato, le attuali norme stabiliscono, al 3° comma del punto C.5.1., alcuni requisiti minimi di resistenza, a integrazione di quanto indicato nelle norme per gli edifici in muratura emanate con il decreto 20 novembre 1987.

I controlli sui materiali vanno effettuati, secondo quanto previsto nel decreto sopracitato, sia all'origine, obbligatoriamente, presso gli stabilimenti di produzione, sia in cantiere, ai fini della loro accettazione per l'impiego.

In particolare, il direttore dei lavori è tenuto a verificare che ciascuna fornitura, riguardante tanto gli elementi per la muratura (mattoni o blocchi), quanto le barre di acciaio nel caso della muratura armata, sia accompagnata dal relativo certificato di origine, controllando che le caratteristiche certificate corrispondano a quanto richiesto dal progetto e dalle norme.

Inoltre nell'ambito della propria sfera di discrezionalità, il direttore dei lavori può responsabilmente valutare l'opportunità di disporre ulteriori controlli, per accertare che i materiali da mettere in opera posseggano effettivamente le caratteristiche dichiarate dal produttore. Anche per la muratura armata, oltre alle norme delle costruzioni sismiche, sono da osservare, per

quanto applicabili, le norme di cui al decreto 20 novembre 1987.

È opportuno rammentare 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.

C.5.3. Edifici in muratura armata

La muratura armata è una tecnica costruttiva che conferisce alle strutture murarie caratteristiche di monoliticità, di resistenza (a compressione e a trazione) e di duttilità tali da migliorarne in modo sostanziale il comportamento sotto azione sismica.

In virtù di tali migliori prestazioni le norme consentono per tale tipologia altezze massime superiori a quelle permesse per la muratura ordinaria.

Ruolo delle armature metalliche

Si distingue tra le armature richieste dall'analisi strutturale e quelle aggiuntive, necessarie per soddisfare le esigenze di monoliticità, continuità e duttilità, i cui valori minimi sono fissati dalle norme.

Le armature derivanti dall'analisi sono quelle verticali da disporsi agli incroci e ai bordi dei pannelli murari, nonché quelle orizzontali lungo i bordi delle aperture (architravi o travi di collegamento tra pannelli affiancati).

Le armature aggiuntive comprendono:

- armature verticali disposte nel corpo dei pannelli, con interasse non superiore a 5 m;
- armature orizzontali nei cordoli a livello di ciascun solaio, e nel corpo dei pannelli, a interasse non superiore a 4 m, con funzione di incatenamento, distribuite a interasse non superiore a 0,6 m.

Per i soli edifici con coefficiente di protezione sismica $I > 1$ è obbligatoria un'ulteriore armatura diffusa sia orizzontale che verticale, con interasse non superiore al doppio dello spessore della parete, quella orizzontale a sostituzione dell'ultima sopra richiamata.

Stante il ruolo decisivo che le armature metalliche hanno nel trasformare il comportamento della struttura muraria, è essenziale il rigoroso rispetto delle prescrizioni normative non solo riguardo alla quantità, ma anche e soprattutto per quanto concerne il posizionamento, l'ancoraggio e la sovrapposizione, nonché la protezione dalla corrosione.

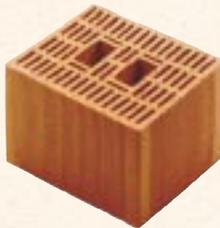


alveolater.

Realizzazione: M+W di Mario Moscati & C.

Laterizi ad alte prestazioni termiche

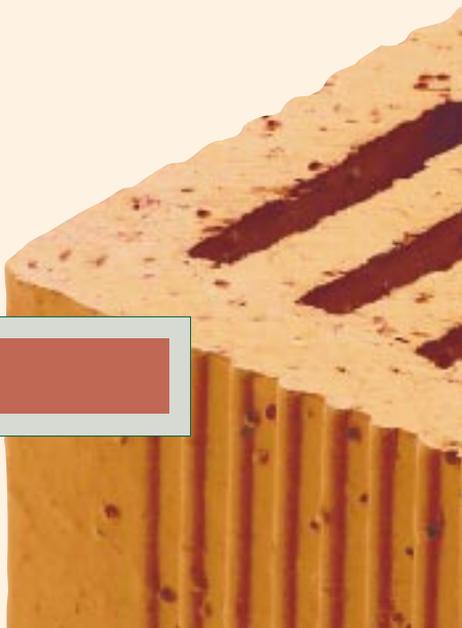
© Copyright Consorzio Alveolater®
Viale Aldo Moro, 16 - 40127 Bologna
tel. 051509873 - fax 051509816
Internet: <http://www.alveolater.com>
e mail: consorzio@alveolater.com



In copertina: blocco Alveolater® semipieno (per murature portanti) con disegno dei fori ottimizzato ai fini dell'incremento delle prestazioni termiche

Costruire in Alveolater®

Il laterizio Alveolater® è nato nel 1986. Nel frattempo molte cose sono cambiate. Studi, prove sperimentali e ricerche hanno permesso al Consorzio Alveolater® di migliorare il prodotto per renderne più efficace e vantaggioso l'impiego. Normative nazionali ed europee, inoltre, hanno introdotto nuove regole che, in alcuni casi, hanno cambiato radicalmente il modo di progettare e costruire, come ad esempio nel caso delle murature armate per zona sismica. Il *Quaderno Alveolater®* n. 5 fornisce tutti gli strumenti per affrontare, in modo adeguato e corretto, il compito di progettare e costruire oggi. Per questo, in appendice, sono stati riportati i punti essenziali della norma UNI 8942, dei decreti ministeriali 20 novembre 1987 e 16 gennaio 1996 nonché della Circolare n. 65/AA.GG. del 10 aprile 1997. Come sempre, a corredo del volume, un'ampia serie di illustrazioni, grafici e tabelle con dati aggiornati alle più recenti ricerche e prove sperimentali.



 **alveolater®**