

*I quaderni del Consorzio Alveolater®*

**3**

A cura di Giorgio Zanarini e Norberto Tubi

# Le prestazioni delle murature

Prestazioni e caratteristiche dei laterizi,  
blocchi termici Alveolater®  
e murature

 **alveolater®**

## Premessa

La richiesta via via crescente di abitazioni in laterizio può essere motivata dalla crescente attenzione e sensibilità verso le soluzioni costruttive legate alla tradizione dei luoghi; ma anche dal fatto che l'utilizzatore finale, istintivamente portato a prediligere le costruzioni in laterizio, comincia, anche se con un peso che può e deve essere ancora aumentato, ad influire nelle scelte dei materiali strutturali e non più soltanto dei materiali di finitura.

Chi costruisce per sé, e chi abita, è sensibile al "valore" della costruzione, ricerca materiali affidabili e sicuri e individua nel laterizio, nelle sue caratteristiche di traspirabilità e di isolamento termico, nello spessore delle pareti, nella massa, nella semplicità costruttiva i requisiti essenziali per ottenere prestazioni di livello elevato e costante.

La condizione di benessere di chi abita va considerata come uno dei principali obiettivi di una costruzione, ed è un'esigenza presente sia nella Legge 373 del 1976, che nella Legge 10 del 9 gennaio 1991, attuazione pratica del Piano Energetico Nazionale (P.E.N.).

Il benessere è legato all'isolamento termico, e quindi alla temperatura dell'ambiente interno e alla temperatura superficiale delle pareti, alla capacità di attenuare i picchi di temperatura esterna e alla facilità di smaltire il vapore acqueo che le normali attività dell'uomo generano all'interno dell'ambiente.

Chi abita deve essere protetto anche dai rumori, sia interni per le varie attività che nella casa possono essere svolte, sia, e soprattutto, esterni dovuti al traffico e alle attività lavorative in genere.

Non va poi dimenticata la qualità dell'aria negli ambienti, visto che oggi il settore delle costruzioni impiega più di seimila composti chimici (vernici, isolanti termici, colle eccetera) dei quali solo poche centinaia sono stati esaminati per valutarne il grado di compatibilità con l'ambiente e la effettiva pericolosità.

Fra tutti i materiali, certamente il laterizio assicura il migliore equilibrio fra tutte le esigenze di una costruzione, perché possiede caratteristiche positive sia per il benessere ambientale (salubrità, traspirabilità, capacità di accumulare calore e di isolare dal caldo e dal freddo), sia per la durabilità e la affidabilità strutturale delle costruzioni (elevata massa, semplicità di posa, semplicità di gestione e di manutenzione).

Da alcuni anni al laterizio tradizionale si è affiancato il laterizio alveolato.

L'alveolatura della pasta di argilla, il disegno dei blocchi, spesso progettato e verificato con metodi matematici avanzati, e la possibilità di aumentare a parità di peso lo spessore delle pareti,

conferiscono a questo laterizio caratteristiche termoisolanti, statiche e acustiche tali da collocarlo fra i materiali da costruzione più interessanti. E' quindi un prodotto ideale per costruire abitazioni così come la tradizione le ha consolidate, e, allo stesso tempo, è tanto attuale da rispettare la Direttiva CEE 89/106 sui prodotti da costruzione.

Messo in opera con malta premiscelate a elevate prestazioni termiche e meccaniche, oggi facilmente reperibili sul mercato, raggiunge prestazioni ancora migliori.

Il settore dei laterizi è anche un settore dinamico, alla ricerca continua di innovazioni di processo e di prodotto.

Il Consorzio Alveolater°, utilizzando in esclusiva per l'Italia un brevetto della società tedesca Deutsche Perlite, ha iniziato la produzione di un laterizio alleggerito con perlite espansa.

Le sperimentazioni in campo acustico hanno evidenziato ottime caratteristiche dei prodotti in laterizio sia per la riduzione della trasmissione del rumore aereo che del rumore di calpestio. Per questo il Consorzio Alveolater° ha recentemente brevettato un solaio realizzato con elementi a bassa percentuale di foratura in argilla alleggerita, le cui prestazioni termiche sono superiori del venti per cento a quelle di una struttura tradizionale e che migliora in modo sostanziale anche il comportamento al fuoco e il comportamento acustico.

Un altro esempio di innovazione è dato dalle pareti portanti in muratura armata: una tecnologia relativamente recente che unisce alla resistenza del laterizio la duttilità dell'acciaio e che migliora ulteriormente il comportamento delle strutture in laterizio nelle zone ad alto rischio sismico.

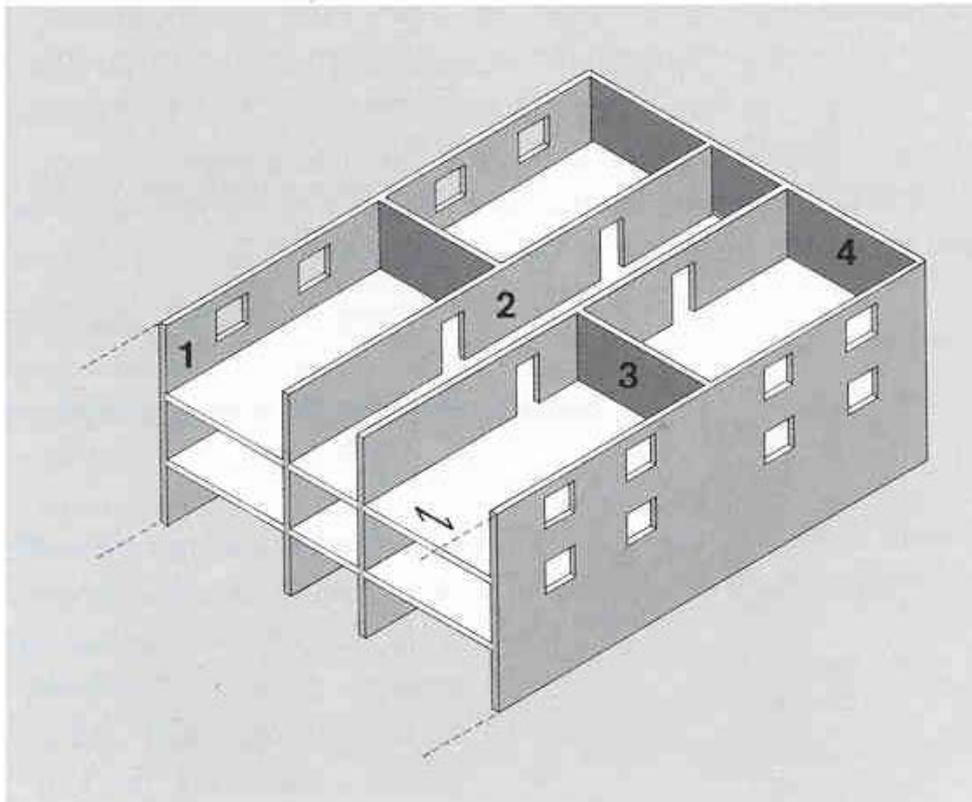
Questa e altre iniziative non modificano le qualità tradizionali del laterizio, ma trovano al laterizio nuovi campi di impiego, anche fortemente specializzati.

Le prove, le sperimentazioni e le ricerche di questi ultimissimi anni hanno prodotto una concreta ricaduta sull'industria e hanno avuto una funzione insostituibile di stimolo per l'individuazione delle prospettive del settore. Ma sempre, qualunque sia il processo tecnologico di produzione o la innovazione di prodotto, il laterizio mantiene le caratteristiche tradizionali di materiale sano, con emissioni radioattive fra le più basse, che non contribuisce alla propagazione delle fiamme in caso di incendio, di ottima resistenza al fuoco, con bassissima umidità di equilibrio, con tempi di essiccazione delle costruzioni molto più brevi rispetto ad altri materiali, e con elevate capacità portanti che oggi finalmente la normativa riconosce appieno, anche in zona sismica.

## Le murature in laterizio, i fini funzionali delle murature e la concezione strutturale dell'edificio

Dagli articoli delle norme vigenti (Decreto Ministeriale 20 novembre 1987 "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento" e Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche") emergono chiaramente il concetto di tridimensionalità della struttura di un edificio in muratura portante e la distinzione dei muri in "sollecitati prevalentemente da azioni verticali" e "sollecitati prevalentemente da azioni orizzontali", con la sottolineatura che, per "un adeguato comportamento statico dell'edificio", tutti i muri debbano avere contemporaneamente, per quanto possibile, sia la funzione portante che quella di controventamento.

La concezione degli edifici in muratura portante, pur essendo costantemente tridimensionale, non è tuttavia univoca; si possono individuare infatti alcuni schemi fondamentali (generalmente tre) di distribuzione delle murature (fig. 1, 2, 3).



*Fig.1 – Edificio in muratura. Schema strutturale a muri portanti longitudinali.*

*Legenda*

1. muro longitudinale esterno sollecitato prevalentemente da azioni verticali;
2. muro longitudinale interno sollecitato prevalentemente da azioni verticali;
3. muro trasversale interno sollecitato prevalentemente da azioni orizzontali;
4. muro trasversale esterno sollecitato prevalentemente da azioni orizzontali.

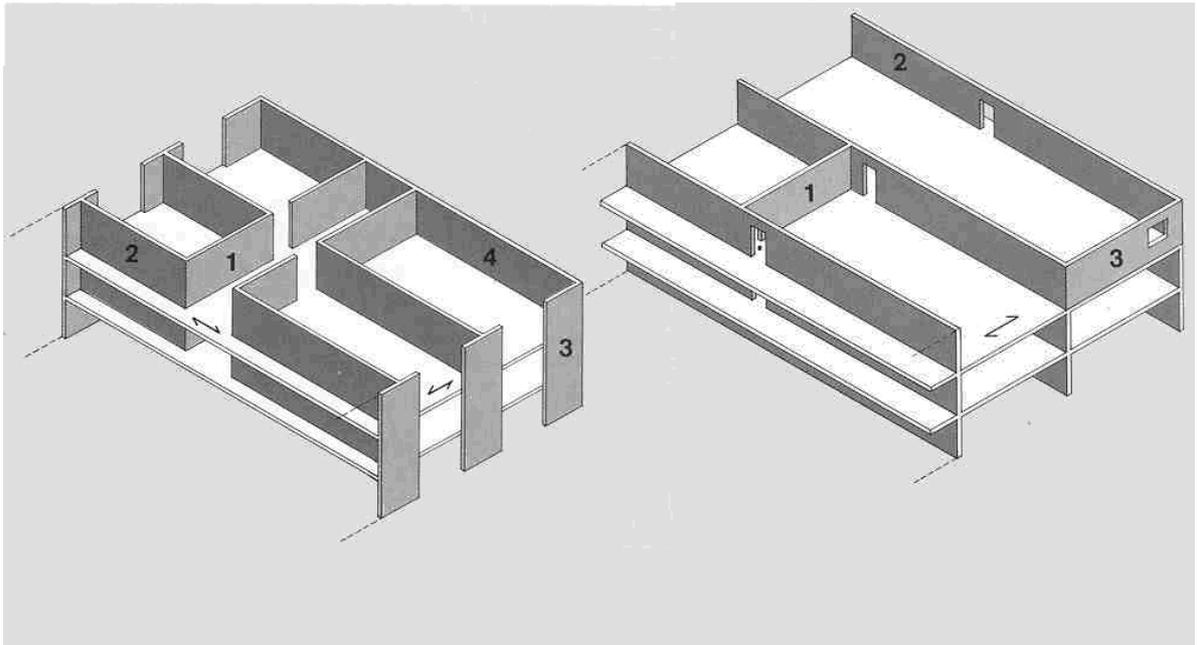
In questi tre schemi fondamentali sono stati indicati i muri sollecitati prevalentemente da azioni orizzontali (sono stati distinti anche tra "esterni" e "interni"). E evidente che la funzione dei muri varia a seconda della loro posizione all'interno dell'organismo edilizio: dovranno perciò rispondere a richieste di prestazioni differenti per qualità, intensità e tipo.

Pertanto, ogni qual volta ciò sia possibile, dovranno essere realizzati con determinati materiali e secondo tecniche specifiche. Nella Tabella I sono incasellate le richieste di prestazione e - benché ovvie per la semplicità e schematicità di descrizione - le caratteristiche dei materiali costituenti le murature e delle murature stesse in funzione della percentuale di foratura dei blocchi, parametro che riconduce indicativamente alle prestazioni. Nella stessa tabella si includono anche muri di tamponamento o di separazione interna di edifici con struttura intelaiata portante (in calcestruzzo armato oppure in acciaio). Le considerazioni da fare osservando i tre schemi fondamentali appena rappresentati e riferendosi alla Tabella 1 sono principalmente le seguenti:

**Tabella 1. Richieste di prestazioni e caratteristiche dei materiali costituenti la muratura**

| Richieste di prestazione<br>Caratteristiche                    | Resistenza a compressione verticale | Resistenza a taglio  | Resistenza termica   | Permeabilità al vapore | Attenuazione acustica aerea | Massa volumica       | Zona sismica    |
|--|-------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------|
| Muri interni sollecitati prevalentemente da azioni verticali   | A<br>S-D<br>45-50-55                | B<br>S-D<br>45-50-55 | A<br>S-D<br>45-50-55 | A<br>S-D<br>45-50-55   | M<br>S-D<br>45-50-55        | M<br>S-D<br>45-50-55 | =<br>S(D)<br>45 |
| Muri esterni sollecitati prevalentemente da azioni verticali   | A<br>S<br>45-50-55                  | B<br>S<br>45-50-55   | B-O<br>S<br>45-50-55 | B<br>S<br>45-50-55     | M<br>S<br>45-50-55          | M<br>S<br>45-50-55   | =<br>S<br>45    |
| Muri interni sollecitati prevalentemente da azioni orizzontali | M<br>M-D<br>45-50-55                | A<br>M-D<br>45-50-55 | A<br>M-D<br>45-50-55 | A<br>M-D<br>45-50-55   | M<br>M-D<br>45-50-55        | M<br>M-D<br>45-50-55 | =<br>S(D)<br>45 |
| Muri esterni sollecitati prevalentemente da azioni orizzontali | M<br>S<br>45-50-55                  | A<br>S<br>45-50-55   | B-O<br>S<br>45-50-55 | B<br>S<br>45-50-55     | M<br>S<br>45-50-55          | B<br>S<br>50-55      | =<br>S<br>45    |
| Muri di tamponamento   | B<br>S-D<br>50-55                   | B<br>S-D<br>50-55    | A<br>S-D<br>50-55    | A<br>S-D<br>50-55      | M<br>S-D<br>50-55           | B<br>S-D<br>50-55    |                 |
| Muri di separazione fra alloggi (o con funzione equiparabile)  | B<br>S-D<br>55-60                   | B<br>S-D<br>55-60    | B<br>S-D<br>55-60    | B<br>S-D<br>55-60      | M-A<br>S-D<br>55-60         | B<br>S-D<br>55-60    |                 |
| Muri di suddivisione interna                                   | B<br>S<br>55-60                     | B-O<br>S<br>55-60    | O<br>S<br>55-60      | B<br>S<br>55-60        | M-B<br>S<br>55-60           | B<br>S<br>55         |                 |

a) le murature portanti esterne devono assolvere anche compiti di isolamento termico e di isolamento acustico (vedere a questo



proposito le recenti normative Legge 9 gennaio 1991 n° 10 "Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale..." e Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 1 marzo 1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno");

b) le murature portanti interne non hanno generalmente richiesta di prestazioni riguardanti l'isolamento termico;

c) nello schema a muri portanti longitudinali e in quello a muri portanti trasversali si distinguono nettamente i muri come in a) e in b), perciò è proponibile che muri, con funzioni di diversa specificazione, siano realizzati con materiali o con soluzioni tecnologiche appropriate. Per esempio i muri portanti esterni possono essere risolti, ove possibile, con blocchi anche isolanti (o con soluzioni murarie opportunamente isolanti), mentre per i muri portanti interni potranno essere privilegiati l'alta resistenza meccanica, l'isolamento acustico e il contenimento delle dimensioni di ingombro, trascurando le prestazioni termiche;

d) quando siano nettamente distinguibili muri con funzione di tamponamento - perché non impegnati da azioni verticali e/o orizzontali - questi saranno eseguiti con materiali e soluzioni murarie non finalizzati a dare elevate prestazioni meccaniche;

e) lo schema scatolare, invece, permette molto raramente di usare materiali e soluzioni differenziati a seconda dell'"ubicazione" dei muri perché è richiesta loro una maggiore uniformità e continuità d'ordine meccanico; la soluzione più semplice potrà essere quella di integrare, quando necessario, le prestazioni dei muri esterni con una seconda parete o con un isolamento "a cappotto" per conferire adeguate caratteristiche di isolamento termico.

*Fig.2 – Edificio in muratura. Schema strutturale a muri portanti trasversali (setti portanti).*

*1.muro trasversale interno sollecitato prevalentemente da azioni orizzontali;*

*2.muro trasversale esterno sollecitato prevalentemente da azioni verticali;*

*3.muro esterno di chiusura sollecitato prevalentemente da azioni orizzontali;*

*Fig.3 – Edificio in muratura. Schema strutturale con muri a cellula (schema scatolare).*

**Muri interni**

*A seconda delle condizioni di progetto sono sollecitati prevalentemente:*

*1. da azioni verticali o orizzontali;*

*2.da azioni orizzontali o verticali generalmente in alternativa fra loro.*

**Muri esterni**

*Analogamente sono sollecitati in prevalenza:*

*3. da azioni verticali o orizzontali;*

*4.da azioni orizzontali o verticali generalmente in alternativa fra loro.*

**Solai**

*Il verso di orditura è generalmente alternato nelle due direzioni.*

## Gli elementi in laterizio e i tipi di muratura

Gli elementi in laterizio per murature portanti sono puntualmente definiti all'interno dei diversi documenti elaborati dal Ministero dei Lavori Pubblici e dall' Uni.

Il materiale può così entrare nelle voci di capitolato con precise descrizioni geometriche e prestazionali, a tutto vantaggio della snellezza operativa e della validità di qualificazione, o essere facilmente inserito in schede tecniche descrittive, nelle quali siano riportate le prestazioni caratteristiche richieste ai materiali e all'edificio. Il Consorzio Alveolater<sup>o</sup> descrive gli elementi costruttivi secondo indicazioni espresse in modo unificato, consentendo all'utente una scelta più rapida e ponderata (vedi Tabella II).

**Tabella II. Indicazioni unificate per l'individuazione delle caratteristiche degli elementi**

|  |   |                    |
|--|---|--------------------|
| Foratura   |   | %                  |
| Classificazione dei blocchi secondo norme UNI 8942/1   |   |                    |
| Resistenza meccanica del blocco (resistenza caratteristica secondo il D.M. 20 Novembre 1987)     | Resistenza a compressione nella direzione dei carichi verticali ( $f_{bk}$ )  | kg/cm <sup>2</sup> |
|  | Resistenza a compressione nella direzione ortogonale a quella dei carichi verticali e nel piano della muratura ( $f_{bk}$ ) | kg/cm <sup>2</sup> |
|  | Coefficiente di variazione $\delta$   |                    |
| Resistenza meccanica della muratura (resistenza caratteristica secondo il D.M. 20 Novembre 1987) | Resistenza caratteristica ( $f_k$ )   | kg/cm <sup>2</sup> |
|  | Resistenza caratteristica a taglio ( $f_{vko}$ )  | kg/cm <sup>2</sup> |
| Trasmittanza   | Muratura spessore cm 30   | W/m <sup>2</sup> K |
| Conducibilità termica equivalente ( $\lambda_e$ )  |   | W/mK               |
| Massa volumica apparente dei blocchi   |   | kg/m <sup>3</sup>  |
| Potere fonoisolante della muratura   | Indice di valutazione a 500 Hz (muratura cm 30)   | dB                 |

### Elementi Resistenti Ordinari

Sono i mattoni o i blocchi di laterizio (sigla M o B secondo le norme Uni 8942/86) utilizzabili per murature strutturali. La percentuale di foratura può essere inferiore o uguale al 15% (sigla P) o compresa fra il 15% e il 45% ( $15\% < 100F/A \leq 45\%$ , sigla S A) oppure compresa fra il 45% e il 55% ( $45\% < 100F/A \leq 55\%$ , sigla S B); possono avere la foratura ortogonale al piano orizzontale di posa (sigla 11) o avere la foratura parallela al piano orizzontale di posa (sigla 00); oltre che in laterizio normale (sigla 21) possono ovviamente essere costituiti con massa alveolata (sigla 31).

Un blocco semipieno alveolato, con posa in opera a fori verticali e percentuale di foratura pari al 50% avrà classificazione BSB 11 31 (**B**locco **S**emipieno di tipo **B**; 11 = fori verticali; 31 = alleggerito in pasta).

Le apparecchiature murarie ottenibili con elementi in laterizio sono sostanzialmente riconducibili a quattro schemi:

- monostrato
- composta
- a doppia parete con intercapedine verso l'esterno della parete principale
- a doppia parete con intercapedine verso l'interno della parete principale.

Nella muratura monostrato lo spessore della parete (senza intonaco) è dato dalla dimensione dell'elemento di formato base; nel caso di materiali alveolati si possono reperire blocchi per la realizzazione di muri di spessore crescente fino a circa 50 cm.

Nella muratura composta, detta anche a più teste, lo spessore della parete è di due volte, tre volte o più lo spessore di un elemento.

Nella muratura con intercapedine verso l'esterno della parete principale (detta anche muratura a doppia parete o muratura doppia con intercapedine verso l'esterno), la muratura presenta due pareti di cui quella interna, di maggiore spessore, ha prevalenti funzioni statiche e termiche; quella esterna ha prevalenti funzioni di riparo dagli agenti esterni; gli elementi della parete esterna possono essere a faccia vista.

Nella muratura con intercapedine verso l'interno della parete principale, l'apparecchiatura presenta la parete principale di maggiore spessore e con prevalenti funzioni statiche all'esterno; la parete all'interno svolge generalmente prevalenti funzioni di protezione termica e di finitura.

Le considerazioni emergenti riguardo agli schemi elencati sono le seguenti:

### **murature a parete semplice (monostrato e composta)**

- sono di rapida esecuzione;
- non richiedono l'utilizzo (e conseguentemente il rifornimento) di più tipi di materiale;
- hanno un comportamento termico e igrometrico molto uniforme attraverso il loro spessore;
- le pareti monostrato possono essere realizzate nello spessore al rustico da 12 fino a 50 cm ed oltre;

### **murature a doppia parete**

- si ha a disposizione una flessibilità delle prestazioni in modo pressoché continuo sia variando, in sede di calcolo statica, termica, igrometrica, acustica, gli spessori e le caratteristiche dei

materiali di ognuna delle due pareti e dell'intercapedine; sia variando gli spessori e le caratteristiche degli isolanti da inserire a spessore totale o parziale di intercapedine; sia infine variando le caratteristiche fisiche e geometriche dei diversi materiali ai fini acustici;

- gli spessori realizzabili hanno una dimensione massima a piacere.

Si può affermare, in termini generali, che le murature a parete semplice ed in particolare quelle monostrato sono particolarmente adatte in situazioni "normali", quindi in un gran numero di casi, e, per il fatto di essere semplici per concezione e per realizzazione, sono economiche e hanno un funzionamento molto affidabile. Le murature a doppia parete presentano maggiore complessità morfologica; sono pertanto più adatte a essere calibrate per meglio rispondere a situazioni "specifiche", cosa che provoca però maggiori costi e maggiore complessità esecutiva.

## Le malte

Il Decreto 20 novembre 1987 introduce per la prima volta la classificazione delle malte in base alla loro composizione e le qualifica, implicitamente, anche in base alla resistenza quando tratta le malte di composizione diversa da quella indicata in tabella III. Si può quindi assumere questa doppia correlazione:

**Tabella III. Classificazione delle malte in base alla composizione, qualifica e resistenza a compressione.**

| Classe | Tipo di malta                     | Classe | Resistenza media a compr.          |
|--------|-----------------------------------|--------|------------------------------------|
| M4     | idraulica pozzolanica<br>bastarda | M4     | > 2.5 MPa<br>25 kg/cm <sup>2</sup> |
| M3     | Bastarda                          | M3     | > 5 MPa<br>50 kg/cm <sup>2</sup>   |
| M2     | Cementizia                        | M2     | > 8 MPa<br>80 kg/cm <sup>2</sup>   |
| M1     | cementizia                        | M2     | >12 MPa<br>120 kg/cm <sup>2</sup>  |

Il legislatore ha quindi ritenuto che una malta bastarda dia, con la composizione indicata, almeno 50 kg/cm<sup>2</sup>. Questa indicazione è opinabile e pertanto è certamente meglio assumere come vincolante la seconda delle due correlazioni.

La resistenza delle malte (resistenza media), associata alla resistenza dei blocchi (resistenza caratteristica), fornisce, secondo le tabelle A e B del Decreto, la resistenza del muro a compressione e a taglio in assenza di carichi verticali.

Va tuttavia precisato che i punti 2.3.1. e 3.3.1. sanciscono che "La resistenza caratteristica a compressione della muratura si determina per via sperimentale secondo quanto indicato nell'allegato 2..." e pertanto la determinazione tramite tabelle va intesa come una agevolazione che il normatore ha dato agli elementi artificiali a bassa percentuale di foratura (F/A  $\frac{3}{4}$  45% ossia pieni e semipieni).

E bene anche notare che la Tabella A del Decreto Ministeriale 20 novembre 1987 "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento" ha valore esclusivamente per blocchi artificiali pieni e semipieni posti in opera con giunti di malta continui verticali e orizzontali, così come è specificato e ribadito nella Circolare illustrativa n. 30787 del 4 Gennaio 1989.

La muratura infatti, intesa nel senso tradizionale del termine, prevede giunti continui verticali e orizzontali.



## Il funzionamento delle murature

Un progettista, un preventivista, un esecutore devono avere la possibilità di fare una selezione fra i vari prodotti disponibili sul mercato, prima di decidere quale materiale scegliere.

La selezione è in genere basata su una fase conoscitiva delle caratteristiche dei materiali e sul confronto delle caratteristiche note dei materiali stessi (o delle varie soluzioni prestazionali con essi ottenibili) con le esigenze della costruzione.

A muri identici per posizione in un edificio ideale possono infatti, nei casi reali, essere richieste prestazioni meccaniche differenti per il variare dei carichi agenti (per esempio solai in cemento armato piuttosto che con strutture leggere), prestazioni termiche differenti per ubicazioni in zone climatiche diverse e così via per altri tipi di prestazione.

E evidente che la soluzione tecnica reale sarà data dall'impiego dei materiali più adatti e dalla conformazione muraria più efficace e opportuna.

In genere si tende a identificare il funzionamento, esprimendo una parte per il tutto, dicendo che vi è priorità statica, oppure priorità termica e igrometrica, o ancora priorità acustica.

E secondo questa semplice suddivisione che si forniscono di seguito alcune informazioni e le descrizioni principali delle possibili soluzioni.

### **Murature con priorità statica**

Possono distinguersi due situazioni: quella in cui la priorità statica è "marcata" e quella in cui è presente in un insieme di prestazioni.

Nella prima, si tratta di muri portanti interni per i quali generalmente ci sono poche o trascurabili richieste di isolamento termico o di isolamento acustico.

Nella seconda, si tratta di muri portanti perimetrali per i quali vi sono richieste non trascurabili di isolamento termico e acustico.

Nei muri con priorità statica marcata si utilizzeranno tendenzialmente mattoni o blocchi con percentuale di foratura fra le più basse (non oltre il 45 - 50%); è ovvio che se le sollecitazioni, di compressione o di taglio, saranno contenute, si potranno utilizzare anche materiali con maggiori percentuali di foratura o soluzioni murarie con resistenze meccaniche caratteristiche di modesta entità.

Nei muri in cui l'aspetto statico rientra in un insieme complesso di prestazioni, la scelta è meno immediata in quanto gli spessori dei muri non dipendono esclusivamente dai carichi agenti; le soluzioni murarie sono quindi più articolate e le cure esecutive

sono più dipendenti dal complesso di funzioni da svolgere e di prescrizioni da rispettare.

Anche per i muri sollecitati prevalentemente da azioni orizzontali i discorsi sono analoghi a quelli per i muri appena considerati, ma in più è necessaria una buona (o semplicemente idonea) resistenza a taglio; cosa che, per scendere nello specifico dei laterizi, significa richiedere, oltre ad una efficace resistenza alle azioni verticali, anche una adeguata resistenza alle azioni parallele al piano di giacitura.

Il progettista, a tale proposito, potrà rivolgersi al produttore o effettuare delle prove autonomamente per conoscere le caratteristiche di resistenza da introdurre nei propri dimensionamenti. Va comunque segnalato che il già richiamato Decreto Ministeriale del 20 novembre 1987 prescrive la determinazione della resistenza alle azioni orizzontali degli elementi da muro, come valore caratteristico, su almeno sei blocchi nel caso di materiale pieno o semipieno, e su sei muretti nel caso di blocchi forati; mentre il Decreto Ministeriale del 16 gennaio 1996 fissa in  $50 \text{ kg/cm}^2$  la resistenza caratteristica minima ai carichi verticali che i blocchi artificiali semipieni devono avere per essere utilizzati in zona sismica (e a  $15 \text{ kg/cm}^2$  in direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano della muratura).

Poiché la resistenza meccanica non va sprecata, il progettista deve, compatibilmente con gli altri parametri (termici, acustici; quelli d'ordine ergotecnico, economico, distributivo, ecc.), scegliere il materiale correttamente sufficiente per rispondere agli impegni statici.

Naturalmente elementi in laterizio, malte da giunto e malte da intonaco devono essere fra loro armonizzati; in particolare sono da evitare:

- malte da giunto con resistenze a compressione e a trazione sensibilmente elevate (provocherebbero concentrazioni di tensioni capaci anche di lesionare gli elementi in laterizio);
- malte da intonaco con ritiri e resistenze a trazione elevati (possono addirittura provocare rotture nel laterizio o più frequentemente cavillature dell'intonaco);
- malte scarsamente deformabili (non consentirebbero gli assestamenti degli elementi).

In particolare, nel caso di muri convergenti in un nodo, disomogenei fra loro, sono da evitare resistenze diverse, dei blocchi o delle malte, che potrebbero provocare il cedimento delle parti più deboli.

## Cenni di calcolo strutturale

Le norme che regolano le costruzioni in muratura portante sono:

- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974
- Decreto Ministeriale 20 novembre 1987 (Costruzioni in zona normale)
- Decreto Ministeriale 2 luglio 1981 "Norme per le riparazioni e il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia"
- Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996 (Costruzioni in zona sismica)

I decreti del 1987 e 1996 sono l'emanazione delle norme tecniche previste dalla legge 64.

Vanno ricordate anche la Circolare illustrativa 30787 del 1989 emanata a commento del Decreto Ministeriale 20 novembre 1987 e l'analoga Circolare n° 156 AA/GG/STC del 4 luglio 1997, illustrativa del Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996.

Si può quindi affermare che dopo un lungo periodo di assenza di norme (in precedenza l'unico riferimento era il Regio decreto del 1939) si è avuta una notevole produzione normativa

Ai nostri fini è sufficiente sapere che il Decreto Ministeriale 20/11/1987 prevede un calcolo basato sullo schema dell'articolazione, ipotizzando cioè che i nodi della struttura siano fissi e non consentano la trasmissione di azioni di tipo flettente e quindi si comportino come cerniere.

I singoli pannelli (o maschi) murari si comportano come pilastri incernierati alle estremità e soggetti ad un carico eccentrico (eccentricità dovuta sia ad esempio all'appoggio dei solai, sia a problemi esecutivi).

La norma comunque consente l'impiego anche di schemi statici diversi, "purché si tenga adeguatamente conto delle caratteristiche tecniche strutturali del nodo muro-solaio e della parzializzazione delle sezioni".

Ma la norma prevede anche un **dimensionamento semplificato**, che consente di evitare il calcolo quando il fabbricato presenta caratteristiche consolidate dalla pratica costruttiva, ed esattamente quando:

- l'edificio non abbia più di tre piani in muratura entro e fuori terra (due piani fuori terra più un piano interrato se di sola muratura; tre piani fuori terra nel caso di fondazioni in calcestruzzo)
- il rettangolo che circoscrive l'edificio presenti un rapporto fra lato minore e lato maggiore non superiore a 1/3;
- le murature abbiano snellezza minore o al massimo uguale a 12;
- l'area della sezione della muratura sia pari o superiore al 4% dell'area totale in pianta dell'edificio (in entrambe le direzioni principali, considerando i soli muri di lunghezza superiore a 50

cm ed escludendo dal computo dell'area le parti in aggetto, quali balconi e scale);

- la tensione media alla base del piano più basso non superi la tensione ammissibile

$$s = N/(0,65 A) \leq s_m$$

dove N = peso totale dell'edificio (alla base del piano più basso)

A = area totale dei muri portanti (allo stesso piano)

$s_m$  = tensione ammissibile nella muratura (definita nella tabella

A e al punto 2.4.1. della norma)

- si impieghino elementi artificiali pieni o semipieni

$$(F/A \leq 45\%)$$

La grande rilevanza del Decreto Ministeriale 16/01/96 consiste invece nel fatto di consentire il calcolo delle costruzioni in laterizio in zone classificate sismiche.

Secondo la classificazione del 1986, 2957 comuni sul totale di 8083 sono classificati sismici, di cui 369 in zona di sismicità S=12, 2490 in S=9, 99 in S=6.

Complessivamente le aree interessate sono di 14450 Km<sup>2</sup> in zona S=12, 118421 Km<sup>2</sup> in S=9, 3421 Km<sup>2</sup> in S=6.

Il 45% del territorio Italiano è pertanto classificato sismico; tale classificazione interessa il 40% della popolazione italiana.

### **Le caratteristiche dei blocchi per le costruzioni in laterizio in zona sismica**

Il richiamo al punto 1.2.2. del Decreto Ministeriale 20 novembre 1987 stabilisce che gli elementi resistenti devono essere elementi resistenti artificiali, in laterizio normale o alleggerito e in calcestruzzo normale o alleggerito.

Le Regole Generali (punto C.5.1., comma a) stabiliscono l'impiego di elementi pieni o semipieni (max F/A=45%).

La resistenza caratteristica richiesta è molto bassa (70 kg/cm<sup>2</sup> per i pieni e 50 kg/cm<sup>2</sup> per i semipieni).

Inoltre sono richiesti 15 kg/cm<sup>2</sup> per i semipieni nel piano della muratura, in direzione ortogonale ai carichi verticali.

Lo spessore delle pareti esterne dei blocchi in laterizio è fissato in 10 mm (anziché 12 come previsto dal decreto precedente) con setti interni di 8 mm.

### **Altezze realizzabili con le costruzioni in laterizio in zona sismica**

La tabella 1 del decreto vigente prevede le seguenti altezze:

|                    | S=6 | S=9 | S=12 |
|--------------------|-----|-----|------|
| Muratura ordinaria | 16  | 11  | 7,5  |
| Pannelli portanti  | 32  | 25  | 16   |
| Muratura armata    | 25  | 19  | 13   |

## **Metodi di calcolo**

Il decreto sismico prevede due metodi di calcolo:

- dimensionamento semplificato
- analisi statica come struttura intelaiata

Il dimensionamento semplificato si potrà applicare rispettando alcune prescrizioni evidenziate per la muratura ordinaria. Sono naturalmente previste alcune agevolazioni sulle percentuali di muratura e sul coefficiente riduttivo dell'area di piano, mentre il calcolo a struttura intelaiata va fatto in tutti gli altri casi.

## **Spessori di muro**

Lo spessore minimo ammesso è il maggiore fra:

- $1/12$  dell'altezza fra due diaframmi orizzontali (altezza fra l'interasse dei solai-  $1/14$  per la muratura ramata)
- cm 24

Il calcolo statico (ma anche quello termico!) può naturalmente richiedere spessori maggiori.

## La muratura armata nella normativa italiana

La normativa italiana parla per la prima volta di muratura armata nel Decreto Ministeriale 19/06/84 "Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche"; muratura armata intesa comunque come "sistema costruttivo a pannelli portanti prefabbricati o costruiti in opera".

Il Decreto Ministeriale 24 gennaio 1986 ripropose esattamente lo stesso orientamento.

Questo fatto comportava la necessità di ottenere l'omologazione da parte della Presidenza del Consiglio superiore dei lavori pubblici, da rinnovare ogni tre anni.

L'omologazione inoltre, attraverso il certificato di idoneità tecnica, limitava ovviamente l'uso del sistema ai soli titolari del sistema stesso e all'impiego di materiali rispondenti alle prescrizioni del certificato, prodotti e marchiati dai titolari del sistema.

I vantaggi della muratura armata a sistema, prefabbricata o in opera, si riassumevano in:

- spessore di muro costante e determinato dal calcolo, senza quindi incremento di spessore in funzione del numero di piani previsto dal D.M. 24/1/86 per la muratura ordinaria;
- altezza massima predeterminata (ad esempio 4 piani);
- nessuna limitazione nell'interasse tra i muri portanti;
- nessuna limitazione alle aperture e ai muri compresi fra le aperture.

Il decreto 16 gennaio 1996 ha introdotto una rilevante novità: la muratura armata come tipo di struttura, impiegabile senza il vincolo dell'omologazione.

Il decreto infatti, al punto C.2., prevede strutture in:

- Legname
- Muratura ordinaria
- Muratura armata
- Pannelli portanti (e quindi anche muratura armata a sistema)
- Intelaiatura.

### **Definizione di muratura armata**

La definizione di muratura armata, ricavata da alcuni passi del punto C.5.3.1. della bozza del decreto, è:

"Per muratura armata si intende una muratura costituita da elementi resistenti semipieni aventi le caratteristiche di cui al punto 1.2.2. del Decreto Ministeriale 20 novembre 1987, e collegati esclusivamente mediante malta di classe M2, M1, con

armature metalliche verticali e orizzontali che le conferiscono continuità e resistenza a trazione"

#### **Armatura - punto C.5.3.4.**

L'armatura verticale ( $4 \text{ cm}^2$ ) va posta all'estremità del pannello murario e comunque a interasse non superiore a m 5,0.

L'armatura orizzontale, per interpiani minori di m 4,0, coincide con l'armatura dei cordoli di solaio ( $8 \text{ cm}^2$ , diametro min. 16 mm, staffe diametro 6 mm/25"). Per interpiani superiori va aggiunta armatura orizzontale localizzata ( $4 \text{ cm}^2$ ).

L'armatura orizzontale va integrata con ferri di diametro 5 mm ogni 60 cm.

Al punto C.5.3.3.4. sono indicate le prescrizioni sulle armature diffuse richieste per i fabbricati con coefficiente di importanza  $I > 1$ .

Il decreto stabilisce che la muratura armata può sopportare **tensioni doppie** rispetto a quelle ammissibili nella muratura ordinaria.

## Le problematiche termiche e igrometriche

Le norme di legge e i decreti ad esse relativi non esauriscono le attenzioni che un progettista deve correttamente avere per ottenere una valida protezione termica e igrometrica in un edificio.

Può essere utile pertanto svolgere alcune considerazioni e dare indicazioni, seppure di larga massima, per il miglioramento della qualità ambientale, ovvero del benessere termo-igrometrico degli utenti.

I punti su cui intervenire sono del resto relativamente pochi. Il primo riguarda la temperatura interna di una parete di separazione con l'esterno.

Opinione generale è che la temperatura della superficie interna non debba essere superiore o inferiore di 2-3 gradi centigradi rispetto a quella dell'aria dell'ambiente. Diversamente si avrebbe una sgradevole percezione di irraggiamento, caldo nel primo caso o freddo nel secondo.

Il secondo punto concerne la formazione di condensa sulla superficie interna della parete esterna. La presenza di condensa infatti provoca formazioni di muffe, depositi di polvere per elettroforesi, danneggiamenti dei materiali per umidità.

Un terzo punto riguarda la formazione di condensa all'interno degli strati murari che naturalmente deve essere evitata perché degrada la qualità di isolamento degli strati interessati, particolarmente se si tratta di isolanti puri.

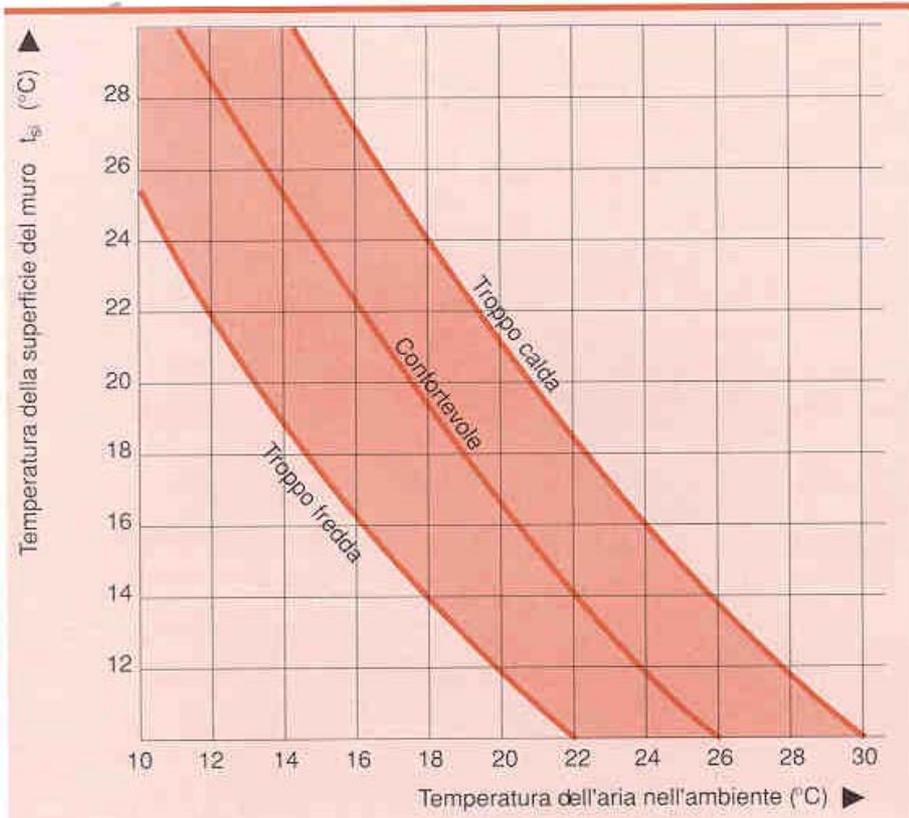
Quest'ultimo fenomeno, oltretutto, non è stabilizzabile una volta innescato, perché al diminuire della resistenza termica si avranno condizioni sempre più favorevoli alla formazione di condensa. La condensa riguarderà spessori di muro e pesi d'acqua depositati sempre maggiori, accrescendo così il degrado dell'isolamento. Può accadere che le quantità di acqua depositate siano tanto elevate che neppure lunghi periodi di temperature favorevoli ne consentano lo smaltimento totale.

Per avere un dato di riferimento, il quantitativo massimo ammissibile di condensa, prodotto nei 90 giorni invernali (2160 ore) che si presume possa essere smaltito nei 60 giorni di periodo estivo (1440 ore), è di 200 g/m<sup>2</sup>.

### **Le temperature ottimali delle superfici delle pareti verso l'ambiente interno**

Il campo di benessere, per le persone all'interno di un ambiente (benessere dato anche dalle temperature delle superfici interne delle pareti), è stato abbastanza chiaramente stabilito da numerose ricerche. Per esigenze fisiologiche, le temperature delle superfici

interne delle pareti che delimitano uno spazio abitato devono essere in funzione della temperatura dell'aria ambiente e risultare comprese entro i limiti della fascia tratteggiata nella figura 4. In fase di progetto sarà pertanto necessario definire una "frontiera esterna" dotata di opportuna trasmittanza, capace cioè di garantire il minimo scarto di temperatura tra l'aria dell'ambiente e la temperatura della superficie interna della frontiera che si intende realizzare (come detto in precedenza, al massimo 2-3 °C). Nella figura 5 è riportato un esempio pratico.



*Fig.4 – Rapporto ottimale fra la temperatura superficiale delle pareti e dell'aria nell'ambiente.*

In ascissa sono indicati gli scarti fra le temperature dell'aria ambiente e della superficie interna della parete, in ordinata le trasmittanze massime ammissibili per le pareti da dimensionare; le rette inclinate rappresentano le differenze di temperatura tra aria ambiente e aria esterna.

Nel caso si voglia imporre uno scarto di 2 gradi tra aria interna e superficie interna della parete, con una differenza di 20 °C tra l'aria dell'ambiente interno e quella esterna, si opera nel seguente modo: si parte dall'ascissa 2 °C con una retta verticale; si raggiunge l'inclinata  $t = 20$  °C; si prosegue in orizzontale fino a raggiungere la retta delle ordinate e si legge il valore all'intersezione, che nel caso in esame è di 0,81 W/m<sup>2</sup>K (0,7 Kcal/h m<sup>2</sup> °C).

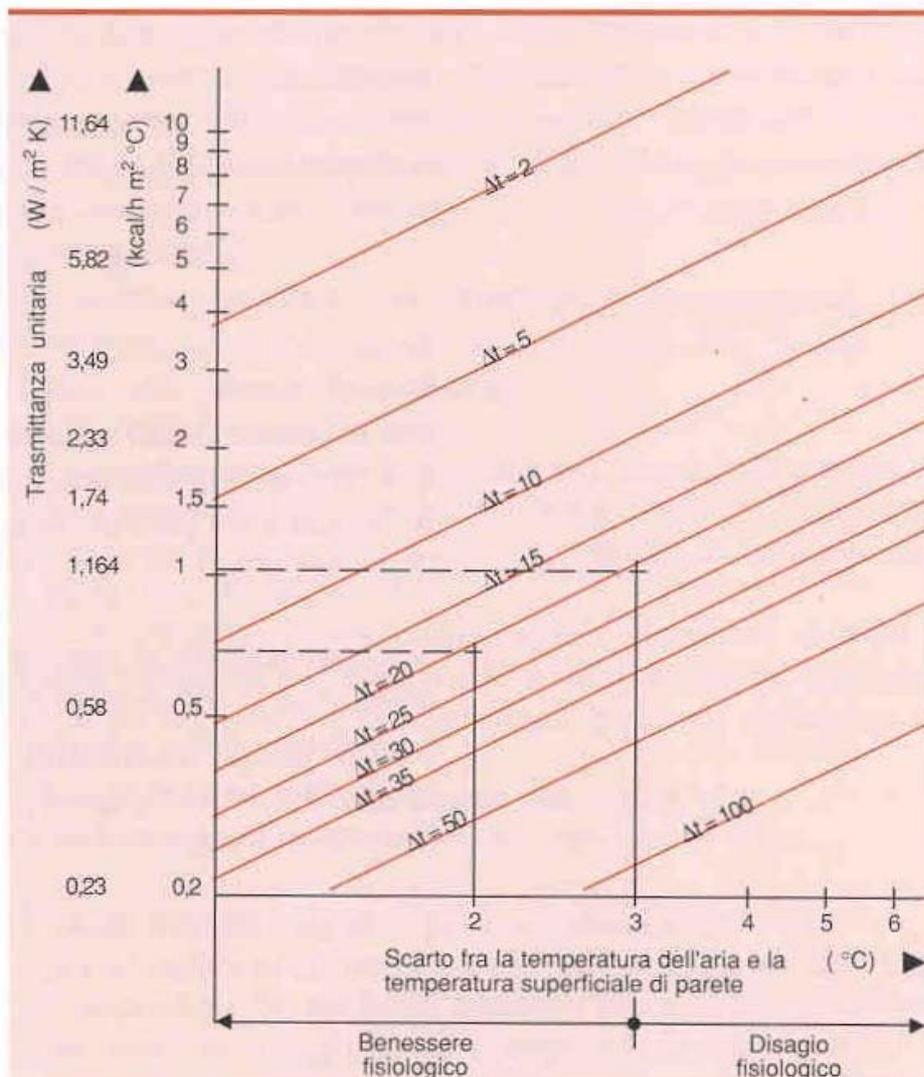
### **Note pratiche e dettagli esecutivi per realizzare murature con buone prestazioni termoigrometriche**

E indispensabile una premessa cautelativa: quando, con una soluzione costruttiva, si dà una risposta finalizzata ad una

richiesta specifica, non necessariamente è assicurata la corretta rispondenza anche ad altri requisiti.

Poiché in genere una muratura non deve rispondere solamente ad una richiesta specifica di prestazione (per esempio avere un buon comportamento termoigrometrico), la soluzione progettuale sarà ben risolta se concepita come ottimizzazione della serie di prestazioni che essa è chiamata a fornire.

**Fig.5 – Individuazione per via grafica delle condizioni di benessere fisiologico.**



Allo scopo di limitare il campo di analisi, di seguito si farà riferimento esclusivamente alle esigenze di ordine termoigrometrico.

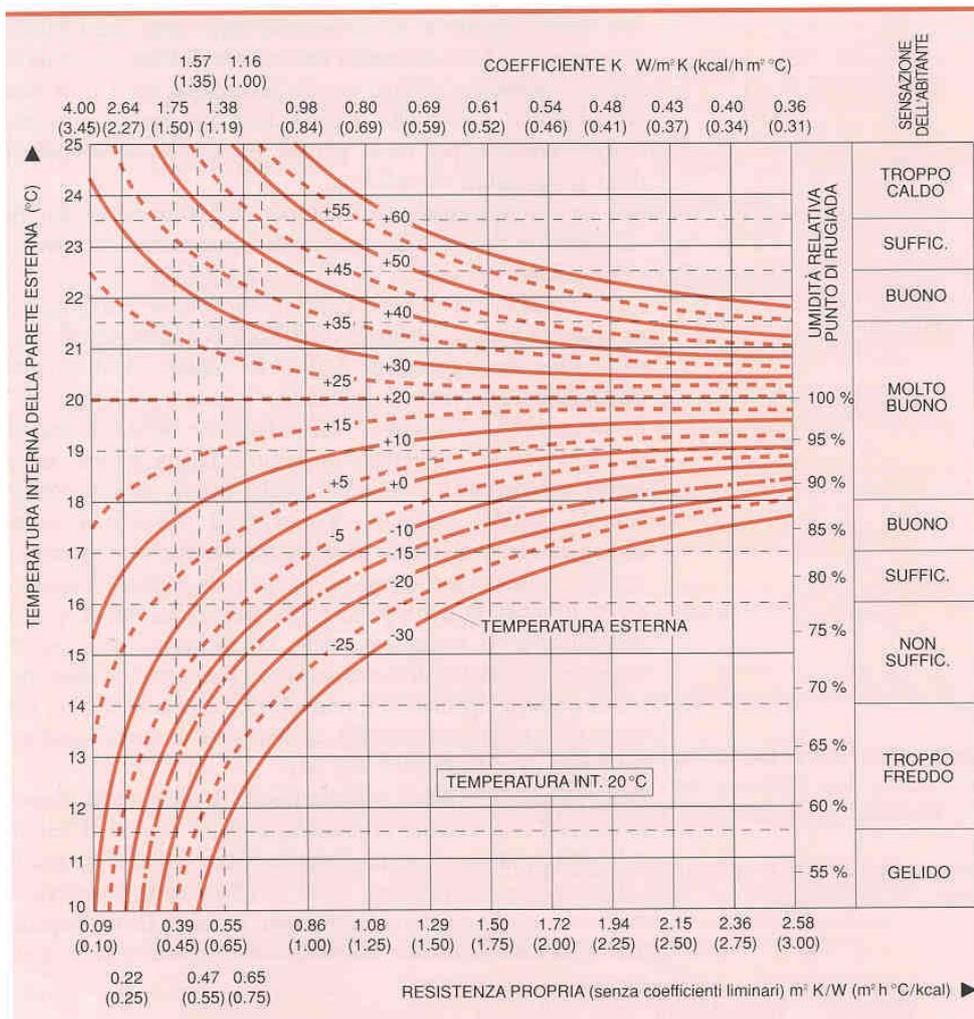
In tale specifico ambito, la sequenza di richieste da "soddisfare" da parte del progettista è in linea di massima la seguente:

- valori di trasmittanza termica che contengano i disperdimenti entro i limiti richiesti dalle leggi vigenti;
- esigenza fisiologica che la temperatura della superficie interna del muro sia non inferiore e non superiore di circa  $3 °C$  a quella ambiente;
- assenza di condensazione sulla superficie interna del muro nei locali -quali cucine, bagni o altro- in cui si producono per alcune ore al giorno elevate quantità di vapore;

- necessità di evitare che si formi condensa di vapore nel muro nei periodi stagionali con basse temperature e/o elevate umidità relative;
- controllo che l'eventuale formazione di acqua di condensazione non vada a degradare le prestazioni di strati isolanti, provochi danneggiamenti in materiali gelivi, posti a temperatura inferiore a 0 °C ovvero costituisca veicolo di trasporto di sali antiestetici e/o dannosi.

Il rischio di formazione di condensa deve essere valutato (ed evitato) in sede di progetto. Possono esserci comunque situazioni transitorie piuttosto brevi (aumento provvisorio dell'umidità relativa dell'aria ambiente: cucina, bagno, lavanderia, ecc.) e zone molto ristrette nelle quali, proprio per queste situazioni transitorie e quindi per scostamento delle condizioni termoigrometriche da quelle di progetto, si possono verificare casi di condensazione spesso localizzati in corrispondenza dei ponti termici.

Il nomogramma di figura 6 dà, in funzione della temperatura dell'aria esterna, la temperatura sulla faccia interna della parete esterna, nota la resistenza della parete; la temperatura dell'aria interna è costante e pari a 20 °C; con lo stesso nomogramma si può controllare se si ha condensazione o meno.



**Fig.6 – Normogramma trasmittanza-temperatura. Nota la resistenza termica della parete, il normogramma consente di individuare la temperatura sulla faccia interna della parete esterna.**

## La capacità termica

La capacità termica delle parti edilizie e dell'intero edificio è una caratteristica fisica che influisce sulla stabilizzazione delle temperature degli ambienti.

Molto brevemente: tanto più la capacità termica è elevata, tanto meno cambiano le temperature dell'ambiente interno al variare delle temperature esterne e delle variazioni di funzionamento degli impianti e delle attività all'interno.

Nella penisola italiana, dove prevalentemente il clima è caratterizzato da variazioni giornaliere e stagionali di temperatura notevoli, esiste la necessità che la capacità termica abbia buoni valori per garantire ambienti di corretta abitabilità, ma anche per proteggere dagli effetti dell'irraggiamento solare estivo e per aiutare nei climi soleggiati invernali.

La capacità termica di una parete viene calcolata con la formula seguente:

$$C_p = s \beta c \text{ (kJ/m}^2 \text{ K)}$$

dove  $s$  = spessore della parete

$\beta$  = peso specifico della parete

$c$  = calore specifico del materiale costituente.

Per pareti in materiale alveolato si hanno orientativamente i valori riportati in tabella IV.

**Tabella IV. Capacità termica delle pareti in laterizi alveolati.**

| Peso specifico<br>kg/m <sup>3</sup> | Spessore della parete (cm) |     |     |     |
|-------------------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|
|                                     | 12                         | 25  | 30  | 40  |
| 600                                 | 72                         | 150 | 180 | 240 |
| 650                                 | 78                         | 162 | 195 | 260 |
| 700                                 | 84                         | 175 | 210 | 280 |
| 800                                 | 96                         | 200 | 240 | 320 |

Il comportamento termico in regime variabile presenta maggiore complessità di analisi.

La parete esterna è infatti sottoposta ad una temperatura variabile, generalmente assimilabile ad un' onda sinusoidale, mentre l'ambiente abitato deve mantenere una temperatura costante, ovvero anch'essa variabile ma ovviamente modificata e sfasata rispetto a quella esterna. La parete deve avere quindi il compito fondamentale di sfasare e attenuare l'onda termica che la colpisce. In condizioni ottimali, la parete dovrebbe accumulare calore nelle ore più calde del giorno e cederle all'ambiente abitato nelle ore più fredde.

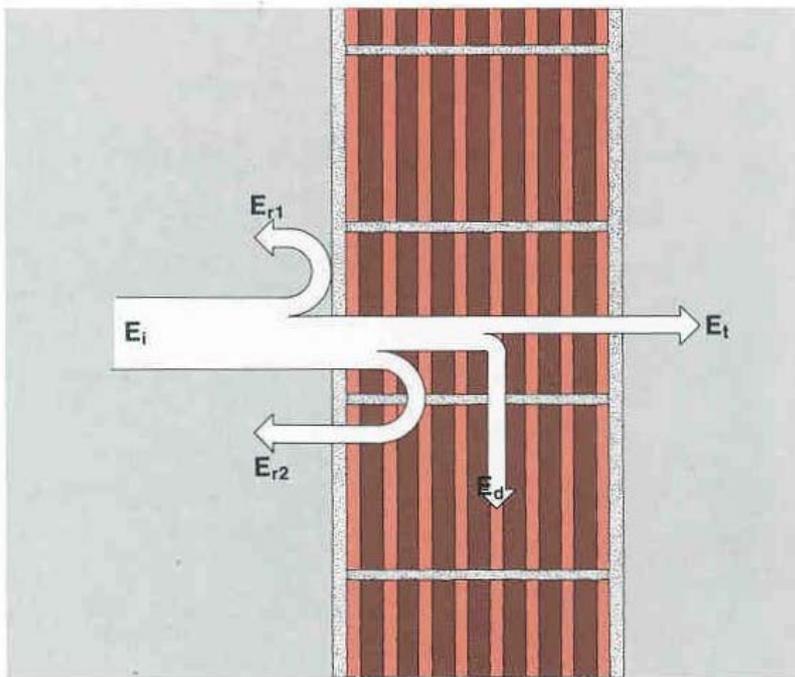
L'influenza combinata della resistenza termica e della capacità termica determina il grado di "controllo" esercitato dalle strutture dell'edificio sui fenomeni di trasmissione del calore, controllo

facilmente esercitato dalle murature in laterizio alveolato che sommano, ad un migliorato isolamento termico, una massa frontale ancora paragonabile a quella di una analoga parete in laterizio tradizionale.

## La problematica acustica

Se la parete non ha discontinuità e non è composta con elementi eterogenei, la trasmissione del rumore avviene per propagazione nel materiale: la parete, sollecitata dalle onde di pressione acustica, entra in vibrazione come una piastra e irradia negli ambienti una parte dell'energia ricevuta.

Alle basse frequenze l'attenuazione acustica dipende principalmente dalla risonanza della parete, cioè dalle sue dimensioni, elasticità e densità; alle medie frequenze la attenuazione dipende approssimativamente dal logaritmo della massa ed è proporzionale al logaritmo della frequenza; al crescere della frequenza, l'effetto di coincidenza (dipendente dalla elasticità e densità della parete) determina una diminuzione notevole dell'attenuazione nell'intorno della frequenza di coincidenza; per frequenze superiori la legge della massa ritorna valida.



*Fig.7 – Scomposizione dell'onda sonora incidente su di una parete.*

L'onda sonora proveniente per via aerea da una qualsiasi sorgente di rumore, posta in un ambiente chiuso, incidendo su una parete pesante, rigida e di superficie piena, subisce una scomposizione come in figura 9.

L'energia sonora viene riflessa, assorbita e trasmessa. Il bilancio energetico del fenomeno è il seguente:

$$E_i = E_{r1} + E_{r2} + E_d + E_t$$

con:

$E_i$  = energia sonora incidente sulla parete;

$E_{r1}$  = energia sonora rinviata verso la fonte di provenienza, per riflessione e diffusione;

$E_{r2}$  = energia sonora rinviata alla fonte di provenienza, per effetto delle vibrazioni della parete;

$E_d$  = energia sonora dissipata (in calore) all'interno della parete;

$E_t$  = energia sonora che oltrepassa la parete, sia a causa di vibrazioni elementari o di massa della parete, sia seguendo vie di minore resistenza (fori, fessure, meandri, ponti ecc.).

### L'isolamento acustico

La rilevazione delle caratteristiche di isolamento acustico di una parete può essere effettuata per via sperimentale in un laboratorio attrezzato (e si parla in questo caso di potere fonoisolante) o direttamente nell'edificio già ultimato. Operando sull'edificio si hanno misure che tengono conto delle situazioni reali determinate dalle interrelazioni complesse tra caratteristiche dei materiali di base (laterizio, malte, intonaci, finiture), qualità dell'esecuzione, tenuta, elasticità e dimensioni della parete.

Quando in sede di realizzazione si debbano ottenere risultati soddisfacenti o raggiungere con certezza prestazioni prescritte, è bene dimensionare con ampio margine pesi e/o spessori ottenuti con il calcolo o ricavati sperimentalmente in laboratorio, applicando un opportuno "coefficiente di sicurezza". Questo terrà conto soprattutto delle variabili legate all'esecuzione del lavoro in cantiere. In particolare, il muro non dovrà presentare punti deboli come piccoli fori, giunti male costipati, intonaci troppo sottili in alcuni punti o essere eseguito con blocchi sbrecciati o, peggio, fessurati.

La legge sperimentale della massa fornisce con rapidità e però in modo approssimativo indicazioni per il dimensionamento acustico di una parete.

Sperimentalmente è stato dimostrato che il potere fonoisolante medio di una parete semplice aumenta di 4 dB quando la massa risulta moltiplicata per due e diminuisce di 4 dB quando la massa è divisa per due. Allo stesso modo, per una parete avente una data massa, il potere fonoisolante aumenta di 4 dB quando la frequenza del suono incidente si raddoppia.

La caratteristica di una parete, di trasmettere o attenuare l'energia sonora incidente, viene espressa attraverso il potere fonoisolante, definito da

$$R = 10 \log_{10} P_i / P_t = 10 \log_{10} 1/t \text{ (dB)}$$

dove

$P_i$  = potenza sonora incidente  
 $P_t$  = potenza sonora che attraversa la parete  
 $t$  = coefficiente di trasmissione.

L'attenuazione acustica, o potere fonoisolante, può essere espressa, in modo riduttivo ma accettabile, da

$$R_o = 20 \log_{10} (f \cdot ms) + K + A \text{ (dB)}$$

dove

$f$  = frequenza del suono incidente  
 $ms$  = massa a  $m^2$  della parete ( $kg/m^2$ )  
 $K$  =  $20 \log_{10} p/410 - 5 \text{ dB} = -47 \text{ dB}$   
 $A$  =  $+2 \text{ dB}$  nel caso di laterizio alveolato.

Se per esempio si hanno i seguenti dati:

Peso della parete (massa)  $ms = 310 \text{ kg/m}^2$   
 Frequenza  $f = 500 \text{ Hz}$   
 Tipo di laterizio = alveolato semipieno  $F/A=45\%$

l'attenuazione acustica risulta approssimativamente:

$$R_o = 20 \log_{10} (500 \cdot 310) - 47 + 2 = 20 \cdot 5,19 - 47 + 2 = 59 \text{ dB}$$

Questo valore è tuttavia piuttosto elevato. Occorre pertanto gestire con molta cautela dati di previsione ottenuti dal calcolo.

L'adozione di pareti multiple -in genere soltanto doppie- consente di ovviare all'eccessivo peso che comporterebbe la soluzione a parete semplice a parità di valori di isolamento acustico. In questo caso la prestazione acustica dipende da quattro fattori principali:

- la distanza fra le pareti
- la risonanza delle pareti
- il riempimento dell'intercapedine
- i collegamenti fra le pareti.

Ogni parete ha una propria frequenza di risonanza; quando questa frequenza è identica per le due pareti, le vibrazioni dell'una causano vibrazioni nell'altra.

Conviene quindi che massa e natura delle pareti siano diverse; l'inserimento di pannelli fibrosi permetterà di rendere meno probabile il fenomeno. Per determinare l'isolamento di un tramezzo doppio si può procedere come segue:

- 1) si calcola il peso per metro quadrato dei due paramenti, tralasciando il peso di uno dei rivestimenti per compensare i difetti di montaggio;
- 2) si sommano i pesi trovati;
- 3) si legge sul grafico della legge di massa (fig. 8), per una data frequenza (generalmente 500 Hz), l'isolamento corrispondente al peso totale trovato;
- 4) si aggiungono 4 dB per pannelli isolanti con spessore di 45 mm.

Il risultato sarà espresso in dB, che poco si discosta da quello globale in dB(A). (La misura in dB(A) è ottenuta utilizzando un filtro, appunto il filtro A, che consente di analizzare i suoni in modo simile all'orecchio umano, maggiormente sensibile alle frequenze intorno a 500 Hz).

In realtà il calcolo è più complesso e deve tener conto delle frequenze critiche di ogni elemento: il metodo descritto serve tuttavia per avere rapidamente un dato di riferimento.

Ad esempio, si voglia calcolare l'isolamento di una parete doppia costituita da

|                              |        |                            |
|------------------------------|--------|----------------------------|
| - lisciatura a scagliola     | 1,5 cm | 12 kg/m <sup>2</sup>       |
| - mattoni forati             | 5 cm   | 42 "                       |
| - intonaco a cemento         | 2 cm   | (non si considera il peso) |
| - pannello in fibra minerale | 4,5 cm | 3 kg/m <sup>2</sup>        |
| - lastre in gesso            | 5 cm   | 52 "                       |
| - lisciatura a scagliola     | 1,5 cm | 15 "                       |

pertanto con spessore e peso

**totali** **19,5 cm 124 kg/m<sup>2</sup>**

La verticale, elevata nel punto di ascissa 124, intercetta la curva della legge di massa (frequenza 500 Hz) all'ordinata 41 dB (fig. 8).

L'isolamento totale, incrementato di 4 dB per la presenza della lana minerale, sarà dunque di 45 dB.

Si voglia determinare il peso totale di due elementi di parete, al netto dell'intonaco, per ottenere un isolamento di 51 dB. È previsto l'impiego di pannelli fibrosi di 45 mm che determinano un incremento di 4 dB.

Il peso della parete, corrispondente all'ascissa della curva nel punto di intersezione con l'ordinata 51- 4=47 dB, è di 300 kg/m<sup>2</sup>. Nel caso di parete semplice, per ottenere lo stesso risultato occorrerebbe un peso di 550 kg/m<sup>2</sup>.

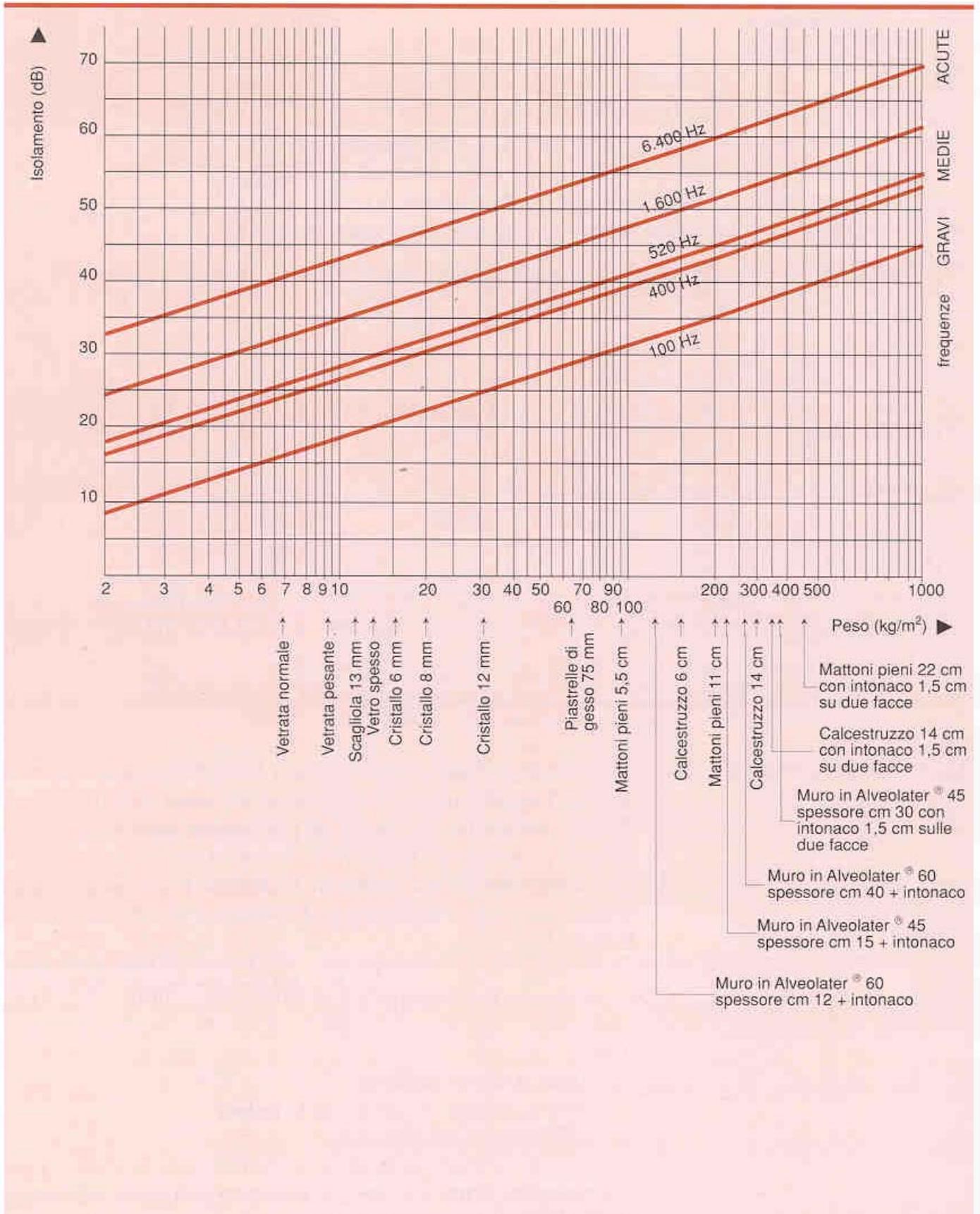
### **L'assorbimento acustico**

In precedenza è stato schematizzato il comportamento di una parete nei confronti di un suono aereo incidente: l'assorbimento è stato indicato con Ed.

L'energia sonora Ed, all'interno di un qualsiasi locale colpisce le pareti che lo delimitano e si riflette successivamente più volte su di esse, dando luogo a quella che può dirsi una vera e propria accumulazione di energia sonora. Tale "accumulazione" sarà tanto minore quanto più facilmente le pareti verranno attraversate da questa energia (in quanto una parte di essa si disperderà all'esterno), e quanto più le pareti stesse avranno la capacità di assorbire e dissipare, trasformandola in calore (ovviamente in quantità infinitesimali), un'altra quota della suddetta energia.

Sfruttando quest'ultimo fenomeno mediante materiali e metodi appropriati è quindi possibile ridurre la quota di energia riflessa dalle pareti verso l'ambiente, e quindi il livello sonoro percepibile nell'ambiente stesso.

**Fig.8 – Grafico della legge sperimentale della massa.**



Risulta evidente che un materiale dotato di un buon assorbimento acustico non è necessariamente anche un buon isolante acustico: al limite, una finestra aperta è un perfetto assorbente acustico, in quanto non ha alcun potere di riflessione, ma ha un isolamento acustico nullo, poiché non è assolutamente in grado di attenuare i suoni provenienti dall'esterno.

La necessità di realizzare superfici ad assorbimento acustico si presenta in due circostanze:

1. quando occorre ridurre il riverbero dei rumori provocati all'interno di un ambiente per migliorare le condizioni di comfort delle persone che lo occupano riducendo il livello sonoro (prevalente azione di assorbimento acustico);
2. quando, negli ambienti destinati a spettacoli, manifestazioni, riunioni ecc., occorre ridurre il "tempo di riverberazione" per impedire che i suoni si "sovrappongano" disturbandosi talvolta fino a divenire inintelligibili (prevalente azione di correzione acustica).

La tecnica di intervento consiste nel governare i riflessi delle onde sonore sulle pareti:

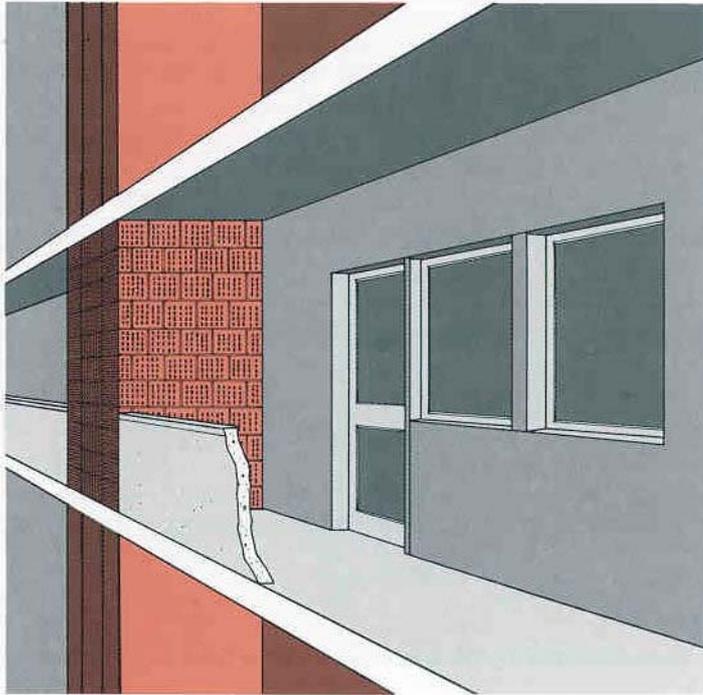
- favorendoli, qualora si voglia condurre il suono in determinate direzioni, per esempio verso ascoltatori lontani (riverberazione);
- sopprimendoli parzialmente, mediante applicazione di materiali fonoassorbenti (assorbimento);
- diffondendoli, mediante irregolarità diverse sotto forma di rilievi (diffrazione).

E possibile aumentare sensibilmente l'assorbimento di una parete utilizzando materiali adatti.

Nel caso di impiego di elementi di laterizio ciò si ottiene ponendo gli elementi stessi con i fori in vista e "orientati" verso la provenienza del suono, che viene così in parte intrappolato nei fori. Le frequenze assorbite sono in funzione della dimensione e della profondità dei fori perché nei fori l'onda sonora deve poter riflettersi (risuonare) senza uscire all'esterno: a frequenze diverse corrispondono diverse lunghezze d'onda che entrano e rimangono "intrappolate".

Nel caso di suoni con largo spettro di frequenza, si dovranno avere superfici con fori di diverse dimensioni. Le superfici degli edifici, che sono posizionate in modo da essere potenziali "schermi riflettenti" il rumore, se realizzate con caratteristiche fonoassorbenti, daranno sicuri miglioramenti al benessere abitativo. Nel caso ad esempio di loggiati, sarà buona norma predisporre le superfici, che si teme possano riflettere il rumore, con opportuni rivestimenti assorbenti, in modo da ridurre di qualche dB (2-3) il disturbo negli spazi interni all'edificio (fig. 9). Negli ambienti di lavoro, dove sia richiesta quiete e/o dove sia necessario ridurre l'effetto di apparecchiature rumorose, si adotteranno opportune superfici fonoassorbenti (fig. 10).

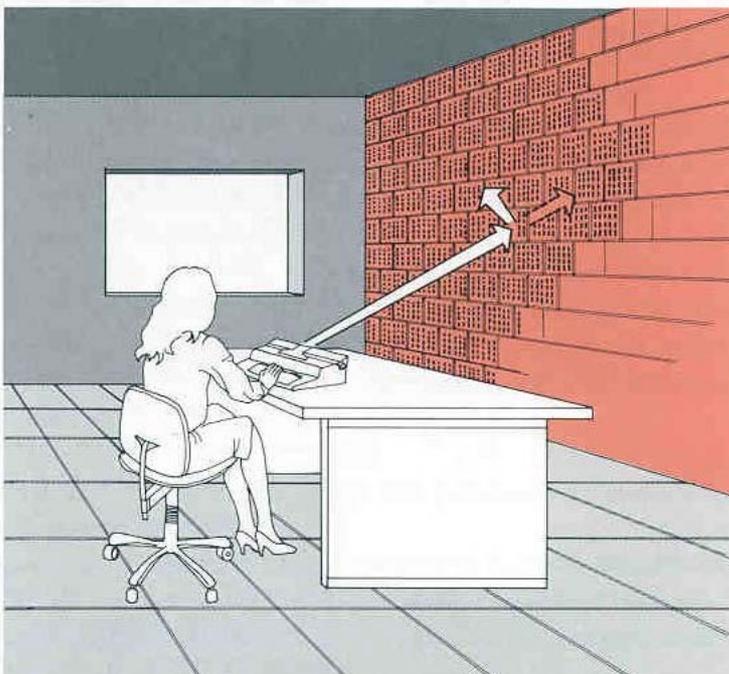
Per una affidabile determinazione delle caratteristiche fonoassorbenti di una parete rivestita con laterizio a fori aperti, è consigliabile rivolgersi al produttore o a un laboratorio qualificato per ottenere dal primo la certificazione delle prove fatte e dal secondo la eventuale verifica delle prestazioni in opera.



***Fig.9 – Rivestimenti fonoassorbenti in corrispondenza di loggiati.***

Qui possono essere fornite alcune indicazioni orientative utilizzabili per calcolazioni di massima che, se adottate con coefficienti di sicurezza proporzionati alle situazioni assunte nella progettazione di ambienti "non importanti", possono dare risultati certamente soddisfacenti.

Per un "tubo" (ovvero un foro del laterizio), la frequenza di risonanza (frequenza per la quale si ha il massimo assorbimento acustico) è legata alla sua lunghezza, e cioè alla dimensione (spessore) del rivestimento in laterizio.



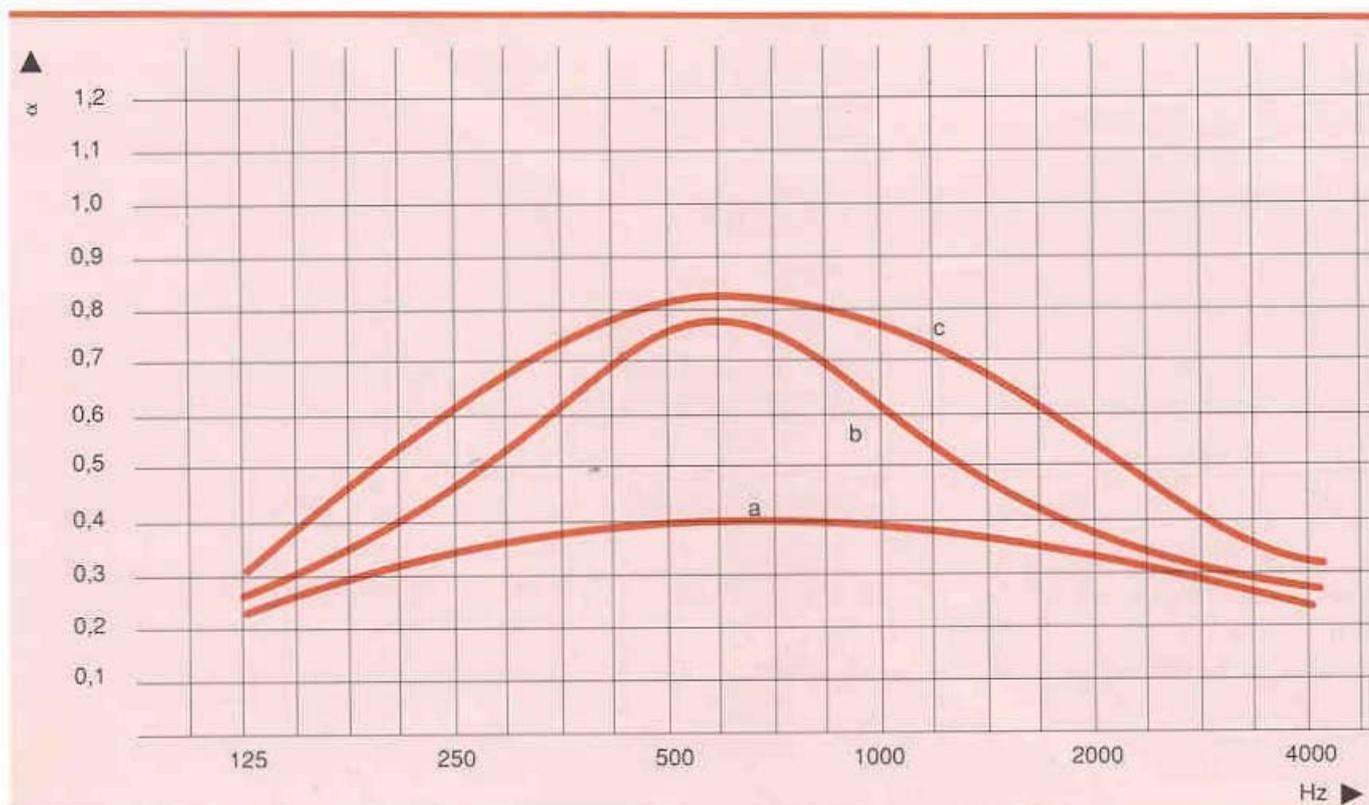
***Fig.10 – Superfici fonoassorbenti riducono il disagio causato da apparecchiature rumorose.***

Poiché l'assorbimento è anche funzione della sezione del "tubo" e poiché è raro che ci si trovi a dover ridurre il livello sonoro di una ristretta banda di frequenze, la soluzione migliore è quella di adottare una disposizione di fori a geometria variata ponendo, come già accennato, uno strato fibroso di circa 3 cm dietro i fori, in modo da assorbire ulteriormente il suono e ampliare la gamma di frequenze alla quale l'insieme dei pezzi reagisce (è sperimentato infatti che lo strato fibroso allarga tale gamma).

Per gli orientamenti al calcolo potrà essere utilizzato il grafico di spettro di assorbimento. Le curve "a", "b" e "c" riportate nel grafico di figura 11 sono puramente indicative e adottabili per un dimensionamento di massima.

Per rivestimenti con fori poco profondi, fra loro di uguale sezione e senza strato posteriore fibroso, ci si atterrà a valori di  $\alpha$  piuttosto bassi; per rivestimenti con fori di uguale sezione, dell'ordine di una quindicina di centimetri di profondità e strato fibroso, si assumerà un valore di  $\alpha$  circa massimo intorno ai 500 Hz, e si scenderà piuttosto rapidamente con valori di  $\alpha$  per le frequenze più alte e più basse; per rivestimenti con fori di una quindicina di centimetri di profondità ma di sezione diversificata fra loro e strato fibroso, il valore di  $\alpha$  sarà sempre prossimo al massimo per le frequenze nell'intorno di 500 Hz e scenderà meno rapidamente che nel caso precedente per le frequenze più basse e più alte; con profondità dei fori diverse da 15 cm si varierà, come indicato precedentemente, la frequenza per la quale si ha maggiore assorbimento; l'adozione di laterizio alveolato migliorerà ulteriormente l'assorbimento acustico.

**Fig.11 – Campo di assorbimento acustico di murature realizzate con laterizi con fori a vista.**



## Il comportamento al fuoco

Il comportamento al fuoco può essere inteso come:

- Reazione al fuoco, ossia il grado di partecipazione di un materiale combustibile all'incendio al quale è sottoposto;
- Resistenza al fuoco, e cioè l'attitudine di un elemento da costruzione, componente o struttura, a conservare, secondo un programma termico prestabilito e per un tempo determinato, in tutto o in parte la Stabilità (R), la Tenuta (E), l'Isolamento termico (I).

### Reazione al fuoco

Il Decreto Ministeriale 14 gennaio 1985 attribuisce classe di reazione 0, e quindi esonera dalla prova di combustibilità, i materiali composti da ossidi, solfati, carbonati, silice e silicati.

Poiché i laterizi sono composti di argilla, che appunto ha tali caratteristiche, non è richiesta la certificazione di incombustibilità.

Le terre per laterizi sono infatti costituite da argilla vera e propria (composti complessi di silice, allumina e acqua, con particelle di dimensione mai superiore a  $20 \mu$ ) e da uno scheletro costituito da silice libera  $\text{SiO}_2$  o sabbia silicea, carbonati di calcio e magnesio  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ , ossidi metallici ferrico  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ferroso  $\text{FeO}$ , ossidi di sodio  $\text{Na}_2\text{O}$  e potassio  $\text{K}_2\text{O}$ .

### Resistenza al fuoco

Fino ai primi anni '70 la circolare 91/1961 è stato il riferimento fondamentale per la valutazione della resistenza al fuoco delle pareti in laterizio.

In seguito singoli produttori hanno iniziato la sperimentazione in laboratori ufficiali per qualificare i propri prodotti.

I risultati sperimentali su pareti non intonacate sono di estremo interesse e variano da un minimo di 39 minuti (Classe 30 REI) per tramezze da cm 8  $F/A=70\%$  a 78' (Classe 60 REI) per tramezze da cm 10  $F/A=65\%$  a REI 180 per pareti in mattoni pieni bolognesi spessore cm 14 ( $F/A=15\%$ ) e in laterizio alleggerito semipieno ( $F/A=45\%$ ) spessore cm 17.

Si riporta, come riferimento, la Tabella 2 Art. 8 della Circolare 91.

**Tabella 2 art. 8 Circolare 91 – Spessore delle pareti tagliafuoco.**

| Tipo di parete                      | Spessore minimo in cm escluso l'intonaco |    |    |    |    |     |     |
|-------------------------------------|--|----|----|----|----|-----|-----|
|                                     | classe                                   |    |    |    |    |     |     |
|                                     | 15                                       | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | 180 |
| Laterizi pieni<br>intonaco normale  | 6  | 13 | 13 | 13 | 26 | 26  | 26  |
| Laterizi pieni<br>intonaco isolante | 6  | 6  | 6  | 13 | 13 | 26  | 26  |
| Laterizi forati<br>intonaco normale | 6  | 10 | 14 | 20 | 30 | 30  | 30  |
| Laterizi pieni<br>intonaco isolante | 6  | 6  | 6  | 10 | 10 | 14  | 20  |
| Calcestruzzo<br>normale             | 8  | 8  | 10 | 10 | 10 | 12  | 16  |
| Calcestruzzo<br>isolante            | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 10  | 10  |

## Il comportamento al gelo.

La necessità di controllare il grado di "rischio di gelività" si presenta solo per i materiali che vengono utilizzati per esterni.

La norma UNI 8942/86 prescrive che per i prodotti da rivestimento il rischio di gelività sia "basso" e che per i prodotti con massa normale o con massa alveolata il rischio di gelività sia "basso per esterni (da concordare per gli altri)" e cioè sia basso quando il materiale è impiegato all'esterno. .

In effetti si deve volgere l'attenzione anche a quelle pareti che, pur non trovandosi all'esterno, possono essere soggette a formazione di condensa e a scendere a temperature al di sotto di 0 °C ( per esempio una parete interna di separazione tra un vano tecnico non riscaldato e un vano riscaldato saltuariamente dove si forma umidità, come ad esempio in una lavanderia).

Il meccanismo di danneggiamento da gelo per il laterizio deriva, come è noto, dall'aumento del volume dell'acqua impregnante quando passa dallo stato liquido allo stato solido del ghiaccio.

Poiché la formazione del ghiaccio non avviene in modo istantaneo, nelle argille di maggiore porosità accade che, a mano a mano che l'acqua presente nei capillari e nei pori passa allo stato di ghiaccio, l'acqua in eccesso viene sospinta in altri capillari vuoti o meglio nei pori vuoti (il blocco in laterizio non può mai essere completamente saturo d'acqua, e anche in questo caso del resto una parte dell'acqua potrebbe essere sospinta all'esterno). L'acqua così difficilmente riuscirà a provocare forti pressioni sulle pareti dei canali capillari o dei pori e perciò non potrà danneggiare (per fatica dovuta ai cicli di gelo e disgelo) la terracotta.

## Tempi di essiccazione delle murature

Nelle murature appena costruite è presente acqua in eccesso che dovrà evaporare per giungere all'equilibrio con l'ambiente.

L'acqua in eccesso è quella di costruzione, corrispondente al 30% circa del volume della malta cui si aggiunge quella di bagnatura del laterizio, l'eventuale acqua piovana durante la costruzione e quella di reazione chimica per la presa della calce idrata.

Il fenomeno della asciugatura delle murature è legato alla superficie di contatto con l'aria e alla permeabilità interna del materiale.

Con la formula di Cadiergues sono calcolabili i tempi di essiccazione di una parete che abbia tutte e due le facce a contatto con l'aria esterna (è anche il caso di un edificio con finestre aperte).

La formula orientativa è la seguente:

$$t = c \cdot d^2$$

dove

t = tempo

c = coefficiente dipendente dal materiale

d = spessore della parete

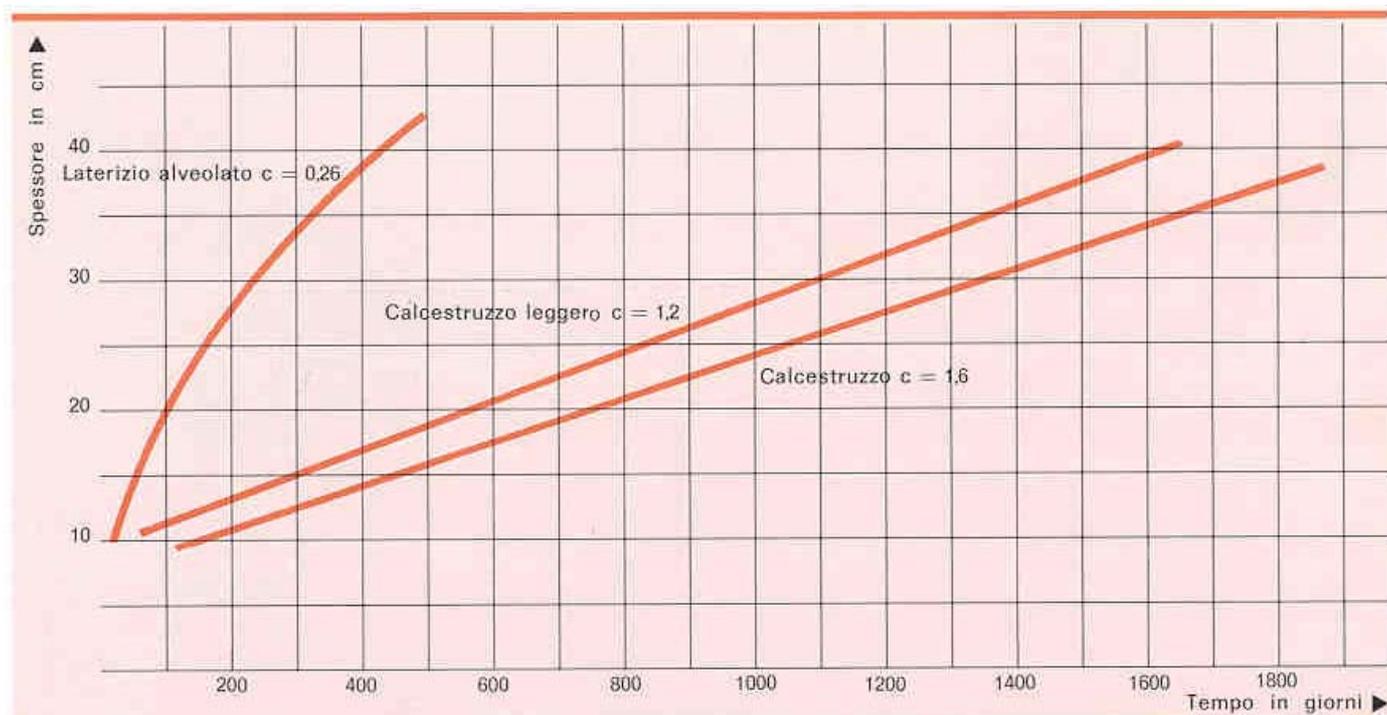
I coefficienti di tempo risultano dalla tabella V.

### Tabella V - Coefficiente di tempo di essiccazione dei materiali costituenti le murature.

| <b>Materiale</b>        | <b>Coefficienti di tempo</b> |
|-------------------------|------------------------------|
| Malta di calce aerea    | 0.24-0.26                    |
| Laterizio alveolato (*) | 0.22-0.30                    |
| Laterizio               | 0.28-1.20                    |
| Calcestruzzo leggero    | 1.10-1.30                    |
| Malta bastarda          | 1.00-1.10                    |
| Calcestruzzo normale    | 1.50-1.80                    |
| Malta di cemento        | 2.00-2.50                    |

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

I tempi di essiccazione di una parete in laterizio alveolato intonacato con malta bastarda con spessore di circa cm. 1, per uno spessore totale di 33 cm, e in contatto con l'aria esterna nelle due facce sono mediamente di 300 giorni, mentre una parete in calcestruzzo di uguale spessore essicca in tempo quattro volte superiore (fig. 12).



**Fig.12 – Grafico del tempo di essiccazione di parete in laterizio alveolato e in calcestruzzo.**

## Il laterizio alveolato

La produzione di laterizio alveolato con sistemi tecnologicamente avanzati, coniugando vantaggi produttivi con miglioramenti ergonomici del prodotto e prestazionali della muratura ha rappresentato l'intuizione che, forse più di ogni altra, ha inciso nel settore dei laterizi in questi ultimi anni.

Certamente l'idea di additivare l'argilla al momento della lavorazione con materiali o sostanze atte ad apportare miglioramenti in qualche fase della produzione e dell'impiego del laterizio è forse antica quanto il laterizio stesso.

Sabbia, terracotta macinata, ossidi metallici, paglia tritata o pula e trattamenti per ottenere smaltature e colorazioni fanno parte proprio di antichissime "tecnologie" produttive.

Veramente antichissime, perché risalgono, tutte o quasi, a qualche millennio addietro. Tutte utilizzate per i materiali da costruzione; perfino la smaltatura, seppure in modo meno diffuso.

Il laterizio alveolato, nella forma attuale, è la naturale evoluzione di principi antichi in parte dismessi nella prima metà di questo secolo.

Per un certo periodo infatti la meccanizzazione delle fornaci, mossa dal principio di incrementare la produttività riducendo la fatica umana, è stata anche interpretata come una possibilità di accrescere la resistenza meccanica dei materiali laterizi.

Contemporaneamente, per l'accrescersi della resistenza meccanica e per il miglioramento degli impianti produttivi, si sviluppava la foratura dei mattoni e dei blocchi. Ci si rendeva poi conto che l'intenzione di ottenere materiale più leggero apriva anche a miglioramenti sulla velocità di costruzione, sulla resistenza dei muri, dei solai, sull'isolamento termico.

Negli anni sessanta veniva introdotta la tecnica dell'alveolatura del laterizio. La crisi energetica di quegli anni, e dei successivi, favoriva la crescita di un prodotto che si dimostrava capace di ridurre le dispersioni termiche.

Sul piano dell'affermazione nel mercato, i prodotti alveolati hanno percorsa all'inverso la strada degli elementi forati.

L'alveolato è partito come laterizio dalle spiccate doti di isolamento termico e, via via, gli sono state riconosciute doti di snellimento delle fasi costruttive, di eccellenti prestazioni statiche (soprattutto come equilibrio fra le varie prestazioni statiche), di facilitazione delle fasi di produzione in stabilimento.

In sostanza un prodotto che, proposto nelle sue espressioni iniziali di marketing con qualche sottolineatura dei suoi requisiti termici, ha poi acquisito "completezza" ed "omogeneità" con tutti i requisiti che sono richiesti ad un buon materiale che diventi sistema di costruzione.

## Che cos'è il laterizio alveolato.



**Fig.13 – Materiali di alleggerimento: il polistirolo espanso.**



**Fig.14 – Materiali di alleggerimento: la sansa di olive.**



**Fig.15 – Materiali di alleggerimento: la segatura di legno.**

Il laterizio per murature viene alleggerito con fori passanti o profondi non passanti: è una tecnica che ha molti decenni di anzianità e che ha raggiunto una notevole esperienza tanto da dar luogo a prodotti di rilevanti qualità e caratteristiche, mentre il laterizio alleggerito anche mediante alveoli vuoti rappresenta una soluzione tecnologica più recente.

Gli alveoli vuoti, fra loro non comunicanti, sono diffusi uniformemente nella massa di argilla cotta e sono ottenuti introducendo materiale combustibile nell'argilla in lavorazione (sferette di polistirolo, segatura, sansa di olive - vedi fig. 15, 16, 17).

La dimensione del diametro dei "grani" deve essere piuttosto ridotta (2 - 2,5 mm), in modo da dare luogo ad una diffusissima presenza di corpuscoli nella pasta di argilla.

La macchina che trafila blocchi o mattoni formerà così degli elementi che, nell'argilla umida, contengono i corpuscoli di materiale combustibile che, generalmente, non modificano la fase di essiccazione.

Dopo l'essiccazione, il materiale viene immesso nel forno, e i corpuscoli, per il calore di cottura, vengono combusti, lasciando vuota la sede prima occupata (fig. 18).

La densità del laterizio alveolato, secondo la norma UNI 8942/1 del 1986, non deve essere superiore a 1450 kg/m<sup>3</sup>, ovvero 1,45 kg/dm<sup>3</sup>.

Poiché la massa volumica del laterizio è mediamente di 1750 kg/m<sup>3</sup>, la perdita di massa è dell'ordine di 300 kg/m<sup>3</sup>, ovvero 0,3 kg/dm<sup>3</sup>, in pratica equivalente ad un 17% di foratura.

Il numero di alveoli artificiali, provocati nella terracotta, è di almeno una ventina per centimetro cubo, e con l'uso di corpuscoli di dimensioni sensibilmente inferiori al diametro di 2,5 mm cresce fino a 40-50.

Vediamo infatti quanti alveoli sarebbero necessari ad alleggerire la massa da 1750 kg/m<sup>3</sup> (1,75 g/cm<sup>3</sup>) a 1450 kg/m<sup>3</sup> (1,45 g/cm<sup>3</sup>) con una perdita cioè di 300 kg/m<sup>3</sup> (0,3 g/cm<sup>3</sup>).

Il volume di un alveolo sferico di diametro 0,25 cm è pari a

$$V = 4\pi r^3 / 3 = 0,008177 \text{ cm}^3$$

Il suo peso, se fosse costituito da terracotta di densità 1,750 gr/cm<sup>3</sup>, sarebbe 1,75 x 0,008177 = 0,0143 gr

Per alleggerire un cm<sup>3</sup> di argilla di 0,3 gr occorrerebbero teoricamente quindi 0,3/0,0143 = 21 sferette.

In realtà durante la fase di estrusione le sferette si comprimono e quindi non possono sviluppare tutta la loro funzione di alleggerimento. Sperimentalmente si rileva che è necessaria una quantità circa tripla di sferette.

Poiché, oltre all'alveolatura, i blocchi e i mattoni presentano delle forature, la loro densità diminuisce ulteriormente.

All'argilla si possono anche miscelare sostanze inorganiche, ad esempio perlite. La perlite è un minerale a basso peso specifico ottenuto da una roccia vulcanica effusiva che, macinata e portata in forno a elevata temperatura, si espande aumentando fino al 20% il proprio volume, acquistando una estrema leggerezza. Il peso specifico in mucchio varia infatti da 80 a 130 kg/mc. La composizione chimica è prevalentemente basata su silice  $\text{SiO}_2$  (67% circa) e ossidi di alluminio sotto forma di  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13% circa), di sodio e di potassio, mentre è assente lo zolfo e quindi è molto simile alla composizione dell'argilla. La perlite rimane inglobata nella matrice argillosa senza cambiamenti di stato durante la cottura: la struttura è quindi compatta, senza cavità e, cosa veramente nuova nei laterizi ad alte prestazioni termiche, i blocchi si presentano privi di fori superficiali.



*Fig.16 – La superficie di un blocco alleggerito con polistirolo.*

## Caratteristiche generali

Già nella terracotta sono presenti pori o alveoli naturali collegati fra loro da canali capillari provocati dalla presenza e dalla successiva evaporazione dell'acqua di impasto dell'argilla e dell'acqua molecolare od anche per lo sviluppo di gas nella fase di cottura, dovuto a sostanze costituenti l'argilla .

Gli effetti di questi "vuoti" influiscono sui valori di peso specifico, conducibilità termica, resistenza meccanica, permeabilità al vapore d'acqua, assorbimento e riflessione acustica, permeabilità all'aria ecc..

Il peso specifico dell'impasto cotto è, orientativamente, un indicatore della resistenza meccanica della terracotta.

La presenza di macropori artificiali nel cotto, riducendone ulteriormente il peso, ne modifica anche la resistenza meccanica.

Detto subito, la resistenza meccanica risulta diminuita:

per due blocchi geometricamente uguali, prodotti con la stessa argilla, quello alveolato impiegando materiali combustibili ha una resistenza ridotta a circa 1/3 di quello non alveolato.

Sembrirebbe un dato allarmante; in effetti non è affatto così.

Esaminando la tabella A riportata dal Decreto Ministeriale 20 novembre 1987 si può notare come per muri realizzati con elementi di resistenza caratteristica a compressione di 10 N/mm<sup>2</sup> (100 kg/cm<sup>2</sup>) e usando una malta tipo M1, la più resistente, la resistenza caratteristica a compressione della muratura risulta di 6,2 N/mm<sup>2</sup> (62 kg/cm<sup>2</sup>).

Usando laterizi di resistenza 40 N/mm<sup>2</sup> (400 kg/cm<sup>2</sup>) la relativa resistenza caratteristica della muratura risulta di 14,3 N/mm<sup>2</sup> (143 kg/cm<sup>2</sup>). In sostanza da un rapporto 1 a 4 (100 a 400) della resistenza dei blocchi si passa ad un rapporto poco più che doppio (2,3) delle resistenze dei muri realizzati con malta della migliore resistenza (M1).

Usando malte di resistenza minore, ad esempio M3, si ha, in analogia al caso precedente, rispettivamente 4,7 e 10,4 N/mm<sup>2</sup> (47 e 104 kg/cm<sup>2</sup>) con un rapporto pari a 2,2.

Anche effettuando la determinazione della resistenza caratteristica direttamente su campioni di muratura non cambia la sostanza dei rapporti.

Un altro indicatore che viene troppo spesso trascurato o addirittura ignorato è il modulo di elasticità normale (indicato con E). Questo modulo esprime il rapporto tra lo sforzo e la deformazione lineare corrispondente in un tipo di materiale.

Se il modulo E di un materiale è elevato, la deformazione a parità di sforzo agente sarà minore di quella di un altro materiale con modulo E più piccolo.

Nel caso di murature in laterizio normale semipieno, il modulo E nel campo lineare risulta dell'ordine di 60.000 - 70.000 daN/cm<sup>2</sup> (kg/cm<sup>2</sup>) e nel caso di murature con laterizio alveolato semipieno 40.000 - 50.000 daN/cm<sup>2</sup> (kg/cm<sup>2</sup>).

Dunque muri realizzati con materiale alveolato hanno generalmente una minore rigidità, il che consente alla parete di adattarsi meglio (minore pericolo di lesioni) ad assestamenti e deformazioni dell'edificio (fondazioni, deformazioni sotto carico ecc.).

Naturalmente non tutto questo aspetto relativo alla rigidità è attribuibile ai soli elementi per muratura: dipende fra l'altro dalla frequenza, dalla dimensione e dalla resistenza dei giunti di malta. Va sottolineato che il fenomeno comunque è assai più complesso di come viene qui descritto.

Si è voluto solamente dare indicazioni di come non sia necessario richiedere elevate resistenze degli elementi e come sia apprezzabile un valore più basso del modulo di elasticità, il che significa maggiore deformabilità

Un altro aspetto certamente non trascurabile è quello dell'aderenza malta - laterizio. Esso va considerato sia per i giunti che per gli intonaci.

La presenza dei macroalveoli artificiali aperti in superficie consente una migliore aderenza fra laterizio e malta rispetto a laterizi non alveolati: intonaci particolarmente rigidi aumenteranno quindi la rigidità del muro.

In merito ai giunti, il sempre più frequente ricorso ai giunti ad incastro, che tanti vantaggi danno ai fini ergonomici (modi, costi e facilità di posa), richiede tuttavia una più affidabile collaborazione dei giunti di allettamento orizzontali.

## Effetti sulle prestazioni termiche.

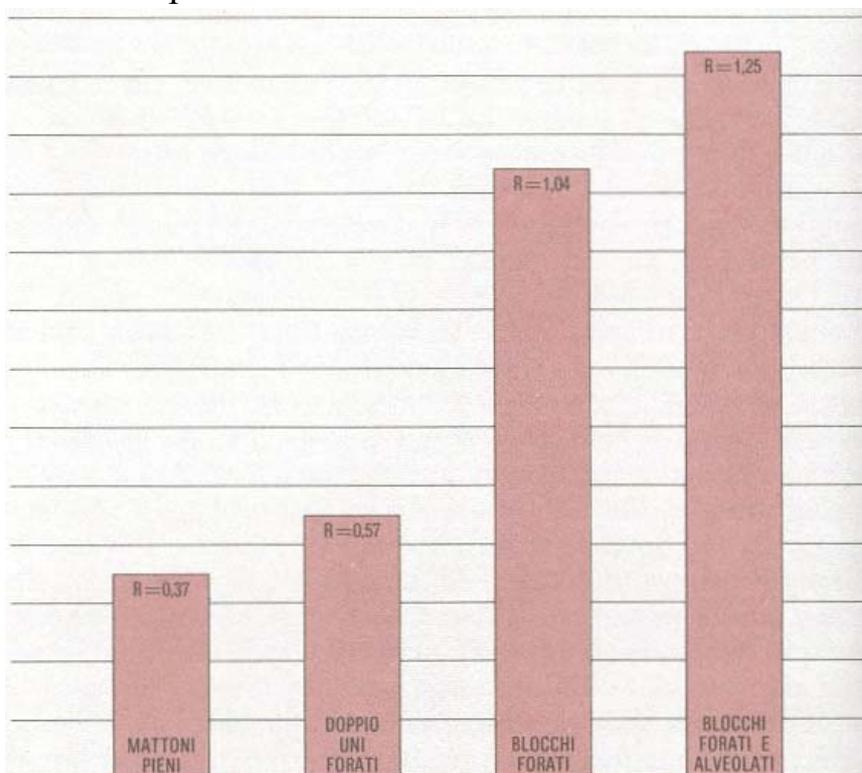
Il complesso funzionamento di una parete sotto l'aspetto termico è descrivibile solo con un numero elevato di parametri e la descrizione analitica dei vari comportamenti è piuttosto ardua e va certamente lasciata agli esperti.

Il principio primo comunque è quello dell'isolamento termico unito alla capacità termica.

### L'isolamento termico.

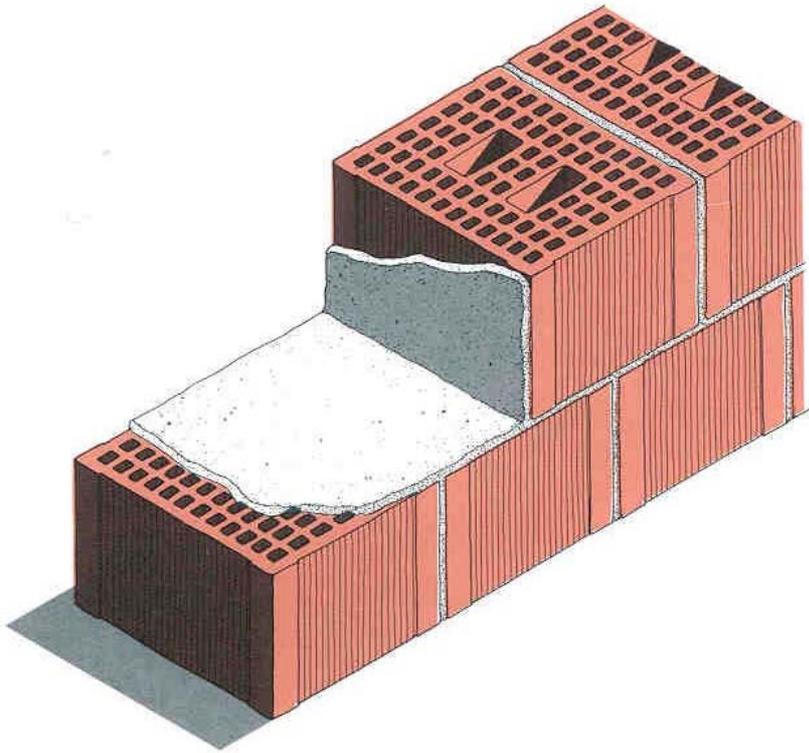
Nei materiali in genere, l'isolamento termico viene ottenuto per la massima parte del suo valore attraverso l'inclusione di aria; solo una relativamente piccola parte viene ottenuta con le caratteristiche chimiche e minerali delle sostanze che costituiscono i prodotti.

*Fig.17 – Andamento della resistenza termica in funzione della foratura del blocco.*



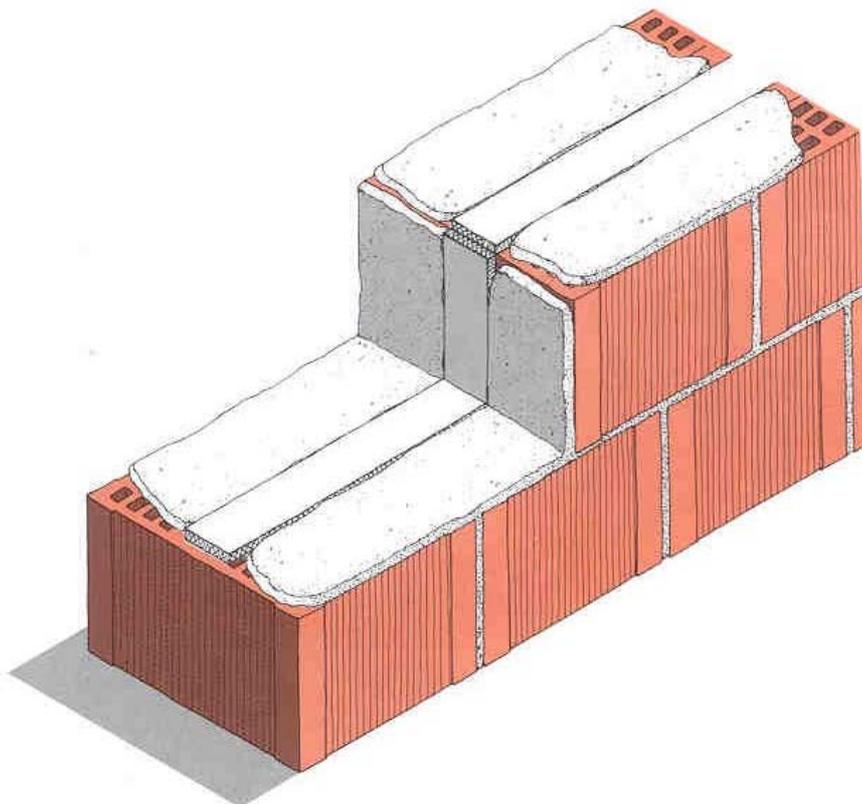
Nel laterizio alveolato, la presenza dell'alveolatura e dei canali capillari è proprio il fattore che determina la capacità di isolamento.

Un ulteriore fondamentale contributo viene dato dal disegno della foratura che deve presentare fori molto stretti nella direzione del "passaggio" termico, in modo da impedire moti convettivi dell'aria, ed anche un elevato numero di file di fori: in genere il foro è di forma rettangolare o ellittica, circa un centimetro, un centimetro e mezzo di spessore per una larghezza di cinque, sei centimetri.



**Fig.18 – Blocchi posti in opera con giunti di malta verticali e orizzontali continui.**

Tanto per dare un ordine di grandezza ai guadagni in resistenza termica secondo le varie situazioni, si può dire che in sostanza il passaggio da mattoni pieni a blocchi forati di buona concezione dà un miglioramento di circa il 280% e l'introduzione della alveolatura dà un ulteriore miglioramento del 20% (fig. 17).



**Fig.19 – Blocchi posti in opera con giunti di malta verticali e orizzontali interrotti.**

## Effetti sulle prestazioni acustiche

### Potere fonoisolante

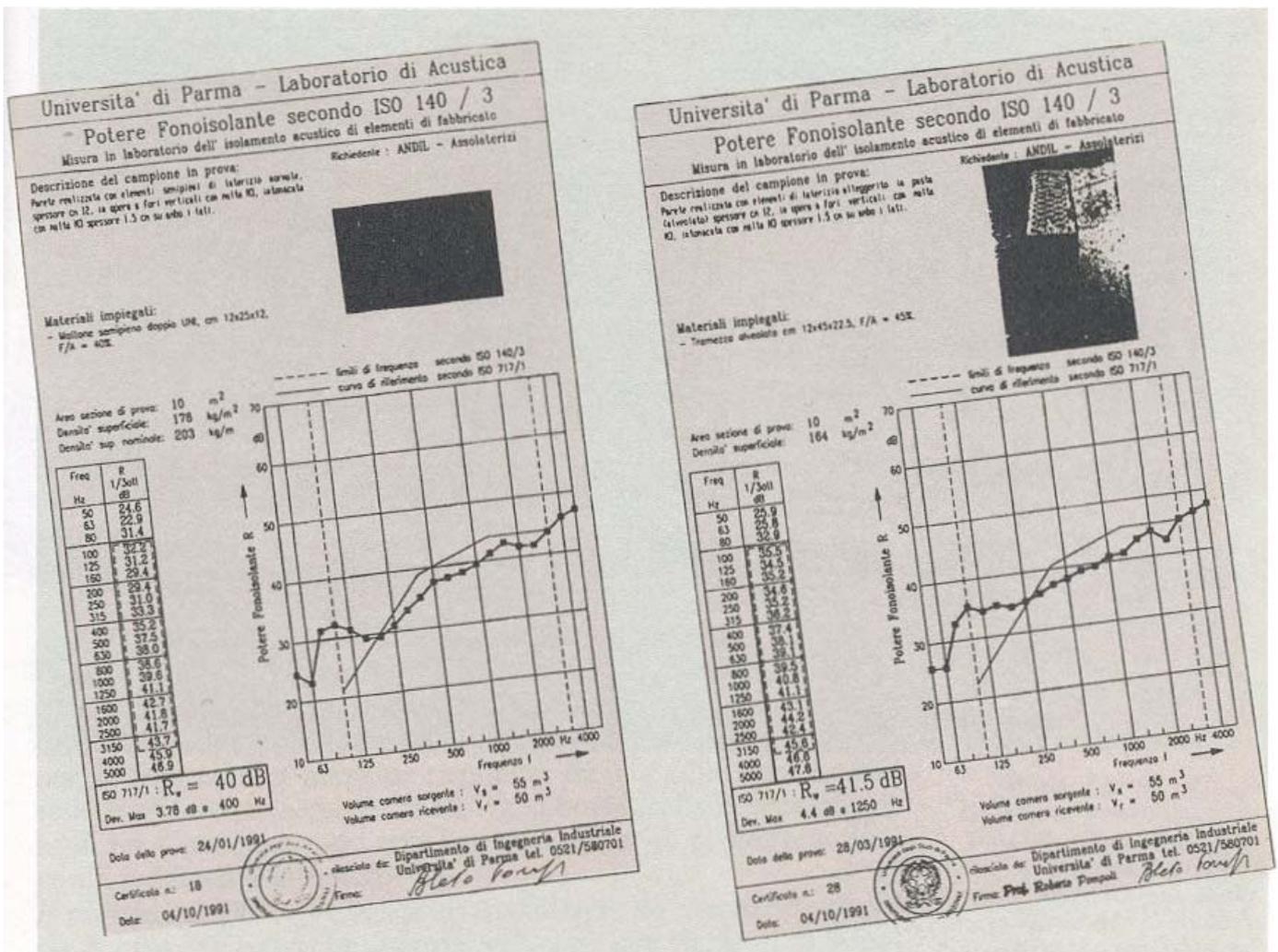
Nel caso di suoni aerei, l'isolamento acustico di una parete dipende dalla massa e dalla elasticità.

Per le pareti omogenee rigide, l'effetto della massa, espressa dal peso a  $m^2$ , è preponderante.

Le pareti in alveolato hanno un comportamento tendenzialmente migliore rispetto a quello delle pareti in laterizio normale di pari spessore: la minore elasticità (l'alveolatura infatti riduce l'elasticità della terracotta) gioca un ruolo più importante rispetto alla minore massa.

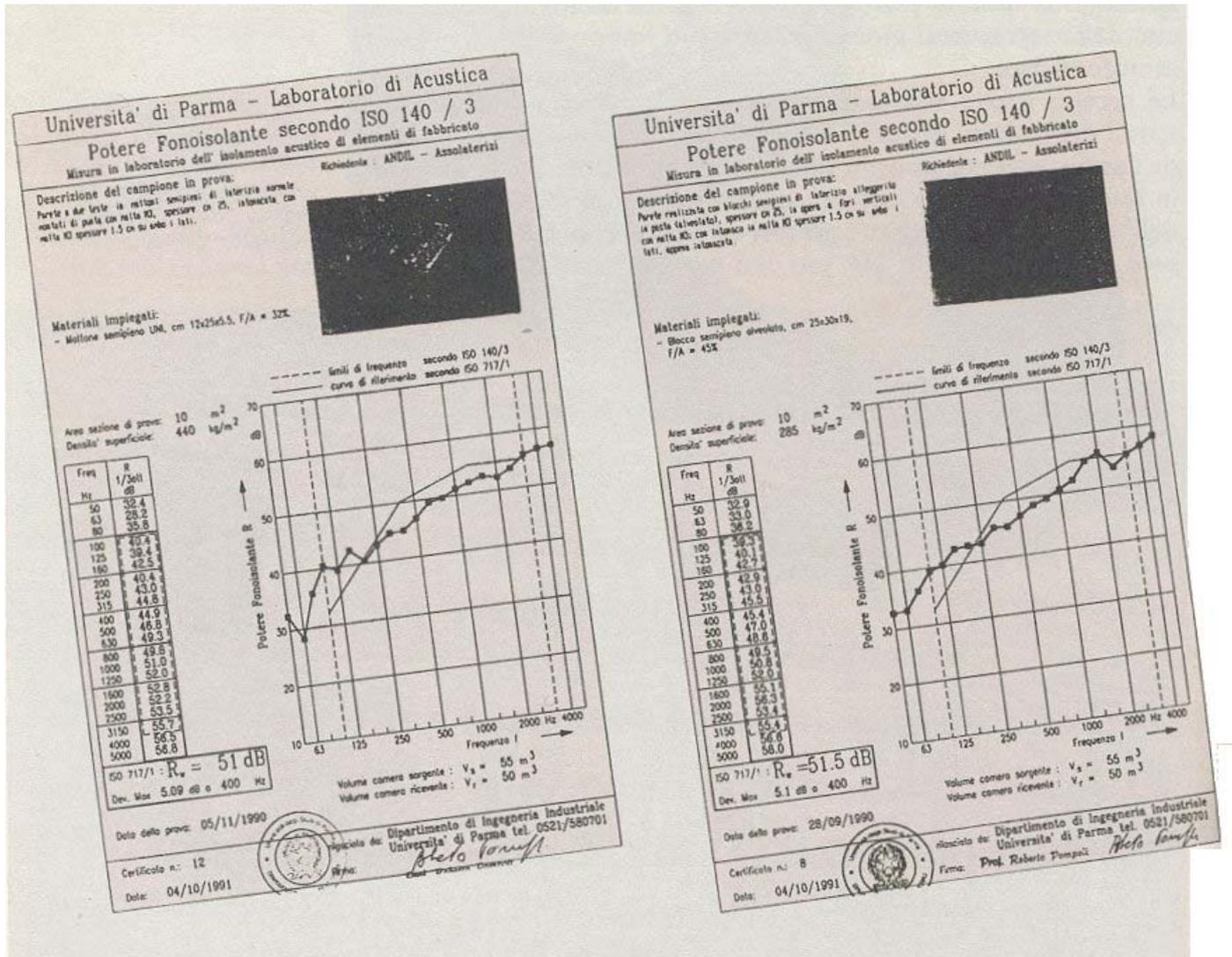
Le recenti prove effettuate dall'ANDIL Associazione degli Industriali dei Laterizi, presso il laboratorio di acustica dell'Università di Parma, evidenziano un migliore comportamento della parete in laterizio alveolato rispetto ad una parete in laterizio normale dell'ordine di 1,5 dB per spessori di 12 cm e di 0,5 dB per spessori di 25 cm, pur con pesi di parete decisamente inferiori.

**Fig.20 – Certificati di prove effettuate su pareti intonacate di 12 cm di spessore, costruite la prima con laterizio normale, la seconda con laterizio alveolato.**



Il progettista, se interessato al problema acustico nelle proprie elaborazioni di calcolo, si riferirà a certificazioni di prova fornite dal produttore.

Infatti i produttori hanno capito l'importanza delle qualificazioni acustiche (obbligatorie per edilizia pubblica) e sono pronti, come è ormai consuetudine per le prove termiche, a fornire certificati sulle caratteristiche fonoisolanti in modo da consentire la progettazione acustica del fabbricato.



**Fig.21 – Certificati di prove effettuate su pareti intonacate di 25 cm di spessore, costruite la prima con laterizio normale, la seconda con laterizio alveolato.**

## Effetti sul comportamento al fuoco

### Reazione al fuoco

Come si è detto in precedenza, il Decreto Ministeriale 14 gennaio 1985 attribuisce classe di reazione 0, e quindi esonera dalla prova di combustibilità, i materiali composti da ossidi, solfati, carbonati, silice e silicati, e quindi ai laterizi.

Nel laterizio alveolato potrebbe rimanere un dubbio relativamente a materiali aggiunti all'argilla in fase di lavorazione allo scopo di rendere più leggera la pasta di argilla.

In realtà le temperature raggiunte durante la cottura, ben raramente inferiori a 900 °C, portano ad una completa combustione dei materiali organici aggiunti (polistirolo, segatura, sansa di olive, ecc.), che non sono quindi componenti del prodotto finito e, ovviamente, non possono partecipare, una volta in opera, ad un eventuale incendio.

Non c'è dubbio quindi che il laterizio, anche alveolato, che può venire utilizzato sia per la realizzazione di pareti portanti esterne o interne, che per tramezzature e tamponamenti, non partecipa all'incendio al quale dovesse essere sottoposto e non contribuisce alla propagazione dell'incendio stesso. Il problema poi non si pone assolutamente nel caso di laterizio alleggerito con perlite che, essendo inorganico, non muta il suo stato durante la cottura.

### Resistenza al fuoco

Una delle prime prove su pareti realizzate in laterizio alveolato, il cui certificato fu rilasciato dal Centro Studi ed Esperienze di Roma Capannelle, risale al 1975.

Fu provata una parete divisoria di spessore cm 12, non intonacata, realizzata con blocchi semipieni in laterizio alveolato con percentuale di foratura pari al 40% circa.

La prova fu prolungata per 3 ore (180'). Al termine, la temperatura superficiale media della parete non esposta fu di 149 °C.

E evidente la differenza di prestazioni fra il risultato sperimentale e la tabella della circolare 91, che attribuisce classe 180 a pareti realizzate in laterizi pieni di spessore cm 26, con intonaco.

In seguito altri produttori vollero verificare il comportamento al fuoco dei loro laterizi alveolati.

Furono provate pareti di 30 cm di spessore, sempre senza intonaco. In una di queste prove, dopo tre ore, la temperatura massima raggiunta da una delle termocoppie sulla faccia non esposta, fu di 86 °C; la media delle 5 termocoppie fu di 64,4, confermando così l'elevato valore di protezione delle pareti in laterizio.

A partire dal 1986, il Consorzio Alveolater<sup>o</sup> ha effettuato una serie di prove su pareti intonacate realizzate con elementi in laterizio per tamponamento e per strutture portanti i cui risultati sono riportati in tabella VI.

### Tabella VI – Comportamento al fuoco di pareti in blocchi Alveolater<sup>o</sup>.

| Blocco                               | Certificato                    | Prestazione della parete       |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| A 125 classe 45<br>cm 12x30x19       | Ist. Giordano<br>14242/87      | R.E.I. 180<br>spessore cm 15   |
| A 62 classe 55<br>cm 25x30x19        | Ist. Giordano<br>38771/0044/90 | R.E.I. 180<br>spessore cm 28   |
| A 15/25 classe 60<br>cm 15x25x25     | Ist. Giordano<br>11605/86      | R.E.I. 180<br>spessore cm 18   |
| A 12,5/25 classe 60<br>cm 12,5x25x25 | Ist. Giordano<br>38770/0043/90 | R.E.I. 120<br>spessore cm 15,5 |
| A 10/25 classe 60<br>cm 10x25x25     | Ist. Giordano<br>14561/87      | R.E.I. 90<br>spessore cm 13    |

## Effetti sul comportamento al gelo

Il controllo della gelività viene generalmente effettuato, in prima approssimazione, attraverso la prova di assorbimento d'acqua, riportando quindi i valori sul diagramma "assorbimento percentuale-coefficiente di saturazione" previsto dalle norme Uni 8942. Tanto più è basso il coefficiente di saturazione, definito come  $s = (P_{umido} - P_{secco}) / (P_{saturo} - P_{secco})$ , tanto più numerosi sono i pori che rimangono pieni d'aria. Il diagramma suddivide il campo in tre zone: campo ad elevato rischio di gelività, a basso rischio di gelività e zona di incertezza.

Nel caso il prodotto esaminato si trovi nel campo di incertezza, bisognerà operare con metodi di rilevamento più accurati.

Il metodo più conosciuto è il metodo dei cicli di gelo e disgelo: il prodotto viene sottoposto a una serie di cicli fra -15°C e +15°C e si verifica successivamente sia la presenza di difettosità attribuibili al gelo sia la riduzione di resistenza meccanica. Oppure si può ricorrere alla determinazione del diametro critico di gelività. Con un porosimetro a mercurio, a pressione, basandosi sul fatto che tanto più sono piccoli i pori, tanto più si oppongono alla penetrazione del mercurio, è possibile stabilire il diametro critico di gelività, che rappresenta il maggiore dei diametri che cumulativamente corrisponde al 90% della porosità determinata. Diametri critici superiori a 1,8 µ individuano materiali non gelivi. Il materiale alveolato può esprimere una buona risposta al rischio di gelività proprio per la presenza di numerosi alveoli.

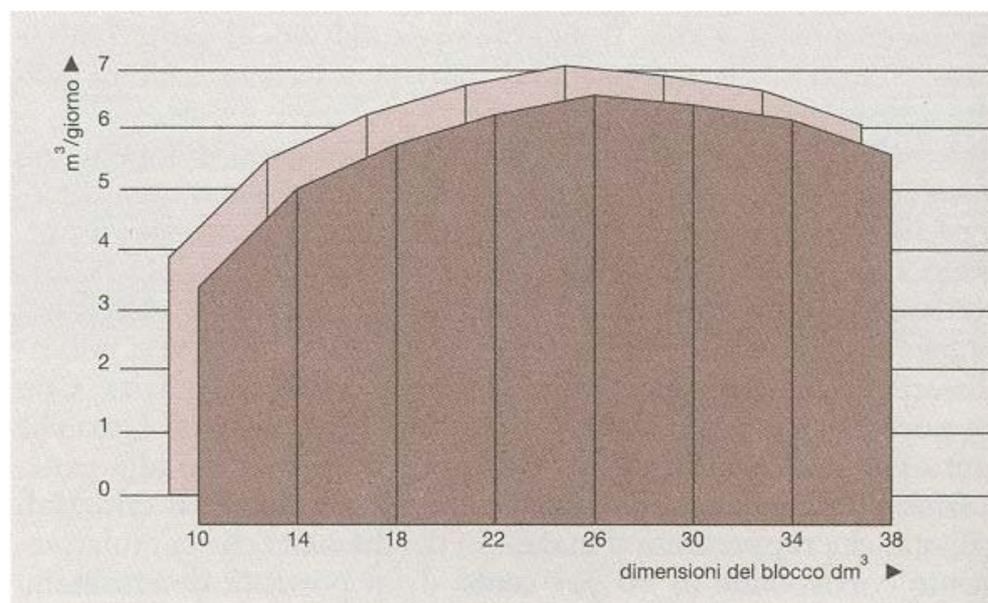
## Effetti ergonomici ed ergotecnici

Il minore peso degli elementi in laterizio alveolato ne facilita indubbiamente la posa in opera e, di conseguenza, diminuisce la fatica dell'operaio edile.

La resa in metri cubi di muratura realizzata migliora con l'aumentare della dimensione dell'elemento utilizzato.

**Fig.22 – Resa della posa di blocchi a maneggiabilità migliorata e di blocchi normali.**

■ Blocchi a maneggiabilità migliorata  
■ Blocchi normali



Ad influenzare la resa è il più facile ottenimento della precisione richiesta (allineamenti e appiombi sono resi più semplici dal minore peso) e la minore fatica fisica.

Contrariamente a quanto supposto infatti, entro certi limiti la fatica fisica, a parità di metri cubi posti in opera, diminuisce con l'aumentare della dimensione degli elementi perché diminuisce il numero di operazioni e di sollevamenti che l'operaio deve svolgere.

Certamente aumenta lo sforzo per ogni singolo sollevamento, ma il computo della spesa di energie fisiche è più favorevole lavorando con elementi di maggiori dimensioni.

I tempi di sollevamento hanno cadenza più rallentata.

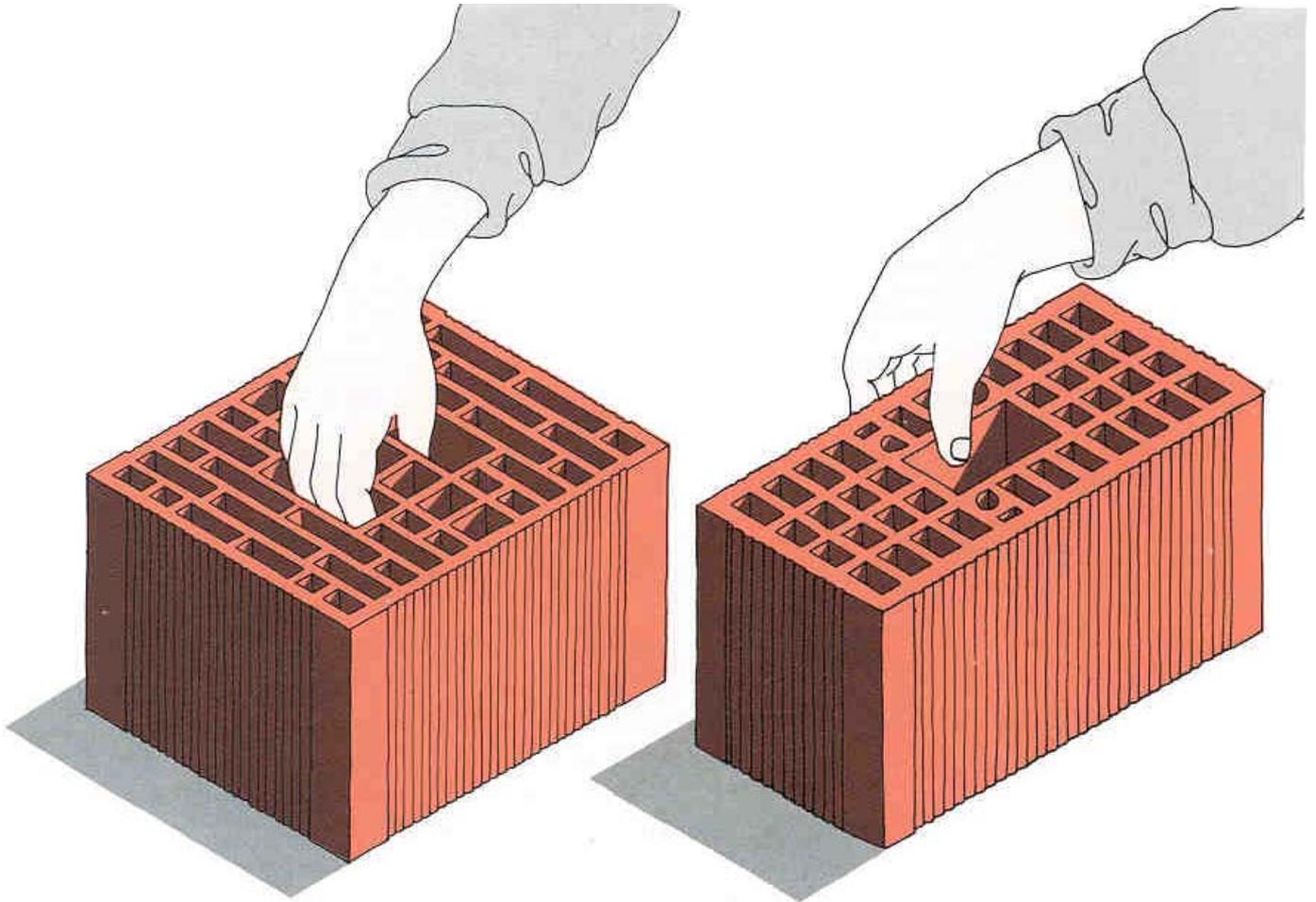
Buona operabilità e buona resa si hanno a partire da blocchi di 15-20 dm<sup>3</sup>, equivalenti a blocchi di formato 30 x 25 x 25.

Dopo questa dimensione la resa diminuisce, a meno di ricorrere a mezzi ausiliari come macchine di sollevamento e posa, maniglie di presa od altro, strumenti però piuttosto rari presumibilmente perché trascurati dai costruttori e scarsamente richiesti dagli operai, ma che potrebbero invece godere di migliori favori.

La resa nella posa di elementi a maneggiabilità migliorata aumenta di circa il 20% o più rispetto a quella di elementi non predisposti (vedi fig. 22).

Già in elementi di relativamente piccole dimensioni come il "doppio UNI" la presenza di un foro centrale migliora l'afferrabilità; per blocchi a fori verticali di maggiori dimensioni la presenza di due fori di passaggio per la mano del muratore consente un'afferrabilità buona ed equilibrata, mentre nei blocchi a fori orizzontali una facile afferrabilità si può avere con una scanalatura nella faccia superiore (fig. 23, 24).

**Fig.23-24 – A sinistra blocco con due fori di presa, a destra blocco con un foro.**



## Campi di applicazione

L'impiego di materiale alveolato nelle murature non ha certo preclusioni. Si potrebbe anzi dire in modo molto banalizzante che il materiale alveolato può essere usato in tutti i casi nei quali oggi il laterizio lo è per tradizione o per nuove proposizioni.

Può essere invece più utile vedere se esiste la possibilità di sfruttare in modo selezionato o in modo integrato alcune delle sue caratteristiche.

Vediamo prima di tutto quali sono le sue caratteristiche salienti.

- E più leggero, a parità di percentuale di foratura, rispetto ad altri tipi di laterizio;
- ha più elevata permeabilità al vapore d'acqua;
- ha più elevata resistenza termica;
- ha maggiore deformabilità;
- è facilmente lavorabile;
- generalmente è a basso o nullo rischio di gelività;
- assicura un buon isolamento acustico.

Ma vediamo allora che tipi di sfruttamento e di utilizzazioni sono ottenibili.

E più leggero, quindi:

- sono meno impegnativi i problemi di appoggio delle fondazioni sul terreno;
- è diminuita la fatica dell'operaio edile;
- sono meno impegnate le strutture dell'edificio (strutture a telaio nel caso di tamponamento in laterizio; travi e solai nel caso di tramezzature);
- sono aumentabili le dimensioni dei blocchi senza rendere più faticosa la loro movimentazione;
- sono realizzabili pareti di maggior spessore a parità di peso, guadagnando in resistenza termica (riducendo la trasmittanza); (si tenga presente a questo proposito che in prospettiva, grazie ad una tendenza che si sta manifestando nei nuovi regolamenti edilizi e in alcune leggi regionali, ad esempio della Regione Lombardia e della Regione Veneto, lo spessore delle pareti non sarà più influente ai fini della determinazione degli indici di edificabilità).

Ha più elevata permeabilità al vapor d'acqua; e pertanto:

- dà un migliore comfort abitativo smaltendo maggiori quantità di vapor d'acqua di produzione interna (emissioni delle persone, delle cucine, di altre attività);
- la superficie interna dei muri perimetrali è più asciutta a parità di isolamento termico rispetto a pareti realizzate con altri materiali (l'umidità produce anche richiamo di pulviscolo, formazione di muffe, danni agli arredi);

- trattenendo minore quantità d'acqua la parete subisce minori diminuzioni delle proprie caratteristiche isolanti con i climi invernali;

- utilizzando il laterizio alveolato per la realizzazione di contropareti interne, separate con una intercapedine dalle pareti esterne o da pareti a rischio di umidità (muri di fondazione, muri con risalita di umidità ecc.) si ottengono superfici interne più asciutte.

Naturalmente, come in tutti i casi, l'intonaco deve essere del tutto permeabile al vapore.

Ha più elevata resistenza termica, e pertanto:

- dà un migliore comfort abitativo nei diversi periodi stagionali;  
- a parità di resistenza termica della parete si hanno minori pesi dei muri strutturali o di tamponamento rispetto a pareti realizzate con materiali di conducibilità elevata, riducendo quindi l'impegno delle fondazioni e delle strutture, pur mantenendo una capacità termica ancora elevata.

Le pareti in laterizio alveolato hanno infatti una massa di circa  $820 \text{ Kg/m}^3$  (senza intonaco) se realizzate con blocchi con percentuale di foratura del 45%, fino a scendere a circa 500 con blocchi per tamponamento con percentuale di foratura del 60%.

Ciò consente uno sfasamento dell'onda termica decisamente buono ed una capacità termica a validi livelli;

- non richiede in generale l'impiego di strati isolanti puri;  
- possono essere realizzati muri monostrato (senza ricorrere quindi a muri con doppia parete), riducendo con ciò i costi e molte problematiche costruttive (solidarizzazione mutua delle doppie pareti; tempi e metodi di esecuzione; inserimento dello strato isolante; choc termico per irraggiamento solare della parete sottile esterna e del suo intonaco), migliorando il gradiente delle temperature esterno - interno nello spessore del muro, riducendo notevolmente il pericolo di condensazione del vapor d'acqua.

Si sente a volte dire che le pareti monostrato danno luogo a fenomeni di condensazione d'acqua sulla superficie interna. Evidentemente si tratta di pareti dimensionate con spessori (ovvero resistenze termiche) insufficienti. A parità di resistenza termica correttamente dimensionata, e di costo, le pareti monostrato hanno sempre un comportamento igrotermico migliore rispetto alle altre soluzioni.

Poiché i valori di trasmittanza vengono generalmente ricavati da certificati di prova, è bene ricordare che nelle prove di laboratorio la cura esecutiva e la modesta dimensione dell'elemento possono portare a risultati di trasmittanza migliori rispetto a quelli che si potranno avere, con gli stessi materiali, nella realtà.

Naturalmente, se una abitazione, termicamente dimensionata sui valori di laboratorio, viene terminata nel periodo invernale e

quindi con presumibile maggiore umidità, ed immediatamente abitata, presenterà una resistenza termica decisamente inferiore a quella ipotizzata e quindi potrà presentare fenomeni di condensa sulle superfici interne delle pareti esterne, soprattutto accentuate nelle zone d'angolo, notoriamente più disperdenti.

Un buon tecnico applicherà quindi un proprio "coefficiente di sicurezza" alle caratteristiche termiche certificate, e questo per qualunque tipo di materiale impiegato, o, in alternativa, ricorrerà ai valori tabellati dalla norma Uni 10355.

Ha maggiore deformabilità, pertanto:

- a parità di dimensione dei blocchi e di caratteristiche dei giunti di malta ha deformabilità maggiore rispetto a blocchi non alveolati. Ciò consente di incassare con minor pericolo di fessurazioni i cedimenti delle fondazioni.

Ha maggiore lavorabilità, pertanto

- in fase di costruzione possono essere segati agevolmente i blocchi per ottenere le dimensioni volute in lunghezza, in altezza, o per sagomare ad esempio mazzette.

- in fase di costruzione o meglio a muro costruito si può fresare per ottenere le tracce per l'inserimento di particolari di impianti elettrici, idraulici ecc.

E a basso rischio di gelività, pertanto:

- può essere usato per muri esterni anche in climi molto rigidi (l'intonaco semplicemente elimina l'assorbimento d'acqua meteorica battente);

Dove e come impiegare il laterizio alveolato risulta soprattutto una scelta del progettista (che opera anche per il committente) e del costruttore.

Volendo esaminare brevemente i vari tipi di parete, si possono delineare le seguenti posizioni:

1) la parete monostrato è la più interessante per contenimento di costi di realizzazione e ha un eccellente comportamento termico e igrometrico che aumenta con l'aumentare dello spessore.

2) la parete doppia con intercapedine è utile quando ovviamente si voglia realizzare un paramento a vista, ma va anche considerato che l'immissione di uno strato isolante eleva a piacere l'isolamento. L'intercapedine può essere utile in caso di protezione dalla pioggia battente (interessa poche località del territorio Italiano) o dall'irraggiamento solare. In quest'ultimo caso occorrono intercapedini aerate in modo che l'aria calda possa circolare e uscire all'esterno;

3) la parete monostrato o la parete doppia a due strati, questi fra loro di diverso peso e spessore, usate sia per separazione interna che perimetrale, forniscono, a parità di peso con altri tipi di

materiale, un migliore isolamento acustico per l'apporto positivo della alveolatura e per la minore elasticità;

4) è preferibile per le pareti portanti, in caso di maggiori sollecitazioni, aumentare il loro spessore piuttosto che la resistenza del laterizio: si guadagnerà in isolamento termico e acustico, si ridurrà la snellezza (al diminuire della snellezza, fermi restando gli altri fattori di calcolo, aumentano i carichi ammessi);

5) nei tamponamenti di elevata altezza (edifici industriali) possono essere utilizzati muri (generalmente monostrato) di maggiore spessore senza incrementare i pesi e, per questi due fattori, aumentando la stabilità.

## Prospetto delle prestazioni e delle caratteristiche delle murature monostrato in laterizio alveolato.

Nel prospetto di figura 25 sono riportati i seguenti grafici:

- peso frontale della parete e Tempo di essiccazione della parete (grafico a)
- isolamento acustico e Resistenza alla diffusione del vapore (grafico b)
- trasmittanza termica unitaria e Resistenza al fuoco (grafico c)
- portanza a metro lineare frontale (grafico d).

Tutti i grafici hanno un'unica ascissa: lo spessore della parete.

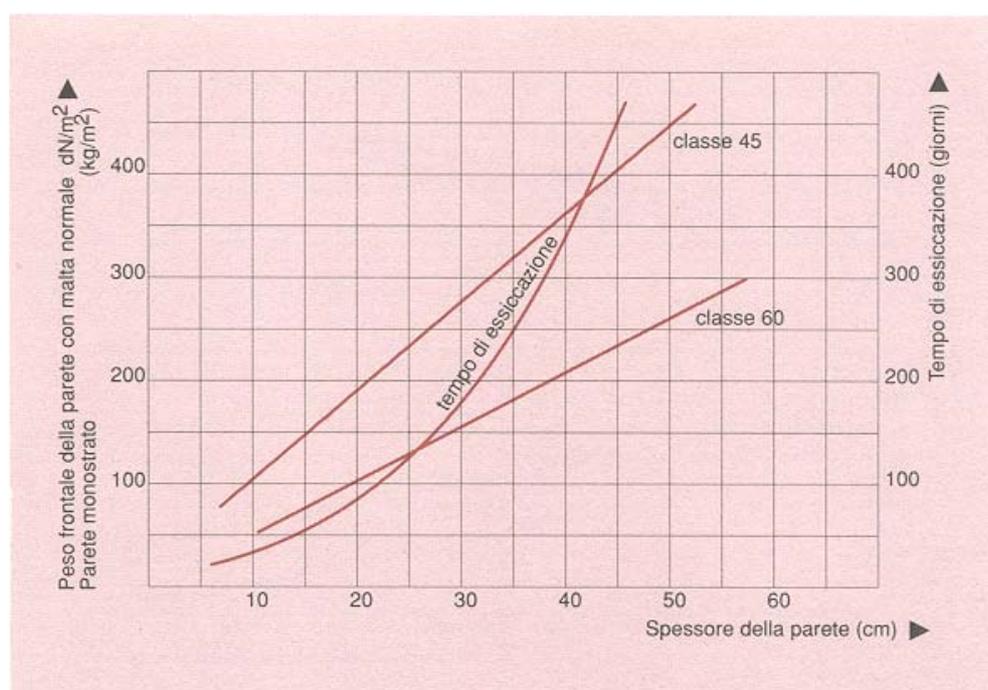
Il prospetto ha lo scopo di consentire, in modo orientativo, una rapida informazione comparata su prestazioni e caratteristiche dei muri in laterizio alveolato, fissando in partenza uno qualunque dei valori riportati in ascissa o sulle ordinate.

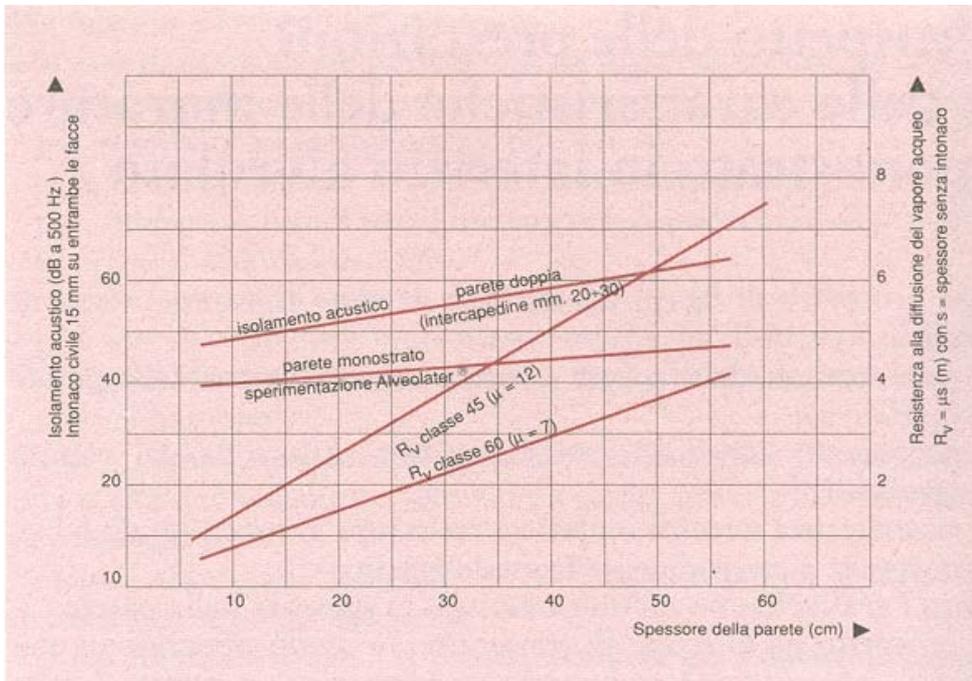
I singoli grafici mostrano i campi di variazione tra muri realizzati con laterizi semipieni ( $F/A = 45\%$ ) e laterizi forati ( $F/A = 60\%$ ); muri realizzati con laterizio alveolato con percentuale di foratura intermedia sono da considerare all'interno delle due linee tracciate.

E opportuno, in merito, fare le seguenti chiarificazioni:

- sono considerati quasi soltanto muri monostrato, in quanto le morfologie dei muri pluristrato presentano una estesissima variabilità;

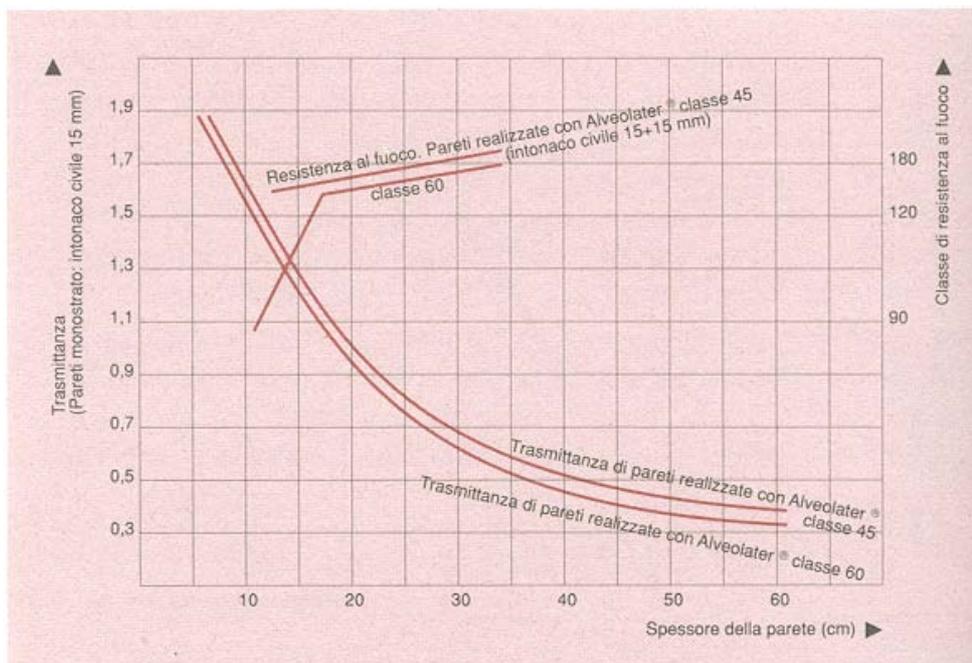
**Fig.25a – Peso frontale della parete e tempo di essiccazione in funzione dello spessore del muro e della percentuale di foratura del laterizio alveolato.**





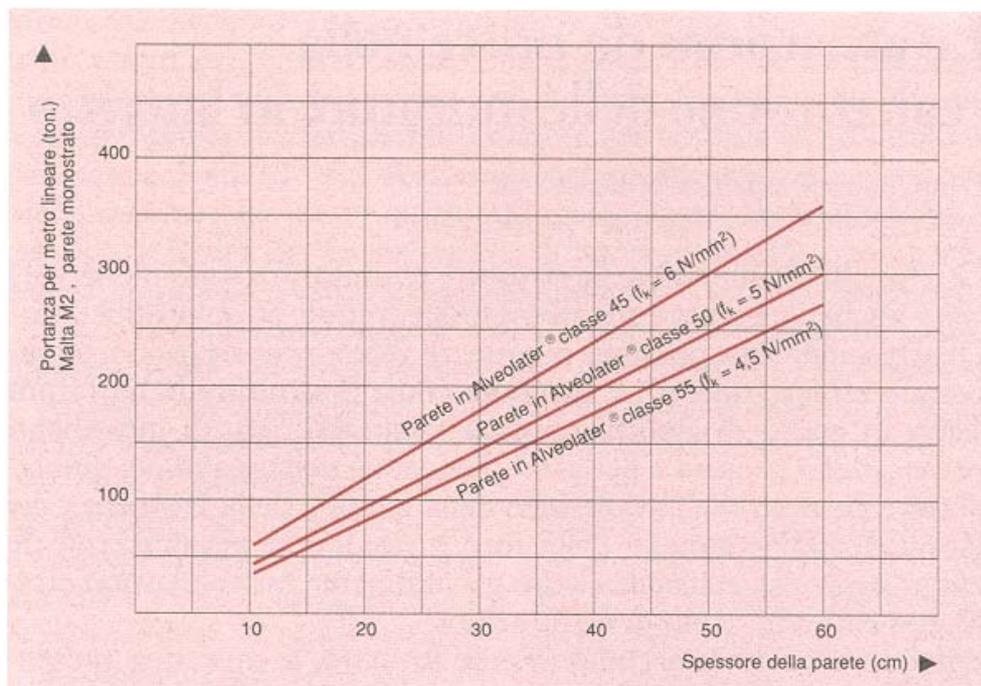
**Fig.25b – Isolamento acustico e resistenza alla diffusione del vapore d’acqua in funzione dello spessore del muro e della percentuale di foratura del laterizio alveolato.**

- la "portanza a metro lineare frontale" rappresenta solamente l'entità dei carichi massimi considerabili, ottenuti come prodotto di  $f_{bk}$  (resistenza caratteristica della muratura) per lo spessore del muro (da leggersi in ascissa) per un metro di lunghezza frontale di muro; il progettista dovrà ridurre convenientemente questa "portanza" tenendo conto di quanto indicato dal Decreto Ministeriale del 20 novembre 1987 "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento";
- il tempo di essiccazione rappresenta il numero di giorni, dal momento della realizzazione di un muro, che devono trascorrere in condizioni normali perchè l'umidità del muro stesso raggiunga l'equilibrio con l'ambiente.



**Fig.25c – Trasmittanza unitaria e resistenza al fuoco in funzione dello spessore del muro e della percentuale di foratura del laterizio alveolato.**

**Fig.25d – Portanza in funzione dello spessore del muro e della percentuale di foratura del laterizio alveolato.**



# Le attenzioni da porre nella realizzazione delle murature in laterizio

## Gli accorgimenti per contrastare i movimenti delle strutture in muratura

Le cause di movimenti nelle strutture in muratura sono numerose; sono anche, generalmente, inevitabili e, tuttalpiù, solo riducibili. Questi movimenti possono provocare vere e proprie lesioni se superano i limiti tollerati.

E ben noto come le strutture in muratura siano in grado di assorbire, senza fessurarsi, piccoli movimenti per elasticità propria e per plasticizzazione della malta dei giunti.

Si deve ritenere che la riduzione della entità e della frequenza dei giunti di malta nonché della loro attitudine a plasticizzarsi (le malte a più alta resistenza sono generalmente meno plasticizzabili) aumenti il pericolo di fessurazione.

Quando si usano blocchi di grande formato, le murature presentano una ridotta frequenza dei giunti di malta, ed è quindi necessario ricorrere ad una più attenta progettazione (forse sarebbe meglio dire: previsione) dei giunti di controllo (di spostamento e di dilatazione, che riguardano le murature e non l'intero edificio), e dei giunti di frazionamento che attraversano tutto l'edificio.

Le zone delle murature che richiedono una più attenta progettazione sono, senza ordine prioritario, le seguenti:

- 1) le linee di contatto tra tamponamento murario e struttura nei tamponamenti di strutture intelaiate,
- 2) in genere nelle murature di elevata estensione
- 3) i punti di contatto tra muri e solai
- 4) in corrispondenza di aperture
- 5) quando vi sono irregolarità di pianta o di prospetto nei muri
- 6) gli spigoli, quando vi giungono muri di elevata estensione

Il principio molto semplice di intervento, in sede progettuale e/o esecutiva, è di prendere provvedimenti per evitare che le lesioni si manifestino "spontaneamente".

I provvedimenti possono essere sostanzialmente di due tipi: il primo consiste nel realizzare la discontinuità con un giunto; il secondo è quello di impedire la lesione introducendo una armatura di rinforzo, barre o reti generalmente metalliche ma che possono essere anche di altra natura (fibre plastiche o naturali).

Le armature di rinforzo vanno concepite principalmente come fattori di distribuzione (di diluizione) degli sforzi e di legame fra le parti: esse pertanto non vengono generalmente dimensionate ma richiedono di essere distribuite, per dimensione e per qualità

resistive, "solamente" nelle zone dove si presumono concentrazioni di sforzi (cosa che certamente richiede più sensibilità che calcolo).

Il modo più corretto e ovvio di procedere è di realizzare giunti di discontinuità secondo le regole comunemente correnti e, invece, porre armature di rinforzo "secondo sensibilità" nelle zone che non consentono di realizzare giunti o dove non si intende realizzare giunti per motivi estetici e/o pratici.

L'ordine di grandezza dei fenomeni non è peraltro trascurabile. Vediamo alcuni casi esemplificativi.

Il coefficiente di dilatazione termica di murature in laterizio è  $3 \div 5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Pertanto l'andamento della dilatazione (o della contrazione) di un muro può essere come schematizzato nel grafico di figura 23.

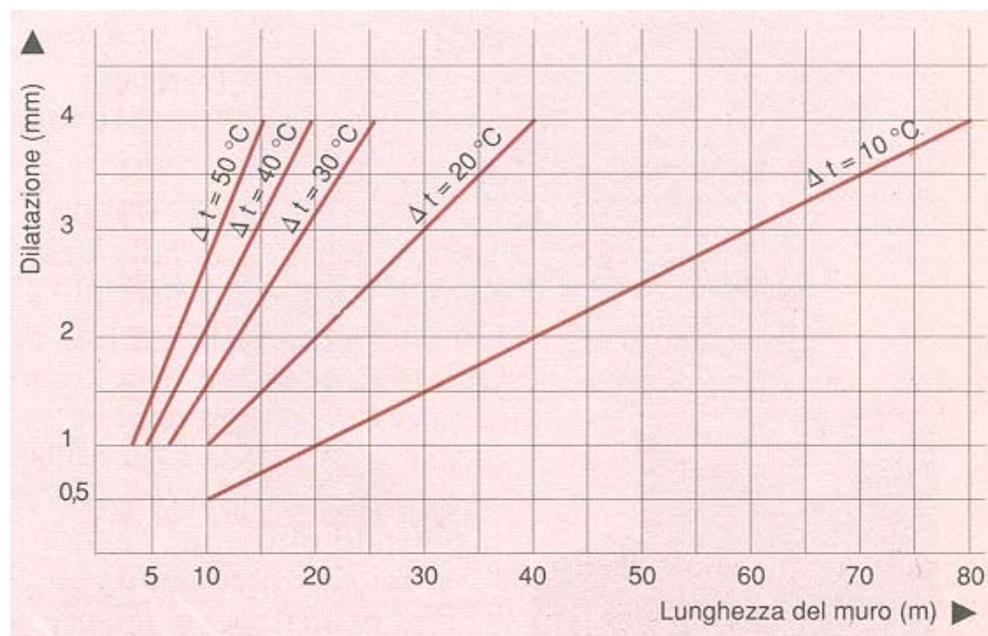
La variazione di temperatura ( $\Delta t$ ) può anche essere elevata ed è tanto maggiore quanto più un muro è esposto (è evidentemente più esposto un muro di recinzione di un muro incorporato in un edificio).

Ancora in condizioni peggiori risulta essere il muro esterno di una parete doppia con strato isolante nell'intercapedine. Qui l'isolante "respinge" gli irraggiamenti solari, con ciò accrescendo, unitamente agli irraggiamenti diretti, la temperatura del muro di paramento.

Non è improbabile che la temperatura di un muro di paramento esterno possa variare da  $-10 \div -5$  in inverno fino a  $+50 \div +60$  in estate, con  $\Delta t$  stagionali quindi dell'ordine di  $55 \div 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Dal grafico di figura 26 risulta che, per  $\Delta t = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$  si ha una variazione dimensionale di 2,5 mm già su di una estensione di parete di 10 metri.

**Fig.26 – Andamento della dilatazione in funzione del salto termico e della lunghezza del muro.**



Le variazioni dimensionali in aumento vengono, in tutto o in parte, assorbite da deformazioni elastiche e plastiche se il muro è confinato, ma si verificano invece fessurazioni se il muro ha libertà di movimento.

Gli effetti di natura termica vanno poi sommati algebricamente agli spostamenti dovuti ad altri fenomeni.

L'orientamento della letteratura, basata sull'esperienza dal vero, è quello di introdurre giunti di spostamento secondo i valori indicati nella tabella 6.

Questi valori tengono conto dei vari fattori all'origine delle deformazioni, ma in condizione di regolarità di pianta e di sezione dell'edificio.

In presenza di irregolarità (non allineamento in pianta e/o in sezione verticale dei muri, accostamento a strutture molto rigide o molto elastiche, possibilità di esposizioni differenziate da zona a zona al sole e/o agli agenti atmosferici) si devono "opportunamente" ridurre i valori tabellati.

Il fenomeno delle deformazioni non va trascurato; oltre a causare fessurazioni, esso può introdurre sollecitazioni di notevole rilievo.

Supponiamo che un muro in laterizio:

- sia stato messo in opera a temperatura di +10 °C, raggiunga la temperatura di +35 °C e abbia un coefficiente di dilatazione termica di  $5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;
- abbia un tasso di rigonfiamento per umidità (irreversibile) di  $200 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ ;
- abbia un ritiro per essiccazione (irreversibile) di  $50 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ ;
- sia lungo 10 m, alto 2,70 m, e sia confinato ai due lati da una struttura di telaio;
- abbia uno spessore di 30 cm.

La variazione dimensionale in orizzontale per effetto termico è:

$$\Delta l_t = (35 - 10) \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = +0,125 \text{ cm}$$

per effetto del ritiro per essiccazione è

$$\Delta l_e = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = - 0,05 \text{ cm}$$

per rigonfiamento è

$$\Delta l_r = 200 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = +0,2 \text{ cm}$$

La variazione dimensionale totale è:

$$\Delta l_{\text{tot}} = +0,125 + 0,2 - 0,05 = + 0,275 \text{ cm}$$

La forza messa in atto risulta quindi:

$$F = E_{\text{muro}} \cdot A_{\text{muro}} \cdot \Delta l_{\text{tot}} / l$$

con  $E_{\text{muro}} = 50000 \text{ daN/cm}^2$

$$A_{\text{muro}} = 30 \cdot 270 = 8100 \text{ cm}^2$$

da cui

$$F = 50000 \cdot 8100 \cdot 0,275 / 1000 = 111375 \text{ daN (kgf)}$$

con una tensione  $s$  sulla superficie di contatto del pilastro (supposto il muro tutto aderente e per tutta la superficie) pari a

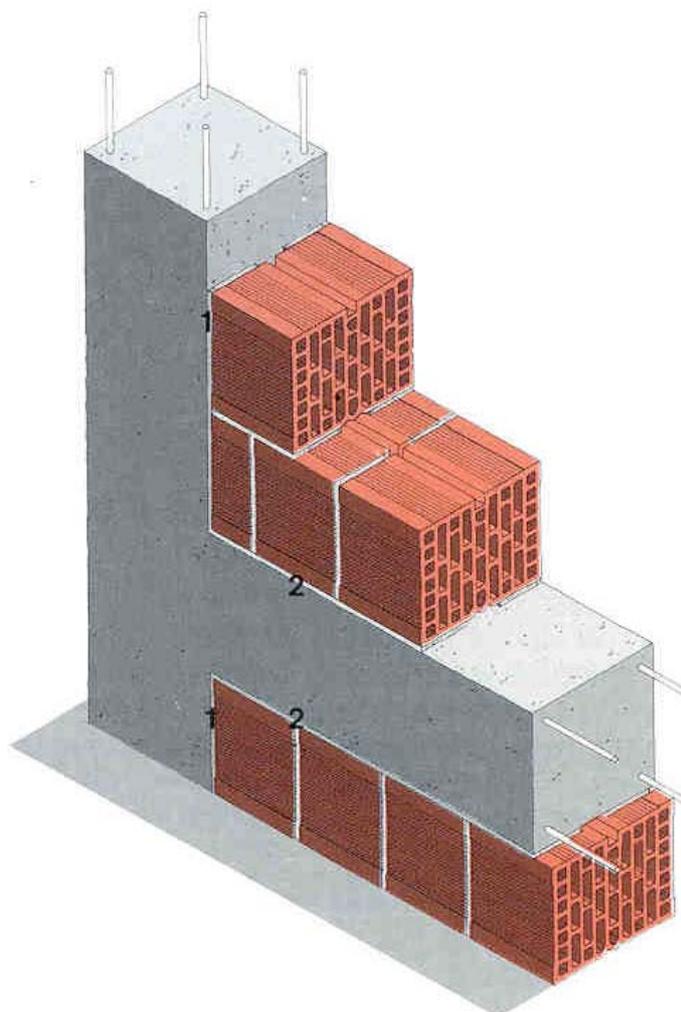
$$F/A = 111375/8100 = 13,75 \text{ daN/cm}^2 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}.$$

Questo calcolo non tiene conto dei ritiri della struttura intelaiata in calcestruzzo (con relativo solaio) e dei suoi spostamenti elastici, per azione delle varie sollecitazioni agenti. Sono due fatti generalmente di segno opposto che vanno valutati di volta in volta, potendo oltretutto l'uno o l'altro essere prevalenti.

**Fig.27 – Giunti di deformazione in un muro di tamponamento a vista.**

*Legenda*

1. *materiale resiliente e sigillante;*
2. *materiale comprimibile sigillante*



Tornando ai sei casi precedenti, con i quali si elencavano le situazioni che richiedono maggiore attenzione, le principali soluzioni costruttive sono le seguenti:

1) Nei tamponamenti di strutture intelaiate

Poiché le linee di contatto tra strutture e tamponamenti possono essere sede di fessurazioni, nel caso la struttura rimanga a vista, fatte salve le esigenze di isolamento termico e acustico, è attuabile la soluzione con giunti di deformazione (fig. 27).

Quando il muro è intonacato, si possono ricoprire con una fascia a rete (metallica o plastica) le linee di contatto. Con ciò si diffonde (riducendolo) l'effetto di cavillatura e si solidarizza lo strato di intonaco.

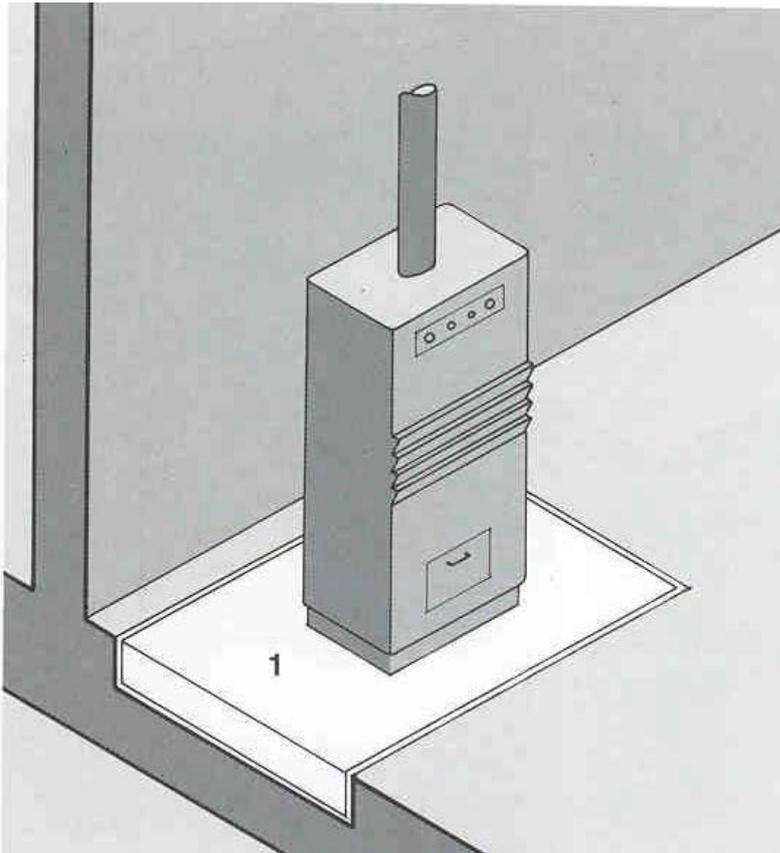
Questa soluzione è giustificata quando le dimensioni della parete di tamponamento sono tali da far attendere spostamenti importanti; quando si prevedono forti sbalzi termici o quando si è in presenza di notevoli getti di calcestruzzo che facciano presumere forti ritiri (fig. 28).

Nel caso il tamponamento debba anche foderare esternamente o internamente la struttura (in particolare il pilastro), si ricorrerà ad armatura di rinforzo.

Le barre saranno poste a corsi alterni, con diametro di 5 o 6 mm, e comunque, per quanto riguarda le dimensioni, giunti di malta e diametro dei rinforzi dovranno essere al massimo nel rapporto 2/1. Anche l'uso di reti a fili sottili, in metallo o in plastica, favorisce il contenimento delle lesioni dovute agli spostamenti.

La rete viene stesa su di uno strato di rasante-aggrappante fresco, nel quale viene il più possibile fatta incorporare.

Si procede con l'intonaco solo a presa avvenuta del rasante (in genere è già possibile il giorno dopo la sua applicazione). La rete deve essere piuttosto ampia, con un ricoprimento di 15 ÷ 30 cm oltre le zone di possibile fessurazione.



**Fig.28 – Esempio di semplice soluzione per la riduzione dei rumori.**

*Legenda*

*1. appoggio su culla galleggiante*

2) Nelle murature di grande estensione superficiale.

Qui i giunti di spostamento devono essere previsti e realizzati secondo la tabella VII. Particolare attenzione va posta in corrispondenza di sezioni di minore resistenza, per esempio quando estese superfici piene sono interrotte da finestrate, o altre aperture, verticalmente allineate.

Per situazioni particolari, come angoli o come nodi con tre o più muri convergenti, si può indifferentemente ricorrere ad armature di rinforzo e/o di ripartizione da porre (a seconda dell'entità degli spostamenti e/o delle forze attese) o nella muratura (per fenomeni importanti) o nell'intonaco (per fenomeni modesti).

**Tabella VII – Distanza dei giunti di spostamento per costruzioni in muratura di laterizio alveolato.**

|                                 | Con solai in calcestruzzo (m) | Con solai in laterocemento (m) | In presenza di importanti getti in cis. (m) | Con strutture intelaiate (m) |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|------------------------------|
| Forti escursioni termiche ~ 50° | 6÷8                           | 8÷10                           | 5÷8   | 6÷10                         |
| Medie escursioni termiche ~ 25° | 10÷15                         | 12÷20                          | 10÷12                                       | 10÷18                        |
| Basse escursioni termiche < 10° | 15÷30                         | 20÷30                          | 15÷25                                       | 18÷25                        |

3) Nei punti di contatto fra muri e solai.

Le linee di contatto tra muro e solaio, sia al piede del muro che in sommità, sono alcune delle zone in cui più frequentemente possono verificarsi cavillature o piccole lesioni.

Queste linee di contatto sono presenti sia negli edifici a muratura portante che in quelli a struttura intelaiata.

Per la superficie esterna si può adottare la soluzione di figura 29. La rete metallica oltrepassa verso l'alto e verso il basso di almeno 10 ÷ 15 cm lo spessore del cordolo del solaio della trave.

Sono da evitare le soluzioni con materiale isolante posto tra tavella e cordolo-trave (Fig. 30). L'isolante, eventualmente posto con lo scopo di ridurre il ponte termico in corrispondenza della struttura orizzontale, provoca sbalzi termici notevoli sull'intonaco e/o sulla tavella con conseguenti fessurazioni.

Per la superficie interna si può fare riferimento alla soluzione di figura 31.

**Fig.29 – a sinistra: come ridurre le cavillature nelle superfici esterne.**

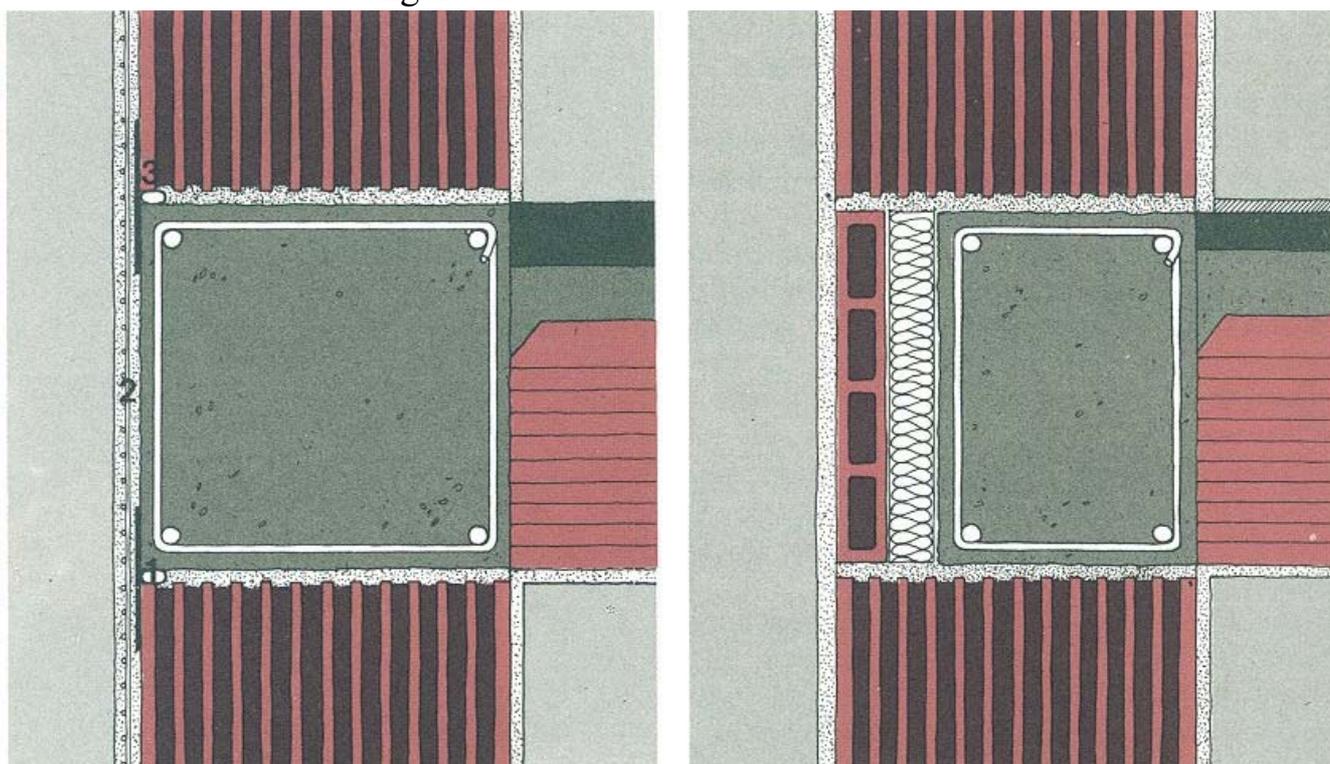
Legenda:

1. cordone di elastomero;

2. rete metallica fine – maglia 1-2 cm

3. foglio di distacco

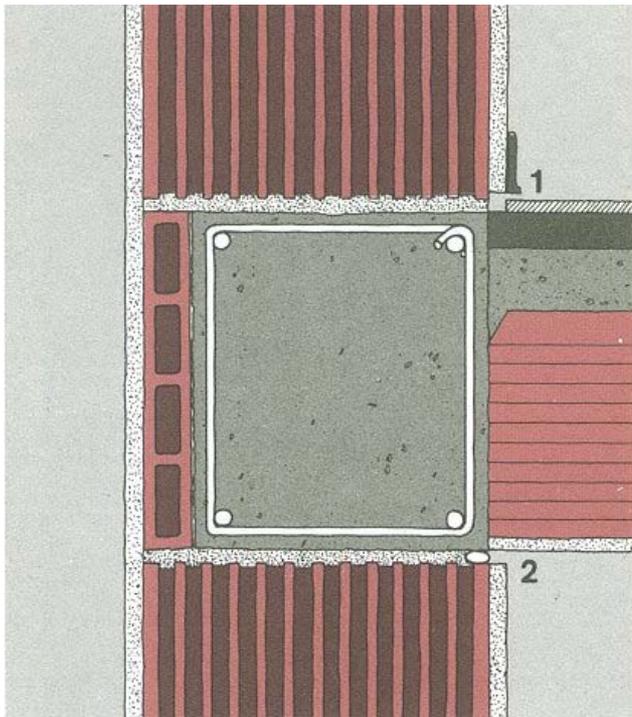
**Fig. 30 – a destra: l'isolante posto fra cordolo e tavella può causare cavillature nell'intonaco.**



#### 4) In corrispondenza di aperture.

Si è già visto come la presenza di aperture allineate possa essere un fattore di possibili lesioni, soprattutto quando siano presenti superfici murarie dell'edificio di ampie dimensioni.

Le aperture possono comunque essere causa di lesioni se sono poste in modo da non consentire una discesa semplice e lineare dei carichi fino alle fondazioni. In questi casi sarà fondamentale l'uso di rinforzi nella muratura prevalentemente costituiti da barrette, reti metalliche, tralicci piani da incorporare nei letti di malta.



**Fig.31 – Come ridurre le cavillature all'interno.**

*Legenda:*

1. *giunto di interruzione;*
2. *interruzione dell'intonaco ed eventuale cordone di elastomero.*

Le zone ove inserire rinforzi, non sempre localizzate in corrispondenza dei cordoli armati orizzontali, sono caratterizzate da azioni di scorrimento o di flessione.

Le azioni di scorrimento si verificano:

- per la presenza di aperture che "deviano" le azioni verticali;
- per la presenza di strutture inclinate spingenti nel piano del muro.

Le azioni di flessione sono date dalle azioni orizzontali, quando agenti su ritti murari, o dalle forze verticali sovrastanti aperture per le quali sia temibile l'influenza dell'architrave.

Il progettista o l'esecutore potranno intervenire introducendo nelle aree presumibilmente sollecitate in modo anomalo i rinforzi che, come si è già detto, possono essere costituiti da barre sottili, reti o tralicci piani.

#### 5) In presenza di irregolarità di pianta o di prospetto.

Una parte delle soluzioni si è già incontrata quando si è parlato delle murature di grande estensione superficiale.

Le irregolarità di pianta e di prospetto spesso introducono delle brusche variazioni sia nei flussi delle tensioni che nelle capacità resistive delle strutture. Se ciò accade, è molto probabile che si

abbiano lesioni. Negli sbalzi, ad esempio, può accadere che le mensole (comunque realizzate) abbiano deformazioni eccessive e portino a cavillare le murature.

Anche quando vi sono differenze sensibili nei volumi dei corpi che costituiscono l'edificio può insorgere una lesione di "frazionamento" fra i corpi stessi. Gli interventi vanno previsti in fondazione e nei muri di elevazione, sempre che non si voglia prevedere l'esecuzione di un giunto di frazionamento.

6) Negli spigoli, quando vi giungono muri di elevata estensione. Delle attenzioni da rivolgere agli spigoli salienti o rientranti degli edifici si è già fatto cenno in precedenza. Le cause di deriva e/o di rotazione dei muri convergenti in un nodo a spigolo sono quelle già note: non provengono soltanto da fatti termici o igrometrici ma anche da ritiri.

Questi ultimi sono particolarmente da temere nei forti getti di calcestruzzo, soprattutto se orditi in modo unidirezionale, come può accadere per pannelli e lastre.

E necessario che i cordoli di solaio sui muri e gli incatenamenti orizzontali tra i muri a livello dei solai siano eseguiti come prescrivono le norme sugli edifici in muratura e sulla esecuzione dei solai.

Le soluzioni consigliate sono:

- porre armature secondo norma risvoltanti nell'angolo del cordolo di solaio;
- introdurre armature di diametro di 5 o 6 mm come rinforzo nei letti di malta, facendole risvoltare nell'angolo per una lunghezza di almeno  $4\div 5$  volte lo spessore  $t$  del muro;
- realizzare un giunto di discontinuità (con ciò rinunciando all'effetto scatolare della struttura);
- realizzare un incatenamento verticale, meglio se unito ad armature disposte nei letti di malta.

Qualora nei nodi fosse riconoscibile la presenza di muri di controventamento, si dovrà osservare quanto indicato nel Decreto Ministeriale 20 novembre 1987.

### **Principali accorgimenti per migliorare l'isolamento acustico**

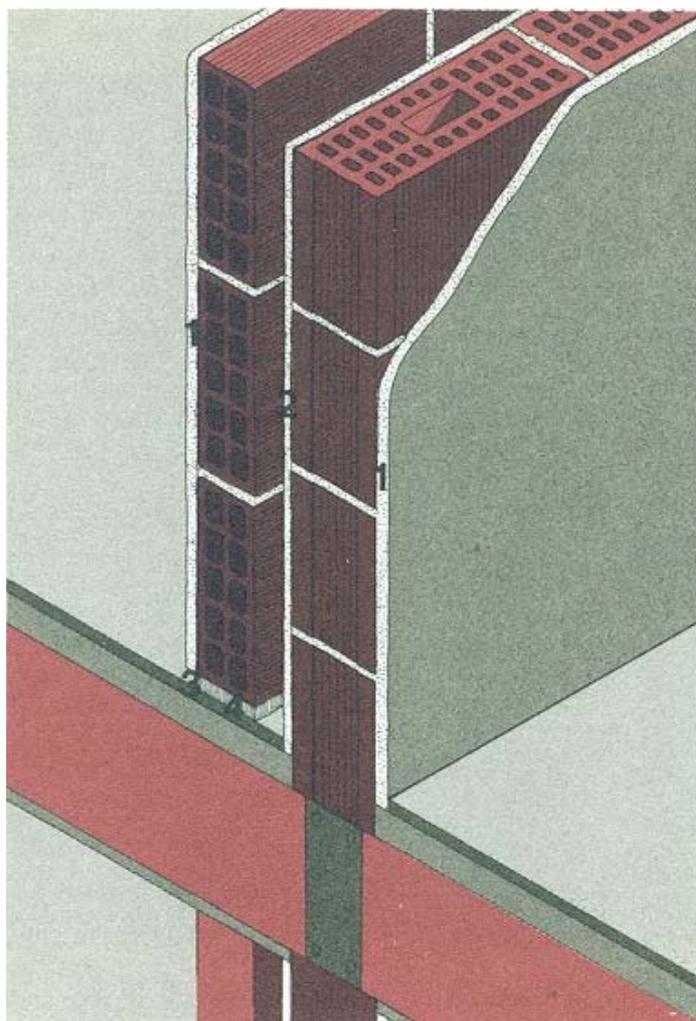
Per migliorare l'isolamento acustico, la parete semplice o doppia in muratura, va intonacata accuratamente sulle due facce visibili e, nel caso di parete doppia, è utile un rinzaffo sulla faccia non in vista della parete più pesante.

E' bene anche che la parete appoggi su di una base elastica ogni qual volta ciò risulti possibile. Se il muro doppio ha una parete portante, che pertanto non sarà possibile poggiare su una base elastica, sarà almeno la parete meno pesante a poggiare su una base elastica (fig. 32).

Per i particolari impiantistici, che sono sorgenti di rumore, si può provvedere al loro distacco dalle pareti con facili soluzioni tecniche.

In tutti i muri divisorii, in presenza di pavimento galleggiante, gli intonaci e gli zoccoli battiscopa devono essere staccati di circa 1,5 cm dal pavimento stesso.

Anche per la sommità dei tramezzi sarà vantaggioso utilizzare un materiale elastico come banda di raccordo con il soffitto (questa soluzione è necessaria anche quando si vuole evitare che, per flessione, il solaio vada a caricare la parete).



**Fig.32 – Parete non portante montata su base elastica.**

*Legenda:*

1. intonaco di spessore pari o superiore a 1,5 cm;
2. rinforzo;
3. interruzione dell'intonaco
4. base elastica.

# La qualità

## Il concetto di qualità

Ancora oggi convivono due logiche di qualità del laterizio:

- la **qualità prestazionale**, intesa come la capacità del prodotto di rispondere a requisiti e prestazioni prefissate indipendentemente dalle caratteristiche geometriche;
- la **qualità geometrica**, ossia la rispondenza del prodotto a standard di progetto dai quali è lecito presumere determinate qualità del prodotto.

Entrambe le logiche hanno validità e le norme oggi in vigore hanno saputo coglierne i vantaggi. Esempi di qualità prestazionale sono le indicazioni del Decreto Ministeriale 24 gennaio 1996 (Norme sulle costruzioni in zona sismica) sulla resistenza minima a compressione dei blocchi artificiali semipieni ( $80 \text{ kg/cm}^2$  a carico verticale,  $20 \text{ kg/cm}^2$  nel piano della muratura); le indicazioni del Decreto Ministeriale 20 novembre 1987 (Norme sulle costruzioni in muratura in zona non sismica) riportate alla prima riga della tabella A, dalla quale è possibile presumere una resistenza caratteristica minima  $f_{bk}$  degli elementi pieni e semipieni di  $20 \text{ kg/cm}^2$  e analogamente dalla tabella B una resistenza caratteristica a taglio in assenza dei carichi verticali  $f_{vko}$  di  $2 \text{ kg/cm}^2$ ; il valore del coefficiente di variazione  $\delta$  (rapporto fra la stima dello scarto quadratico medio e la media aritmetica della resistenza dei singoli elementi), limitato a 0,2 per i materiali da muratura. Questo è un punto veramente importante in quanto l'analisi comparativa di molte normative internazionali, documentata in una pubblicazione dal titolo "Considerazioni sulla sicurezza nel calcolo agli stati limite della muratura" del prof. G. Macchi, mostra come il coefficiente di sicurezza debba aumentare in modo incontrollabile quando la dispersione si avvicina al 20 per cento. Un materiale di qualità non può ammettere dispersioni elevate: bisogna invece che la produzione sia costante. Questa considerazione permette di ricordare un concetto oggi alla base del controllo di qualità: individuare un opportuno livello di prestazione, sintesi tecnica di progetto ed economica di produzione, e raggiungerlo con continuità ed affidabilità. Ma sono ugualmente importanti le indicazioni geometriche. È solo attraverso le prescrizioni geometriche infatti che sul cantiere è possibile verificare l'immediata rispondenza alle norme in vigore e presumere, con ampi margini di attendibilità legati alle numerosissime esperienze di laboratorio, le caratteristiche prestazionali richieste. Fra le prescrizioni geometriche vanno elencate le indicazioni sugli spessori minimi delle pareti e dei

setti, la limitazione sulle percentuali di foratura e sulla dimensione massima dei fori, le tolleranze dimensionali, la numerosità e la posizione delle eventuali fessurazioni, indicazioni previste dalla Uni 8942, per i materiali da muro, i limiti di peso specifico apparente e di peso dell'argilla cotta alleggerita.

### **Il controllo di qualità nei laterizi**

Nel futuro prossimo, anche le imprese produttrici di laterizio si avvieranno a produrre in regime di qualità totale, orientando cioè la politica aziendale a “produrre qualità” attraverso sistemi di controllo interno permanente, a garanzia che la produzione avvenga in regime controllato e costante e che i prodotti soddisfino ai requisiti di qualità previsti; qualità che oggi significa funzionalità, affidabilità, costanza di prestazioni, idoneità all'uso, soddisfazione del cliente. Produrre in regime di qualità totale è essenziale perché, come ha rilevato nei suoi principi informativi il Comitato Europeo di normalizzazione che ha redatto le norme En 29000, le specifiche tecniche sul prodotto non possono da sole garantire che le esigenze del cliente siano realmente soddisfatte se si possono verificare carenze non tanto nelle specifiche, ma nel sistema organizzativo che progetta e realizza il prodotto. Nell'attesa che la produzione in regime di qualità totale diventi norma del settore, l'attenzione va posta, anche se con un approccio forse riduttivo, al prodotto.

### **La certificazione delle prestazioni del prodotto**

La certificazione ufficiale delle prestazioni del prodotto oggi è richiesta con cadenza semestrale dal Decreto Ministeriale 24 gennaio 1986 e con cadenza annuale dal Decreto Ministeriale 20 novembre 1987. Una certificazione con questa limitata frequenza può essere attestazione di effettive caratteristiche del prodotto solo se collegata all'autocontrollo di stabilimento e cioè all'attuazione delle prescrizioni della norma En 29002. In caso contrario rimarrebbe quasi soltanto un adempimento burocratico sia per il produttore, adempimento fra l'altro piuttosto oneroso, sia per il direttore dei lavori e per il collaudatore. Tuttavia è un primo importante passo da compiere e l'Andil Assolaterizi pubblica periodicamente l'Albo dei prodotti certificati, nel quale sono riportate le certificazioni ottenute dai vari produttori, suddivise per tipologia di prodotto e complete della data di emissione. L'obiettivo finale è l'istituzione di un rigoroso “Marchio di qualità”.

### **La qualità della posa in opera**

Una elevata qualità del prodotto richiede una altrettanto elevata qualità della posa in opera.

I blocchi di formato standard devono essere completati con blocchi speciali che consentano di risolvere correttamente i punti singoli della costruzione. Ad esempio, nel caso di muratura di blocchi con posa in opera a fori orizzontali, in corrispondenza degli angoli devono essere inseriti blocchi a foratura verticale, che consentano di conservare omogeneità di comportamento termico della muratura: in alcuni casi, come nei formati quadrati 25x25 cm, è sufficiente, ma lo si fa molto raramente, ruotare il blocco per avere angoli correttamente eseguiti. In mancanza di pezzi speciali che formino quindi “sistema di muratura”, in cantiere si ricorre alla rottura dei pezzi di maggior formato, causando però un indebolimento dell’elemento e di conseguenza modificando la distribuzione delle tensioni nel muro. Analogamente sono da evitare le murature realizzate con elementi di caratteristiche diverse, e cioè con diverse percentuali di foratura, diverso tipo di argilla, diverso formato. Sarebbe veramente inutile limitare il coefficiente di dispersione e poi utilizzare elementi di caratteristiche assolutamente diverse. Per migliorare le caratteristiche termiche di una muratura in laterizio alveolato è consuetudine porre in opera i blocchi con giunti di malta interrotti, e spesso soltanto con giunti orizzontali, lasciando libere le pareti verticali, allo scopo di creare camere d’aria di interruzione dei ponti termici dovuti appunto ai giunti. In questo modo si toglie ai giunti di malta il compito fondamentale di livellamento, di omogeneizzazione delle superfici di appoggio e di eliminazione delle concentrazioni di tensioni. Per quanto il comportamento della muratura ai carichi verticali non venga sostanzialmente modificato, varia invece in modo rilevante il comportamento alle sollecitazioni taglienti. Se quindi il direttore dei lavori o il calcolatore della struttura in muratura decidono di ricorrere alla posa in opera a giunti interrotti, dovranno necessariamente verificare con prove sperimentali il comportamento del muro indipendentemente dalla percentuale di foratura dei blocchi: alle murature con giunti discontinui non è possibile applicare i valori riportati nella tabella A del Decreto Ministeriale 20 novembre 1987.

E’ però sicuramente meglio ricorrere a malte premiscelate di buone caratteristiche meccaniche e progettate per fornire ottime prestazioni termiche impiegandole per la formazione dei giunti continui.

## Conclusioni

I produttori di laterizio associati al Consorzio Alveolater° oggi offrono prodotti rispondenti alle normative in vigore, che essi stessi hanno auspicato e promosso, controllati in stabilimento e certificati, e si avviano alla produzione in regime di qualità totale. I prodotti in laterizio si sono arricchiti di nuove tipologie con prestazioni di livello elevato. Con questi nuovi componenti si possono realizzare costruzioni avanzate ed evolute impiegando il laterizio, che ancora oggi rappresenta la scelta di migliore equilibrio fra tutte le esigenze di una costruzione, e presenta caratteristiche positive in tutti i campi che influiscono sul benessere ambientale (permeabilità al vapore, accumulo termico, isolamento termico), sulla durabilità e sulla affidabilità strutturale delle costruzioni (elevata massa, posa relativamente semplice, semplicità di gestione e di manutenzione).

I progettisti hanno normative di riferimento recenti, aggiornate e sostanzialmente allineate con le future norme europee. E possibile, nel rispetto e nell'adempimento rigoroso dei rispettivi compiti e doveri, fornire agli utenti, che da sempre esprimono apprezzamento per le costruzioni tradizionali in laterizio, un prodotto di elevata qualità complessiva.