

**Nonostante la massima cura nella stesura del testo, si declina ogni responsabilità per eventuali errori o imprecisioni.**

**Il materiale è destinato ad uso esclusivamente didattico, a disposizione degli studenti della specializzazione EDILIZIA.**

---

**Circolare MLLPP 10 aprile 1997 - Allegati**

**ALLEGATO 1.**

**Indicazioni costruttive per strutture in calcestruzzo armato**

Al fine di conseguire la desiderate caratteristiche di duttilità locale e globale può farsi riferimento alle seguenti indicazioni sulla geometria e sulle armature degli elementi. I quantitativi di armatura e le dimensioni indicate nel seguito rappresentano valori minimi, indipendenti dalle richieste evidenziate dall'analisi.

Staffe di contenimento: sono *staffe* chiuse o eliche di diametro minimo 6 mm con piegature a 135° alle due estremità, prolungate, ciascuna per almeno dieci diametri.

Legature (o cravatte): sono costituite da barre di diametro minimo 6 mm con piegature a 135° alle due estremità, prolungate ciascuna per almeno 10 diametri.

Le piegature, (o uncini) delle staffe, devono essere assicurate alle barre longitudinali. Le piegature delle legature devono essere assicurate alle staffe (fig. 1)

**1. Travi**

**1.1 Definizione e limiti geometrici**

Si definiscono travi, ai fini di applicare le regole contenute in questo articolo, gli elementi soggetti a flessione e sforzo assiale, quando quest'ultimo non supera il valore:

$$N = 0,05 \cdot A_c \cdot R_{ck} \cdot \chi$$

dove:

N la massima sollecitazione di sforzo assiale di progetto in condizioni sismiche;

$A_c$  è l'area della sezione trasversale dell'elemento;

$R_{ck}$  è la resistenza caratteristica cubica del conglomerato;

$\chi$  è pari a 1 se si utilizza il metodo delle tensioni ammissibili; è pari a 1,5 se si utilizza il metodo degli stati limite.

La lunghezza libera delle travi non deve essere minore di tre volte l'altezza,  $h$ , della sezione trasversale. In caso contrario l'elemento si definisce "trave corta" e dovrà soddisfare le particolari prescrizioni di cui al par. 4.3.

La larghezza della trave,  $b$ , non deve essere minore di 20 cm e, per le travi basse comunemente denominate "a spessore", non maggiore della larghezza del pilastro, aumentata da ogni lato di metà dell'altezza della sezione trasversale del pilastro stesso;

Il rapporto  $b/h$  non deve essere minore di 0,25.

### 1.2 Armature longitudinali

In ogni sezione della trave, il rapporto d'armatura al bordo superiore ( $A_s$ ) e quello al bordo inferiore ( $A_i$ ) devono essere compresi tra i seguenti limiti:

$$\frac{1,4}{f_{yk}} < \rho < \frac{7}{f_{yk}}$$

dove

$\rho$  è il rapporto geometrico di armatura =  $A_s / (b \cdot h)$  oppure  $A_i / (b \cdot h)$  ove  $A_s$  e  $A_i$  rappresentano l'area dell'armatura longitudinale, rispettivamente, superiore e inferiore;  $f_{yk}$  è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (in  $N/mm^2$ ).

Almeno due barre di diametro non inferiore a 12 mm devono essere presenti superiormente e inferiormente per tutta la lunghezza della trave.

A ciascuna estremità collegata con pilastri, per un tratto pari a due volte l'altezza utile della sezione trasversale, la percentuale di armatura compressa non deve essere minore della metà di quella tesa nella stessa sezione.

Almeno un quarto dell'armatura superiore necessaria alle estremità della trave deve essere mantenuta per tutto il bordo superiore della trave.

### 1.3 Armature trasversali

Nelle zone di attacco con i pilastri, per un tratto pari a due volte l'altezza utile della sezione trasversale, devono essere previste staffe di contenimento. La prima staffa di contenimento deve distare non più di 5 cm dalla sezione a filo pilastro; le successive devono essere disposte ad un passo non maggiore della più piccola delle grandezze seguenti:

- un quarto dell'altezza utile della sezione trasversale;
- sei volte il diametro minimo delle barre longitudinali considerate ai fini delle verifiche;
- 15 cm.

## 2 Pilastri

### 2.1. Definizione e limiti geometrici

Si definiscono pilastri, ai fini dell'applicazione delle regole contenute in questo articolo, gli elementi soggetti a flessione e sforzo assiale quando questo supera il valore:

$$N = 0,05 \cdot A_c \cdot R_{ck} \cdot \chi$$

con i simboli definiti al punto 1. La dimensione minima della sezione trasversale non deve essere inferiore a 30 cm.

Il rapporto tra i lati minimo e massimo della sezione trasversale non deve essere inferiore a 0,3; in caso contrario l'elemento sarà assimilato alle pareti portanti trattate nel paragrafo 4.3.

Il rapporto  $L/b$  tra l'altezza netta e la minima dimensione trasversale non deve essere maggiore di: 16 se il pilastro è soggetto a momenti di segno opposto alle due estremità; 10 negli altri casi.

Ove gli indicati valori del rapporto L/b non vengano rispettati, occorre eseguire una specifica verifica che tenga conto delle sollecitazioni indotte dagli effetti del 2° ordine.

## 2.2. Armature longitudinali

Nella sezione corrente del pilastro la percentuale di armatura longitudinale deve essere compresa tra i seguenti limiti:

$$1\% \leq \frac{A}{A_c} \leq 4\%$$

con A area totale dell'armatura longitudinale.

Per tutta la lunghezza del pilastro l'interasse tra le barre non deve essere superiore a 25 cm.

## 2.3. Armature trasversali

Alle due estremità del pilastro si devono disporre staffe di contenimento e legature per una lunghezza, misurata a partire dalla sezione di estremità, pari alla maggiore delle seguenti quantità:

- il lato maggiore della sezione trasversale;
- un sesto dell'altezza netta del pilastro;
- 45 cm.

In ciascuna delle due zone di estremità devono essere rispettate le condizioni seguenti: le barre disposte sugli angoli della sezione devono essere contenute dalle staffe; almeno una barra ogni due, di quelle disposte sui lati, dovrà essere trattenuta da staffe interne o da legature; le barre non fissate devono trovarsi a meno di 15 cm da una barra fissata.

Il diametro delle staffe di contenimento e legature non deve essere inferiore a 8 mm.

Esse saranno disposte ad un passo pari alla più piccola delle quantità seguenti:

- 6 volte il diametro delle barre longitudinali che collegano;
- un quarto del lato minore della sezione trasversale;
- 15 cm.

Nelle parti intermedie del pilastro la distanza tra le staffe non deve superare i valori seguenti:

- 10 volte il diametro delle barre longitudinali che collegano;
- metà del lato minore della sezione trasversale;
- 25 cm.

Le armature di cui sopra devono comunque soddisfare la verifica a taglio.

## 3. Nodi trave-pilastro

Si definisce nodo la zona del pilastro che si incrocia con le travi ad esso concorrenti.

### 3.1. Geometria

Sono da evitare per quanto possibile eccentricità tra l'asse della trave e l'asse del pilastro concorrenti in un nodo. Nel caso che tale eccentricità superi  $\frac{1}{4}$  della larghezza del pilastro la trasmissione degli sforzi deve essere assicurata da armature adeguatamente dimensionate allo scopo.

### 3.2 Armature

Le armature longitudinali delle travi, sia superiori che inferiori, devono attraversare, di regola, il nodo senza giunzioni. Quando ciò non risulti possibile, sono da rispettare le seguenti prescrizioni:

- le barre vanno ancorate oltre la faccia opposta a quella di intersezione, oppure rivoltate verticalmente in corrispondenza di tale faccia
- la lunghezza di ancoraggio va calcolata in modo da sviluppare una tensione nelle barre pari a  $1,25 f_{yk}$ , e misurata a partire da una distanza pari a 6 diametri dalla faccia del pilastro verso l'interno.

Lungo le armature longitudinali del pilastro che attraversano i nodi devono esser disposte staffe di contenimento in quantità almeno pari alla maggiore prevista nelle zone del pilastro inferiore e superiore adiacenti al nodo.

Questa regola può non essere osservata quando nel pilastro si innestano travi su ciascuna delle quattro facce.

## 4. Pareti

### 4.1. Definizione e limiti geometrici

Si definiscono pareti gli elementi portanti verticali quando il rapporto tra la minima e la massima dimensione della sezione trasversale è inferiore a 0,3.

Lo spessore delle pareti deve essere generalmente non inferiore a 150 mm, oppure a 200 mm nel caso previsto al par. 4.3 (armature ad X nelle travi di collegamento).

### 4.2 Armature

Le armature, sia orizzontali che verticali, devono esser disposte su entrambe le facce della parete.

Le armature presenti sulle due facce devono esser collegate con legature in ragione di almeno sei ogni metro quadrato.

Il passo tra le barre deve essere non maggiore di 30 cm.

Il diametro delle barre deve essere non maggiore di un decimo dello spessore della parete.

Il rapporto geometrico  $\rho$  dell'armatura totale verticale deve esser compreso tra i seguenti limiti:

$$0,25 \% \leq \rho \leq 4 \%$$

qualora il rapporto tra altezza e lunghezza della parete non sia maggiore di 4, altrimenti

$$1 \% \leq \rho \leq 4 \%$$

Uguali condizioni vanno rispettate per l'armatura orizzontale.

Una armatura trasversale orizzontale più fitta va disposta alla base della parete per un'altezza pari alla lunghezza in pianta ( $l$ ) della parete stessa, in vicinanza dei due bordi per una lunghezza pari a  $0,20 l$  su ciascun lato.

In tali zone l'armatura trasversale deve esser costituita da tondini di diametro non inferiore a 8 mm, disposti in modo da fermare tutte le barre verticali con un passo pari a 10 volte il diametro della barra ma non inferiore a 25 cm.

### 4.3. Travi di collegamento

Le travi di collegamento di pareti accoppiate vanno verificate con i criteri previsti per le travi normali delle strutture intelaiate purché il rapporto tra luce netta ed altezza sia superiore a 3.

Quando tale condizione non è soddisfatta esse devono essere armate a flessione con armatura doppia simmetrica; la stessa armatura trasversale richiesta per assorbire il taglio deve essere disposta anche longitudinalmente in modo da costituire due reti a maglia quadrata disposte sulle due facce.

Se il valore della tensione tangenziale di calcolo,  $\tau_d = \frac{V_d}{b \cdot h}$  eccede il limite seguente:

$$\tau_d = 3 \cdot \tau_0$$

tutto il taglio deve essere assorbito da un'armatura ad X che attraversa diagonalmente la trave e si ancora nelle due pareti adiacenti.

Ciascuno dei due fasci di armatura deve essere racchiuso da armatura a spirale o da staffe di contenimento con passo non superiore a 100 mm.

In questo caso, in aggiunta all'armatura diagonale sarà disposta su ciascuna faccia della trave una rete di diametro 10 mm a maglia quadrata di lato 10 cm, ed armatura corrente di 2 barre da 16 mm ai bordi superiore ed inferiore.

Gli ancoraggi delle armature nelle pareti saranno del 50% più lunghi di quanto previsto per le zone non sismiche.

Quando è necessario adottare armature ad X lo spessore minimo delle pareti accoppiate e delle travi deve essere non minore di 20 cm.

In ogni caso il valore della tensione tangenziale non può eccedere il limite:

$$\tau_d = 4,5 \cdot \tau_0$$

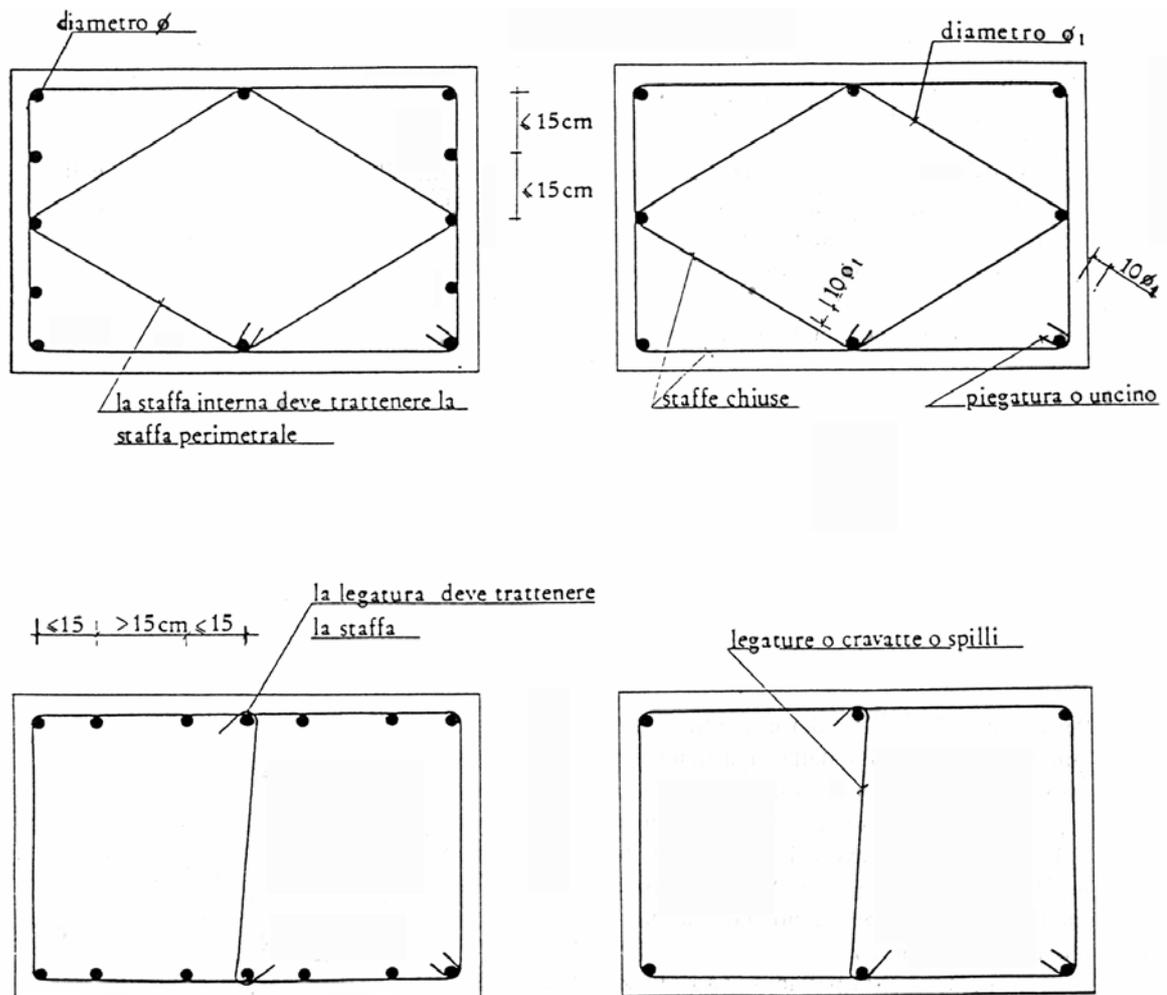


Fig. 1

## ALLEGATO 2

### INTERAZIONE FRA TELAI E PANNELLI MURARI DI TAMPONATURA

#### Modello di calcolo

##### 1. Campo di validità del procedimento esposto

Il procedimento di calcolo esposto nel presente allegato, può essere ritenuto valido per riprodurre con sufficiente approssimazione il comportamento di un elemento di telaio contenente una tamponatura muraria e sottoposto all'azione di una forza laterale quando siano soddisfatte le seguenti condizioni:

1. Il telaio è costituito da elementi di cemento armato (o metallici) adeguatamente collegati fra loro nei nodi ed aderenti alla tamponatura. Questa deve essere efficacemente collegata alla intelaiatura in modo che ne sia assicurato il contatto e quindi l'aderenza tale da garantire la trasmissione di sforzi normali e taglienti oltre all'inamovibilità;
2. Il rapporto  $h/l$  (fig. 1) fra i lati del pannello murario deve essere compreso di norma tra 0,5 e 2,0;
3. Il rapporto  $h/t$  (fig. 1) fra l'altezza e lo spessore (snellezza) del pannello murario non deve essere superiore a 20:

4. Nel pannello di tamponatura non devono essere presenti aperture, salvo che queste siano delimitate da intelaiature in cemento armato atte a ricostituire la continuità dei due tratti delle diagonali di muratura come in seguito esposto.

## 2. Valutazione della deformabilità laterale

Per la valutazione della deformabilità laterale del sistema composto da telaio e tamponatura, quindi per il calcolo della ripartizione delle forze sismiche orizzontali fra gli elementi resistenti, si può tener conto dell'effetto delle tamponature in maniera sufficientemente approssimata considerando il funzionamento di un puntone diagonale equivalente (fig. 2). Tale puntone deve avere lo spessore  $t$  della muratura e larghezza  $s$  uguale ad  $1/10$  della lunghezza della diagonale. Si può considerare allora un sistema equivalente formato dalle travi e dai pilastri del telaio, nonché dai suddetti puntoni diagonali considerati incernierati alle estremità (fig. 3).

Ogni puntone avrà pertanto una rigidezza equivalente pari a:

$$(EA/d)_{eq} = 0,1 \cdot E_m \cdot t$$

in cui  $d = \sqrt{l^2 + h^2}$  è la lunghezza della diagonale, mentre  $E_m$  è definito nel successivo punto 4.

## 3. Meccanismi di rottura dei pannelli murari

Il comportamento laterale di un telaio piano risente fortemente dell'effetto di interazione prodotto dalle tamponature presenti nel piano del telaio stesso, purché queste siano ad esso efficacemente collegate. Per poter fare affidamento su tale effetto, devono essere soddisfatte le condizioni di seguito indicate:

1. il pannello è contenuto nel piano medio del telaio;
2. le caratteristiche meccaniche dei materiali e gli spessori sono tali da rendere soddisfatte le verifiche di resistenza; in particolare sono da escludere le pareti in foglio, o costituite da elementi con percentuale di foratura superiore al 45%;
3. è assicurato il contatto con la struttura di cemento armato;
4. sono assenti aperture, a meno che le aperture siano adeguatamente riquadrate;
5. hanno elevata resistenza all'azione sismica ortogonale al piano del pannello.

Con riferimento ad una maglia di telaio interagente con un pannello murario in essa contenuto ed avente spessore  $t$ , lunghezza  $l$  ed altezza  $h$  (fig. 3), le ricerche sperimentali svolte hanno messo in evidenza la possibilità di tre meccanismi di rottura delle murature.

I tre meccanismi sono i seguenti:

- a. rottura per scorrimento orizzontale dovuta alle tensioni tangenziali agenti nella zona centrale della tamponatura, secondo lo schema rappresentato nella figura 4a;
- b. rottura diagonale per trazione, dovuta alle tensioni di trazione inclinate, agenti anche esse nella zona centrale della tamponatura (fig. 4b);
- c. rottura per schiacciamento locale degli spigoli della tamponatura, dovuta alla concentrazione delle forze orizzontali di interazione trasmesse dal telaio (fig. 4c). La rottura della struttura di cemento armato verrà esaminata al successivo punto 5.

## 4. Verifica della tamponatura

Le verifiche di resistenza relative alle tre condizioni di rottura descritte al paragrafo precedente, in via approssimata, possono essere condotte sulla base delle seguenti relazioni:

Verifica al lo scorrimento orizzontale:

$$H_0 \leq \frac{\tau_u \cdot l \cdot t}{\phi} \quad (\text{A})$$

essendo

$$\tau_u = f_{vko} \cdot \sqrt{1 + \frac{\left(0,8 \cdot \frac{h}{l} - 0,2\right)}{1,5 \cdot f_{vko}} \cdot \frac{H_0}{l \cdot t}}$$

- Verifica a trazione lungo la diagonale:

$$H_0 \leq \frac{f_{vko}}{0,6 \cdot \phi} \quad (\text{B})$$

- Verifica allo schiacciamento degli spigoli:

-

$$H_0 \leq 0,8 \cdot \frac{f_k}{\phi} \cdot \cos^2 \theta \cdot 4 \sqrt{\frac{E_c}{E_m} \cdot I \cdot h \cdot t^3}$$

Nelle formule scritte, oltre alle dimensioni  $h$ ,  $l$ ,  $t$  del pannello murario sono state indicate le seguenti grandezze:

$H_0$  = forza sismica orizzontale agente sull'elemento di muratura (componente orizzontale della forza agente nel puntone equivalente), da valutare tenendo conto del coefficiente di struttura  $\beta$ :

$f_{vko}$  = resistenza caratteristica a taglio della muratura in assenza di carichi verticali;

$f_k$  = resistenza caratteristica a compressione della muratura;

$\theta = \arctg\left(\frac{h}{l}\right)$ , angolo della diagonale del pannello rispetto all'orizzontale;

$\phi$  = fattore di riduzione delle tensioni:

per verifiche alle tensioni ammissibili equivale a 2;

per verifiche agli stati limite equivale a 1;

$E_c$  = modulo di elasticità di calcestruzzo;

$E_m$  = modulo di elasticità della muratura;

$I$  = momento di inerzia della sezione trasversale del pilastro calcolato rispetto al suo asse ortogonale al piano della tamponatura (in caso di pilastri di diversa sezione si assume il valore medio dei due momenti di inerzia);

Per i valori delle caratteristiche di resistenza e dei moduli elastici della muratura può farsi riferimento al D.M. 20.11.87 oppure a risultati di apposite indagini teorico - sperimentali chiaramente comprovati.

## 5. Verifica delle strutture di contenimento in cemento armato

### 5.1 Forze assiali nei pilastri.

Si deve tener conto delle variazioni delle forze assiali nei pilastri che si calcolano applicando le forze sismiche orizzontali al modello di struttura comprendente i puntoni equivalenti (fig. 4a) (fig. 4b) (fig. 4c)

### 5.2. Forze di taglio nei pilastri

Per la validità delle considerazioni svolte e delle formule indicate è essenziale che la rottura per taglio dei pilastri non preceda quella dei pannelli murari. Pertanto ciascun pilastro adiacente ad un pannello di tamponatura deve essere verificato per una forza tagliante pari al taglio su di esso calcolato secondo lo schema indicato al punto 2., aumentato della forza orizzontale  $H_0$  calcolata per la tamponatura.

### 5.3. Flessione nei pilastri

Ciascun pilastro che affianchi una tamponatura deve essere verificato per un momento flettente pari al momento flettente su di esso calcolato secondo lo schema indicato al punto 2. aumentato del momento:

$$M = \frac{\pm H_0 \cdot h}{10}$$

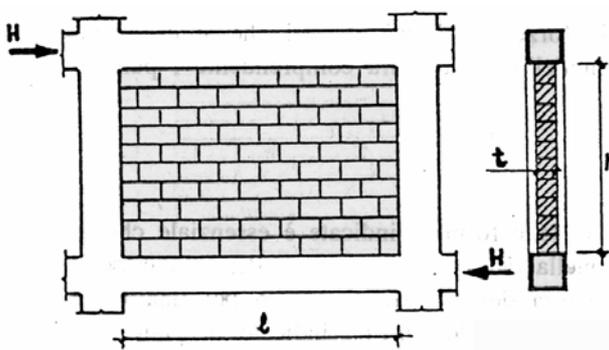


Fig. 1

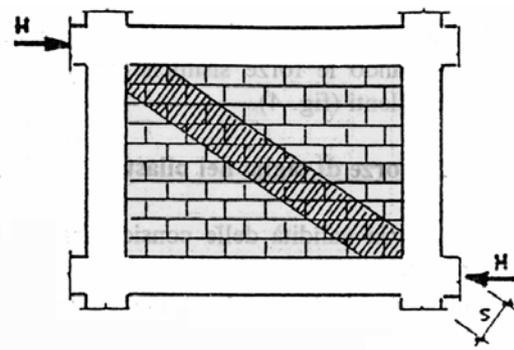


Fig. 2

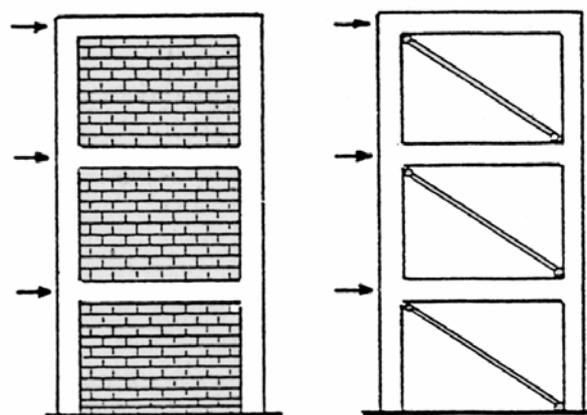


Fig. 3

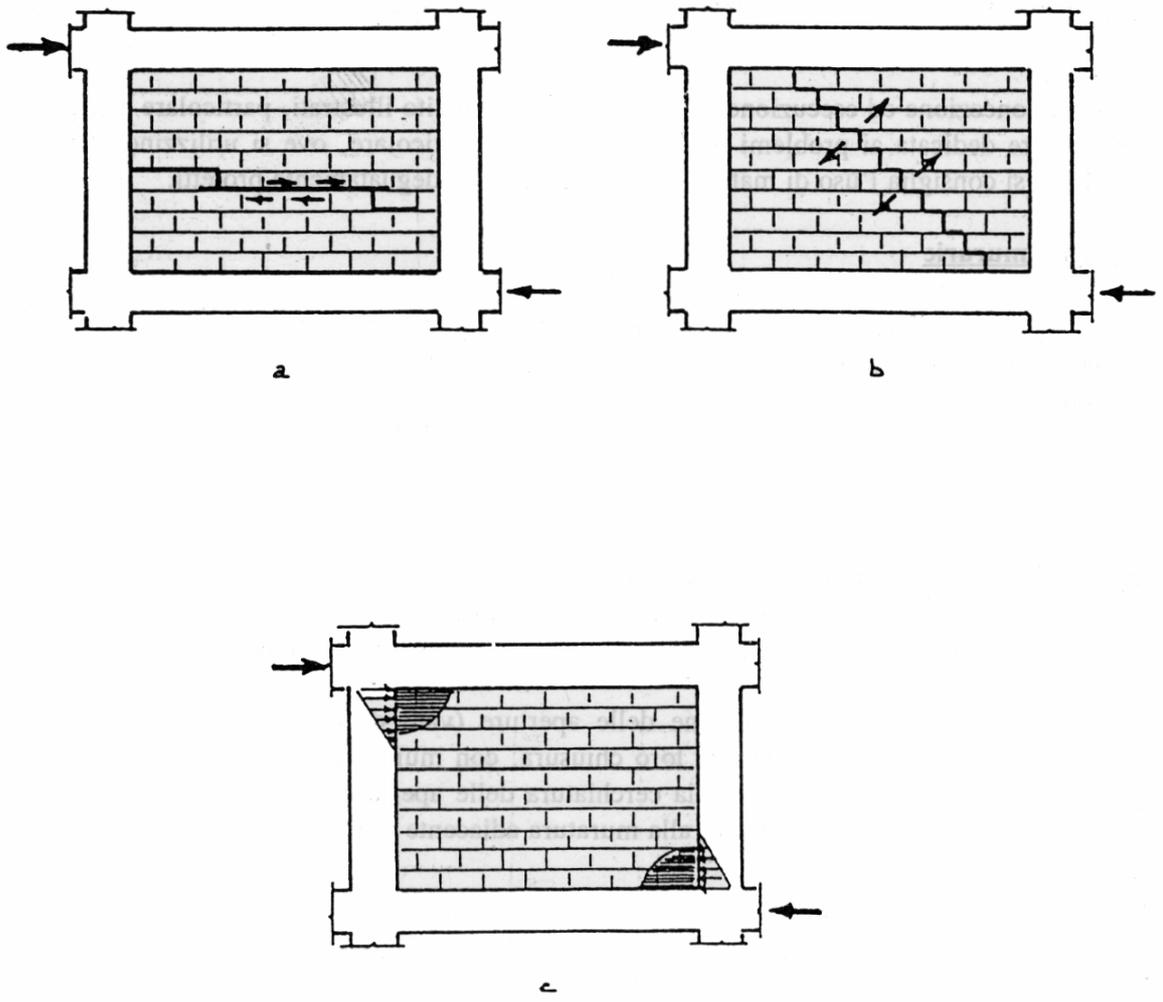


Fig. 4

## ALLEGATO 3

### **Edifici in muratura: Provvedimenti tecnici di intervento**

Nella concezione ed esecuzione degli interventi di seguito illustrati, particolare attenzione deve essere dedicata ai problemi della durabilità; in particolare, ove si utilizzino elementi metallici, si consiglia l'uso di materiali autopassivanti o adeguatamente protetti.

#### **1. Pareti murarie**

Per aumentare la resistenza di un elemento murario si può ricorrere, in genere, ad uno o più dei seguenti provvedimenti:

- iniezioni di miscele leganti;
- applicazione di lastre in cemento armato o di reti metalliche elettrosaldate e betoncino;
- inserimento di pilastri in cemento armato o metallici in breccia nella muratura;
- tirantature orizzontali e verticali.

Gli interventi localizzati sono sconsigliati come unico modo di rafforzamento delle murature se non inseriti in un sistema generale di riorganizzazione della struttura.

Devono essere eliminati o consolidati indebolimenti locali delle pareti murarie in prossimità degli innesti e degli incroci per l'eventuale presenza di canne fumarie o vuoti di qualsiasi genere.

In caso di irregolare distribuzione delle aperture (vani di finestre o porte) nei muri maestri, quando non sia possibile la loro chiusura, con muratura efficacemente ammorsata alla esistente, si deve provvedere alla cerchiatura delle aperture stesse a mezzo di telai in cemento armato o metallici collegati alla muratura adiacente tramite perforazioni armate.

#### **2. Applicazione di tiranti**

Ove non sia presente un efficace cordolo in cemento armato, devono disporsi tiranti ancorati tramite piastre di dimensioni opportune o di chiavi, che consentano una efficace cerchiatura dell'edificio.

I tiranti possono essere realizzati con normali barre in acciaio per armatura, piatti o profilati metallici o con trefoli in acciaio armonico. Questi possono essere disposti sia orizzontalmente che verticalmente, e devono essere estesi a tutta la dimensione della parete.

Se i solai non sono in grado di assicurare un sufficiente incatenamento delle pareti, si deve intervenire con tiranti orizzontali, ancorati all'esterno delle pareti medesime. In alternativa si possono far funzionare i solai come incatenamenti, applicando alle travi ed ai travetti, se questi elementi possono essere ritenuti idonei allo scopo, chiavi metalliche ancorate all'esterno delle pareti.

L'uso di tiranti di acciaio, analogamente a quello dei cordoli di piano, mira a migliorare lo schema strutturale tramite la realizzazione di efficaci collegamenti tra le strutture murarie -portanti, assicurando un funzionamento monolitico del complesso edilizio da consolidare.

Non risultano, peraltro, trascurabili i vantaggi che ne conseguono nei riguardi della duttilità e della risposta ultima alle azioni sismiche se i tiranti sono presollecitati. Tuttavia, per quanto riguarda in particolare la presollecitazione verticale, è opportuno che la tensione normale, nelle murature, non superi, aggiunta alla precompressione, il valore di un quinto di quella di rottura.

I tiranti possono essere posti in opera all'interno o all'esterno delle murature. Nel primo caso (tiranti trivellati) essi sono costituiti da trefoli d'acciaio armonico disposti inguainati entro fori trivellati nello spessore delle murature. Nel secondo caso i tiranti sono costituiti da barre, piatti o profilati in acciaio paralleli sulle due facce della muratura ed ammorsati ad una piastra in testa del muro per mezzo di un

sistema a vite che consente di imprimere uno stato di presollecitazione. Questo tipo di tiranti è prevalentemente usato nella disposizione orizzontale.

Gli elementi di contrasto sulle murature, sono di regola costituiti da piastre metalliche che hanno il compito di distribuire la forza indotta dal tirante sulla muratura evitando concentrazioni di sforzi. Le tirantature orizzontali, adempiono inoltre, al compito di legare le pareti ortogonali: a questo fine è opportuno che le teste dei tiranti siano collegate a piastre o a chiavi di dimensioni adeguate alle caratteristiche di connessione.

I tiranti esterni sono costituiti da barre metalliche aderenti alle murature o poste in scanalature ricavate sulla loro superficie in modo da occultarne la vista. Anche qui, per i tiranti orizzontali, è opportuno disporre chiavi in testata, di dimensioni tali da garantire una buona legatura tra le murature.

### **3. Iniezioni di miscele e leganti**

L'adozione di iniezioni di miscele leganti, mira al miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura da consolidare. A tale tecnica, pertanto, non può essere affidato il compito di realizzare efficaci ammorsature dei muri e quindi di migliorare, se applicata da sola, il primitivo schema strutturale.

Le iniezioni possono essere eseguite con miscele cementizie, semplici o additivate, oppure a base di resine organiche.

Le miscele a base di resine saranno scelte adottando, in generale, prodotti a basso valore di modulo elastico quando l'ampiezza media delle lesioni è piccola e a più elevato valore di detto modulo per riempimenti di zone estese.

#### *a) Miscele a base di legante cementizio*

La miscela da iniettare deve possedere le seguenti proprietà:

- buona fluidità;
- buona stabilità;
- tempo di presa opportuno;
- adeguata resistenza;
- minimo ritiro.

Tali proprietà, sono agevolmente conseguibili con le sospensioni cementizie in acqua, semplici o con sabbie molto fini a granuli arrotondati, caratterizzate da valori del rapporto acqua-cemento in genere variabili da 0,6 a 1,2 e migliorate con l'aggiunta di additivi fluidificanti ed espansivi antiritiro. Il cemento deve essere di granulometria molto fine.

La scelta della pressione di immissione va fatta tenendo conto che le dilatazioni trasversali prodotte dal fluido in pressione, a causa delle eventuali discontinuità della muratura nei piani paralleli ai paramenti, potrebbero modificare negativamente la configurazione di equilibrio raggiunta dalla costruzione.

In ogni caso le iniezioni devono essere fatte a bassa pressione, eventualmente ricorrendo a fasi successive con pressioni via via crescenti e vanno condotte iniziando dal basso, e procedendo con simmetria.

Nel caso di murature incoerenti e caotiche, l'uso di questa tecnica richiede la loro incamiciatura o il ricorso ad altri provvedimenti cautelativi per non disperdere la miscela.

La tecnica operativa può essere articolata nelle seguenti fasi di lavoro:

- a. scelta dei punti in cui praticare i fori, effettuata in funzione della diffusione delle fessure e della porosità del muro; in genere sono sufficienti 2-3 fori per m<sup>2</sup>;
- b. asportazione dell'intonaco lesionato e stuccatura con malta cementizia delle lesioni per evitare risorgenze di miscela;
- c. esecuzione dei fori con perforazioni di diametro fino a 40 mm, eseguite mediante trapani o sonde rotative;

- d. posizionamento nei fori degli ugelli di immissione e successiva sigillatura con malta di cemento;
- e. immissione preliminare di acqua a leggera pressione, allo scopo di effettuare il lavaggio delle sezioni filtranti e di saturare la massa muraria;
- f. iniezione della miscela.

Nel caso di dissesti localizzati in zone limitate può risultare conveniente risanare dapprima a bassa pressione queste zone e poi operare a pressione più elevata, nelle zone rimanenti.

#### b) *Miscele a base di resine*

Stante la forte dipendenza, per il buon esito dell'operazione, dal dosaggio dei componenti base e dalle condizioni di esecuzione, si consiglia l'uso delle iniezioni di miscele a base di resine nei soli casi in cui risulti dimostrata la convenienza economica e si possa fare ricorso ad operatori specializzati.

La tecnica operativa resta, comunque, non dissimile da quelle già illustrate per le iniezioni cementizie alla quale si rimanda.

#### c) *Iniezioni armate*

Tale sistema di consolidamento prevede l'inserimento nella muratura di un reticolo di barre metalliche, assicurandone la collaborazione per aderenza mediante miscele cementanti. In condizioni sfavorevoli, può essere necessario consolidare, preventivamente la muratura mediante iniezioni semplici.

L'uso di questa tecnica è consigliabile allorché si debbano realizzare efficaci ammorsature tra le murature portanti, nei casi in cui non si possa ricorrere all'uso di altre tecnologie. In questo caso le cuciture si realizzano mediante armature di lunghezza pari a 2 ÷ 3 volte lo spessore delle murature, disposte in fori trivellati alla distanza di 40-50 cm l'uno dall'altro e preferibilmente inclinati alternativamente verso l'alto e verso il basso.

Le miscele leganti da impiegare sono dello stesso tipo di quelle esaminate al punto a) con l'avvertenza che dovranno essere ancora più accentuate le caratteristiche di aderenza ed antiritiro, oltre che di resistenza, per poter contare sulla collaborazione fra armature e muratura, poiché nel caso specifico le iniezioni sono localizzate nelle zone più sollecitate.

### **4. Applicazione di lastre e reti metalliche elettrosaldate**

L'intervento mira a conservare, adeguandola alle nuove esigenze, la funzione resistente degli elementi murari, fornendo ad essi un'adeguata resistenza a trazione e dotandoli di un grado più o meno elevato di duttilità, sia nel comportamento a piastra che in quello a parete di taglio.

È opportuno che questo tipo di intervento venga esteso, con particolari accorgimenti, in corrispondenza degli innesti murari, onde realizzare anche una modificazione migliorativa dello schema strutturale.

Il consolidamento si effettua con l'apposizione, possibilmente su una o entrambe le facce del muro, di lastre cementizie opportunamente armate e di adeguato spessore. Le armature sono costituite da barre verticali ed orizzontali o da reti, nonché da ferri trasversali passanti nel muro che assicurino i collegamenti.

In relazione al tipo ed allo stato di consistenza della muratura, a questo intervento può essere associata la iniezione in pressione, nel corpo murario, di miscele leganti.

Su ciascun elemento murario l'intervento può ancora essere dosato, sia operando per "fasce" verticali ed orizzontali, sia limitandolo al solo rinforzo del perimetro dei vani porta o finestra o adottando un sistema misto di rinforzo.

La tecnologia dell'intervento, di norma è articolata nelle seguenti operazioni:

1. preparazione delle murature, previa adeguata puntellatura: asportazione dell'intonaco, riempimento delle cavità esistenti con particolare riguardo a quelle in prossimità delle ammorsature tra i muri, rifacimento a cuci-scuci;

2. spazzolatura e lavaggio con acqua od aria in pressione;
3. esecuzione delle perforazioni nella muratura per l'alloggiamento delle barre trasversali di collegamento;
4. applicazione delle barre o delle reti di armatura su una o entrambe le facce del muro, con adeguate sovrapposizioni e risvolti;
5. messa in opera di distanziatori dell'armatura dal muro, per consentire il completo avvolgimento delle barre da parte della lastra cementizia, di spessore adeguato e comunque non inferiore a 2 cm;
6. alloggiamento, nei fori, delle barre trasversali con adeguati risvolti di ancoraggio;
7. l'inserimento dei collegamenti delle lastre cementizie agli elementi resistenti di contorno (solai - cordoli - pareti trasversali - fondazioni);
8. esecuzione della lastra cementizia per lo spessore prefissato, dopo abbondante lavaggio della superficie muraria;
9. esecuzione delle eventuali iniezioni nei muri, effettuate con pressioni che, per la presenza delle lastre armate aventi funzione di contenimento, possono essere anche elevate, fino a  $2 \div 3 \text{ kg/cm}^2$ .

### **5. Inserimento di cordoli e pilastrini**

Tale tecnica non differisce, nelle finalità, da quella precedentemente illustrata.

Il concetto informatore è quello dell'introduzione nelle murature di elementi resistenti, atti a confinare la muratura o dotarla di duttilità strutturale - in modo discontinuo e concentrato, anziché diffuso.

Per tale motivo è consigliabile l'adozione di questa tecnica quando si debba operare con murature a blocchi squadrati (mattoni, pietre lavorate) o comunque di discreta consistenza, risultando per contro sconsigliabile per interventi su murature di costituzione caotica e con malta degradata.

Il funzionamento dell'insieme strutturale si modifica profondamente in senso positivo, solo se gli elementi in cemento armato o in acciaio, sono convenientemente organizzati fra loro ed in rapporto alla muratura, come può ottenersi eseguendo una serie di cordoli verticali ed orizzontali tutti collegati fra loro.

L'inserimento di pilastrini, in breccia è effettuato a distanze regolari (circa 2 m). Si crea uno scasso per circa 15 cm all'interno della muratura e si realizza l'ancoraggio, per mezzo di staffe passanti o di spaccature distribuite lungo l'altezza.

Per la realizzazione di cordoli a tutto spessore, è necessario procedere al taglio a forza della muratura, operando per campioni o globalmente.

Nel primo caso si affida la resistenza del pannello murario durante le fasi realizzative alle porzioni di murature integre o già trattate; nel secondo caso occorre disporre appositi sostegni (eventualmente martinetti) ai quali è delegato il compito di sostenere i carichi verticali durante la costruzione del cordolo.

Per i cordoli di tipo a spessore parziale è necessario predisporre tagli passanti per realizzare poi collegamenti di ancoraggio e sostegno; se due cordoli cingono la muratura al medesimo livello, tali collegamenti hanno sagoma cilindrica, mentre se il cordolo è da un solo lato, tali collegamenti sono conformati a mò di tronco di piramide con dimensione maggiore verso l'esterno.

L'armatura metallica è costituita da una gabbia formata da barre longitudinali e staffe, con un minimo di 4  $\varnothing 12$  e staffe  $\varnothing 6$  ogni 30cm.

Nei cordoli a tutto spessore, realizzati globalmente, i martinetti a vite restano inglobati nel getto.

L'esecuzione di cordoli e pilastrini in acciaio avviene con modalità analoghe a quelle sopra indicate, assicurando la collaborazione con la muratura mediante opportune zancature.

### **6. Archi e volte**

Gli archi e le volte devono essere muniti di cinture, chiavi e tiranti, posti convenientemente in tensione, ed atti ad assorbire integralmente le spinte, a meno che le murature di sostegno abbiano spessori sufficienti a sopportare le spinte, valutate tenendo conto anche delle azioni sismiche.

Qualora occorra risanare o rinforzare le volte, è possibile intervenire con la tecnica delle iniezioni di miscele leganti meglio se integrate da perforazioni armate.

Nel caso delle volte di luce non molto grande, un valido sistema di rafforzamento consiste nel costruire in aderenza un guscio portante, generalmente estradossato, realizzato da una rete metallica elettrosaldata chiodata alla struttura da rinforzare e da uno strato di malta antiritiro ad elevata resistenza o di miscele di resine. L'intervento deve essere preceduto da una accurata pulitura della superficie, in aderenza alla quale si esegue il rinforzo, con aria compressa ed eventualmente qualora si impieghino malte cementizie, con acqua, nonché dalla sigillatura delle lesioni macroscopiche.

Con tale procedimento, in particolare, è possibile evitare interventi sulla superficie di intradosso, il che assume fondamentale importanza allorché questa ultima sia affrescata o presenti, comunque, caratteristiche estetiche da non alterare.

Gli archi e le volte che siano interessati da gravi dissesti, se realizzati con muratura di non buona consistenza e fattura, devono essere eliminati.

## **7. Solai**

Il restauro statico del solaio deve puntare al soddisfacimento dei seguenti requisiti fondamentali:

- resistenza adeguata ai carichi previsti in fase di utilizzazione;
- in relazione a detti carichi, rigidzze (trasversali e nel proprio piano) sufficienti ad assicurare sia la funzionalità in esercizio dell'elemento strutturale, sia la funzione di diaframma di collegamento e ripartizione tra le strutture verticali;
- collegamento efficace con le murature verticali, agli effetti delle trasmissioni degli sforzi.

I primi due requisiti, nel caso di solai in legno, possono essere agevolmente realizzati, ad esempio, inchiodando al tavolato esistente uno strato di tavole ortogonali alle precedenti di conveniente spessore ( $S \geq 3$  cm) oppure, realizzando una soletta di calcestruzzo armato di sufficiente spessore per assicurare resistenza e rigidzza alla struttura mista finale (legno cemento armato).

Qualora i solai siano deteriorati, si da non possedere adeguata rigidzza nel proprio piano, essi devono essere sostituiti o rinforzati.

Nel caso si impieghino travetti prefabbricati in cemento armato ordinario o precompresso, si deve disporre una apposita armatura di collegamento dei travetti alle strutture perimetrali in modo da costituire un efficace ancoraggio sia agli effetti della trasmissione del momento negativo, sia della forza di taglio che delle azioni normali alla parete.

L'ancoraggio alle murature verticali può essere realizzato con l'esecuzione di un cordolo in cemento armato, di altezza non inferiore a quella del solaio in corrispondenza di ciascun orizzontamento, oppure con il consolidamento della muratura in corrispondenza degli orizzontamenti mediante iniezioni di miscele leganti armate. In quest'ultimo caso le perforazioni possono essere eseguite trasversalmente alle murature, con andamento incrociato e inclinazione tale da interessare un'altezza pari almeno a quella del solaio, oppure orizzontalmente e parallelamente all'asse della muratura, completandole in tal caso, eventualmente, con cuciture d'angolo, in modo da legare solidamente tutti gli elementi componenti la compagine strutturale.

In alternativa, per le strutture più modeste può essere sufficiente anche un collegamento discontinuo che, nel caso di solai in legno, può realizzarsi mediante piatti metallici d'ancoraggio chiodati alle travi, passanti in fori predisposti nei muri e successivamente sigillati con malta cementizia.

Infine per solai in legno con cappa in calcestruzzo e solai latero-cementizi di nuova costruzione, un sufficiente collegamento può essere costituito da un cordolo continuo in cemento armato a spessore parziale o semplicemente in aderenza, provvisto di cunei di ancoraggio passanti attraverso le murature ed opportunamente armati.

## **8. Scale**

Le scale in muratura a sbalzo, cioè quelle aventi gli scalini o la sottostruttura incastrati nei muri di gabbia da un lato e liberi dall'altro, devono essere di regola sostituite con scale in cemento armato o in acciaio. Possono tuttavia essere conservate soltanto se prive di lesioni e dopo averne verificata l'efficienza a mezzo di prove di carico.

Quando necessità ambientali-architettoniche richiedano la conservazione di scale a sbalzo staticamente non sicure, potranno adottarsi rinforzi con strutture metalliche oppure cementizie. In quest'ultimo caso dovrà porsi massima cura affinché gli sforzi di trazione, presenti sulla struttura muraria delle scale, siano completamente assorbiti da armature opportunamente inserite, ancorate alla muratura perimetrale e suggelate con malte cementizie antiritiro o epossidiche.

## **9. Coperture**

I tetti devono essere resi non spingenti. Negli interventi di semplice miglioramento occorre, in particolare, assicurarsi della capacità di resistere alle azioni orizzontali da parte delle murature perimetrali ed interne che spiccano dall'ultimo solaio per sostenere il tetto e di realizzare un efficace collegamento fra le strutture del tetto e le murature su accennate. Nel caso di tetti in legno si deve garantire anche una adeguata connessione fra i diversi elementi costituenti l'orditura.

Gli elementi sporgenti dalle coperture (comignoli, abbaini, parapetti torrini, antenne, ecc.) devono essere ben fissati alla base e, se necessario, controventati.

I provvedimenti intesi ad ottenere l'adeguamento sismico possono essere i seguenti:

- costruzione di cordoli di sottotetto in c.a. per la ripartizione delle forze trasmesse alla muratura dagli elementi strutturali lignei e cerchiatura dell'edificio in sommità;
- applicazione di un tavolato di sottotetto in legno o di croci di Sant'Andrea per irrigidire la struttura nel piano di falda;
- applicazione di catene in ferro e/o in legno.

Qualora, per motivi di particolare pregio architettonico o per l'ottimo stato di conservazione della copertura, non risulti conveniente la creazione di cordoli in cemento armato di sommità, si può, in via del tutto eccezionale, procedere al rinforzo della muratura che spicca dall'ultimo piano (compresi gli eventuali timpani) mediante iniezioni e cuciture armate o incorniciatura con lastre di cemento armato; particolare cura si deve porre comunque per realizzare efficaci collegamenti dell'orditura principale lignea con la muratura così rinforzata.

## **10. Fondazioni**

Nella maggior parte degli edifici in muratura, la struttura di fondazione è sostanzialmente coincidente con l'edificio stesso. Pertanto gli eventuali interventi sono prevalentemente di tipo localizzato, tendenti a sanare eventuali situazioni di debolezza puntuali.

Nel caso di inserimento nell'edificio di una nuova muratura, la sua fondazione deve essere ammorsata in quella delle murature esistenti mediante un opportuno innesto.

La riduzione della pressione di contatto edificio-terreno può ottenersi, in generale, ampliando la base del fabbricato mediante placcaggi in conglomerato cementizio a getto od a spruzzo convenientemente armati,

applicati da uno o da entrambi i lati della muratura. L'efficacia di tale intervento è peraltro legata alle caratteristiche di compressibilità del terreno e alle modalità esecutive.

In quei particolari casi in cui il terreno di fondazione sia di scadenti proprietà fisico-meccaniche, può essere necessario riportare i carichi in profondità mediante pozzi o pali. Si possono usare pali di normale diametro opportunamente collegati alle strutture, ovvero si possono utilizzare pali di piccolo diametro eventualmente eseguiti attraverso le strutture esistenti così da collegarsi ad esse, per poi approfondirsi nel terreno sottostante.

Per i pali di regola si adotta il sistema di trivellazione a rotazione, che non comporta scuotimenti pericolosi per strutture già in fase di dissesto.

## **ALLEGATO 4**

### **Edifici in cemento armato: Provvedimenti tecnici di intervento**

Nella concezione ed esecuzione degli interventi di seguito illustrati, particolare attenzione deve essere dedicata ai problemi della durabilità; in particolare, ove si utilizzino elementi metallici, si consiglia l'uso di materiali autopassivanti.

#### **1. Generalità**

I provvedimenti tecnici descritti in questa parte, riguardano prevalentemente le modalità esecutive a carattere locale, che possono costituire le singole fasi di realizzazione degli interventi. Il progetto generale dell'intervento che considera il comportamento globale del fabbricato in fase sismica, rimane il fattore principale che assicura la buona riuscita dell'opera, dal quale pertanto non è mai possibile prescindere e dalla cui organicità, i singoli interventi devono derivare.

#### **2. Strutture in elevazione**

Per la riparazione ed il rafforzamento locale delle strutture in elevazione, si può ricorrere ad uno o più dei seguenti provvedimenti tecnici:

- iniezioni di miscele leganti;
- ripristino localizzato con conglomerati;
- ripristino e rinforzo dell'armatura metallica;
- cerchiature di elementi strutturali;
- integrazione di armatura con l'applicazione di lamiera metalliche;
- rinforzo con tiranti.

Nei casi in cui l'intervento consista nel ripristinare strutture cementizie per porzioni o tratti di entità considerevoli può essere usato calcestruzzo ordinario, che abbia resistenza e modulo elastico non troppo diversi da quelli del calcestruzzo esistente; l'aderenza del getto all'elemento da riparare può essere migliorata mediante l'applicazione di uno strato adesivo.

Per conciliare le esigenze di elevata resistenza e buona lavorabilità dei getti può essere opportuno usare additivi fluidificanti (che in genere migliorano anche l'adesione al materiale preesistente).

Idoneo, in generale, è anche l'uso di calcestruzzi o malte con additivi che realizzano un'espansione volumetrica iniziale capace di compensare o addirittura di superare il ritiro.

Questo accorgimento permette di creare modesti stati di coazione, benefici per l'inserimento dei nuovi getti; è peraltro essenziale utilizzare casseri contrastanti.

## **2.1. Iniezioni con miscele leganti**

Le iniezioni sotto pressione, di materiali (miscele cementizie e di resine) di opportuno modulo elastico e con spiccate proprietà di aderenza al calcestruzzo ed all'acciaio, possono essere usate soltanto per la risarcitura di lesioni la cui apertura non superi i 3-4 mm.

L'impiego di resine migliora la resistenza sia a compressione che a trazione. Il materiale si presta bene ad essere usato per iniezioni anche mescolato con inerti fini. In funzione di molti fattori, fra cui anche il tipo di inerti, si ottengono moduli elastici molto variabili (da 20.000 kg/cm<sup>2</sup> a valori simili a quelli del calcestruzzo ordinario).

Le caratteristiche finali delle miscele dipendono sensibilmente, tra l'altro, dalle condizioni ambientali (temperature ed umidità) nelle quali avviene la loro maturazione. Pertanto, è raccomandabile che lo studio delle modalità di preparazione tenga conto delle effettive condizioni ambientali prevedibili e che si provveda, in sede di esecuzione, al controllo delle condizioni stesse, eventualmente con misurazioni della temperatura e dell'umidità.

Risarciture di lesioni localizzate di piccola entità sono effettuabili con miscele prevalentemente di resine con viscosità e pressioni dipendenti dalle ampiezze delle stesse. Si raccomanda di usare pressioni non troppo elevate per non indurre stati di coazione eccessivi nell'elemento iniettato. Si sconsigliano iniezioni di resina per lesioni rilevanti per evitare eccessivi riscaldamenti prodotti dalla polimerizzazione della miscela.

Le operazioni da effettuare sono:

- a. pulizia della polvere o dalle altre impurità delle superfici danneggiate con l'eliminazione del materiale disgregato;
- b. pulizia in profondità con aria o acqua in pressione;
- c. sigillatura delle lesioni con stucco o intonaco e predisposizione di tubicini di ingresso della miscela che è costituita generalmente da resina pura o debolmente caricata.

La tecnica descritta è altresì da evitare nel caso di lesioni molto piccole (ad esempio attorno al decimo di millimetro) perché l'iniezione diventa difficoltosa e richiede pressioni elevate, con esito incerto e possibilità di effetti negativi difficilmente controllabili sulle parti di struttura lesionate. In questi casi si raccomanda di non fare affidamento sul completo ripristino della continuità dell'elemento fessurato, ma solo su una percentuale cautelativa che tenga conto appunto della probabile presenza di lesioni e distacchi non iniettati.

## **2.2. Ripristino localizzato con conglomerati**

Nel caso di lesioni di apertura superiore ai 3-4 mm ovvero quando il calcestruzzo si presenta fortemente degradato o frantumato si ricorre al ripristino dell'elemento danneggiato mediante il getto localizzato di conglomerato, che potrà essere, a seconda dei casi, di tipo ordinario, di tipo additivato con spiccata proprietà di aderenza al preesistente calcestruzzo ed alle armature di tipo spruzzato (gunite, spritzbeton, ecc.) adoperabile soltanto su nuclei integri e per spessori non eccessivi, e del tipo composto da resine.

Qualsiasi intervento deve essere preceduto dalla scarificazione nel calcestruzzo con la rimozione di tutte le parti disgregate.

La riparazione con getto di calcestruzzo, ordinario o con additivi, è la più frequente nel caso che si presenti parziale disgregazione del materiale (eventualmente evidenziabile anche con debole percussione).

Eseguite le occorrenti puntellature o tirantature provvisorie, si procede nella maniera seguente:

- a. eliminazione di tutte le parti disgregate o parzialmente espulse ponendo attenzione a non danneggiare le armature presenti;
- b. eventuale iniezione della parte messa a nudo;

- c. pulizia della superficie con aria compressa e lavaggio; se si rende necessario l'inserimento di nuove armature, dopo l'operazione indicata alla lettera a) si prosegue con le operazioni appresso elencate;
- d. messa in opera di nuove armature mediante saldatura alle preesistenti, semplice legatura con spinotti o con barre infilate in fori trapanati nella parte di calcestruzzo indenne (successivamente iniettati); quest'ultimo intervento è da effettuare quando non si ritenga sufficiente per il collegamento tra vecchio e nuovo, la sola aderenza del calcestruzzo o la resistenza dell'adesivo spalmato prima del getto;
- e. posizionamento dei casseri e loro eventuale contrasto;
- f. eventuale spalmatura di adesivo tra vecchio calcestruzzo e nuovo getto;
- g. esecuzione del getto di calcestruzzo e di malta, prima che l'eventuale adesivo abbia iniziato la polimerizzazione; una tecnica analoga utilizzabile quando il danno si limita al copriferro o poco di più, consiste nella applicazione di una intonacatura con malta cementizia a ritiro compensato, posta in opera mediante spruzzatura.

Questo tipo di applicazione (opportuno per spessori non superiori a 3 centimetri) è conveniente nella riparazione delle pareti di cemento armato. In questo caso la riparazione si effettua applicando uno o più strati di rete elettrosaldata e collegando i due strati con barre, spinotti o gabbie staffate passanti attraverso la parete; i collegamenti sono completati iniettando i fori di attraversamento.

Il materiale per la ricostruzione dell'elemento può essere anche malta di resina con il vantaggio di avere una resistenza e un'adesione elevate, ma con la possibilità di introdurre una zona con moduli elastici e resistenze generalmente diversi da quelli del calcestruzzo.

### **2.3. Ripristino e rinforzo dell'armatura metallica**

Ove necessario, le armature vanno integrate. Particolare cura va posta all'ancoraggio delle nuove armature ed alla loro solidarizzazione all'elemento esistente.

Il rinforzo può essere realizzato localmente con l'aggiunta di nuove barre, od interessare l'intera struttura, con l'inserimento di elementi aggiuntivi in cemento armato o in acciaio, resi collaboranti con quelli esistenti. In presenza di pilastri fortemente danneggiati alle estremità, la riparazione deve comportare anche il rinforzo delle armature longitudinali e trasversali.

Il getto di completamento può essere eseguito con malta o calcestruzzo a stabilità volumetrica oppure con malta o calcestruzzo ordinari assicurando in ogni caso l'aderenza tra il nuovo e il vecchio calcestruzzo.

Il rinforzo dei nodi trave-pilastro deve assicurare il miglioramento dell'ancoraggio delle armature, e una continuità meccanica sufficiente a trasmettere gli sforzi massimi sopportabili dalle sezioni di estremità interessate, contenere il conglomerato e le armature nei riguardi della espulsione trasversale, mediante opportuna staffatura.

Quando i nodi trave-pilastro sono tanto danneggiati da rendere tecnicamente difficile la loro riparazione, la funzione statica degli elementi strutturali convergenti nei nodi deve essere attribuita ad altri elementi portanti dell'ossatura.

Per ripristinare l'efficienza di barre ingobbate, occorre un provvedimento diretto di riparazione costituito, ad esempio, da saldatura di spezzoni di barre o di angolari a cavallo del tratto danneggiato e da inserimenti di armature trasversali per ridurre la lunghezza libera di inflessione.

Il caso di un insufficiente o mal disposto ancoraggio delle barre dei pilastri si può risolvere con armature saldate passanti entro fori praticati attraverso i nodi, e successivamente ricoperti con malta cementizia a ritiro compensato o epossidica e/o con iniezioni di resina. Nuove barre possono essere saldate anche in

elementi inflessi a cavallo delle sezioni danneggiate per difetto di armature longitudinali, con adeguato prolungamento per l'ancoraggio.

In elementi sottoposti a forze di taglio e nei nodi dei telai possono essere applicate staffe o collari per quanto possibile perpendicolari alla lesione. Le armature vanno poi protette da intonaco cementizio a ritiro compensato.

In ogni caso gli ancoraggi delle barre e le loro giunzioni mediante saldatura sono migliorati dal confinamento realizzato da una fitta armatura trasversale che avvolga la zona trattata.

Per l'acciaio in barre, quando ne sia previsto il collegamento alle armature esistenti tramite saldature, si raccomanda di controllare la saldabilità, sia delle esistenti che di quelle aggiuntive, o meglio la capacità di sopportare l'unione senza divenire fragile.

#### **2.4. Cerchiature di elementi strutturali**

L'effetto della "cerchiatura" si ottiene con staffe o altre armature trasversali di contenimento. Esso ha lo scopo di contrastare le deformazioni trasversali del calcestruzzo, prodotte dalle tensioni di compressione longitudinali, migliorandone le caratteristiche di resistenza e di duttilità.

Queste armature possono essere semplici collari di lamierino, ovvero eliche di filo d'acciaio, oppure vere e proprie strutture di carpenteria metallica, calastrellate o più raramente reticolate. Le armature esterne devono essere protette mediante intonaco cementizio o gunite armata con rete.

Una cerchiatura si realizza anche con la messa in opera di armature trasversali generalmente chiuse, quali staffe (eventualmente saldate), spirali, collari o profilati saldati a formare una struttura chiusa.

#### **2.5. Integrazioni di armatura con l'applicazione di lamiere metalliche**

Un'armatura aggiuntiva, se necessaria, può essere realizzata mediante piastre di acciaio, applicate sulla superficie dell'elemento strutturale da riparare o da rinforzare ed a questo solidarizzate opportunamente.

Nel caso di piastre sollecitate a taglio o compressione, deve porsi attenzione al pericolo di instabilità; in ogni caso, questa tecnica comporta un aumento della rigidità dell'elemento riparato, di cui si deve tener conto nei calcoli.

Le piastre devono essere opportunamente protette dalla corrosione.

Tale tecnica consiste nella solidarizzazione tramite incollaggio e chiodature di lamiere o profilati su elementi in cemento armato. Questo provvedimento può essere usato in casi particolari in cui non sono applicabili metodi tradizionali; ne può essere giustificato l'impiego ad esempio quando si riscontrino:

- danni nella parte tesa di elementi inflessi. In questo caso la lamiera ha funzione di armatura tesa e la resina, e i chiodi, assicurano la trasmissione delle forze di scorrimento;
- danni in zone sottoposte a taglio. In questo caso la lamiera è posta in genere a cavallo fra zona tesa e compressa; in quest'ultima vanno posti i connettori di collegamento trasversale per prevenire fenomeni di instabilità delle lamiere stesse. Alla lamiera viene affidato il compito di trasmettere le forze di scorrimento;
- danni per eccessiva trazione o nelle zone di ancoraggio delle barre di armatura.

L'incollaggio delle lamiere è ammesso quando il conglomerato presenta buone caratteristiche di resistenza.

In ogni caso le operazioni consistono in:

1. pulizia della superficie da incollare previa asportazione dello strato di calcestruzzo degradato mediante energica azione di spicconatura e di martellinatura;
2. applicazione di successivi strati di malta di resina per regolarizzare, ove necessario, superficie (si raccomanda di non superare, per lo spessore di ogni strato, valori intorno a 5-6 mm);

3. incollaggio delle lamiere con adesivo spalmato. Le lamiere devono essere tenute in sito con chiodi ad espansione con puntelli forzanti fino ad indurimento;
4. in alternativa al punto 3) possono impiegarsi lamiere con successive iniezioni resina;
5. protezione delle lamiere con prodotti anticorrosivi.

Il rinforzo di elementi in cemento armato può conseguirsi mediante tiranti di acciaio posti in tensione seguendo la tecnica della precompressione, oppure delle chiodature pretese.

In ogni caso deve verificarsi che l'intervento non provochi dannosi stati di coazione.

### **3. Fondazioni**

In consolidamento delle fondazioni può in genere conseguirsi:

- con la costruzione, ove possibile di travi in cemento armato per il collegamento dei plinti nelle due direzioni in guisa da realizzare un reticolo orizzontale di base;
- con la costruzione di setti in cemento armato al livello di primo interpiano si da costruire nel suo complesso una struttura scatolare rigida;
- con l'approfondimento delle strutture fondali mediante pali di piccolo o medi diametro, fortemente armati;
- con l'allargamento della base d'appoggio mediante sottofondazione in cemento armato oppure mediante la costruzione di cordolature laterali in cemento armato;
- con rinforzi localizzati delle strutture di fondazione (fasciature in acciaio od in cemento armato presollecitato, cerchiature ecc.).

Nei casi in cui l'intervento consista nel ripristinare strutture cementizie per porzioni o tratti di entità considerevoli può essere usato calcestruzzo ordinario, che abbia resistenza e modulo elastico non troppo diversi da quelli del calcestruzzo esistente; l'aderenza del getto all'elemento da riparare può essere migliorata mediante l'applicazione di uno strato adesivo. Per conciliare le esigenze di elevata resistenza e buona lavorabilità dei getti può essere opportuno usare additivi fluidificanti (che in genere migliorano anche l'adesione al materiale preesistente).

Idoneo, in generale, è anche l'uso di calcestruzzi o malte con additivi che realizzano un'espansione volumetrica iniziale capace di compensare o addirittura di superare il ritiro.

Questo accorgimento permette di creare modesti stati di coazione, benefici per l'inserimento dei nuovi getti; è peraltro essenziale utilizzare casseri contrastanti.

DOMENICO CORTESANI, *direttore*

FRANCESCO NOCITA, *redattore*

ALFONSO ANDRIANI, *vice redattore*