

*I quaderni del Consorzio Alveolater®*

**4**

A cura di Giorgio Zanarini

# Costruire senza difetti

Suggerimenti per la progettazione  
e l'esecuzione di murature  
e solai in laterizio

 **alveolater**

Esaminando, anche superficialmente, le strutture in muratura (portante o di tamponamento; in mattoni o in blocchi; in pietra naturale o in laterizio), si notano spesso sugli intonaci cavillature o fessure molto sottili, la cui origine, senza considerare le conseguenze dei cedimenti di fondazione o di altre cause importanti (ad esempio errori di calcolo e di dimensionamento strutturale), è quasi sempre dovuta a disattenzioni esecutive o a dimenticanze progettuali.



L'elenco di questi difetti vede, senza ordine di importanza:

- fessurazioni orizzontali in corrispondenza dei cordoli di solaio, oppure uno o due corsi più in basso;
- fessurazioni ad andamento orizzontale fra gli spigoli superiori di due o più finestre contigue;
- fessurazioni agli angoli del fabbricato, interessanti entrambe le pareti convergenti, con andamento "a scaletta";
- fessurazioni su muri apparentemente scarichi;
- cavillature a ragnatela sull'intonaco che, a volte, possono seguire il profilo dei blocchi sottostanti;
- fessurazioni fra le strutture in cemento armato e le pareti di tamponamento in laterizio;
- fessurazioni nell'incontro fra muro e cornicione di gronda;
- fessurazioni delle pareti divisorie
- fessurazione di origine varia.

Sono quasi sempre cavillature o fessure molto sottili; ma le fessure, anche se sottili, in condizioni particolari possono consentire infiltrazioni d'acqua e quindi causare nel tempo problemi non solo estetici, ma anche funzionali.

(La scala Rainer definisce molto sottili le fessure fino a 1 mm; sottili fra 1 e 5 mm; moderate da 5 a 15 mm; gravi oltre 15 mm).

Analogamente nella realizzazione dei solai in laterocemento la dimenticanza di alcune attenzioni progettuali ed esecutive può essere causa di fenomeni negativi anche di non trascurabile entità. Nelle pagine che seguono si evidenzieranno alcuni problemi e si daranno alcuni suggerimenti.

Le informazioni relative alle murature e, in parte, ai solai, derivano da esperienze e osservazioni dirette.

Per i solai si è fatto anche ampio riferimento ad articoli apparsi su vecchi numeri della rivista *Costruire* (64 e 65/1971), ancora oggi validi, al "Manuale dei solai in laterizio" edizioni Laterconsult 1994 oltre che ad articoli apparsi più di recente sulla rivista "Costruire in Laterizio", organo ufficiale ANDIL-Assolaterizi.

## **Fessurazioni orizzontali in corrispondenza dei cordoli di solaio, oppure uno o due corsi più in basso**

Il Decreto Ministeriale 20 Novembre 1987 al punto 1.3 prescrive, al fine di un adeguato comportamento degli edifici, che tutti i muri debbano avere, per quanto possibile, funzione sia portante che di controventamento e affida ai solai il compito di ripartire le azioni orizzontali fra i muri di controventamento. I solai devono quindi essere di adeguata rigidezza.



Al punto 1.3.1. stabilisce poi che tutti i muri devono essere collegati ai solai mediante cordoli dei quali, al punto 1.3.1.1., vengono definite dimensione e armatura. Stabilisce infatti che la larghezza deve essere pari ad almeno  $2/3$  della muratura sottostante e comunque non inferiore a 12 cm; l'altezza deve essere pari a quella del solaio, e comunque non inferiore alla metà dello spessore del muro; l'armatura minima deve essere di  $6 \text{ cm}^2$  (e comunque non inferiore allo 0,6 per cento dell'area del cordolo) con diametro dei ferri non inferiore a 12 mm per i primi tre piani a partire dall'alto, mentre in ogni piano sottostante l'armatura deve essere aumentata di  $2 \text{ cm}^2$  a piano. Le staffe devono avere diametro non inferiore a 6 mm, poste a distanza non superiore a 30 cm.

***Fig.1 – La fessurazione in corrispondenza del cordolo di solaio.***

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

L'uso della soletta armata è ormai generalizzato, ma nel caso si realizzi un solaio "rasato" con l'impiego di blocchi collaboranti di tipo b), quando la luce supera m 4,50 il collegamento deve essere assicurato mediante cordoli di irrigidimento trasversale.

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

Queste prescrizioni e queste consuetudini, certamente corrette dal punto di vista strutturale, possono però causare il primo dei difetti lamentati.

Calcestruzzi gettati con elevato rapporto acqua/cemento o di granulometria fine, non sufficientemente protetti in fase di maturazione, possono avere ritiri liberi molto elevati, anche dell'ordine di 1600–1800  $\mu$ /m, che rimangono notevoli anche nel caso siano contrastati dall'aderenza con il laterizio.

Ritiri di questa entità non possono scaricarsi solo localmente, all'interno della soletta stessa, e necessariamente si evidenziano anche in corrispondenza dell'interfaccia muro-cordolo perimetrale. Se poi il calcestruzzo del cordolo e le malte di allettamento sono penetrate profondamente all'interno dei fori del laterizio (quando è posto in opera a fori verticali, come avviene quasi esclusivamente nelle struttura a blocchi portanti) il collegamento è ancora più resistente e lo spostamento dovuto al ritiro può evidenziarsi più in basso e nelle zone di minor resistenza (fig. 1).

Questo spiega perché a volte le fessurazioni sono più basse rispetto al cordolo e, quando si è in presenza di aperture contigue, compaiono in corrispondenza degli spigoli superiori dei vani finestra, che costituiscono un elemento di debolezza del paramento murario (fig. 2).

Analoghi difetti possono essere causati anche da solai troppo deformabili. La deformazione genera una rotazione agli appoggi che tende o a sollevare il cordolo, staccandolo dalla muratura sottostante, o a caricarlo eccentricamente, creando lesioni che possono apparire anche più in basso, per il meccanismo di collegamento prima ricordato (fig. 3).

Inoltre tempi esecutivi troppo rapidi possono portare all'esecuzione del (o dei) piano superiore prima che i calcestruzzi utilizzati per il getto dei solai e delle solette abbiano espletato interamente il loro ritiro idraulico, che si completa quindi successivamente e a scapito della integrità della parete.

Le soluzioni possono essere varie e di varia complessità.

- 1) Realizzare correttamente la muratura, con giunti di malta continui sia in verticale che in orizzontale; con il giusto sfalsamento dei blocchi; con giunti di malta di spessore costante e mai inferiore a 5 mm (meglio ancora se compresi fra 10 e 15 mm). Nel caso dei blocchi, lo sfalsamento minimo ammesso nella letteratura tedesca e dal futuro Eurocodice 6, e che può essere assunto valido anche per le nostre costruzioni, è pari a  $S = 0,4 H$ ; con  $H$  = altezza del blocco espressa cm.
- 2) Assicurarci che i mattoni e i blocchi siano giustamente bagnati (internamente saturi d'acqua ma con superficie asciutta), in modo che risulti massima l'adesione fra malta e laterizio.
- 3) Montare i solai soltanto quando la muratura abbia raggiunto la necessaria resistenza ai carichi verticali, in modo da evitare qualunque sollecitazione che possa provocare la rottura dei giunti di malta non ancora induriti a sufficienza.



- 4) Porre attenzione alla rigidità dei solai, che devono quindi essere di buona altezza, superiore cioè allo spessore minimo ammesso dalla normativa attuale (1/25 o a 1/30 della luce a seconda che si tratti di solai ad armatura lenta o precompressi) che va inteso come limite inferiore di riferimento e non, come spesso accade, spessore vincolante da non superare.
- 5) Proteggere la soletta in calcestruzzo dall'irraggiamento diretto o comunque mantenerla bagnata a sufficienza per i primi giorni dopo il getto, in modo da contenere il valore finale del ritiro.
- 6) Rivestire il cordolo con materiali omogenei con tutto il paramento murario, e quindi con tavole in laterizio, messe in opera quando la struttura muraria avrà esaurito gran parte dei movimenti di assestamento.

*Fig.2 – La fessurazione in corrispondenza dell'architrave delle finestre.*

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

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



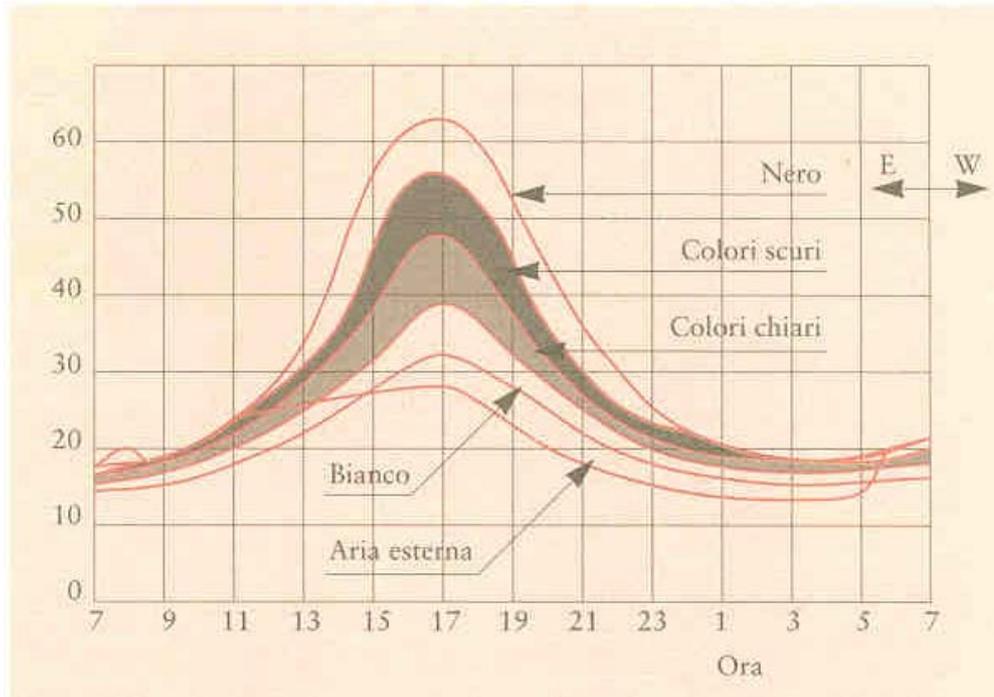
**Fig.3 – La fessurazione dovuta alla rotazione del solaio.**

Questi ultimi suggerimenti comportano però decisioni e assunzioni di responsabilità di competenza esclusiva del progettista strutturale, che è il solo in grado di valutare il regime statico della costruzione.

Per le fessure presenti immediatamente sotto il solaio di copertura, sempre ad andamento rettilineo, è possibile individuare anche un'altra causa, ugualmente attendibile.

Se la copertura è realizzata mediante solai piani in laterizio, e l'impermeabilizzazione viene eseguita con guaine bituminose impermeabili, sia che le guaine presentino una superficie tinteggiata in alluminio riflettente, sia che abbiano colore scuro, sotto l'azione del soleggiamento raggiungono temperature molto elevate. Con temperature dell'aria esterna variabile da 15 a 28 °C nell'arco della giornata, superfici di colori chiari possono arrivare a temperature di 45 °C circa mentre colori scuri, o neri possono

portare a temperature fino a 60-70 °C con punte di 80-90 °C (vedi fig. 4). Se non è stato previsto alcun isolamento, anche il solaio si porta a valori molto vicini a quelli indicati. L'alternanza delle temperature (del giorno rispetto alla notte, dell'estate rispetto all'inverno) causa dilatazioni e contrazioni cicliche che, se non previste, vengono trasmesse dal solaio di copertura ai muri sottostanti, lesionandoli in corrispondenza dei punti più deboli (giunti di malta orizzontali fra i blocchi, soprattutto in corrispondenza di aperture di porte e finestre fra loro a modesta distanza).



*Fig.4 – Andamento delle temperature in funzione del colore delle superfici.*

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

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

### **Fessurazioni agli angoli del fabbricato, interessanti entrambe le pareti convergenti, a volte con andamento "a scaletta"**

Le cause sono sostanzialmente le stesse elencate al punto precedente; i difetti possono tuttavia presentarsi con maggiore intensità in quanto negli angoli si sovrappongono le tensioni provenienti da due direzioni. Si hanno torsioni spaziali e gli angoli della piastra di solaio tendono a sollevarsi. La fessura si assottiglia a mano a mano che ci si allontana dall'angolo (vedi fig. 5). Come è intuitivo, il difetto si evidenzia con maggiore frequenza nelle strutture a copertura piana, soprattutto quando non esistono carichi dovuti a parapetti, a cornicioni o a sporti.

Nel caso il progetto lo consenta, si interverrà:

- 1) caricando l'angolo con una muratura sovrastante;
- 2) realizzando un cornicione a forma di trave in altezza, sufficientemente rigida e armata.

Si segnala la soluzione proposta in pubblicazioni straniere, che consiste nella realizzazione di un giunto nell'angolo, mediante il taglio della soletta.

Un ancoraggio dell'angolo del solaio al muro sottostante potrebbe non dare alcun vantaggio in quanto non sarebbero comunque impediti le dilatazioni termiche.

### **Fessurazioni su muri apparentemente scarichi**

Si tratta di un caso particolare e legato al progetto del fabbricato. Lo si riporta tuttavia per evidenziare la numerosità e, in un certo senso, la complessità delle cause che possono portare a cavillature nelle pareti in muratura.



***Fig.5 – La fessurazione nell'angolo e in prossimità dello sporto in calcestruzzo***

Nel caso un muro di separazione fra due alloggi contigui prosegua oltre l'incrocio con la parete di facciata, allo scopo ad esempio di delimitare delle aree di giardino privato nelle costruzioni a schiera, possono verificarsi delle piccole fessure orizzontali in corrispondenza di un giunto di malta.

La responsabilità è certamente da imputare alla asimmetria del carico.

All'interno infatti il muro è caricato dal solaio, mentre all'esterno è completamente scarico.

La deformazione e quindi l'abbassamento sotto carico della parte interna deve convivere con la porzione esterna non caricata e quindi non deformata. Si apre inevitabilmente una fessura sulla parte esterna non caricata.

Inoltre all'esterno il muro sarà soleggiato e quindi raggiungerà temperature ben più alte di quelle interne, soprattutto nel caso di tinteggiature di colore scuro. Il muro esterno tenderà ad aumentare di lunghezza naturalmente più della parete interna e il diverso allungamento causerà fessurazioni che si sommeranno a quelle dovute al differente carico.

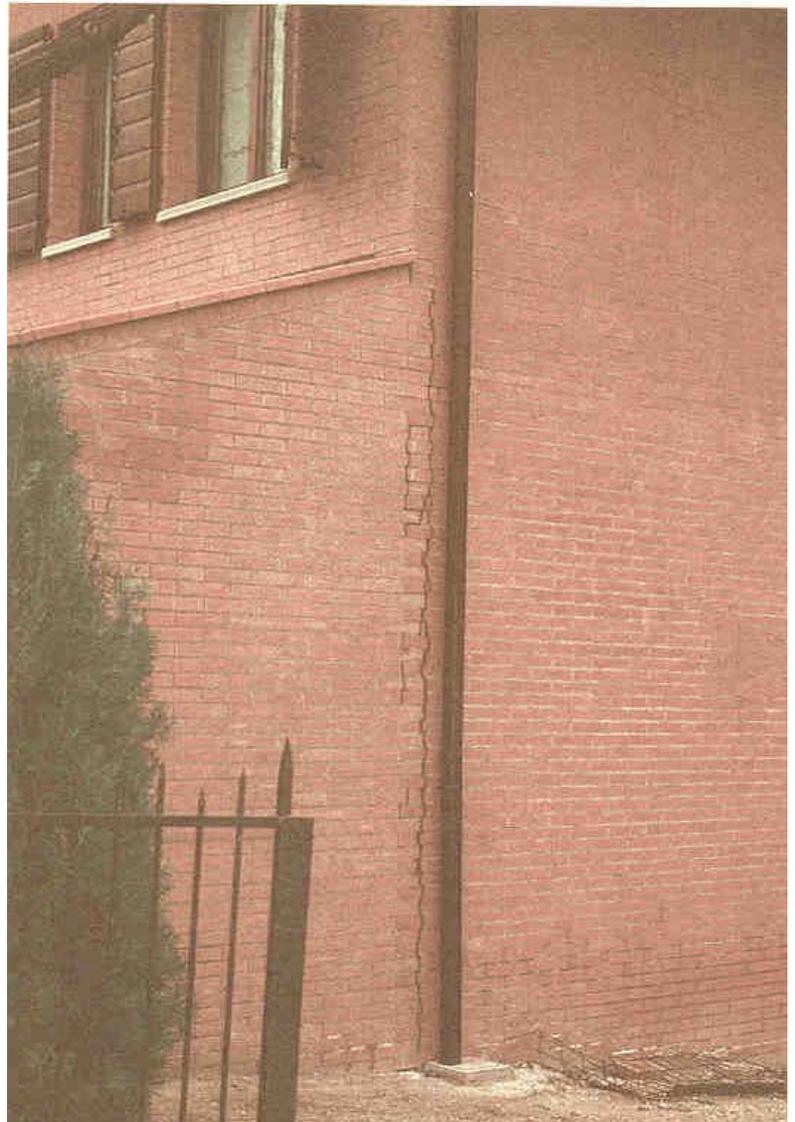
Un caso analogo è riportato nella figura 6.

Il muro di confine, scarico, è fessurato per diverso regime statico e termico. In questi casi è bene che questo muro sia staccato dal muro portante perimetrale, e abbia quindi sufficiente spessore e rigidità per un comportamento autonomo.

### **Cavillature sugli intonaci**

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

Il rinzaffo, fatto con inerti a granulometria più grossa e con elevato dosaggio di leganti, regolarizza il supporto e lo prepara in modo da assicurare buona aderenza agli strati successivi.



Nel secondo strato, con prevalenti funzioni di tenuta e di impermeabilità, il minore dosaggio di leganti consente di limitare il ritiro.

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

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

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

***Fig.6 – Giunto “spontaneo” in un muro esterno non caricato.***

Oltre alla bagnatura della parete, indispensabile, sono particolarmente importanti le condizioni ambientali al momento dell'intonacatura: pareti eccessivamente calde, soleggiate o battute dal vento e bassa umidità relativa dell'aria (il ritiro aumenta sensibilmente al diminuire dell'umidità ambiente) non sono certo condizioni ideali per eseguire buone intonacature. La figura 7 è relativa ad un fabbricato nel quale l'intonaco del piano superiore ha subito fortissime cavillature mentre al piano inferiore, protetto dallo sporto e quindi riparato dal soleggiamento diretto, non ha mostrato alcun difetto.



***Fig.7 – Intonaci fessurati per eccessivo soleggiamento (al primo piano) e integri (al piano terreno) perché protetti dallo sporto.***

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

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

In sintesi quindi per contenere le cavillature sugli intonaci è necessario:

- 1) costruire la muratura con giunti di malta verticali e orizzontali ben costipati, senza vuoti o rientranze rispetto ai blocchi;
- 2) bagnare il muro prima delle operazioni di intonacatura;
- 3) porre particolare attenzione alle condizioni termoigrometriche evitando di operare con temperature troppo elevate, vento, umidità ambiente troppo bassa (le condizioni ideali sono quelle comprese fra i 5 e i 20 °C, con  $U_r$  pari al 50% circa);
- 4) realizzare l'intonaco almeno a due strati;
- 5) consentire la maturazione dello strato di rinzafo prima di posare lo strato di corpo e finitura;
- 6) bagnare l'intonaco per qualche giorno;
- 7) tinteggiare solo a indurimento avvenuto.

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

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

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

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

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

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

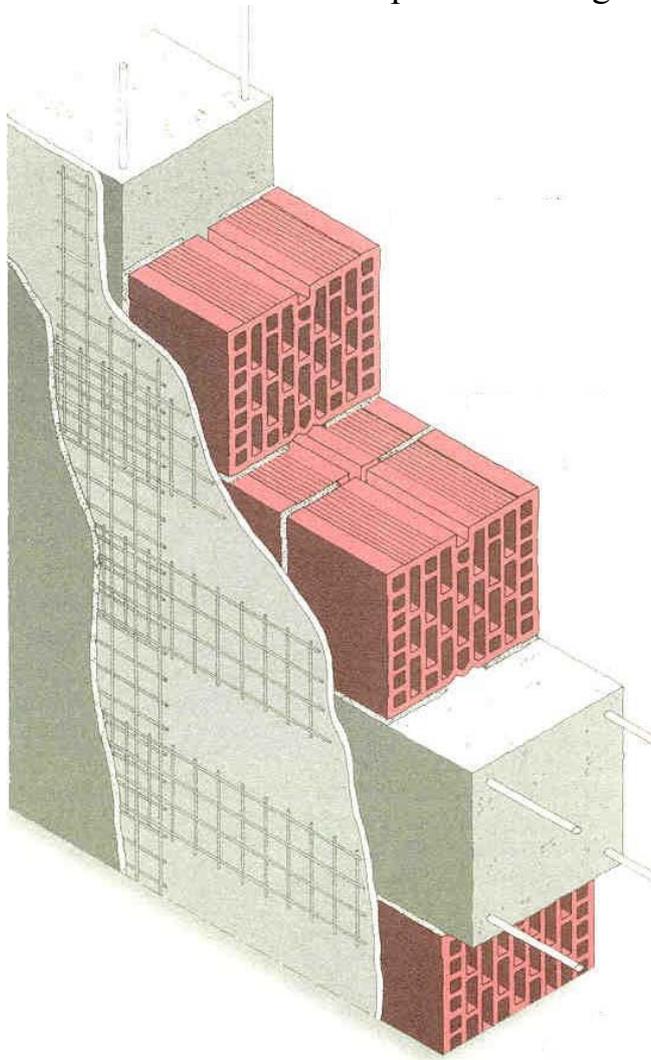
Fra le cause della presenza di cavillature nell'intonaco, potrebbe avere influenza anche la dilatazione all'umidità del laterizio.

L'entità varia in funzione della composizione dell'argilla ed è generalmente inferiore a 0,4 mm/m, senza apprezzabili differenze

fra laterizio normale e laterizio alveolato.

Tuttavia, perché la dilatazione all'umidità possa essere concausa di cavillature, devono verificarsi queste coincidenze negative:

- utilizzo del laterizio immediatamente dopo l'uscita dal forno;
- posa in opera di laterizio asciutto;
- intonacatura eseguita immediatamente dopo la posa e senza preventiva bagnatura del muro.



**Fig.8 – Rinforzo dei punti di contatto fra struttura e tamponamento mediante reti in metallo o in fibra di vetro.**

In queste condizioni il laterizio può esaurire la parte di dilatazione irreversibile (quella cioè che si verifica per assorbimento di umidità ambientale dopo l'uscita dal forno), ed esplicitare quella reversibile, dovuta all'assorbimento dell'acqua di impasto dell'intonaco, soltanto durante la posa dell'intonaco e in contrapposizione al ritiro dell'intonaco stesso. La parte irreversibile si sommerà al ritiro dell'intonaco. La parte reversibile contribuirà a evidenziare più o meno le cavillature in funzione delle condizioni termoigrometriche ambientali. Sono comunque condizioni eccezionali che ben raramente si verificano, tutte e insieme, nella pratica. Di questi problemi spesso si parla, ma probabilmente in cantiere non è mai stato fatto un rilievo accurato né tanto meno si sono seguite le lavorazioni del muro e dell'intonaco allo scopo di individuare le cause alle quali poter far risalire i difetti. Per questo, nel 1995, l'Istituto Edile e il Consorzio Alveolater® hanno attivato una sperimentazione, realizzando muri e intonaci e simulando i metodi esecutivi tradizionali e metodi affrettati e approssimativi, purtroppo possibili sui cantieri.

Questo per capire se i difetti degli intonaci possano essere evitati con semplici attenzioni esecutive, indipendentemente dai tipi di intonaco usati e dalle caratteristiche del laterizio impiegato.

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

La muratura delle pareti di riferimento, in mattoni Uni a due teste e in blocchi alleggeriti in pasta con spessore di 30 cm, è stata eseguita con giunti di malta verticali e orizzontali ben costipati, senza vuoti o rientranze, in modo da garantire le presumibili condizioni ideali per l'intonaco. Nell'intonaco tradizionale a tre strati, sul rinzaffo eseguito da due giorni è stato steso il "corpo" e nella stessa giornata sul corpo è stato fatto il terzo strato di finitura, eseguito con sabbia fine, calce e cemento.

Le pareti prima, e successivamente il rinzaffo, sono state accuratamente bagnate per evitare l'assorbimento da parte del supporto dell'acqua di impasto dell'intonaco e quindi ridurre il rischio della formazione di crepe per eccessiva rapidità di asciugatura.

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

In un caso l'intonaco è stato realizzato in modo tradizionale, a tre strati, ma senza bagnare il supporto.

In una serie di muri di prova si è applicato un intonaco fibrorinforzato, allo scopo di contrastare il ritiro mediante fibre di polipropilene di dimensioni di circa 1 cm, ritenendo che questo intonaco, relativamente nuovo, possa costituire una proposta adeguata alle nuove esigenze dei cantieri, in grado cioè di adattarsi e di ben sopportare, grazie alle caratteristiche innovative, l'accelerazione dei cicli costruttivi.

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

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

Le variabili sono state:

- laterizio normale o alveolato
- mattoni 12x25x5,5 e blocchi alveolati 30x25x19
- confezione del muro molto accurata o grossolana
- intonacatura in tre strati o in un solo strato
- supporto bagnato o non bagnato
- intonaco mantenuto bagnato o meno.
- intonaco confezionato a mano o preconfezionato (anche fibrorinforzato).

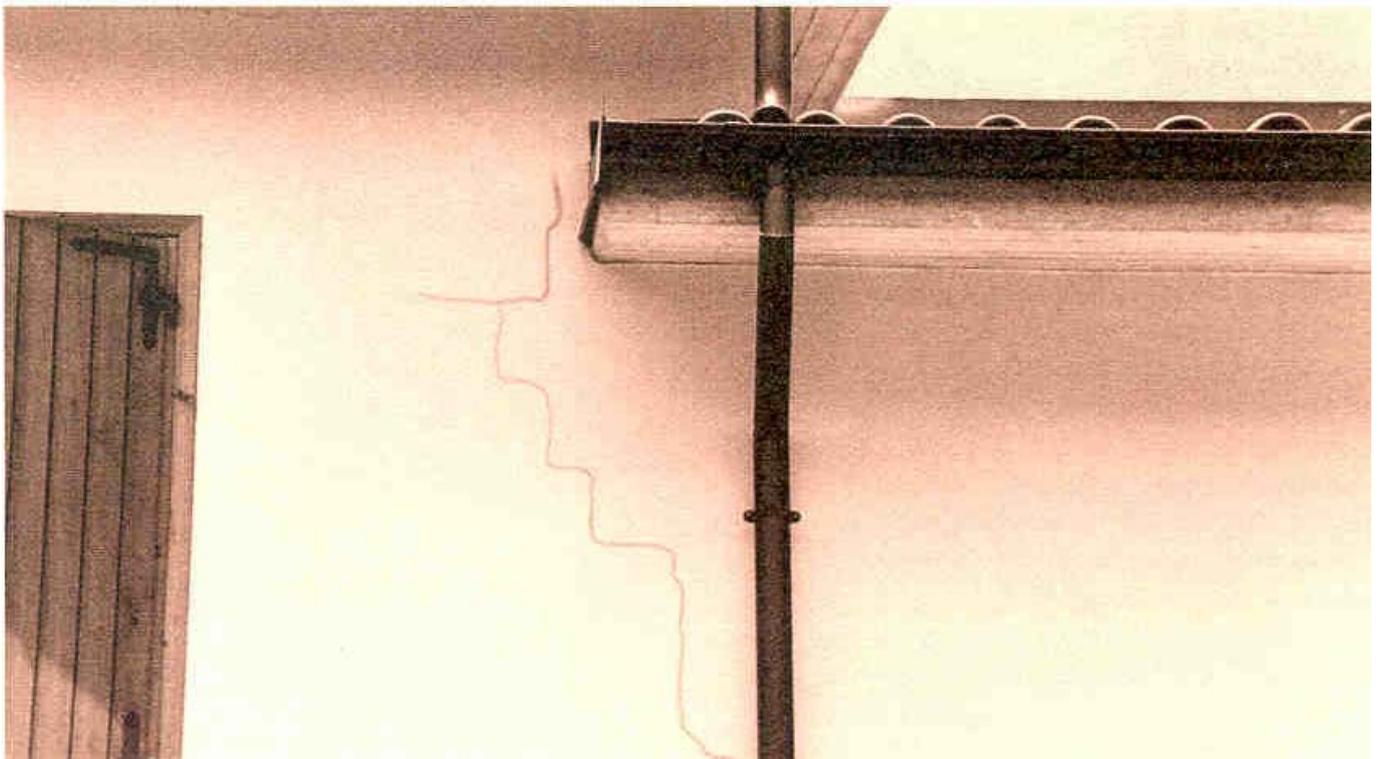
Si è riscontrato che intonaci monostrato, ad alto dosaggio di cemento, messi in opera senza la preventiva bagnatura del supporto, e non bagnati dopo la posa, manifestano in tempi brevi un diffuso insorgere di cavillature. Intonaci a tre strati, anche posati senza bagnatura del muro, ma mantenuti successivamente umidi, hanno dato un ottimo risultato. Ugualmente bene si è comportato un intonaco monostrato a granulometria abbastanza grossolana. L'intonaco premiscelato ha dato complessivamente un risultato soddisfacente; con l'intonaco premiscelato fibrorinforzato è stato possibile intonacare su supporto asciutto (e senza bagnatura successiva dell'intonaco) limitando quasi completamente l'insorgere di cavillature. Allo stato attuale sembra quindi che possa essere considerato un materiale compatibile con le nuove esigenze di cantiere.

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

L'indagine proseguirà per verificare anche l'eventuale influenza della conducibilità termica e della dilatazione termica lineare, decisamente più basse nel laterizio alveolato rispetto al laterizio tradizionale, (prove sperimentali hanno fornito valori di  $\lambda$  di 0,35 W/mK per il laterizio alveolato e di 0,65 W/mK per il laterizio tradizionale; valori di  $\alpha$  variabili da 1,8 a  $7,2 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  per il laterizio alveolato e da 3,5 a  $10,8 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  per il laterizio tradizionale, in entrambi i casi in funzione della composizione delle argille).

### **Fessurazioni fra le strutture in cemento armato e le pareti di tamponamento in laterizio.**

La linea di contatto fra struttura in cemento armato e il tamponamento in laterizio è di frequente zona di fessurazioni. Il diverso coefficiente di dilatazione termica, soprattutto in presenza di pareti soleggiate e con tinteggiatura scura, può generare distacchi già in campiture di modeste dimensioni.



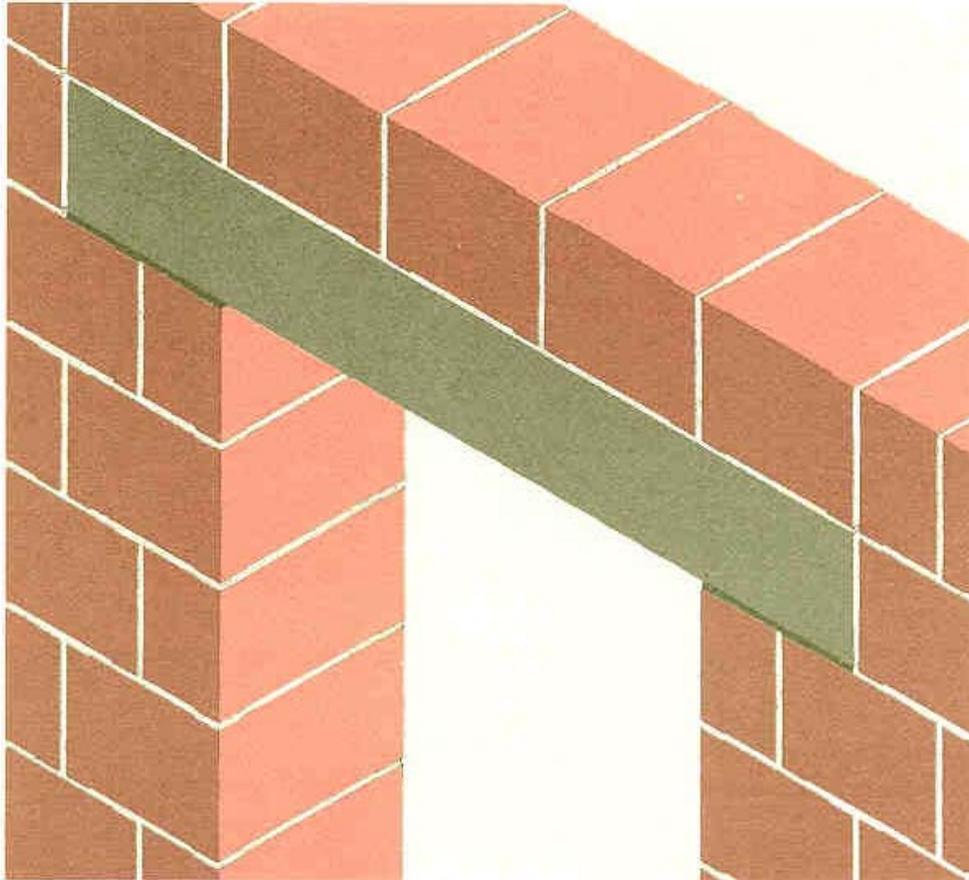
***Fig.9 – La deformazione del cornicione produce lesioni verticali sul muro del corpo più alto del fabbricato.***

Si possono ridurre gli effetti delle dilatazioni termiche operando in modi diversi:

- evidenziando le zone di distacco, facendo cioè in modo che la fessura si verifichi in un punto previsto;
- opponendosi alla fessurazione localizzata cercando di diffonderla.

Nel primo caso sarà necessario "marcare" la linea di contatto fra struttura e muratura, appoggiando il tamponamento su di un materiale comprimibile e sigillante e interponendo fra pilastro e muratura un materiale resiliente e sigillante.

I materiali di sigillatura accetteranno le deformazioni termiche dei diversi materiali e, mantenendosi integri, eviteranno la penetrazione di acqua meteorica.



*Fig.10 – Come consentire i movimenti degli architravi in calcestruzzo armato.*

Nel secondo caso invece si inserirà nell'intonaco, in corrispondenza delle prevedibili zone di lesioni, una sottile rete metallica o in fibra di vetro, estesa fino a 20–30 cm oltre le zone interessate (vedi fig. 8). Nel caso la muratura di tamponamento foderi esternamente la struttura i rischi sono certamente minori ma è bene applicare le stesse attenzioni. Come ricordato in precedenza, interessanti esperienze si stanno facendo con l'impiego di intonaci rinforzati con fibre di polipropilene che, proprio per la presenza di questa armatura diffusissima che aumenta grandemente la resistenza a trazione dell'intonaco, riescono a diffondere in maniera ampia le fessure da ritiro.

### **Fessurazioni nell'interfaccia muro-cornicione di gronda.**

Si evidenziano in corrispondenza della variazione di altezza dei fabbricati, quando il cornicione della parte bassa si innesta nella muratura del corpo di fabbrica più alto.

Non sono da confondere con le lesioni che si hanno nella zona di variazione di altezza di un fabbricato per diverso carico sulle fondazioni o per diverse caratteristiche delle fondazioni stesse.

Possono anche verificarsi quando gli sporti in calcestruzzo assumono spessori e dimensioni rilevanti.

Senza dubbio la causa è da ricercare inizialmente nel ritiro idraulico del calcestruzzo e successivamente negli spostamenti dovuti alle deformazioni termiche del cornicione di gronda che, impedito dalla mancanza di libertà di movimento, si trasformano in lesioni (vedi fig. 9).

Dove il cornicione si innesta nella muratura, bisognerà quindi prevedere un giunto, sigillando successivamente con materiali elastici.

### **Fessurazioni in corrispondenza di architravi di porte e finestre**

Quando hanno dimensioni rilevanti, e comunque oltre la lunghezza di 1,2 – 1,5 m, gli architravi devono avere la possibilità di muoversi indipendentemente dalla struttura in muratura. Bisognerà pertanto lasciare uno spazio libero di almeno 10 mm per consentire il movimento. Naturalmente bisognerà poi procedere alla sigillatura. Nel caso di architravi prefabbricati, sarà anche essenziale che abbiano esaurito tutto il ritiro idraulico prima di essere inseriti nella muratura (fig. 10)

***Fig.11 – Muretto di recinzione con giunti ogni 4 metri.....***



## Fessurazioni su muretti di recinzione

Rientrano certamente fra le fessurazioni di minore gravità; sono comunque molto diffuse e, nelle illustrazioni qui presentate, dovute alla dimenticanza di due semplici attenzioni: il giunto di dilatazione, quando la lunghezza del muro è elevata, e la compatibilità fra i materiali impiegati.

La figura 11 mostra una recinzione con giunti di dilatazione ogni 4 m, realizzati con l'interruzione del muro. I collegamenti fra le varie partite sono però realizzati con blocchetti di cemento (fig. 12). La diversa dilatazione termica fra laterizio e calcestruzzo è la causa delle fessurazioni, che possono essere evitate attraverso collegamenti scorrevoli.

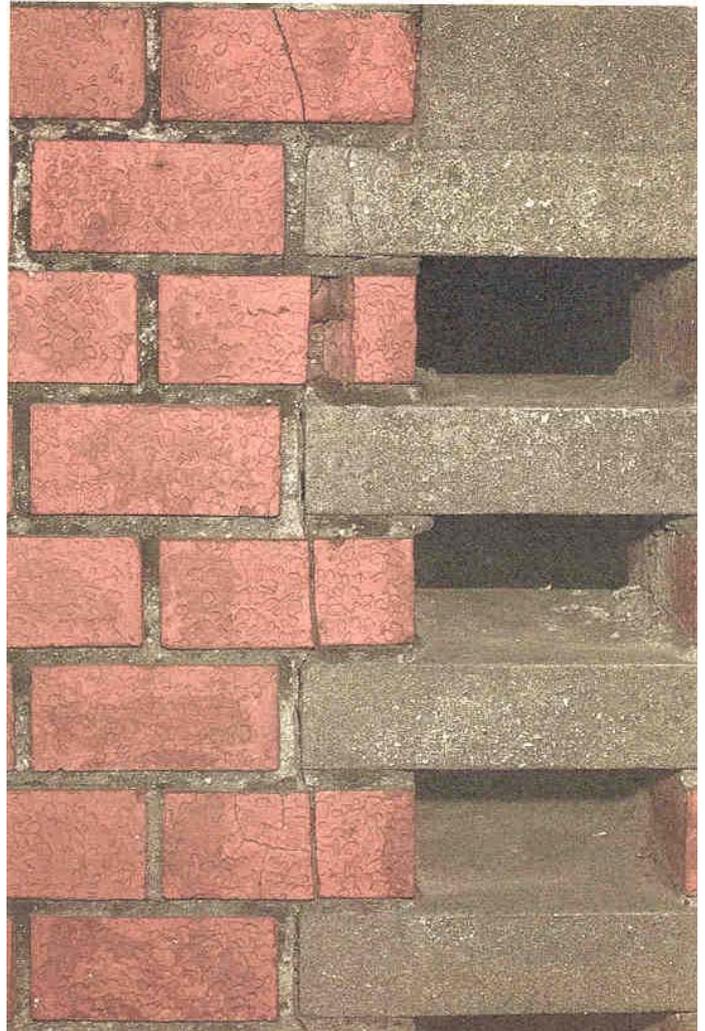
## Fessurazioni nei tramezzi

Una parete relativamente rigida, poggiante su di una trave o una soletta, non sempre può seguire le deformazioni di questi elementi senza lesionarsi.

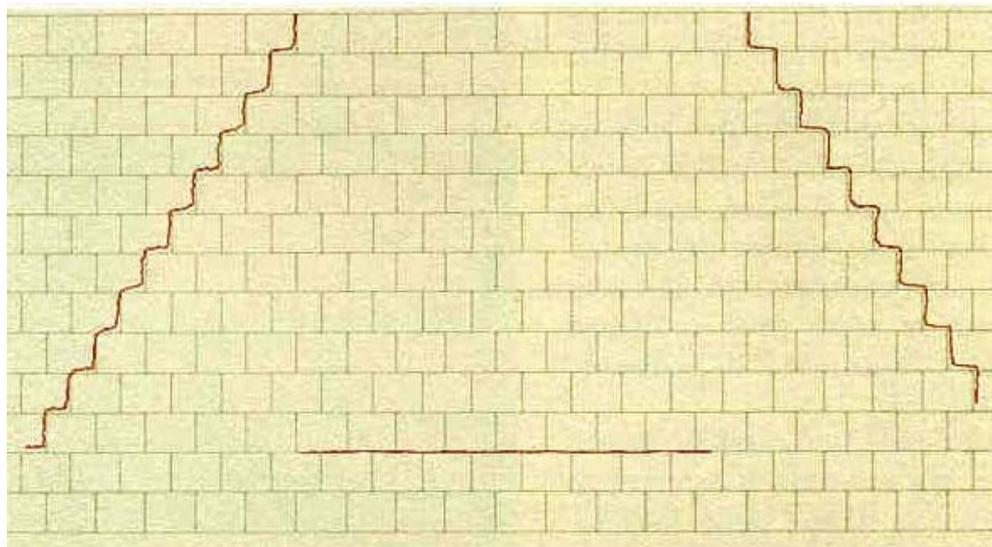
Come già ricordato anche per lesioni di altro tipo, la responsabilità può essere fatta risalire a travi e solai eccessivamente snelli con frecce che, seppure ammissibili dal punto di vista della sicurezza strutturale, possono essere incompatibili con le deformabilità richieste ad altri componenti (tramezzi).

Inoltre molto spesso nel calcolo della freccia delle strutture ci si limita alla valutazione della freccia istantanea, sotto carico di breve durata, e si trascura la quota legata alla deformazione del calcestruzzo sotto un carico permanente (fluage), che cresce con il crescere del rapporto acqua cemento e con la diminuzione del diametro degli inerti, oltre che, naturalmente, con l'aumentare dei carichi permanenti.

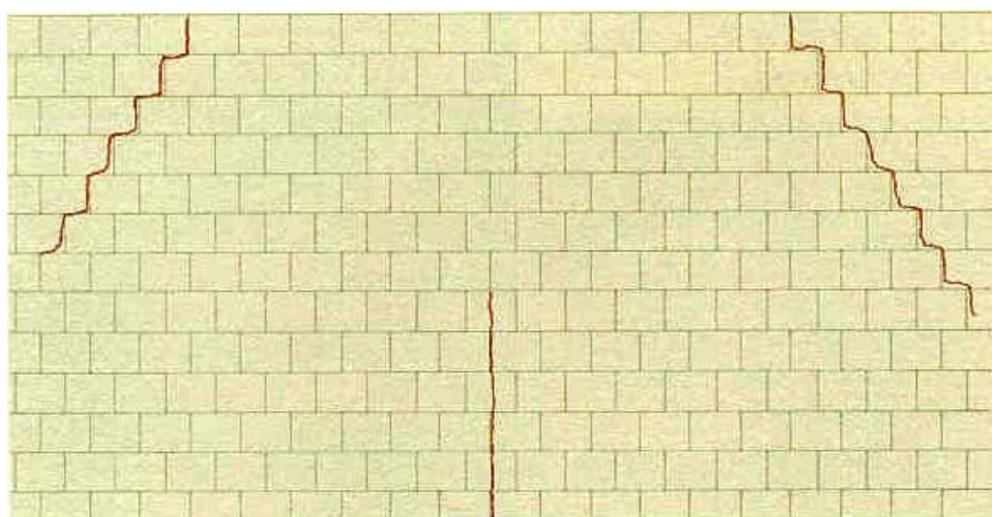
Poiché il calcolo delle deformazioni differite è comunque complicato dal fatto che non si conosce né l'andamento del valore del modulo elastico in funzione del tempo né l'esatto momento di inerzia (in quanto legato alla posizione dell'asse neutro, anch'esso variabile con il fluage), è bene impiegare altezze di solaio e dimensioni di travi sovrabbondanti, in modo da avere ampi margini di sicurezza.



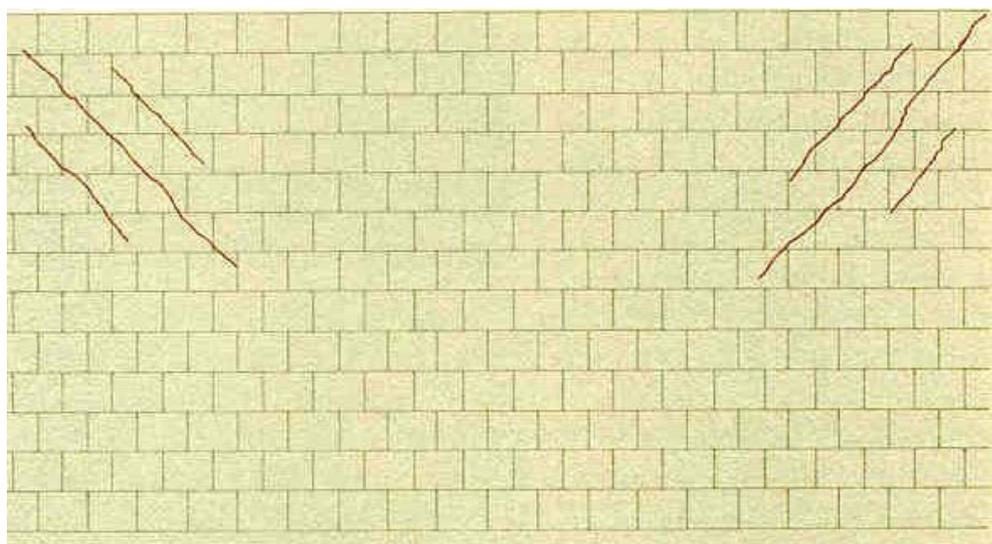
*Fig.12 - ..... ma con l'impiego di materiali con diversa dilatazione termica.*



*Fig.13 – Il solaio inferiore si deforma più del superiore.*



*Fig.14 – Il solaio superiore si deforma più dell'inferiore.*



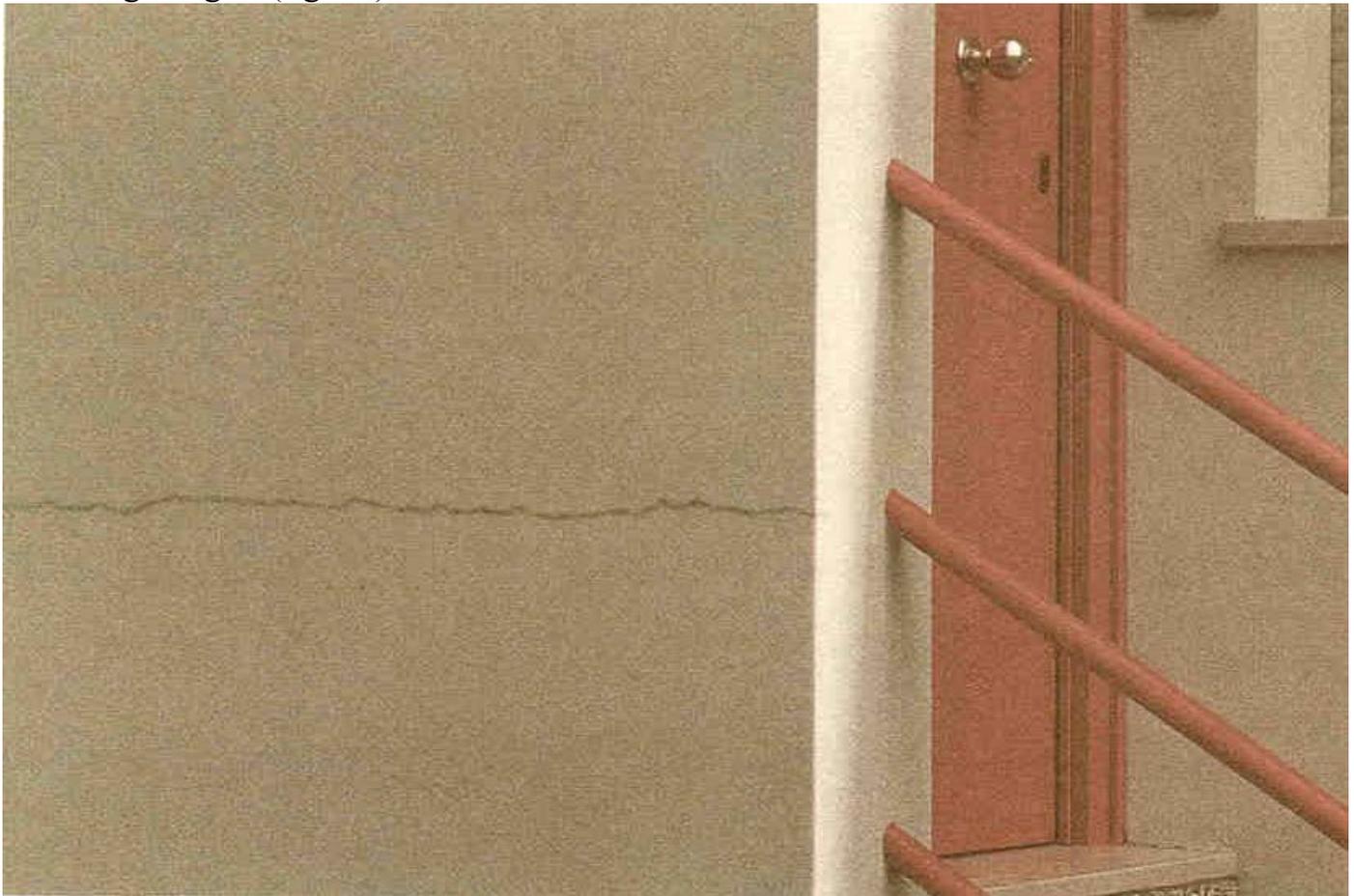
*Fig.15 – I due solai si deformano allo stesso modo.*

A titolo indicativo la freccia a tempo infinito può essere stimata pari a

$$f_{\infty} = f + 2f_p$$

dove  $f_p$  è la freccia istantanea dovuta ai soli carichi permanenti.

Se il solaio inferiore si deforma più del solaio superiore, si formerà una "volta" e, proseguendo la deformazione, si avrà una lesione orizzontale nella parte inferiore della parete (fig. 13). Se il solaio superiore si deforma maggiormente di quello inferiore, la parete dovrà sopportare carichi non previsti e potranno formarsi fessurazioni verticali dovute all'azione di flessione (fig. 14). Se la deformazione dei due solai è la stessa, le pareti presenteranno lesioni agli angoli (fig. 15).



Anche in questo caso si possono suggerire alcune attenzioni:

- realizzare le tramezzature partendo dal piano più alto. Nel caso questo non sia possibile per vincoli di programmazione delle fasi di lavoro, ai piani più bassi non bisognerà sigillare le pareti all'intradosso dei solai, ma lasciare lo spazio necessario per accogliere le deformazioni;
- dopo il disarmo della struttura, attendere qualche tempo prima dell'esecuzione delle pareti, in modo che la struttura abbia il tempo di assumere la freccia generata dal peso proprio.

***Fig.16 – La dilatazione termica del corrimano, bloccato nel muro, genera piccole lesioni.***

## Fessurazioni dovute a diverse deformazioni termiche dei materiali

Sono fessurazioni che si presentano in casi particolari, ma è comunque opportuno citarne la causa per completezza di informazione.

Ringhiere e parapetti metallici ammorsati nella muratura non possono che scaricare sulla muratura stessa le deformazioni dovute alle dilatazioni termiche (vedi fig. 16).

*Fig.17 – Lesione dovuta alle deformazioni del muro e del corrimano metallico.*

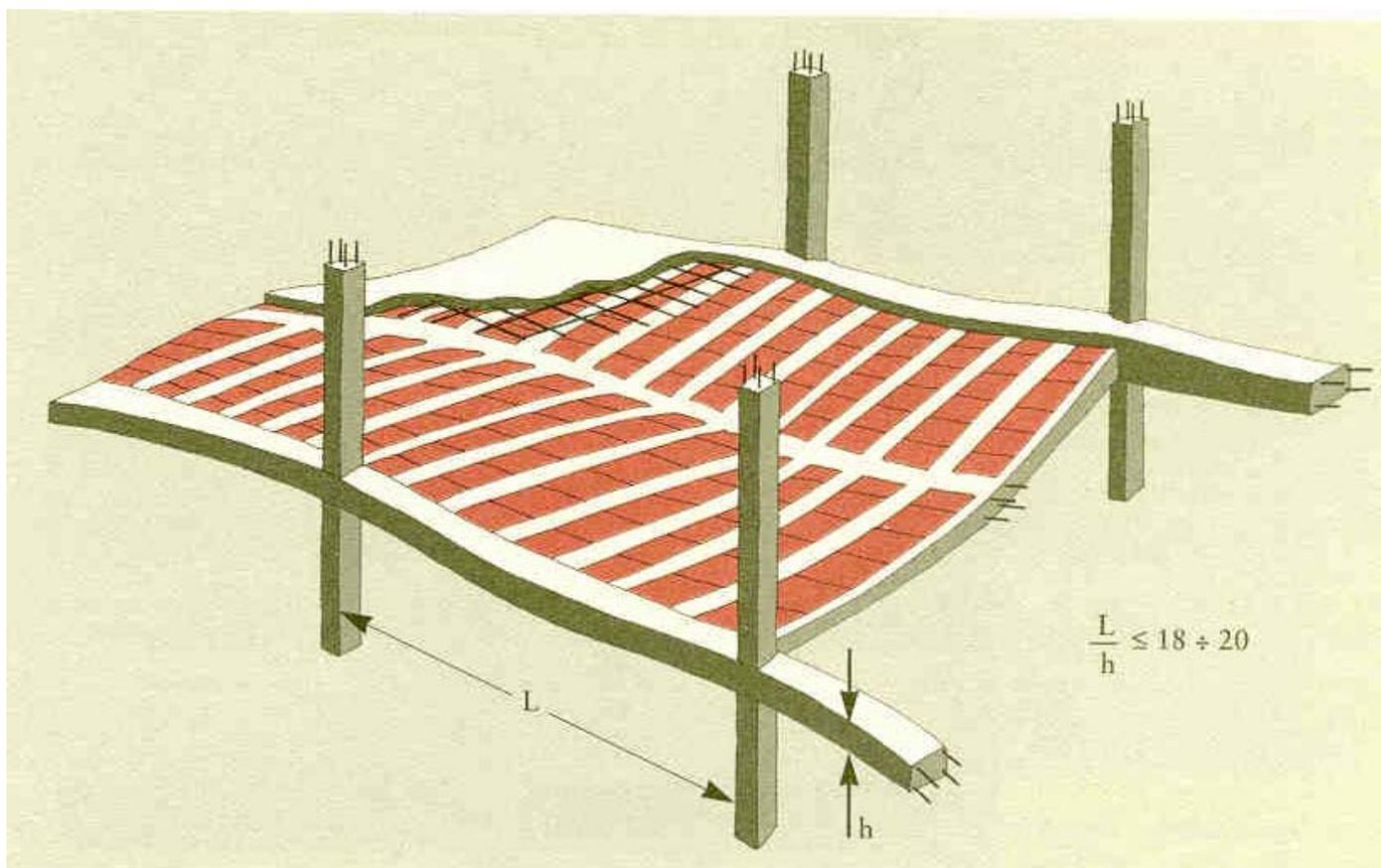


Sarà quindi sufficiente prevedere un innesto scorrevole, ad esempio inserendo il corrimano in un tubo fissato all'interno della muratura.

Ancora più evidente è il caso di figura 17, nel quale alla deformazione dovuta alla muratura d'angolo si somma la deformazione termica del corrimano.

Si è parlato in precedenza dell'influenza che la deformazione dei solai può avere nel comportamento delle murature strutturali o di tramezzatura.

Ma la deformazione può generare anche tensioni trasversali non previste che, se elevate, possono portare a danneggiamento del solaio stesso. Il solaio infatti viene dimensionato estraendone idealmente una striscia, considerata libera da ogni collegamento trasversale.



Si ipotizza quindi che, sotto carico, abbia una deformazione cilindrica, a semplice curvatura. In realtà non si avrà mai un comportamento simile, ma si avrà una doppia curvatura, ancor più evidente se le strutture di appoggio sono deformabili, come può ad esempio succedere nel caso di travi in spessore. Queste deformazioni, indotte dalla deformazione delle strutture portanti, causeranno forti compressioni trasversali all'intradosso del solaio in corrispondenza dei pilastri. Inoltre quasi mai in sede di progetto si valutano le deformazioni viscoso. Tutto questo induce a scegliere altezze strutturali che cautelino da fenomeni deformativi, e quindi da quadri fessurativi, di elevata intensità.

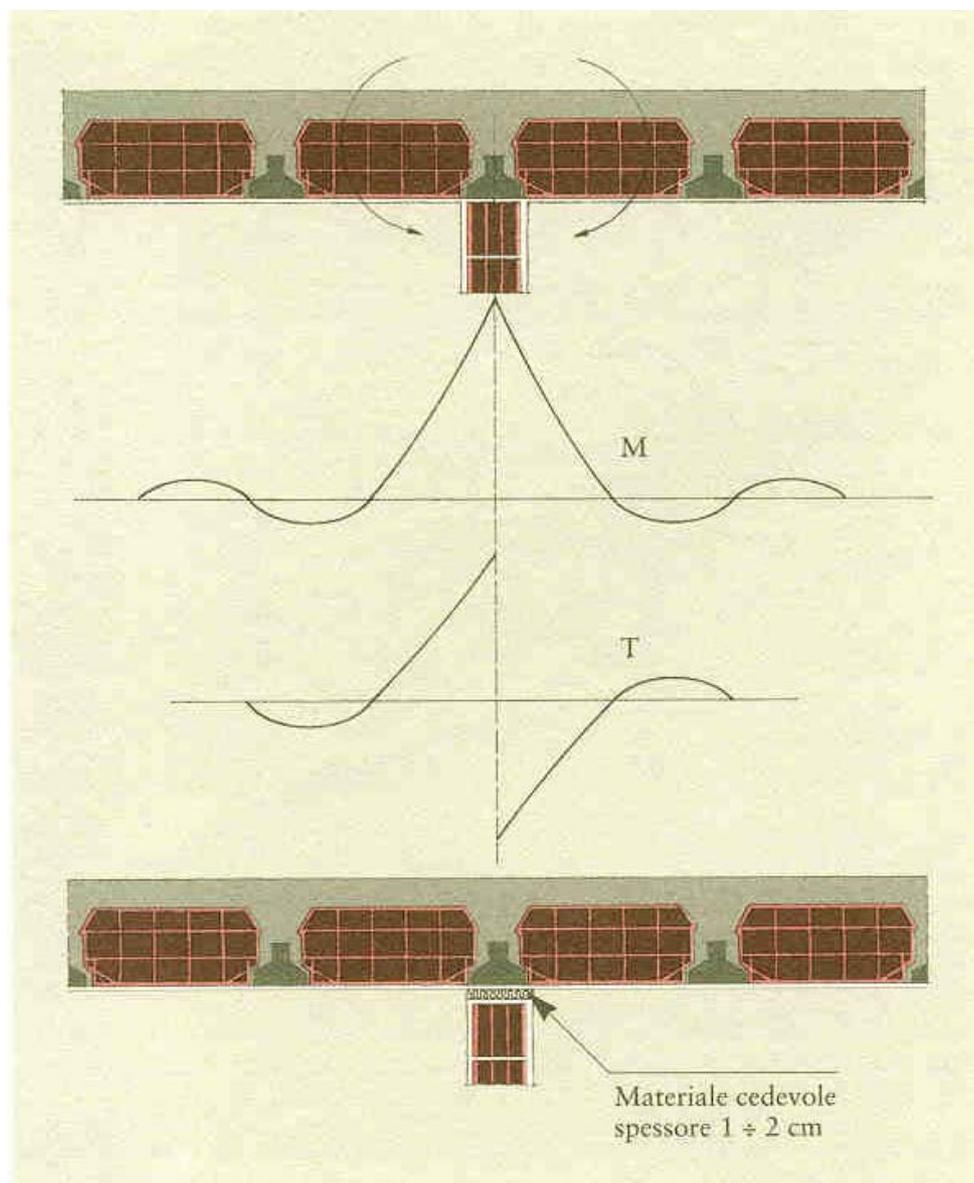
**Fig.18 – Inflessione del solaio appoggiato su strutture eccessivamente deformabili.**

In figura 18 è schematizzato il comportamento del solaio su strutture deformabili.

Nel caso di travi in spessore è consigliabile non superare rapporti fra la luce libera  $L$  e l'altezza  $h$  della trave pari a 18 – 20.

In figura 19 è rappresentato un solaio che, a causa della propria eccessiva deformabilità, si appoggia ad una tramezzatura costruita parallelamente all'orditura del solaio stesso.

**Fig.19 – Nodo  
solaio-tramezzatura:  
effetti secondari.**

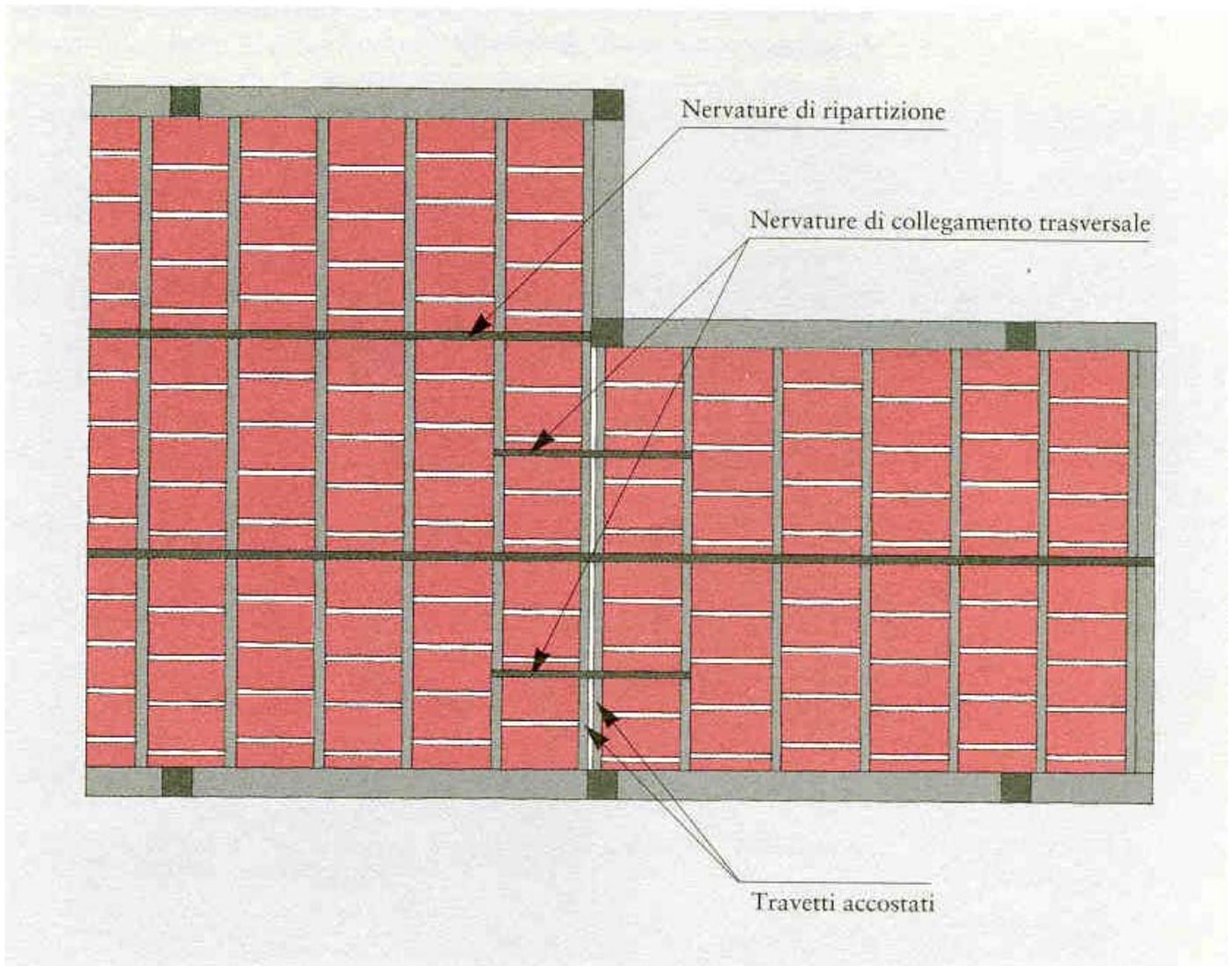


La tramezzatura assume il ruolo di un vincolo, modifica lo stato deformativo previsto e quindi si generano componenti di azioni trasversali.

Per consentire la deformazione del solaio la parete non dovrà essere forzata contro il solaio.

Analogamente, quando si hanno solai di luci sensibilmente diverse si ha sforzo tagliante e torsione a causa della maggiore deformabilità del solaio di luce maggiore.

Se non si possono variare le altezze, si dovranno inserire nervature trasversali armate o, meglio ancora, si realizzerà un giunto strutturale (fig. 20).



### Interazioni ai bordi

Bisogna porre attenzione alla interazione solaio-strutture di bordo. Se la pignatta appoggia sul muro, non potrà seguire la deformazione dei travetti in calcestruzzo e si formerà una lesione. Bisognerà quindi partire con un travetto e, possibilmente, irrigidire localmente il solaio o, quando le sollecitazioni siano particolarmente elevate, inserire un giunto strutturale (fig. 21).

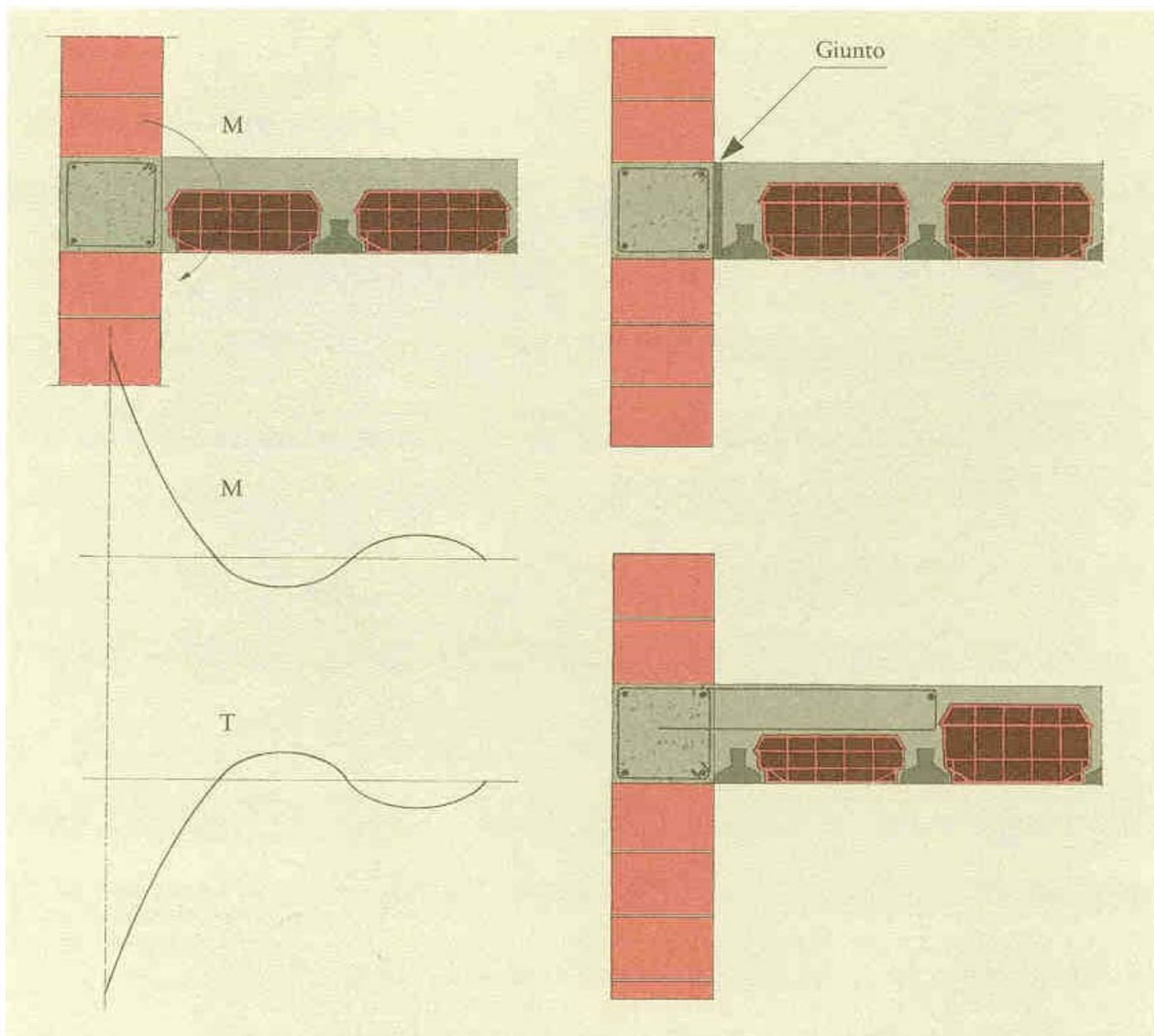
Allo stesso modo sono da evitare sbalzi perpendicolari all'orditura del solaio.

Se non sarà possibile ordire diversamente il solaio, le lesioni dovranno essere contenute realizzando nervature trasversali per assorbire gli sforzi e per consentire il corretto ancoraggio delle armature (fig. 22).

*Fig.20 – Attenzioni da porre in corrispondenza di sensibile variazione di luce dei solai.*

## Carichi concentrati

E' consuetudine aumentare il sovraccarico permanente sui solai allo scopo di compensare il carico dovuto ai tramezzi per i quali non sia possibile fissare a priori la posizione in pianta. In realtà i carichi dei tramezzi sono difficilmente assimilabili a sovraccarichi distribuiti.



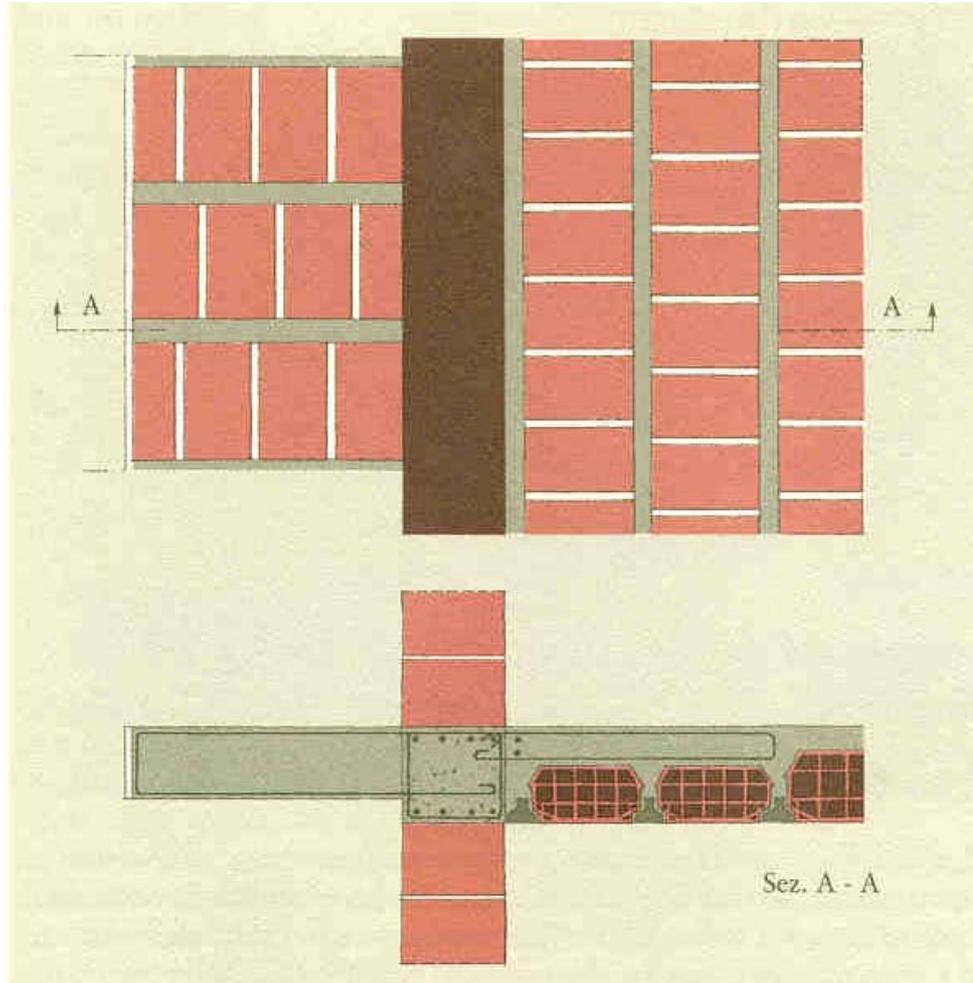
**Fig.21 – Interazioni con le strutture di bordo.**

Vanno tenuti in conto sia la diversa inflessione del solaio rispetto alle zone contigue, sia il rischio del punzonamento, particolarmente presente nel caso in cui il carico agisca parallelamente all'orditura del solaio stesso.

Bisognerà pertanto incrementare la rigidezza aumentando lo spessore della soletta e distribuendo il carico mediante nervature trasversali (fig. 23).

## Le cure esecutive

Già dal 1982 il Decreto attuativo della legge 1086 suggerisce particolari cautele nell'impiego di intonaci a base cementizia nei solai in laterizio. Prescrive infatti che qualora si utilizzino intonaci cementizi con resistenza caratteristica a trazione maggiore di  $1 \text{ N/mm}^2$  ( $\sim 10 \text{ kg/cm}^2$ ), si debbano eseguire intonaci di spessore minore di 1 cm ovvero si debbano prevedere armature di sostegno e di diffusione opportunamente ancorate alle nervature. Se l'intonaco ha una elevata resistenza a trazione scaricherà sul laterizio le tensioni dovute al ritiro idraulico.



**Fig.22 – Presidi in corrispondenza degli sbalzi.**

Generalmente si considerano valori modesti di ritiro, in quanto valutati su provini di sezione  $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ .

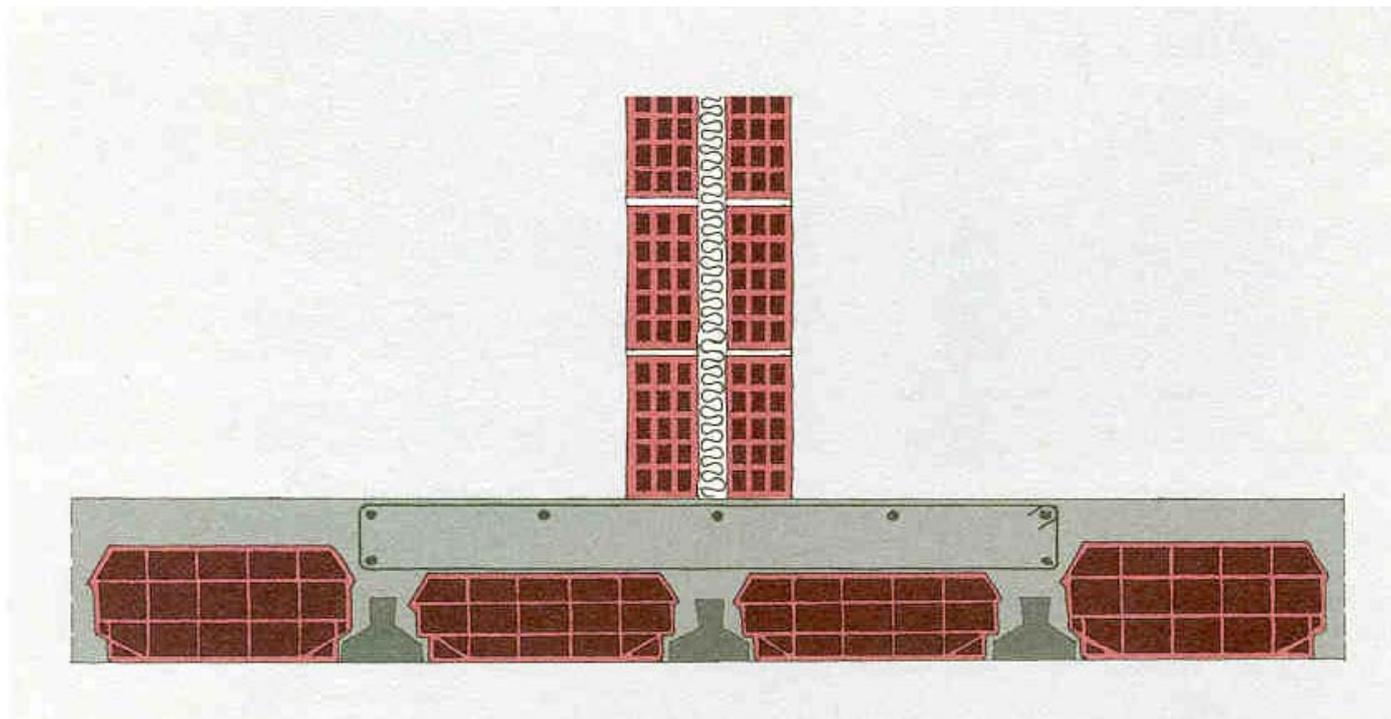
In effetti il piccolo spessore dell'intonaco, la finezza di macinazione dei cementi, gli inerti di piccolo diametro, l'elevato rapporto acqua/cemento, la presenza di impurità argillose negli inerti possono aumentarne notevolmente l'entità.

Alcune prove sperimentali condotte su travetti di spessore 1 cm hanno evidenziato ritiri fino a  $1150 \mu\text{m}$  e mediamente superiori di circa il 350% a 7 giorni e di circa 330% a 90 giorni rispetto ai ritiri rilevati su travetti standard  $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ , confezionati con lo stesso impasto.

Naturalmente gli intonaci, ancorati ad una base rigida (laterizio), avranno un ritiro notevolmente ridotto; tuttavia, se sono ad elevata resistenza, potranno generare trazioni sull'intradosso delle pignatte con possibile rottura dei setti e distacco di porzioni di laterizio.

Va anche posta molta cura nella bagnatura dei solai prima del getto, sia nel caso di solai gettati in opera che nel caso del confezionamento di pannelli prefabbricati.

Analogamente a quanto avviene per le murature, la bagnatura del laterizio deve evitare l'assorbimento dell'acqua di impasto delle malte e dei calcestruzzi.



**Fig.23 – Carichi concentrati dovuti a tramezzi.**

Una insufficiente bagnatura priva il calcestruzzo dell'acqua di idratazione, lo indebolisce, ne riduce la lavorabilità e rende difficoltoso, se non impossibile, il ricoprimento dei ferri di armatura. Il comportamento della struttura ne risentirà sia nelle prestazioni meccaniche (aumento della deformabilità sotto carico, indebolimento alle azioni trasversali) sia, mancando il copriferro, nella resistenza al fuoco. Questo difetto esecutivo è molto spesso la causa di deformazioni inattese e non congruenti con l'altezza del solaio, apparentemente sufficiente e in regola con le indicazioni di norma.

Quindi, oltre a curare la bagnatura del laterizio, bisognerà assicurarsi del corretto ricoprimento dei ferri di armatura, prevedendo opportuni distanziatori e vibrando il calcestruzzo in modo da limitare il più possibile la formazione di vuoti.

## CONCLUSIONI

### **Progettazione dei dettagli e corretta posa in opera dei materiali.**

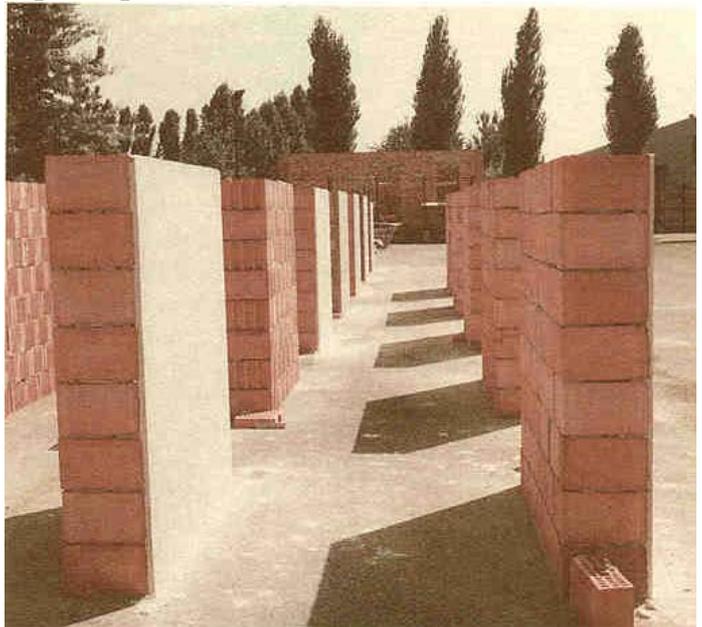
Se non si è in presenza di cedimenti strutturali o di fondazione, i difetti elencati possono essere evitati con una progettazione accurata e con una esecuzione a regola d'arte. La progettazione non può delegare la soluzione dei particolari esecutivi direttamente al cantiere, perché la durabilità di una costruzione, e la sua manutenzione in primo luogo, dipendono essenzialmente dalla soluzione, e quindi dalla progettazione, dei punti particolari.

Nelle costruzioni devono convivere materiali fra loro anche profondamente diversi, e non solo esteticamente. Legno e laterizio, calcestruzzo e laterizio, ferro e laterizio, cemento armato e laterizio: chi progetta deve conoscere le caratteristiche di ogni prodotto e valorizzarne le individualità; e chi costruisce deve conoscere le regole di una corretta esecuzione. Certamente ci si può chiedere perché i casi di fessurazioni siano più frequenti oggi che non in passato. Ma bisogna ricordare che in altri tempi la muratura era realizzata con malte a base di calce il cui indurimento, molto lento, permetteva alle costruzioni una certa

elasticità che consentiva un adattamento ai movimenti dovuti all'umidità, alle variazioni termiche ecc.

Le sollecitazioni inoltre erano basse e la portata dei solai e le altezze degli edifici erano limitate. Oggi invece, con l'impiego di cemento a dosaggi anche piuttosto elevati, l'indurimento avviene rapidamente senza lasciare libertà di successivi assestamenti. Inoltre spesso vengono usati nuovi materiali, che sono però trattati con gli stessi sistemi di quelli tradizionali, mentre possono avere comportamenti assai diversi. Infine aspetti economici hanno portato a ridurre i tempi di esecuzione e, fra l'altro, ad applicare le finiture su elementi ancora freschi, cosicché al minimo movimento dei supporti si evidenziano lesioni negli intonaci, nei pavimenti ecc.

Ma se le scelte progettuali possono essere condizionate anche da fattori economici, come pure i tempi di costruzione, è bene ricordare che i compromessi non eliminano i difetti né, tantomeno, i costi di ripristino che tali difetti comporteranno. Siamo quindi in un momento contingente molto delicato.



***Fig.24 – Muri di prova eseguiti dal Consorzio Alveolater® presso l'Istituto edile di Bologna per uno studio sul rapporto tra qualità esecutiva delle murature e integrità dell'intonaco.***

Non è possibile trascurare attenzioni indispensabili per una corretta esecuzione, ma, d'altra parte, non è nemmeno possibile opporsi alla velocizzazione delle operazioni di cantiere.

### **Differenza fra murature in blocchi e in mattoni**

Nel caso delle murature, riportando il parere del prof. Franco Laner della Facoltà di Architettura di Venezia, negli anni cinquanta le regole costruttive del mattone pieno sono state trasferite all'innovativo doppio Uni e oggi, senza particolari nuovi accorgimenti, ma anzi con un progressivo impoverimento dovuto alla scarsa consapevolezza della loro importanza, in cantiere vengono estese alle murature in blocchi di grande formato: stessi spessori dei giunti di malta, stessa composizione delle malte.

Se confrontiamo però due paramenti murari, l'uno di mattoni Uni e l'altro di grandi blocchi, e se manteniamo giunti di spessore di un centimetro, la differenza di quantità di malta è dell'ordine del 70 per cento. Se assegnamo alla malta oltre alle funzioni di allettamento anche quella di distribuzione delle tensioni, di assorbimento delle deformazioni dovute sia ai carichi che alle variazioni termiche e igrometriche e ai cedimenti differenziati, è ben evidente che la muratura in blocchi è una muratura diversa rispetto a quella tradizionale. Nel passato era la pratica collaudata nei cantieri a diventare regola. Oggi, dimenticate quasi completamente le regole della tradizione e modificati anche profondamente i materiali, è necessario definire nuovi magisteri costruttivi e riprendere l'insegnamento del buon costruire fornendo i suggerimenti e le indicazioni operative che si ritengono teoricamente corrette. Ma in attesa che diventino nuovamente "pratica" occorre un grande sforzo di divulgazione.

Il Consorzio Alveolater°, con questo nuovo quaderno, intende dare un contributo a chi progetta, proponendo alcune soluzioni, e a chi esegue, ricordandogli alcune regole dell'arte del costruire.

La cultura del cemento armato e il furore quantitativo dell'industrializzazione degli anni Settanta, infatti, hanno fatto sì che molte regole venissero dimenticate. E la principale ragione è stata l'espulsione dal lavoro dei vecchi maestri muratori: i soli che avrebbero potuto tramandare, direttamente in cantiere, le loro conoscenze ai giovani.