

TOIII

IL RECUPERO DEGLI EDIFICI NORMALI IN MURATURA IN ZONA SISMICA

Capitolo 4

Codice di pratica

Indice

- 4.0. Premessa: le direttrici di recupero.
- 4.1. Direttrice D1: incremento della resistenza della muratura (senza modifiche della morfologia)
 - 4.1.1. Consolidamento con impacchettamento della parete e iniezioni di cemento
 - 4.1.2. Pacotrapunta
 - 4.1.1.1. Iniezioni di miscele cementizie
 - 4.4.0.1.1.2. Iniezioni di resine
 - 4.4.0.1.1.3. Iniezioni di miscele cementizie additivate
 - 4.4.0.1.2. Perforazioni armate
 - 4.4.0.1.3. Inserimento di catene di acciaio.
 - 4.4.0.1.4. *Sostruzione* nelle masse murarie
- 4.2. Direttrice D2: incremento della resistenza per confinamento perimetrale.
 - 4.2.1. Lastre di fasciatura degli elementi murari
 - 4.2.1.1. Placcatura con lastre di conglomerato cementizio
 - 4.2.1.2. Placcatura con lastre in betoncino, previo consolidamento
 - 4.2.1.3. Lastre in *gunite*
 - 4.2.2. Cordoli in cemento armato.
 - 4.2.3. Piattabande
- 4.3. Direttrice D3
 - 4.3.1. Puntellature
 - 4.3.1.1. Puntellature in acciaio e in legno
 - 4.3.1.2. Provvedimenti di rafforzamento dell'edificio con pareti in muratura o in conglomerato armato (provvisorio e/o definitivo) - placcatura.
- 4.4. Il recupero degli edifici
 - 4.4.1. Il recupero degli edifici della prima classe.
 - 4.4.2. Il recupero degli edifici della seconda classe
 - 4.4.3. Il recupero degli edifici della terza classe.
 - 4.4.4. Il recupero degli elementi componenti
 - 4.4.4.1. Il recupero delle volte
 - 4.4.4.2.1. Il recupero dei solai in legno
 - 4.4.4.2.1.1. Modelli per la verifica degli ancoraggi a maniglione
 - 4.4.4.2.2. Il recupero dei solai in profilati di acciaio.
 - 4.4.4.2.2.1. Il recupero dei solai non idonei al sostegno dei carichi verticali.
 - 4.4.4.2.2.2. Il recupero dei solai in relazione ai carichi orizzontali agenti sull'edificio.
 - 4.4.4.2.3. Il recupero dei solai in c.a.
 - 4.4.4.3. Il recupero delle strutture murarie
 - 4.4.4.4. Il recupero delle strutture di copertura: il caso della scuola di Buonalbergo
 - 4.4.4.5. Il recupero delle piattabande ai fini della resistenza globale dell'edificio.
 - 4.4.4.6. Il recupero delle scale
 - 4.4.4.6.1. Scale in muratura di tipo diverso
 - 4.4.4.7. Il recupero delle fondazioni

IIIcap4. 0. PREMESSA

Per il *recupero* degli edifici in muratura occorre un apposito rilievo strutturale redatto come illustrato nel cap1. L'edificio va identificato nella sua geometria e morfologia attuale relativa alla intera struttura ed a quella dei suoi componenti; l'aggettivo *strutturale* implica che occorre individuare la *sua classe tipologica*, l'*epoca* della sua costruzione, le *trasformazioni* avvenute fino all'attualità, i suoi *difetti* di qualità (dei materiali e di esecuzione), i suoi eventuali *sintomi di dissesto*.

Questi accertamenti vanno documentati adeguatamente. Il tecnico incaricato del recupero verifica così la condizione di sicurezza attuale, la inesistenza di uno stato di pericolo imminente (a prescindere da un possibile evento sismico) e giudica se l'edificio soddisfa i *requisiti prescritti dalla normativa (dal punto di vista statico e delle funzionalità)*.

In questo capitolo si tratta l'aspetto statico e, quindi, le **normative** riguardanti specificamente gli edifici in muratura e quanto riguarda la sua accettabilità statica rispetto alle azioni esterne presenti e future e la durata delle sue condizioni attuali tenendo conto anche degli interventi eventuali che si propone di adottare (**cf. cap. 2.4**).

àààà 06L30 21,02

NOTA - Il rilievo è una operazione importante che certamente richiede tempo attenzione e indagini. Ne consegue che per le ristrutturazioni il deposito preventivo di tutta la documentazione di rilievo e progetto si può allestire lentamente e quindi i lavori devono iniziare sulla base di una sequenza di fasi di rilievo, progetto, esecuzione indagini, accertamenti.

All'inizio è possibile solo produrre un quadro generale da approfondire in dettaglio man mano che gl'interventi si attuano e la conoscenza delle situazioni si approfondisce.,

Le verifiche di sicurezza ai vari livelli di approfondimento si effettuano con i *modelli di funzionamento* (cap. III-3) suggeriti dalla ingegneria. Se il risultato è negativo, si interviene con i procedimenti di recupero che formano il bagaglio di conoscenze del tecnico incaricato (v. cap. III-4 → *codici di pratica*). I tecnici utilizzano le procedure di rafforzamento che ritengono ottimali con le tecnologie disponibili. In questo capitolo si danno pertanto solo indicazioni orientative, (*trattandosi di un settore in continuo sviluppo evolutivo*).

Il *recupero* (si sottintenderà, nel seguito, *della idoneità statica*) deve comunque soddisfare le esigenze espresse dai tecnici che si occupano del recupero degli impianti tecnici e della

distribuzione funzionale architettonica. Infatti per rendere accettabile l'edificio, è necessario aggiornare la *distribuzione interna* e gli *impianti tecnici*.

Nel seguito di questo capitolo si illustrano le *direttrici di recupero* e le *monadi tecnologiche*, due strumenti di orientamento per i tecnici per la impostazione di un proprio *codice di pratica*, contenente procedure e strumenti che gli occorrono per effettuare gli interventi atti ad adeguare in vario modo l'edificio, a rafforzare la struttura muraria tenendo conto delle altre esigenze di recupero (settori architettonico ed impiantistico) e di quelle derivanti dalle tipologie murarie e/o dalle stesse verifiche statiche effettuate come indicato nei capitoli precedenti.

Nella **Fig.III-4.1.** è schematicamente riportato il campo di attività su indicato: è in esso evidenziata l'aliquota per la quale la **normativa** dà indicazioni-guida.

Sono infatti riportati riferimenti in merito:

- a) alle **direttrici di recupero D1, D2, D3;**
- b) alle **monadi tecnologiche, che oggi sono disponibili;**
- c) ai **modelli convenzionali più significativi che la bibliografia specializzata suggerisce.**

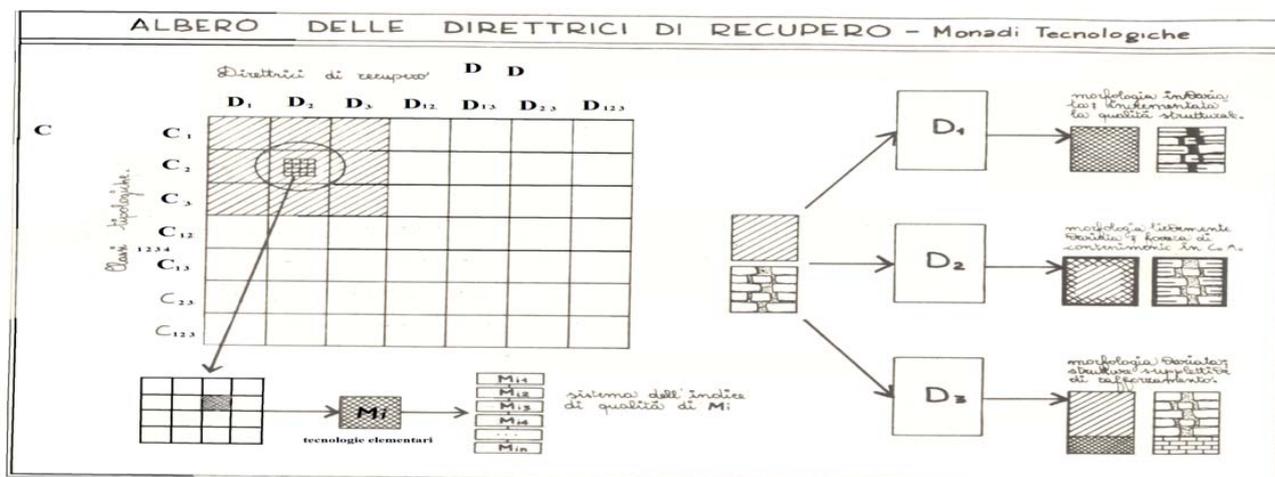


Fig. III-4.1

Il tecnico professionista ha quindi un vasto campo da approfondire con il suo codice di pratica.

La progettazione e l'esecuzione del recupero in definitiva procede, in pratica, secondo la esperienza dei tecnici, in coordinamento con gli altri tecnici esperti nei settori architettonico e impiantistico rappresentati all'esterno della zona evidenziata (tratteggiato) nella Fig.III-4.1.

Il tecnico incaricato, con i modelli specificati nel cap. 3°, accerterà se già sussiste la idoneità statica dell'edificio ovvero necessita di rafforzamenti da realizzare secondo la Fig.III-4.2.

Egli potrà, in alternativa, utilizzare la propria esperienza (il suo codice di pratica) miscelando in modo ottimale le sue monadi tecnologiche, e percorrere altri sentieri segnalati dalle direttrici di recupero per migliorare il soddisfacimento delle esigenze del committente (di qualità statico-abitativa-impiantistica)

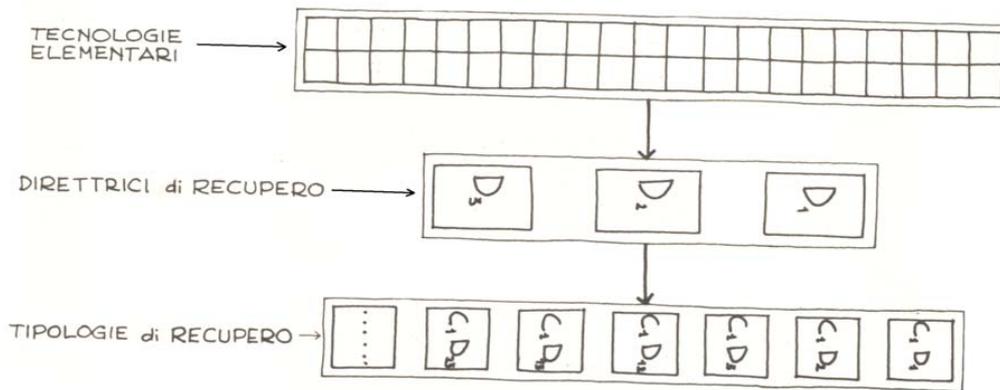


Fig. III-4.2

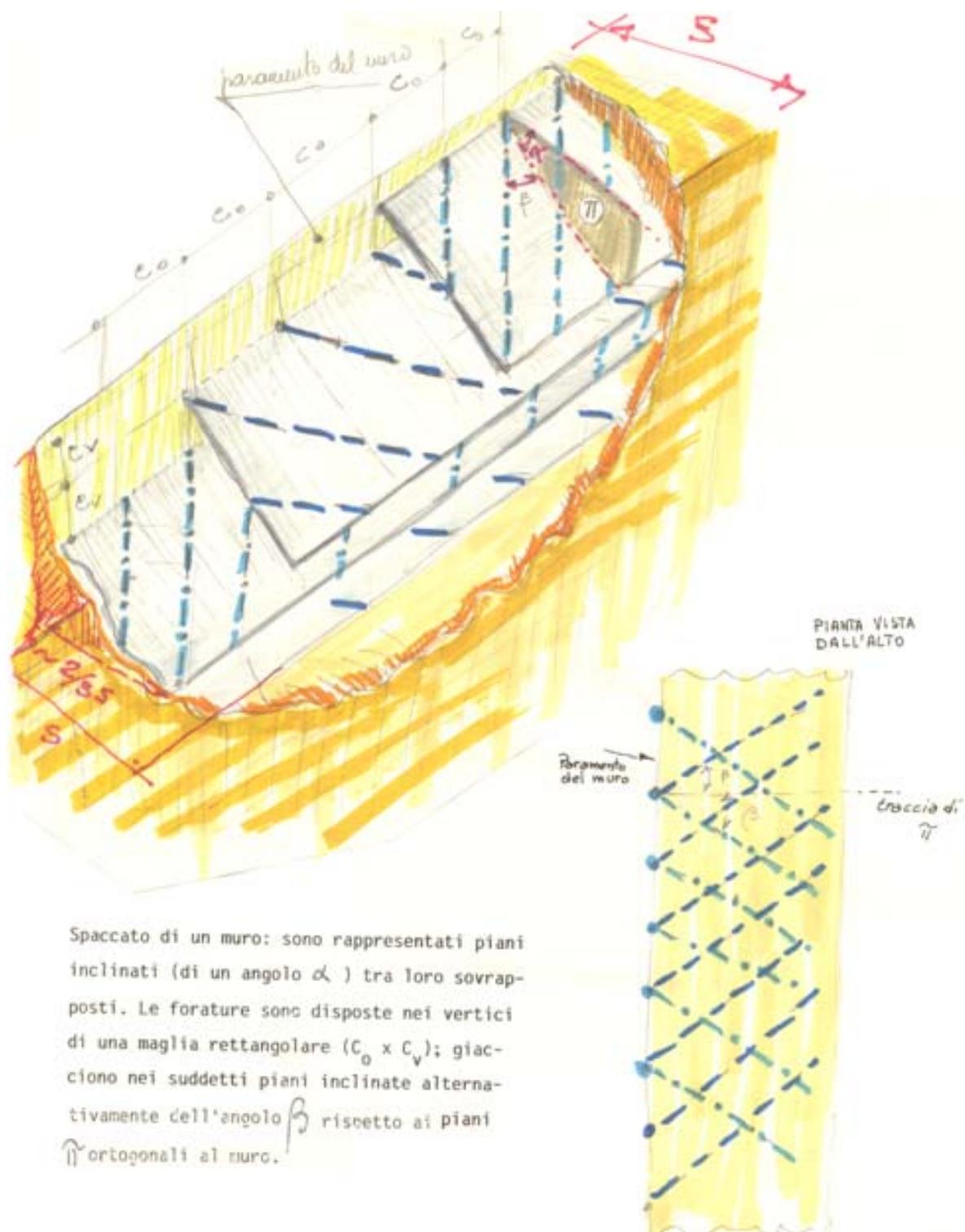


Fig. III-4.2

ToIIIcap4° 0. Le direttrici di recupero.

Le **direttrici di recupero statico** sono criteri di impostazione e scelta della tipologia dell'intervento di recupero statico, utili per rispettare al meglio le esigenze di coerenza tra le trasformazioni conseguenti al rafforzamento, e le esigenze espresse dai tecnici dei settori del recupero architettonico e impiantistico.

Si individuano tre classi D1, D2, D3 che sono caratterizzate come si espone qui di seguito:

- la direttrice (D1) tende all'**obiettivo di incrementare la resistenza della muratura a compressione e a trazione, senza modificare la morfologia dei muri**;
- la direttrice (D2) tende all'**obiettivo di incrementare la resistenza della muratura fasciandola con solette di c.a., di spessore tale da modificare poco la morfologia dei muri**;
- la direttrice (D3) tende all'**obiettivo di incrementare la resistenza dell'edificio inserendo strutture suppletive, che modificano la struttura originaria in morfologia e tipologia**.

Nella **Fig.III-4.1.** è anche chiarito come ogni direttrice si articoli in un sistema coordinato di **interventi tecnologici elementari (nel seguito denominati "monadi tecnologiche")**.

(àààà 06L31 20,16)

III.4° 1. Direttrice D1: incremento della resistenza della muratura (senza modifiche della morfologia)

Si illustrano le varie tecnologie disponibili per raggiungere l'obiettivo di questa direttrice.

III.4°1.1. Consolidamento con impacchettamento della parete e iniezioni di cemento

Questo processo di consolidamento della muratura è possibile se la muratura è costituita da due paramenti perimetrali e uno spazio tra essi compreso riempito con conci lapidei e malta comune che presentano vuoti.

Il procedimento consiste in una sequenza di operazioni (monadi di consolidamento) che in prima sintesi consistono:

- nel consolidare dapprima i due paramenti e, poi,
- realizzare due placcature esterne in c.a. cucite allo spazio interno, con barre di acciaio;
- effettuare, infine, iniezioni di pasta di cemento in sostituzione della malta comune.

Ciascuna delle suddette fasi si articola in una sequenza di microoperazioni che abbiamo denominato monadi in quanto aggregabili anche in altre tipologie di consolidamento. Dopo avere effettuato un accurato lavaggio, effettuato con **iniezioni di cemento**, se presenta all'interno - nello spazio

compreso tra i due paramenti – vuoti tra i conci di riempimento. Questa tecnologia formata da una lunga sequenza di microoperazioni (denominate *monadi*) presenta il vantaggio, dal punto di vista statico, di non turbare sostanzialmente il funzionamento statico complessivo della struttura dell'edificio e, dal punto di vista estetico-funzionale, di non alterare la morfologia originaria e l'aspetto esteriore delle superfici esterne.

Il collaudo si effettua prelevando carote di adeguato diametro e sottoponendole a prova di schiacciamento (vedi codice di pratica nel seguito di questo capitolo).

Nel corso delle operazioni di consolidamento si controlla approssimativamente il risultato:

- a) valutando la qualità delle zone di intervento attraverso l'esame visivo delle pietre e della malta dei giunti, delle eventuali fratture, lesioni, distacchi; la presenza di fuoruscita di malta dai giunti, di distacco di frammenti lapidei nelle zone più cementate;
- b) valutando la risposta sonora alla percussione con martello, che fornisce un suono cupo in presenza di vuoti interni, di zone microfessurate, di distacchi tra paramento esterno e parte centrale del muro.

III.4°1.2. Pacotrapunta

Con questa denominazione l'Autore ha denominato un procedimento analogo al precedente, ma innovativo in quanto applicabile in quei casi nei quali le condizioni della muratura non consentono di applicare il precedente procedimento di consolidamento.

Esistono infatti tipologie di muratura che risultano prive di vuoti all'interno della massa e tuttavia costituite da materiali di resistenza insufficiente, ad esempio malta comune di sabbia e calce. Inoltre esistono murature realizzate con pietre calcaree o silicee molto dure e malte compatte di qualità molto scadente che non consentono assolutamente di effettuare forature nelle quali inserire barre di acciaio, né è possibile sostituire la malta scadente con malta adeguatamente resistente. Tali murature possono essere state dotate dei due paramenti perimetrali con conci di dimensioni medie maggiori di 20 cm, oppure esserne prive e realizzate con pietre di forma irregolare e di dimensioni molto piccole (diametro medio < di 10cm). In questi casi – e in altri ancora – consolidare

(àààààà 06M01 18,57)

- c) l'esame con saggi per il prelievo di campioni da sottoporre a prova di schiacciamento in laboratorio su campioni di malta, di pietre e di muratura (cfr. par. 1.4.2.).

Nel caso di murature degradate non sempre è possibile effettuare prelievi. Con le prove di laboratorio si determina la resistenza a rottura per compressione, e il peso specifico apparente della muratura.

Come si è accennato nel cap. 1.4.2. (fig. 1.4.6.), si prelevano campioni di pietra e malta effettuando fori di profondità adeguata nella muratura; le malte si prelevano nella parte centrale del muro, dove è più facile ritrovare nuclei di dimensioni sufficienti per ricavare un cubettino da sottoporre alla prova. Le regole per la confezione dei provini di malta sono fornite dalla L. 2229 del 1939. Sebbene per le dimensioni dei cubetti così estratti dalle murature, non esistono regole precise, non è opportuno tuttavia utilizzare cubetti di spigolo minore di 5 cm, perché ne è inficiata la validità della prova di schiacciamento. Quest'ultima è realizzata con apparecchiature capaci di esercitare con gradualità carichi molto modesti. Le caratteristiche meccaniche della muratura dopo il consolidamento, dipendono dalla tecnologia impiegata, dalla qualità della miscela impiegata, dal grado di diffusione delle iniezioni, dalla qualità dell'intervento sia in relazione agli strumenti che alla mano d'opera. Ad intervento ultimato e a maturazione completa del legante iniettato, si devono effettuare gli stessi controlli non distruttivi su indicati (visivo ed acustico) e distruttivi (prove su carote), per verificare il risultato raggiunto.

Le prove distruttive vanno correlate a quella non distruttive per confronti e integrazioni.

Si descrivono brevemente le modalità esecutive di alcuni dei controlli distruttivi e non distruttivi già indicati:

- 1) **prove di auscultazione acustica** eseguite *rudimentalmente* con una normale mazzola. Il direttore di cantiere le esegue, contestualmente ai lavori di rafforzamento, per individuare le zone che richiedono interventi e per controllare l'avvenuto risanamento di quelle già iniettate;
- 2) **le prove acustiche**, da parte dei tecnici incaricati del controllo definitivo, vanno eseguite per campioni in ragione di almeno dieci battute per parete (ad es. una battuta per metro quadrato);
- 3) **il prelievo di carote sottili ($\phi 5$ cm)** va eseguito in ragione di circa una per parete;
- 4) **il prelievo di carote ($\phi 150$)** va eseguito in ragione di una per ogni 100m^3 di muratura;
- 5) **il prelievo di un cubo di dimensioni non minori di $50*50*50$** va eseguito per ogni 1000 m^3 di muratura ed almeno una volta, per ogni edificio o partita di muratura considerata di caratteristiche analoghe.

Ogni tipo di prova dell'elenco su riportato può considerarsi preliminare a quella successiva in quanto di orientamento per ubicare la sua esecuzione.

Per il rafforzamento della muratura con iniezioni si utilizzano come miscele leganti:

- miscele cementizie eventualmente additivate.

III.4° 1.1.1. Iniezioni di miscele cementizie

Si eseguono preliminarmente perforazioni nei muri, mediante trapani o sonde rotative di diametro di circa 50 mm, ad interasse variabile (40 -100 cm) e contenute nel piano verticale ortogonale al muro, spesso inclinate verso il basso (15°), talora anche alternativamente inclinate rispetto al detto piano ortogonale, in modo da realizzare unitamente alle altre un reticolo (se proiettato in un piano orizzontale (Fig.III-4.3)). Il disegno e l'intensità della griglia delle perforazioni sono funzione delle esigenze statiche della progettazione di recupero, nonché della natura della muratura e delle sue caratteristiche di permeabilità e, principalmente delle sue caratteristiche di permeabilità e, principalmente delle sue condizioni di dissesto. La profondità della perforazione di norma va correlata allo spessore del muro (all'incirca di $2/3$ dello spessore valutato in proiezione orizzontale).

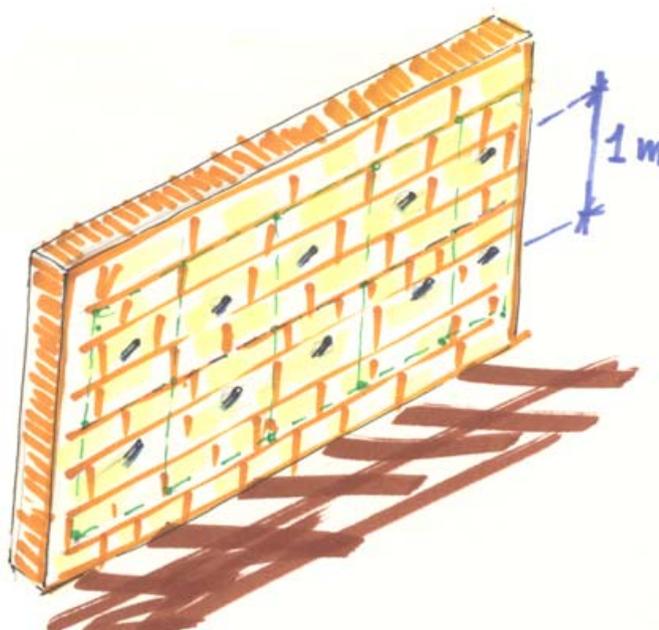


Fig. III-4.4

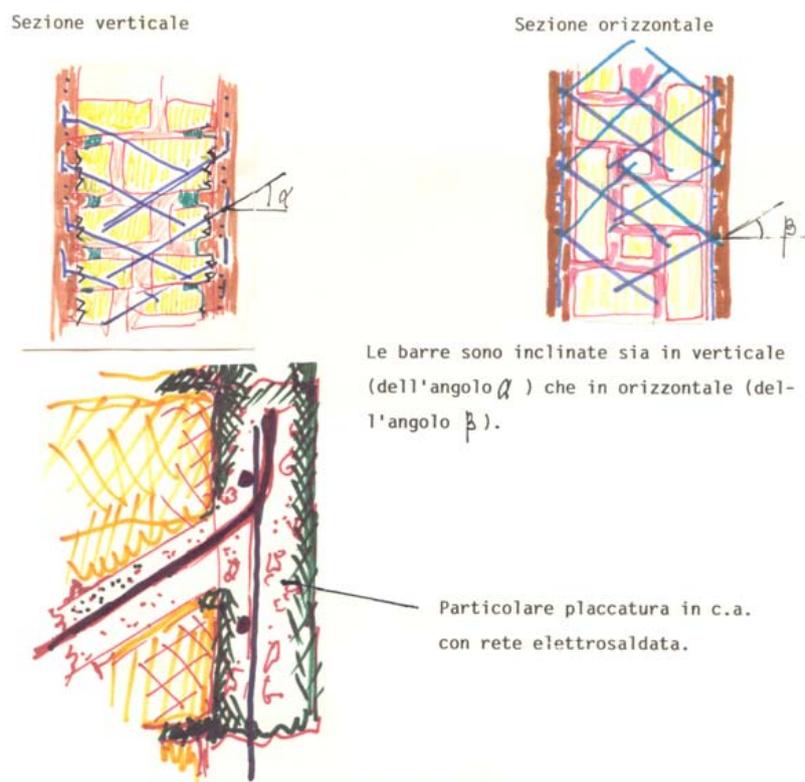


Fig. III-4.5

Deve essere asportato preventivamente l'intonaco esistente e la malta degradata dai giunti; devono essere sarcite le lesioni messe allo scoperto e devono essere sigillati i giunti dopo averli ben scarniti dalla malta degradata.

Quindi si dispongono boccagli metallici all'ingresso dei fori attraverso i quali si effettuano il lavaggio e successivamente l'iniezione della miscela cementizia.

Le operazioni di iniezione devono essere svolte procedendo dal basso verso l'alto per fasce orizzontali; ciò per evitare l'inconveniente nel caso in cui la miscela venga iniettata procedendo nel verso opposto, che possa quest'ultima, per gravità, occludere in modo casuale gli interstizi e quindi compromettere la possibilità di un intervento efficace nelle fasce inferiori non ancora trattate.

Nella prima fase, di lavaggio, viene inserita acqua in pressione all'interno del muro. Si opera alternativamente su ogni foro, tenendo chiusi tutti gli altri, salvo quelli immediatamente adiacenti.

La pressione di immissione dell'acqua e la distanza tra i fori lasciati aperti, deve essere adeguatamente calibrata in modo da evitare lo "scoppio" della muratura.

Si procede fino ad ottenere il risultato che l'acqua, passando attraverso i vuoti interni, fuoriesca dai fori adiacenti. Scopo di questa operazione è duplice: asportare dall'interno del muro la malta completamente degradata che viene portata fuori, sotto forma di fango, dalla corrente d'acqua che passa attraverso gli interstizi liberi; il secondo scopo è quello di far presa, senza cedere l'acqua di impasto alla muratura circostante i vuoti interni. (Si evita il cosiddetto effetto forma che così si

chiama, perché creato appositamente nelle cassaforme per facilitare il successivo loro distacco dai getti consolidati).

L'operazione di lavaggio raggiunge solo il secondo scopo se la muratura, risulta priva di vuoti intercomunicanti.

Tale operazione viene ripetuta finché l'acqua che fuoriesce non diventa limpida, il che indica che è stata completata l'asportazione di malta degradata. Si tappano quindi i tubi di fuoriuscita più vicino per liberarne altri più lontani e si cambiano sistematicamente i fori di immissione e di fuoriuscita.

Lo scopo finale è di creare una ragnatela spaziale interna di canalicoli che consentiranno di collegare la muratura attraverso le iniezioni da fare.

Intanto con idonei miscelatori si preparano le malte di cemento, generalmente additivate con fluidificanti (vedi, in proposito, il paragrafo successivo).

Si prevede l'aggiunta di sabbia molto fine solo se occorre riempire grosse cavità.

Nelle murature particolarmente dissestate e/o fatiscenti inizialmente le forature si ubicano sui vertici di una maglia più larga di quella usuale ad esempio di lato pari ad un metro (fig. 4.4.4.) e si inietta poi a bassa pressione per evitare un eventuale ulteriore indebolimento della compagine muraria; solo dopo l'indurimento della malta iniettata in questa prima fase e, il conseguente primo consolidamento di emergenza, si infittisce la maglia iniziale con altre iniezioni e si eleva la pressione fino ad ottenere il consolidamento definitivo. Come si è detto la pasta da impiegare che raramente contiene sabbia (al massimo il 10%), deve avere caratteristiche di sufficiente fluidità e resistenza e possibilmente un modesto ritiro. Essa è in genere caratterizzata da un rapporto acqua-cemento pari a circa 0,8 mentre la sabbia, nei rari casi nei quali viene aggiunta, deve avere grana finissima; le dimensioni massime dei granuli non dovrebbero superare il 10% della larghezza minima delle fessure da sigillare.

La fase di iniezione presenta ovvie analogie con quella di lavaggio; si procede dal basso verso l'alto, iniettando la miscela fluida in un foro fino a che non fuoriesce dai fori laterali e, risalendo da quelli superiori.

Nel caso di iniezioni fatte in fasi successive, la pressione di iniezione si fa aumentare gradatamente perché diventa più difficoltosa la diffusione e meno grave il pericolo di "scoppio"; il valore della pressione non deve superare però di regola le due atmosfere ; in casi eccezionali accuratamente controllati si può arrivare con cautela al limite di tre atmosfere. I gruppi miscelatori-iniettori sono dotati di apparecchiature di controllo delle pressioni e delle dosature.

Nel corso della maturazione del legante, l'operatore si rende conto come si è detto dell'efficienza raggiunta dall'operazione, percuotendo la muratura con la mazzola; nelle zone dove il suono non è

diventato acuto (metallico) bensì permane sordo e cupo, si effettuano ulteriori interventi con maglie sempre più strette e pressioni crescenti.

4.4.0.1.1.2. Iniezioni di resine

Sono ASSOLUTAMENTE sconsigliate perché, allo stato, non esiste una sperimentazione sufficiente che abbia confermato la validità di questa tecnologia e, principalmente la durabilità delle resine.

4.4.0.1.1.3. Iniezioni di miscele cementizie additivate

Vale la stessa avvertenza fatta per il par. III.4°.0.1.1.2. Si considera valido l'impiego di additivi che abbiano solo funzione fisica fluidificante. Ma anche in questo caso occorre tenere conto che la malta o pasta di cemento risulta meno resistente e più fragile. E' cioè importante valutare se il vantaggio della maggiore fluidità ripaga tali riduzioni.

4.4.0.1.2. Perforazioni armate

La tecnica di esecuzione prevede di disporre barre d'acciaio nei fori realizzati ed iniettati con le modalità illustrate in 4.4.0.1.1.1., ed eventualmente, 4.4.0.1.1.2. - 4.4.0.1.1.3.

E' sempre preferibile, se non esistono difficoltà tecnologiche, l'impiego di barre ad aderenza migliorata. Il diametro può variare in un campo molto ampio di valori (da 8 mm a 26 mm); deve essere comunque assicurata l'ubicazione delle barre al centro dei fori e il completo avvolgimento della loro superficie laterale per la protezione del metallo; a tale scopo si dispongono sulle barre "stelle" di centratura.

Per quanto concerne la qualità delle miscele leganti da impiegare, dovranno essere assicurati livelli di resistenza e caratteristiche antiritiro e di aderenza tali da realizzare la collaborazione fra armatura e muratura. E' in particolare consigliabile l'uso di fluidificanti per non accrescere la percentuale d'acqua e di cemento.

Le perforazioni armate si utilizzano sia per la rigenerazione sistematica della qualità statica della muratura, sia per conferirle capacità di resistenza a trazione attraverso i su citati reticoli, opportunamente dimensionati; le iniezioni armate si utilizzano anche per collegare le pareti murarie alle altre, in corrispondenza degli incroci e agli impalcati di ogni piano; infine sono utilizzabili per ricucire le murature lungo le linee di fratture. La introduzione nei fori di una barra metallica di piccolo diametro, anche quando non sussistano esigenze di resistenza specificamente definite come nei casi precedentemente illustrati, è sempre opportuna perché conferisce alla compagine muraria

caratteristiche di qualità statica nettamente migliori, (riduzione della fragilità, garanzia di resistenza a compressione ecc..)

La presenza di armatura nella muratura consente peraltro di tenere conto di un incremento della duttilità (fino ad un massimo di 2,5) e di ridurre quindi nei calcoli il valore di ,% % % %, fino a 3,5. La presenza di tali barre può essere utilmente prescritta anche per offrire la possibilità di un controllo della profondità del foro con misure di resistenza elettrica o con ultrasuoni.

E' opportuno che le barre siano dotate all'estremo, di un maniglione fuoriuscente dal foro e siano disposte secondo lo schema riportato nella fig. 4.4.5. dove è indicato anche uno strato di protezione e di ancoraggio dei maniglioni.

E' così possibile l'assorbimento delle sollecitazioni di trazione nelle murature, determinate con i modelli di calcolo illustrate nel cap. 3.4., altrimenti non fronteggiabili.

In tali casi il dimensionamento delle "armature" potrà condursi con la relazione che segue:

manca

nella quale σ_{mur} è la sollecitazione nella muratura che si intende assorbire affidandola alle armature; rappresenta l'area della singola barra metallica; C l'interasse tra i fori, supposto costante in orizzontale e in verticale, ... , ... la inclinazione delle barre, rispettivamente in verticale ed in orizzontale.

Lo spessore dello strato di ricoprimento dei maniglioni deve esser pari almeno a 3 cm, al netto delle irregolarità della superficie della muratura, preventivamente decappata dall'intonaco e resa viva e scabra a scalpello.

4.4.0.1.3. Inserimento di catene di acciaio.

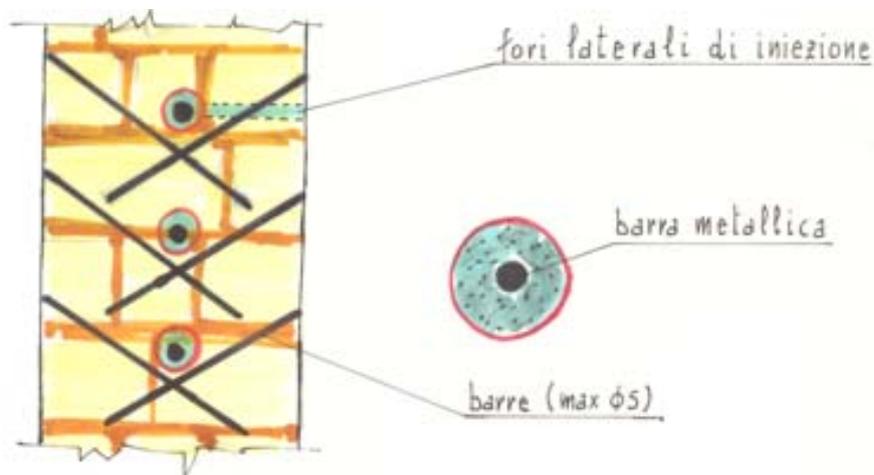
Le tecniche esecutive variano secondo che si adottino barre di acciaio verticali od orizzontali, ed in relazione al tipo di acciaio impiegato:

- barre di acciaio ordinario (lisce o ad aderenza migliorata);
- cavi di fili o trefoli ad alto limite elastico (cavi);
- profilati di acciaio (laminato a L, a U, ecc.)

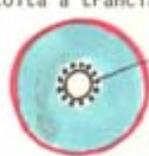
(EDIFICIO CORTI)

Negli edifici antichi spesso si trovano già in opera catene costituite da barre di acciaio fissate solo agli estremi con piastre o chiavarde. Occorre distinguere tra catene rese solidali con la muratura e catene fissate solo agli estremi. La tecnologia moderna o più sofisticata (ed anche più costosa) consiste nell'inserire le barre di acciaio (dotate di ancoraggi terminali filettati o saldati di testa), in forature realizzate nella muratura (esistente) al di sopra degli architravi dei vani. Si può perforare la muratura con sonde rotative che realizzano il foro nel piano medio del muro: le barre infilate nel

foro vengono successivamente solidarizzate alla muratura con iniezioni di malta cementizia effettuate sia dalle estremità che da punti intermedi Fig.III-4.6.



Il risanamento della fascia di muro attraversata dalle catene va fatta con iniezioni armate con barre sottili (max Ø 5) per consentire la successiva foratura relativa alle catene longitudinali (la carotatrice non ha difficoltà a tranciare barre sottili che incontra nel percorso).



Trefolo

CATENE FORMATE DA BARRE METALLICHE O DA TREFOLI AD ALTO LIMITE ELASTICO CON ANCORAGGI E PIASTRA DI ESTREMITA'.

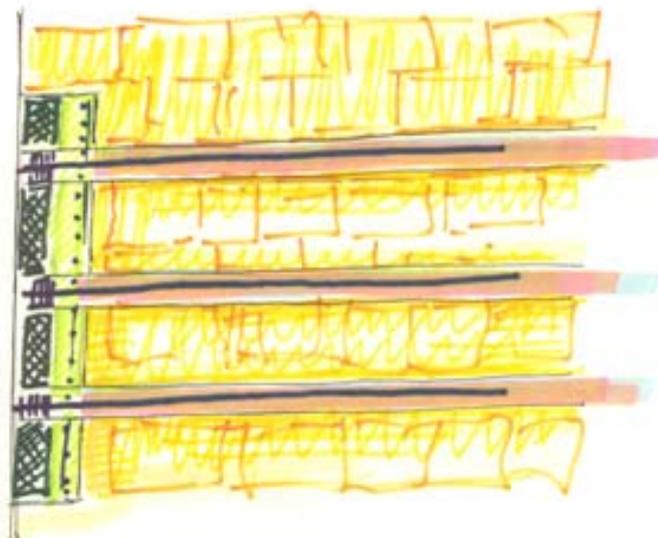
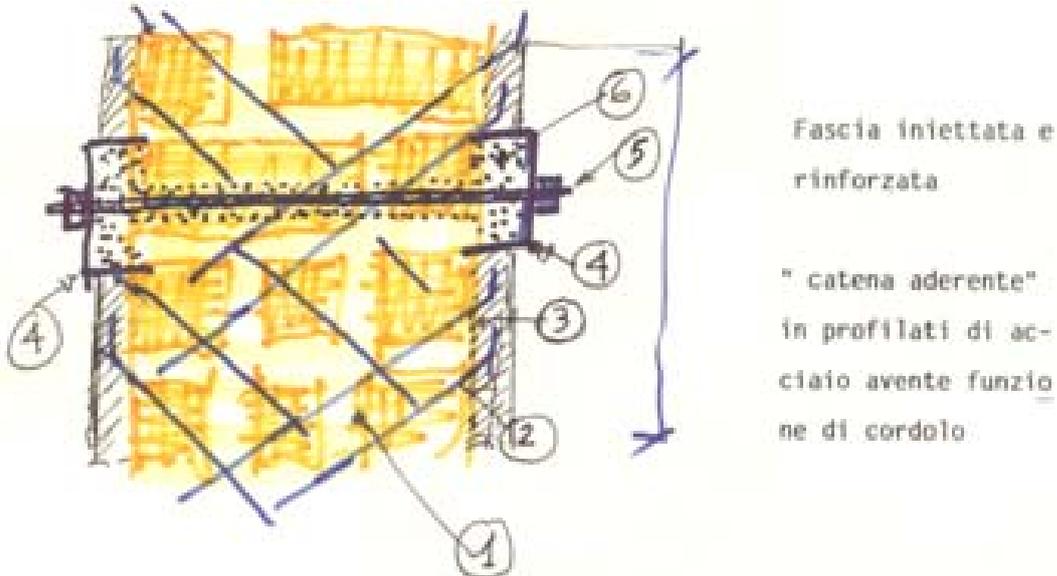


Fig. III.4.6

Si possono in alternativa applicare uno o più profilati in scanalature ricavate nelle superfici laterali del muro (su una sola faccia o su ambo le facce del muro). I profilati vengono solidarizzati al muro con bare suppletive, disposte in fori ortogonali alle catene disposti ad interassi di 100 cm Fig.III-

4.7. Le scanalature ed i fori vanno successivamente sigillati ed iniettati perché sia garantita la protezione del metallo e creata una solidarietà di comportamento con la muratura: “catena aderente”.



- 1) Muro da incatenare
- 2) Fori per iniezioni rinforzate con barre metalliche
- 3) Placcature (eventuali)
- 4) Profilati metallici a C aventi funzione di "catena aderente".
- 5) Barre trasversali intervallate per conferire aderenza alla catena.
- 6) Malta di iniezione delle forature trasversali e dell'interspazio catena - muratura per assicurare l'aderenza

Fig. III.4.7

Nel caso che la catena sia costituita da cavi di acciaio ad alto limite elastico, si adotta la tecnologia di messa in tensione e di successiva iniezione normalmente usata per le strutture in cemento armato precompresso. I cavi, inseriti in fori realizzati con le stesse modalità precedentemente descritte, sono successivamente posti in tensione con martinetti e iniettati Fig.III-4.8. Di regola non si raggiungono i limiti massimi di tensione che sono invece normalmente adottati nelle strutture in c.a.p. perché si teme che l'elevata rigidità ed iperstaticità delle interconnessioni tra le pareti dell'edificio, possa dar luogo ad inconvenienti in presenza di uno stato di coazione troppo spinto, mancando ancora, peraltro, una sufficiente sperimentazione applicativa.

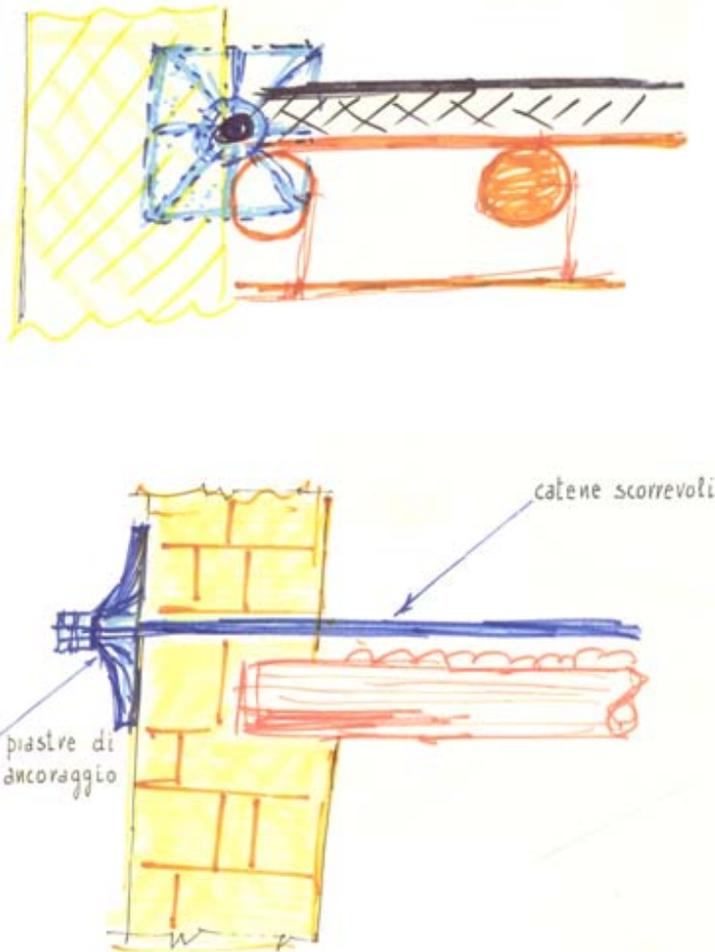


Fig. III.4.8

La pretensione che si dà ai cavi corrisponde alla necessità, sentita anche negli altri tipi di catene, di renderli sufficientemente rettilinei prima della iniezione; i cavi presentano i vantaggi propri del c.a.p.: assenza di saldature, precollauda della resistenza.

Problema comune a tutte le catene interne, è la protezione del metallo, perchè si teme che la malta iniettata non avvolga sufficientemente la superficie su tutta la sua lunghezza. Pertanto alcuni preferiscono iniettare la fascia muraria nella quale è inserita la catena dopo che siano state effettuate le operazioni di perforazione, di messa in tensione e di iniezione longitudinale nel foro.

ààààà 06I20 17,45

La elevata congenita rigidità dei maschi murari non consente di tenere conto, nelle verifiche di resistenza della muratura attraversata dai cavi, della compressione che corrisponderebbe alla forza di tensione dei cavi stessi.

In definitiva si è costretti a non utilizzare i cavi di acciaio ad alto limite elastico sfruttando la loro molto più elevata capacità di resistenza; si deve ridurre la tensione allo stesso livello di un normale acciaio per c.a. o per profilati utilizzati come catena. Si ha comunque, a parità di area, il vantaggio

di poter contare in pieno sui limiti massimi ammissibili di resistenza, ma lo svantaggio di un'area metallica molto minore il che, in caso di perdita dello stato di precompressione, costituisce un difetto rilevante per l'ampiezza delle fratture che, a parità di richiesta di sforzo, sono consentite. Restano i vantaggi della continuità per tutta la lunghezza e la rettilineità. Per essere certi che le iniezioni siano riuscite bene è opportuno aprire sportelli intermedi di controllo.

4.4.0.1.4. Sostruzione nelle masse murarie

Si definiscono di *sostruzione* quegli interventi di *chirurgia* muraria, che sostituiscono porzioni irreversibilmente degradate (per schiacciamento o altro) di muratura con parziali e limitate asportazioni, seguite da *sostruzione* con cucitura (il cosiddetto *cuci e scuci* del nuovo con il vecchio); era in passato l'unico tipo di intervento adottato. Esso oggi si adotta solo quando è indispensabile, perché si tratta di un tipo di intervento molto delicato, che va eseguito con continuità per piccoli tratti, con notevoli cautele e principalmente da personale particolarmente specializzato ed esperto che è quasi del tutto scomparso.

L'adozione di questa tecnologia (sostruzione) è necessaria quando lo stato di schiacciamento ha creato spanciamenti inaccettabili, sgretolamento minuto delle pietre e delle malte, oppure se per effetto del sisma, si sono determinate nei muri zone di notevole distacco e di vuoto con contorni slabbrati. In quest'ultimo caso, si ritiene preferibile aver opportunamente eliminato le "creste" precarie ancora presenti al contorno dei vuoti.

All'operazione di sostruzione, segue una fase di assestamento delle zone sovrastanti, con lesioni di richiamo e di distacco.

III.4°.0.2. Direttrice D2: incremento della resistenza per confinamento perimetrale.

III.4°.0.2.1. Lastre di fasciatura degli elementi murari

Le "fasciature" delle murature possono realizzarsi in opera con un sottile strato di malta cementizia armata (lastre armate), la cui tecnologia di esecuzione dipende dallo spessore.

Si impiegherà:

- conglomerato cementizio ordinario, per spessori > 7 cm (par. III.4°.0.2.1.1.); (massimo diametro della ghiaia = 1 cm)
- betoncini e malte cementizie normali, per spessori minori di 7 cm, mediamente pari a 3 cm; (par. 4.4.0.2.1.2.) (massimo diametro dell'inerte 0,4 cm);
- gunite per spessori minori di 1 cm, (par. 4.4.0.2.1.3.), (inerti costituiti solo da sabbia fine con diametro massimo ammesso di 2 mm).

L'esecuzione di lastre armate, deve essere preceduta dalle seguenti fasi preparatorie:

- asportazione del vecchio intonaco e scalpellatura della superficie esterna;
- perforazioni per le chiodature di fissaggio e asportazione dai giunti della malta fatiscente;
- sigillatura dell'esterno della muratura.

Si pongono quindi in opera reti metalliche, collegate ai "chiodi" e si applica lo strato di conglomerato del tipo prescelto. Il dimensionamento della fasciatura dipende dalla verifica dell'intero edificio; un primo dimensionamento si effettua affidando interamente alla fasciatura, lo stato di sollecitazione che corrisponde nella sola muratura alle caratteristiche di sforzo normale, momento flettente e taglio nella schematizzazione di "continuo omogeneo". La fasciatura si adotta quando il livello di tale stato di sollecitazione è così elevato, da non potersi fronteggiare solo con la direttrice D1, la quale tende a incrementare la resistenza della muratura con iniezioni, eventualmente armate. La verifica della fasciatura va poi rifatta per le caratteristiche della sollecitazione relative allo schema che tiene conto della accresciuta rigidità delle parti rafforzate. Per la verifica della resistenza della lastra allo stato di sollecitazione in essa indotto dalla sua partecipazione al comportamento strutturale dell'edificio restaurato, si considera la sola lastra come elemento tubolare e si tiene conto della collaborazione della muratura per fronteggiare i fenomeni di instabilità del riquadro compreso nella maglia ideale formata dalla griglia di chiodatura. Ai fini della resistenza potrebbe anche tenersi conto di uno spessore lievemente incrementato della fasciatura, considerando la compenetrazione con la superficie esterna del muro, resa scabra dalla scalpellatura preventiva. Il dimensionamento delle chiodature di collegamento tra fasciature e muratura, va fatto in base agli sforzi di taglio e di trazione che esse devono sopportare, rispettando i limiti di resistenza e di deformabilità del chiodo e della muratura alla quale trasmette il suo sforzo. In questa ultima verifica si può tener conto del miglioramento delle qualità meccaniche della zona perimetrale di muratura, cui la lastra aderisce, dovuto al procedimento di preparazione su descritto. Le chiodature si considerano sottoposte agli sforzi che sono in grado di assicurare la trasmissione di tutte le caratteristiche di sollecitazione dalla muratura alla fasciatura. La loro effettiva determinazione richiede la formulazione di opportune ipotesi caso per caso, da parte del progettista.

Per ogni chiodo si effettueranno le seguenti verifiche:

- a) a taglio e/o a trazione del solo acciaio della chiodatura;
- b) a taglio e a flessione del cilindro in c.a. che costituisce il chiodo se considerato nella sua interezza;
- c) della muratura, alle sollecitazioni trasmesse dal suddetto chiodo cilindrico;

d) di aderenza allo strappo della chiodatura sia, nel tratto inserito nella muratura, che in quello inserito nella lastra.

Nei successivi paragrafi si riprendono i problemi qui trattati, entrando in maggiore dettaglio, sia per la verifica della resistenza della fasciatura, che delle chiodature.

III-4.0.2.1.1. Placcatura con lastre di conglomerato cementizio

06/20 19,07

Le lastre di calcestruzzo armato vanno eseguite in opera di spessore compreso tra 7 e 10 cm, armate con reti metalliche a semplice a doppio strato, formate da barre aventi idoneo diametro e collegate tra loro con *tirantini*. Sono utilizzabili reti presaldate (con saldature controllate alla resilienza), oppure formate a *gabbia* in opera con barre isolate.

Le chiodature di fissaggio delle placcature sulle due facce della muratura possono essere tra loro indipendenti, essendo difficile realizzarle passanti, per collegare le due lastre di placcatura se disposte su ambo i paramenti della parete muraria.

Nel caso di *colonne* e di *maschi* aventi sezione *rettangolare*, la placcatura ha il significato di *fasciatura* in quanto avvolge la sezione trasversale. Ma ciò vale entro il limite compreso tra 1 e 2 del rapporto tra i lati del rettangolo. Per rapporti maggiori di 2 occorrono cuciture intermedie (analogamente ai pilastri rettangolari allungati, per i quali occorrono più staffe di dimensioni minori dello sviluppo perimetrale). E' anzi consigliabile disporre un collegamento trasversale per ogni incrocio delle barre delle due reti. La normativa prescrive collegamenti a *quinconci* in numero minimo di 6 per metro quadrato.

Per la verifica di una fasciatura non esistono modelli validi in bibliografia; si può procedere in modo approssimato, ad esempio determinando la sollecitazione dipendente:

- dalla funzione di contenimento della muratura, dovuta cioè al contrasto che la fasciatura oppone alla dilatazione trasversale;
- dalla partecipazione della fasciatura al comportamento della muratura fasciata, inserita nel sistema strutturale dell'edificio;
- dal livello della sollecitazione nella sola fasciatura.

Con spessori delle dimensioni precedentemente indicate (7-10 cm) il getto può essere eseguito in opera anche con una normale cassaforma. Ma si può anche procedere al getto con spruzzatore di betoncino di consistenza adeguata alla buona riuscita di tale tecnologia.

Il dimensionamento della fasciatura si può effettuare considerando agenti per intero su di essa, le azioni esterne indotte dai carichi e prescindendo, per prudenza, dalla collaborazione della muratura fasciata; quest'ultima può considerarsi collaborante, per uno spessore al massimo pari a quello della fasciatura, (oppure quella del paramento preconsolidato) al fine di garantire la stabilità di forma della lastra di placcatura. Nelle verifiche dell'anello si deve tener conto anche delle sollecitazioni di tensoflessione indotte dal ritiro della fasciatura che sono favorevoli ai fini dell'efficacia cerchiante

Fig.III-4.9.

06M02

ATTENZIONE PER LE CUCITURE OCCORRE MODIFICARE SOSTANZIALMENTE IL TESTO E RINVIARE AL CODICE DI PRATICA

Fasciatura di pilastri in muratura e placcatura di pareti murarie con soletta in c.a. - con cuciture di acciaio, iniezioni di cemento e preconsolidamento - con malta cementizia - del paramento a contatto.

Schemi e modelli di funzionamento - ipotesi approssimate di funzionamento

4.4.0.2.1.2. III-4.0.2.1.2. Placcatura con lastre in betoncino, previo consolidamento

Nel caso di betoncini e/o malte cementizie lo spessore delle lastre si riduce a circa 3 cm; le armature sono conseguentemente costituite da reti di fili di diametro < 3 mm e di lato < 5 cm. Lo spessore della fasciatura che si assume nei calcoli di verifica è quello minimo netto, mentre il suo valore effettivo può localmente essere anche sensibilmente maggiore a causa delle irregolarità locali della superficie esterna della muratura; tali irregolarità come si è visto non devono mancare perché conducono alla scalpellatura della superficie da fasciare che deve essere resa viva e scabra, tuttavia possono portare a sconsigliare l'adozione di questa tecnologia per eccessivo consumo di materiale. Per effetto del ritiro della fasciatura in calcestruzzo e della scabrosità della superficie muraria si realizza di fatto una stretta cerchiatura ed una elevata radicolazione del cemento nelle asperità della superficie muraria a contatto.

Nella verifica a carico critico della lastra nel riquadro della griglia di chiodatura, si può tener conto di questa circostanza, considerando collaborante uno spessore pari a quello teorico della fasciatura.

I chiodi si verificano nell'ipotesi che siano in grado di trasmettere alle pareti di fasciatura l'intero carico verticale e le flessioni afferenti alla muratura fasciata. Il calcolo di verifica andrebbe poi ripetuto dopo aver determinato il regime statico dell'edificio conseguente agli interventi di ristrutturazione.

06I21 13,09

OSSERVAZIONI:

Si garantisce la possibilità di trasferimento alla *fasciatura* - mediante la creazione di una superficie di contatto scabra - dell'intero carico sopportato dall'elemento murario dissestato. La fasciatura inizialmente non collabora, ma col tempo, progredendo lo stato di dissesto, entra in forza attraverso la scabrezza geometrica bloccata dalle *chiodature*. L'incremento delle deformazioni (accorciamenti) mette in forza le *bugnature* che non si *schivettano*, in quanto impedito dalle cuciture trasversali in acciaio, della muratura, che per ipotesi era in condizioni di schiacciamento, pone in forza la fasciatura sia trasversalmente che longitudinalmente.

Infatti intervengono a taglio: il contatto mutuo dovuto alle asperità macroscopiche delle superfici e le superfici idealmente tranciate. Le chiodature sono però impegnate anche a trazione perché impediscono la dilatazione trasversale della fasciatura, che sarebbe geometricamente necessaria nel caso che si verificasse uno scorrimento mutuo tra muratura e fasciatura per la rugosità delle due superfici a contatto.

Entrano cioè in gioco i due stessi meccanismi di funzionamento di aderenza tra barre di acciaio nervate e conglomerato; le chiodature intervengono in questo caso a integrazione e garanzia dell'incollaggio.

4.4.0.2.1.3. Lastre in *gunite*

L'adozione di una placcatura realizzata con un sottile rivestimento di malta spruzzata (violentemente → *gunite*), armata con rete metallica (elettrosaldata, con saldature di qualità controllata), è giustificata in quei casi in cui non si tollerano incrementi apprezzabili dello spessore dei muri, per motivi architettonici. La *gunite* è malta di sabbia ad elevato dosaggio di cemento, spruzzata ad elevata pressione, in grado di realizzare una *crosta* di elevate caratteristiche meccaniche e perfettamente aderente alla superficie *bugnata* della muratura da rivestire e sugli incavi degli strati di malta cementizia già applicati per il preconsolidamento. L'elevata resistenza e la forte aderenza alla muratura consentono di adottare spessori minimi, al limite intorno a 2,5 -3,5 cm; la forte pressione della *gunite* (che la tecnologia dell'intervento richiede) può, talora, essere mal tollerata da pareti murarie superficialmente già disgregate per schiacciamento; in questo caso è opportuno provvedere preventivamente ad un pre-risanamento superficiale locale.

Ai fini della verifica all'imbozzamento della lastra di placcaggio, si può tener conto della collaborazione con lo strato di *gunite*, considerando idealmente incrementato di 1 cm il suo spessore. Ipotesi più aderenti al reale comportamento possono essere formulate in base alla sperimentazione svolta caso per caso.

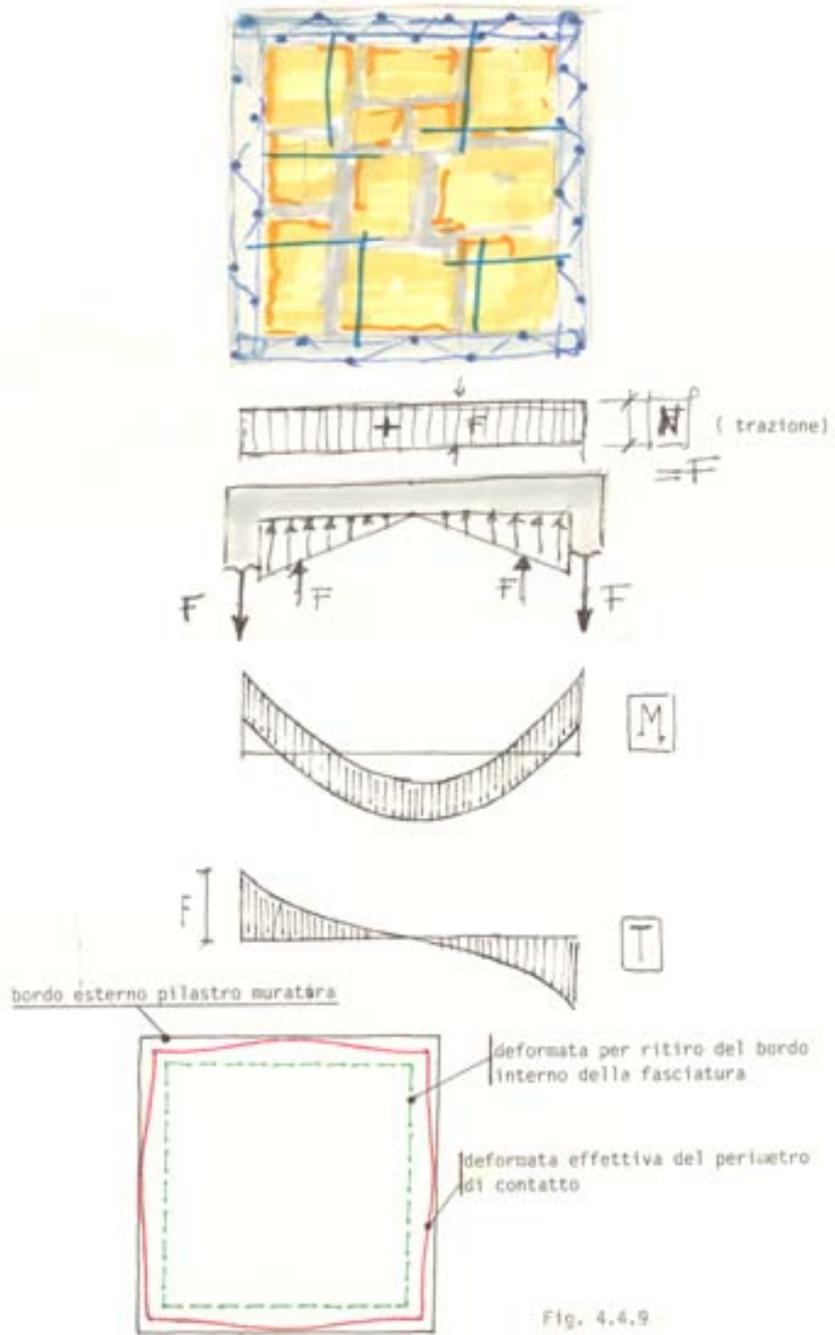


Fig. III.4.9

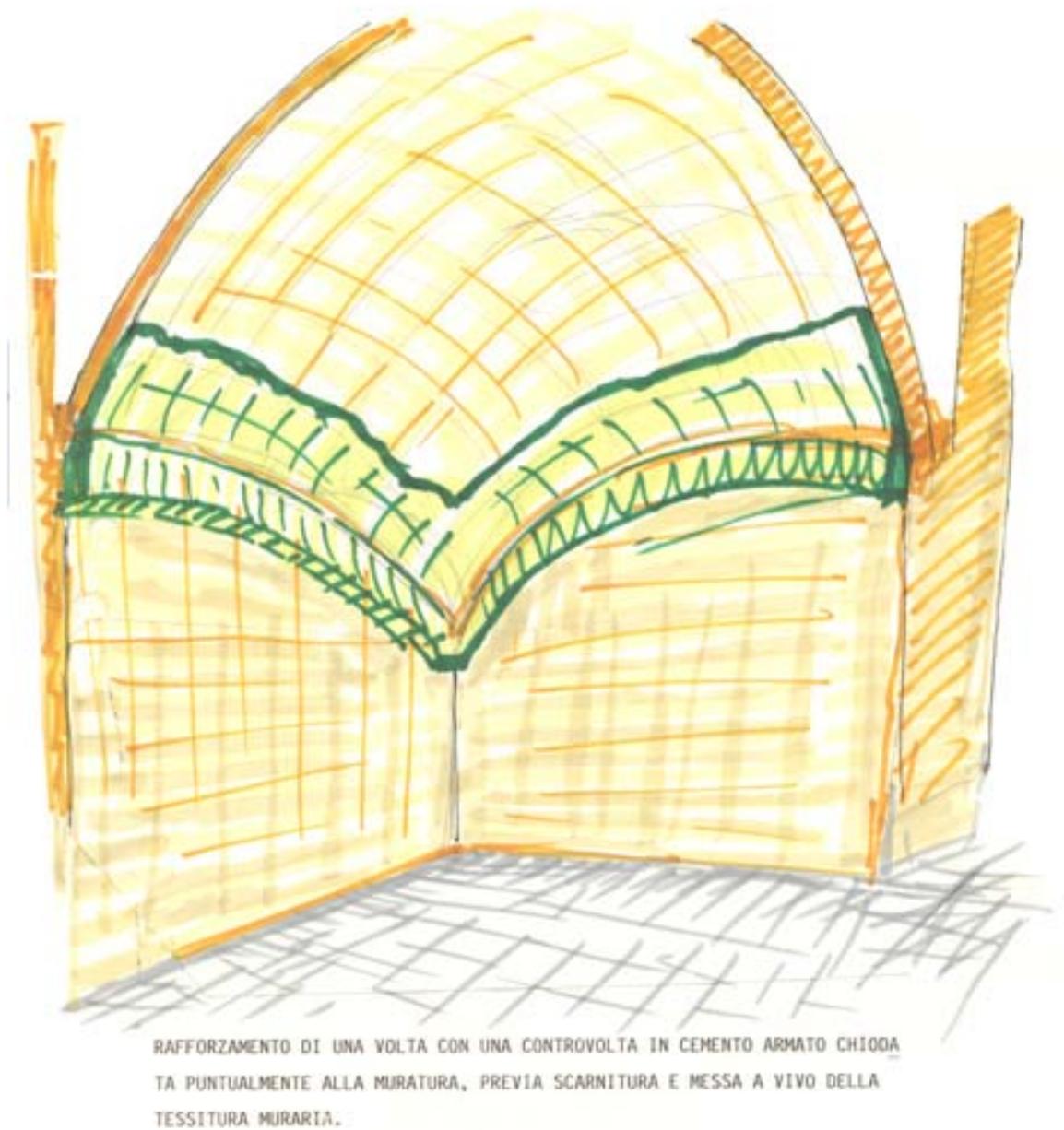
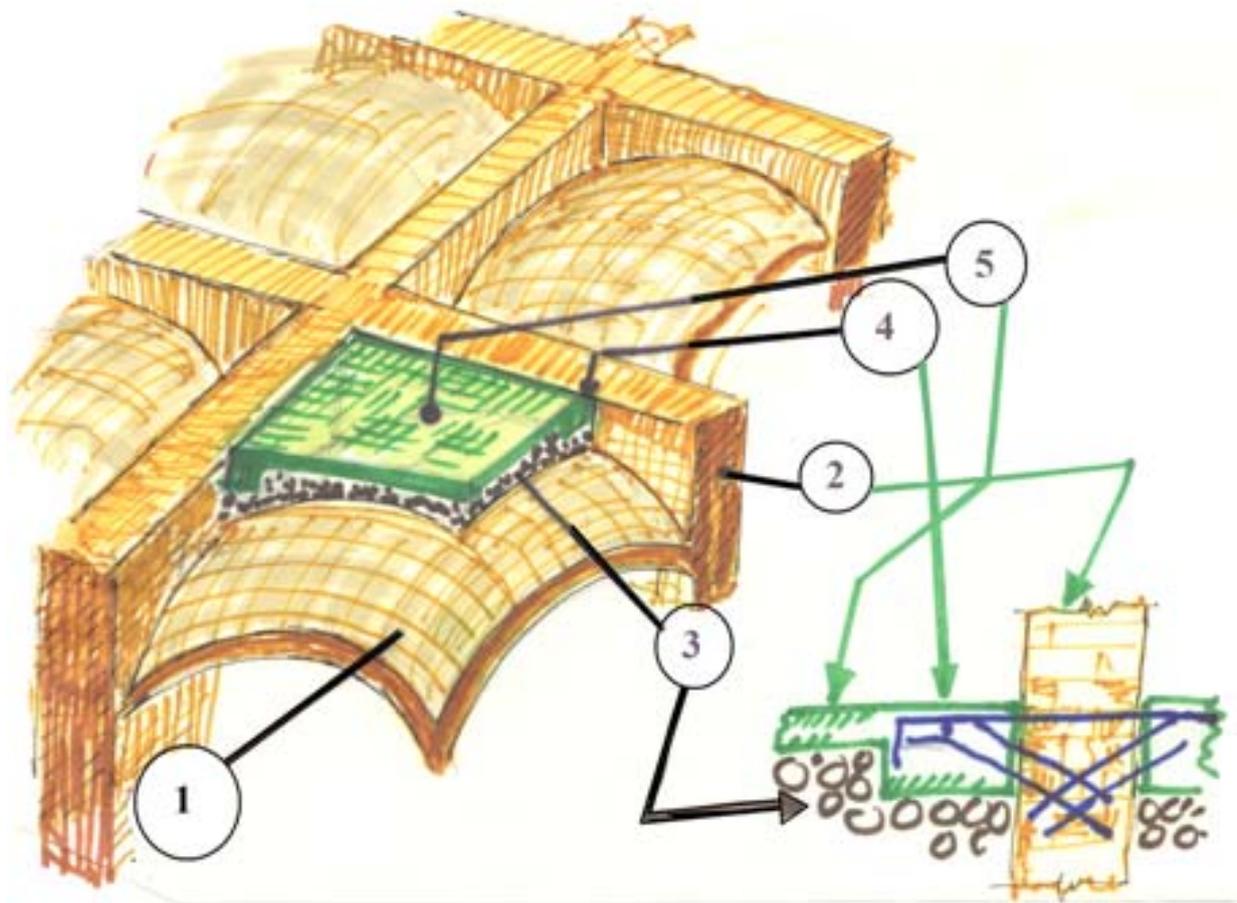


Fig. III.4.10

Fig.4.4.10. didascalia Rafforzamento di una volta con una controvolta in soletta sottile in c.a. chiodata alla muratura all'intradosso previa scarnitura dei giunti e risigillatura quasi totale (creazione di un addentellato a taglio)



- 1) Impalcato di un edificio della prima classe costituito da volte in muratura
- 2) I muri dell'edificio
- 3) Il riempimento per costituire sulle volte un piano di calpestio orizzontale
- 4) Ispessimento perimetrale della soletta in cemento armato realizzata per rendere l'impalcato rigido e resistente nel piano orizzontale
- 5) Soletta in cemento armato, estesa a tutto l'impalcato, realizzata per collegare tutti i muri dell'edificio con un elemento strutturale rigido e resistente nel piano orizzontale. Le piastre sono collegate lungo tutto il loro perimetro ai muri dell'edificio.

Fig. III.4.11

Fig.4.4.11. didascalìa Recupero delle volte creando, al di sopra una struttura di sostegno continua cui si sospende la volta eliminando così la spinta in alternativa la soletta interposta può avere solo la funzione di incatenamento continuo bidirezionale, purché le pareti verticali in muratura siano resistenti e in grado di assorbire le sollecitazioni di presso flessione derivanti dalla spinta applicata nell'interpiano



Fig. III.4.12

4.4.0.2.2. Cordoli in cemento armato.

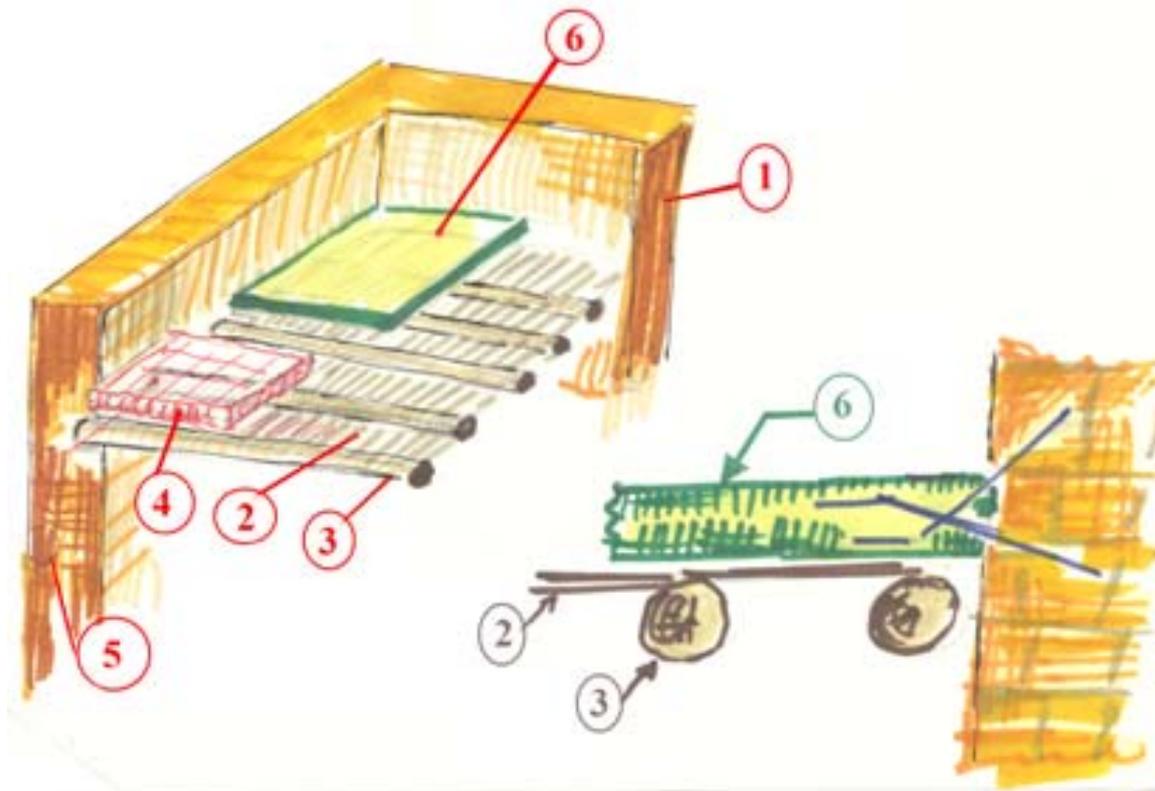
Negli interventi di recupero degli edifici delle prime due classi non possono più essere realizzati "cordoli in cemento armato" ipotesi con le caratteristiche tecnologiche e dimensionali cui si riferisce la normativa per le nuove costruzioni. Infatti in queste ultime, la sequenza delle fasi di costruzione implica che il cordolo sia realizzato nella sua interezza all'atto della realizzazione del solaio e costituita parte integrante della parete muraria, sia dal punto di vista statico, che dal punto di vista dell'inserimento micromorfologico, perché le superfici di contatto tra muratura e cordolo sono fortemente compresse e si sponano intimamente tra loro, essendo gettate l'una sull'altra. Esso è quindi pienamente valido come "tirante aderente" alla muratura per la continuità delle barre in esso

contenute e per l'aderenza tra barre e cordolo, nonché tra cordolo e muratura, di modo che i cordoli rappresentano vere e proprie armature delle pareti degli edifici.

E' inutile e anzi, del tutto inopportuno eseguire tagli nei muri per inserirvi elementi in cemento armato eseguiti per tratti perché, da un lato, si crea discontinuità statica nella muratura e, dall'altro, non si realizza tra la muratura inferiore e superiore a tale nuovo elemento un contatto morfologico e statico, valido per la trasmissione dei carichi verticali.

L'elemento in cemento armato sarebbe invece suddiviso in piccoli tronchi; sarebbe dotato di barre di attesa ripiegate agli estremi di ogni tronchetto e quindi malamente collegabili tra loro nella lunghezza; sarebbe inserito nello spessore del muro solo apparentemente e precariamente, perché si verificherebbe nel tempo il suo microscopico distacco per ritiro con assenza di contatto statico; infine sarebbe deficitario specialmente in corrispondenza degli incroci, malgrado ogni accorgimento tecnologico e di sagomatura dell'asola tagliata nel muro, per evitare sottosquadri nel getto.

In definitiva un siffatto elemento non potrebbe dirsi "cordolo" perché non può realizzare per l'edificio, un valido collegamento (corda) a trazione longitudinale e, contemporaneamente un valido contatto a compressione in direzione verticale. Peraltro i tagli che si dovrebbero effettuare nelle murature ne inficerebbero le caratteristiche di continuità e compattezza, provocando traumi, indebolimenti e, principalmente, cavillature di "richiamo", per vincere i distacchi che comunque si determinerebbero (dopo l'inserimento del getto di calcestruzzo fresco quando indurisce nel tempo) e per lo spostamento dei muri per portarsi a contatto con il calcestruzzo impegnandolo a compressione. Invece nella ristrutturazione degli edifici della 1° e 2° classe, occorre inserire elementi costruttivi che offrano all'edificio prestazioni di funzionamento, equivalenti a quelle affidate al cordolo previsto dalla normativa per le nuove costruzioni, senza inficiare quindi la continuità preesistente delle murature. Tali elementi strutturali da inserire devono realizzare cioè le stesse caratteristiche di solidarietà e di monoliticità, che sono proprie degli edifici della terza classe. A tal fine si devono realizzare, in ogni riquadro del solaio, lastre orizzontali costituite da solette armate e collegate al perimetro con chiodature ai muri di ambito del riquadro stesso; ad esse si devono conferire caratteristiche di elevata rigidità e di adeguata resistenza nel piano orizzontale a sforzo normale di trazione e compressione e a taglio; infine si doterà ciascuna lastra di una fascia perimetrale adiacente al muro opportunamente ispessita e rinforzata con barre metalliche di entità equivalente a quella che si disporrebbe nel cordolo di un edificio di nuova costruzione.



Una soletta in cemento armato realizzata al di sopra dell'assito di un solaio in legno, utilizzando, sia pure in parte, lo spessore del masso, esclude la funzione portante dello stesso solaio in legno e realizza un collegamento tra i muri, rigido e resistente nel piano orizzontale dell'impalcato.

Fig. III.4.13

g.4.4.13. didascalìa Consolidamento e recupero di un solaio sostenuto da travi lignee e paconcelli con soletta in c.a. collegata alle travi da cravette di acciaio dotate di capacità di trasmettere taglio e flessione (vedi il caso di fiorello).

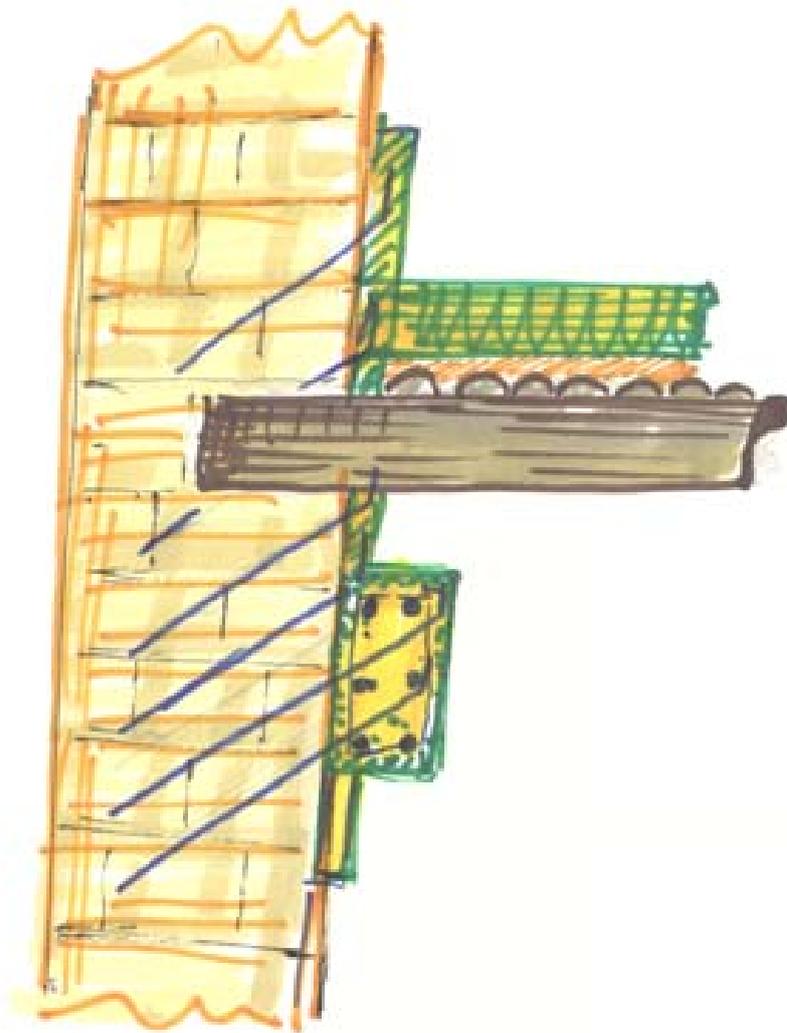


Fig. III.4.14

Fig.4.4.14. didascalìa Creazione di un icatenamento con cordolo in c.a. chiodato inferiormente al solaio in legno; il sistemanon assicura la diaframmatura dell'edificio che resta quindi vulnerabile

Con una siffatta lastra rigida e resistente nel suo piano orizzontale, si assicura il richiesto collegamento tra i muri dell'edificio e si attua tra essi la ripartizione delle azioni sismiche orizzontali. Peraltro la realizzazione dei soli cordoli, lasciando i solai deformabili (quali sono ad esempio gli orditi di travi in legno), non conseguirebbe affatto la indeformabilità degli impalcati, i quali non possederebbero rigidezza e resistenza adeguata pluridirezionale nel piano orizzontale. Si è anzi accertato che le tipologie carenti di tale tipo di collegamento hanno calamitato il 98,2% dei crolli del recente terremoto in Irpinia.

Si sono riportate una serie di figure esemplificative delle tipologie di provvedimento attuabili che si propongono di illustrare i criteri per attuare il recupero di un collegamento sostitutivo del "cordolo" regolarmente. **Fig. 4.4.10 - 4.4.12 - 4.4.13 - 4.4.14.**

4.4.0.2.3. Piattabande

Il recupero delle piattabande o architravi negli edifici in muratura delle prime due classi, si può effettuare con vari sistemi.

Si menzionano le seguenti alternative: (fig. 4.4.15)

1°) posa in opera in più tempi, di due profilati di acciaio incassati ai due lati della zona sovrastante il vano e successivo riempimento con calcestruzzo della zona compresa tra di essi, previa demolizione delle porzioni di muratura corrispondenti e sovrastanti, nella misura necessaria per effettuare il getto, nonché posa in opera di tiranti in acciaio di collegamento dei due profilati (fig.4.4.15a).

2°) sostituzione in due tempi della muratura immediatamente sovrastante il vano e corrispondente nei due muri di spalla con conglomerato armato; il getto va eseguito in modo da riempire completamente i solchi di muratura tagliati e formare così due travi (fig. 4.4.15b).

3°) rivestimento della muratura nella zona sovrastante il vano e in quella adiacente corrispondente alle due spalle, con una "placcatura" chiodata con la tecnologia specificata nel par. 4.4.0.2.1. (fig.4.4.15c).

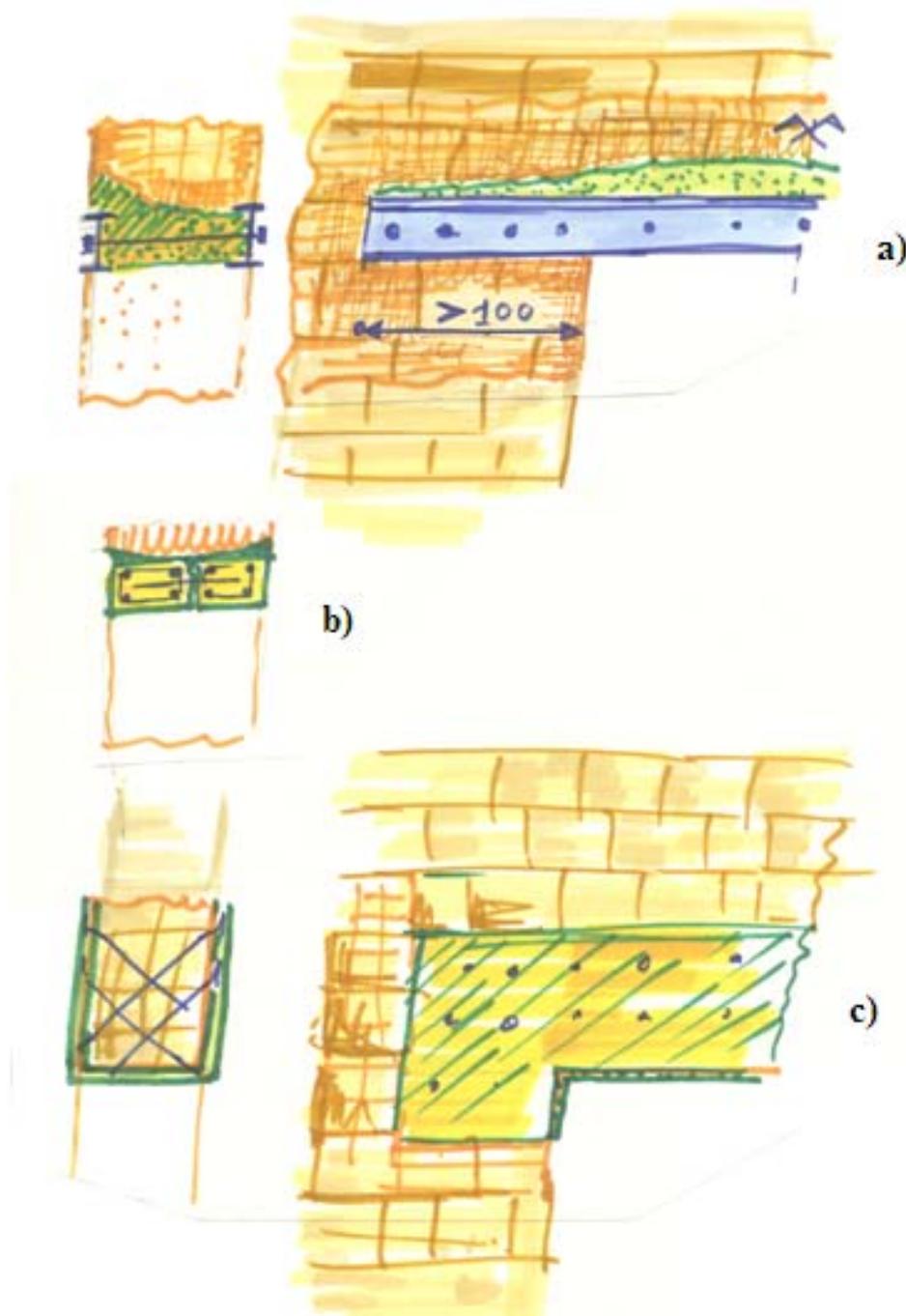


Fig. III.4.15

Fig.4.4.15. didascalìa Piattabande di vario tipo: a) con profilati; b) in c.a.; c) per iniezioni armate e placcatura.

Per ciascuna delle suddette tre tecnologie di recupero, la morfologia e il dimensionamento vanno definiti tenendo conto:

- a) delle caratteristiche dei materiali impiegati e della normativa specifica per il sistema adottato (cemento armato, sezioni miste acciaio-calcestruzzo, acciaio);
- b) dei carichi agenti sulla piattabanda definiti in conformità con quanto specificato al par. 3.4.2.

c) del regime di sollecitazioni che compete alla piattabanda per la sua partecipazione al comportamento globale dell'edificio. Tale problema è stato discusso nel par. 3.4.3. dove si è esaminata la possibilità di utilizzare la piattabanda come armatura inferiore di un traverso appartenente alla schematizzazione dell'edificio come "telaio spaziale", oppure come elemento resistente a trazione e a flessione ubicato lungo il bordo di un pannello facente parte dell'edificio, considerato come sistema pluriconnesso di pareti (struttura scatolare spaziale).

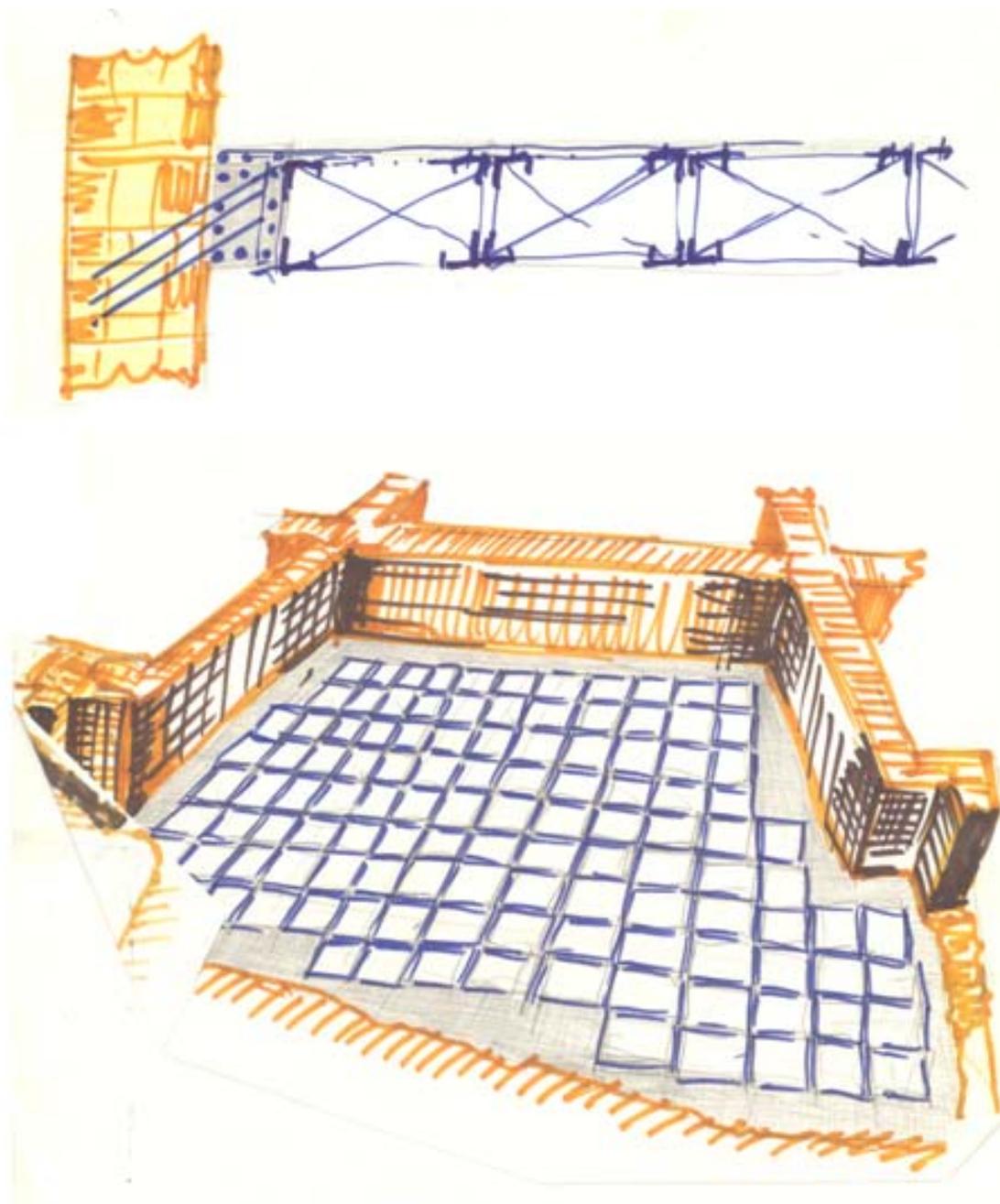
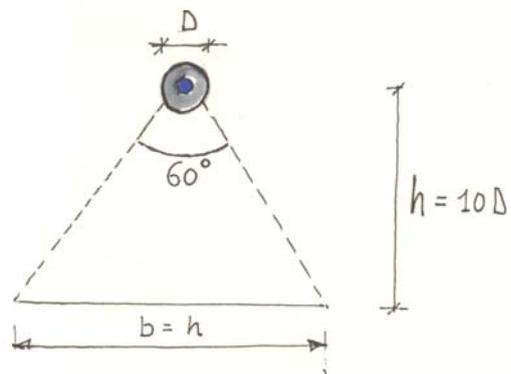
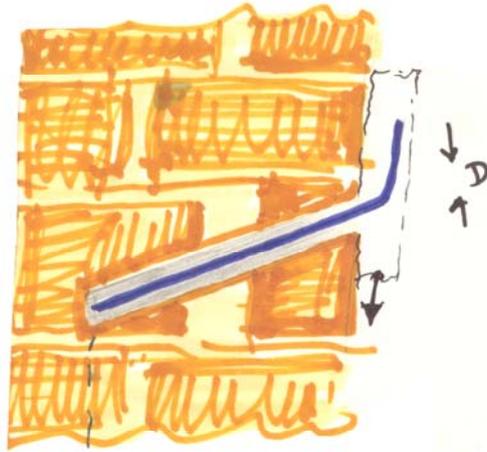


Fig. III.4.16

Fig. 4.4.16 - Recupero effettuato con inserimento di impalcati metallici reticolari spaziali dotati di soletta superiore di adeguata rigidità per una efficiente diaframmatura dell'edificio

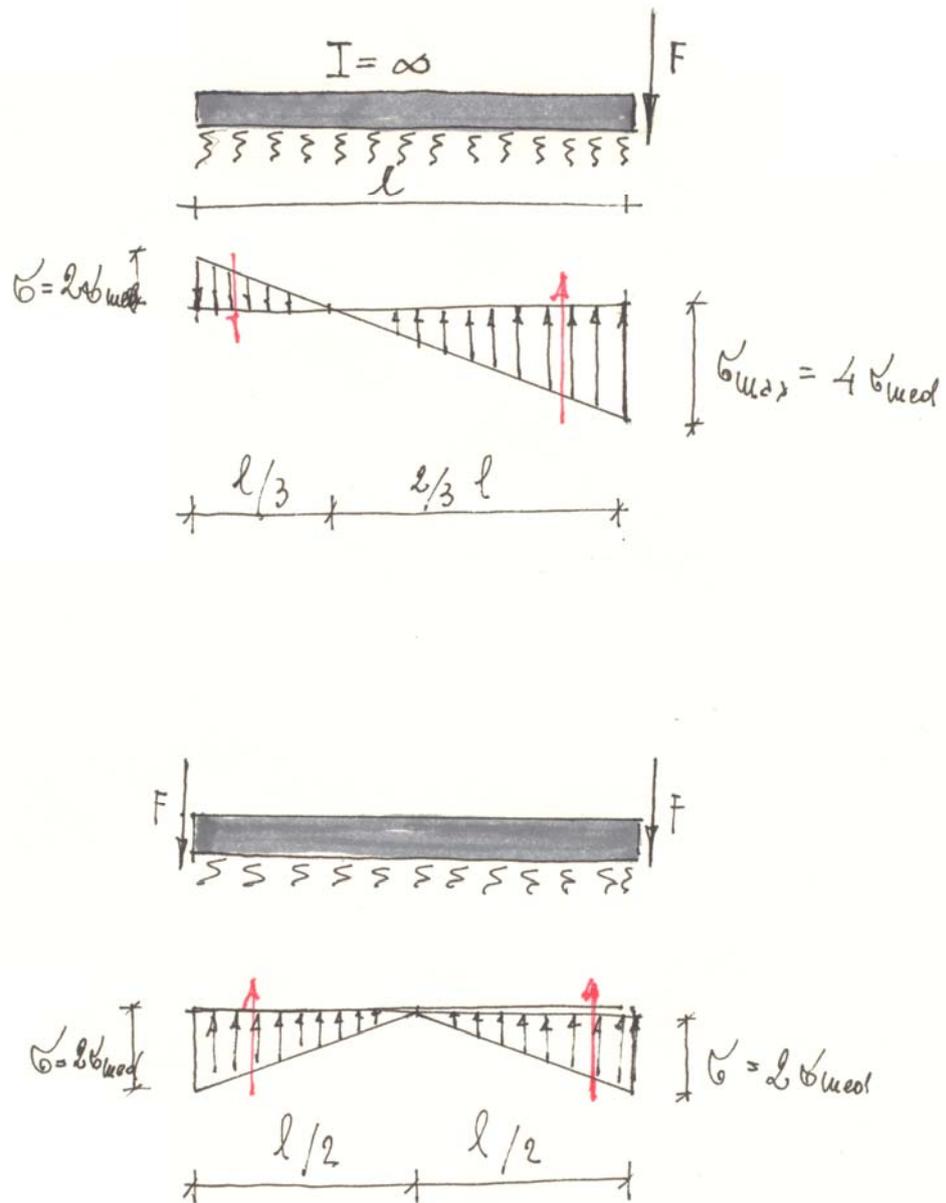
CHIODATURA



Si suppone che la sollecitazione si diffonda a 60° e sia trascurabile quando diventa $1/10$ del valore di contatto cioè per $h = 10 D$.

Fig. III.4.17 a

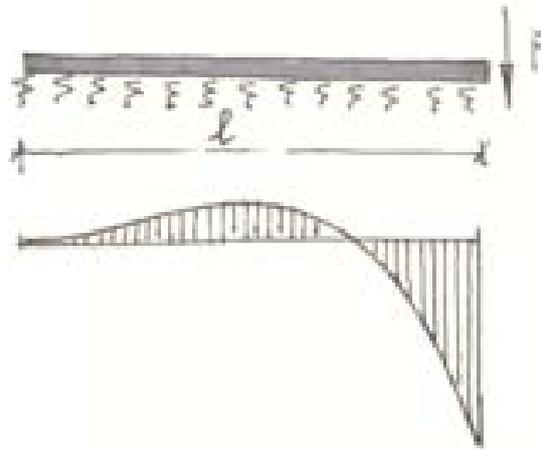
IPOTESI DI CHIODO INFINITAMENTE RIGIDO SU SUOLO ELASTICO



Dai diagrammi riportati in figura, risulta che la tensione massima è doppia o quadrupla di quella media.

Fig. III.4.17 b

Didascalia della Fig.III-4.17b)



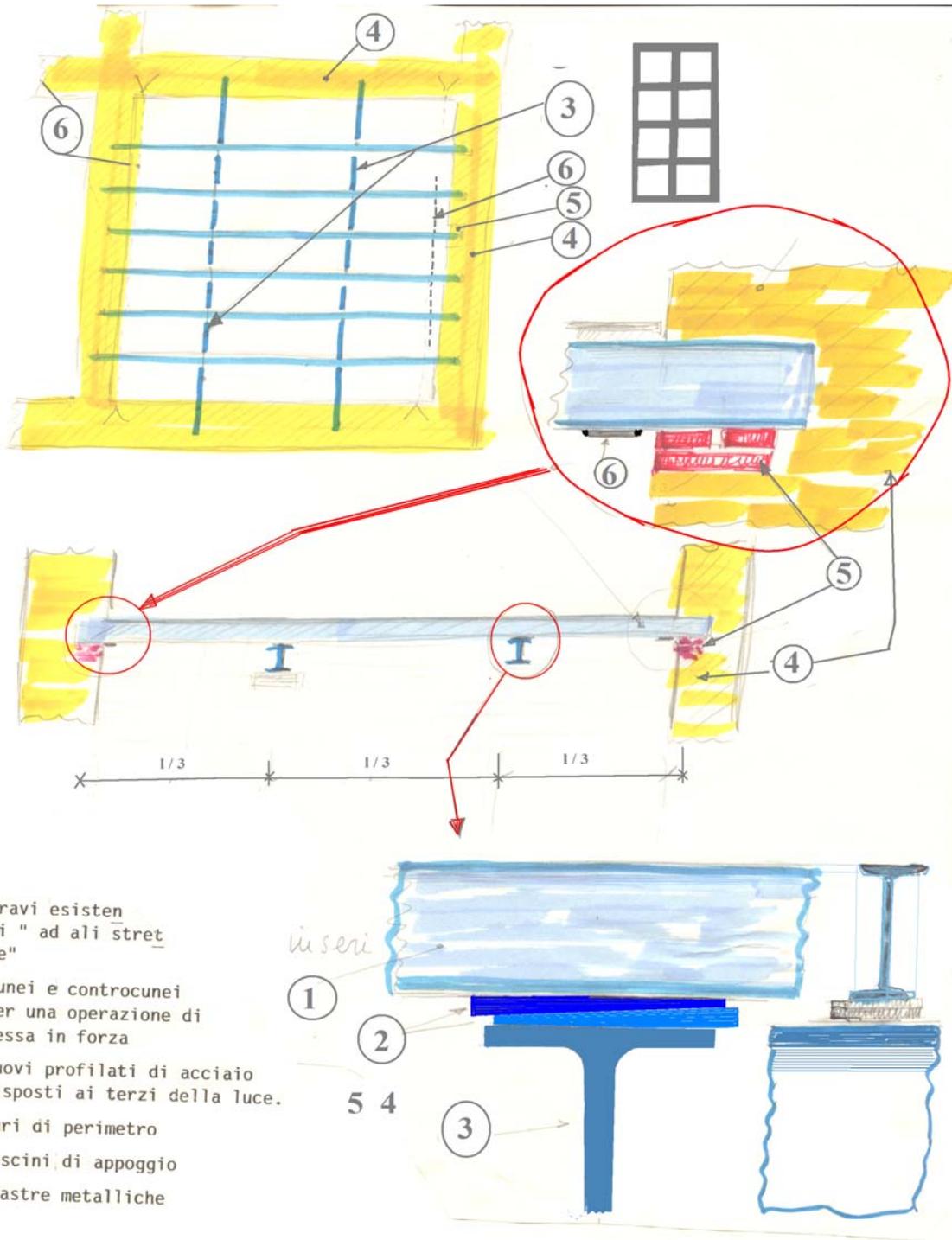
$$y = \frac{\sigma}{c} = \frac{c h}{E_m}$$

$$c_{\min} = \frac{E_m}{10 \Delta}$$

$$c_{\max} = \frac{E_m}{5 \Delta}$$

Fig. 4.4.17 c

Didascalia Fig. III-4.17c)



Didascalia Fig.III-4.18.

4.4.0.3. Direttrice D₃

4.4.0.3.1. Puntellature

4.4.0.3.1.1. Puntellature in acciaio e in legno

Per le puntellature potranno essere usati telai metallici prefabbricati o tubi saldati o trafilati, nei due diametri standardizzati \varnothing 48.25/3.25 mm e \varnothing 60/3 mm con giunti ortogonali stampati a caldo o ricavati da lamiera, stampata a freddo; oppure puntelli in legno a sezione quadrata o circolare. La progettazione e la realizzazione delle strutture di puntellamento in acciaio dovranno essere condotte secondo l'Autorizzazione rilasciata dal Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale alle ditte ponteggiatrici, per la costruzione e l'impiego di ponteggi fissi a tubi e giunti o a telai prefabbricati, secondo le istruzioni contenute nella Relazione Tecnica allegata a detta Autorizzazione.*

Si dovrà agire nel rispetto del DPR del 7.01.56, n.164 (Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni), cap.V (ponteggi metallici fissi), del D.M. 2.09.68. (Riconoscimento di efficacia di alcune misure tecniche di sicurezza per i ponteggi metallici fissi, sostitutive di quelle indicate nel decreto del Presidente della Repubblica 7.01.56, n. 164).*

Le verifiche statiche delle puntellature in acciaio e/o in legno andranno condotte con i metodi della Scienza delle Costruzioni e secondo la norma CNR: "Costruzioni in acciaio: istruzioni per il calcolo, l'esecuzione e la manutenzione" del 10.03.80 o secondo il Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 12.02.82: "aggiornamento delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.*

Sarà permesso l'impiego di puntelli metallici regolabili nella loro lunghezza.

Il forzamento dei ponteggi in acciaio e dei puntelli in legno contro le membrature da puntellare verrà fatto o con semplici cunei di legname o, per l'acciaio, mediante dispositivi a vite, compresi, questi ultimi, fra gli accessori del materiale da ponteggio.

Il disarmo sarà effettuato attraverso cunei di sottomanto o attraverso dispositivi ubicati al piede degli elementi verticali portanti.

Particolare cura verrà dedicata alla ripartizione dei carichi di appoggio, attraverso banchinaggi di tavole o di travi di acciaio, ad orditura parallela o incrociata o mediante piastre in calcestruzzo cementizio eventualmente ed opportunamente armate.

Compatibilmente con la resistenza delle membrature di contrasto, sono permessi i tre tipi di acciaio, ad orditura parallela o incrociata o mediante piastre in calcestruzzo cementizio eventualmente ed opportunamente armate.

Compatibilmente con la resistenza delle membrature di contrasto, sono permessi i tre tipi di ancoraggi previsti per strutture in materiale da ponteggio metallico: l'ancoraggio a cravatta tubolare, quello ad anellone in tondo d'acciaio e quello con vitone di forzamento. Per quanto riguarda le puntellature in legno dovrà curarsi la controventatura delle colonne e dovrà effettuarsi una sorveglianza per fronteggiare gli effetti delle variazioni delle condizioni di umidità, agendo opportunamente sui cunei di serraggio.

4.4.0.3.1.2. Provvedimenti di rafforzamento dell'edificio con pareti in muratura o in conglomerato armato (provvisorio e/o definitivo) - placatura.

I provvedimenti di rafforzamento dell'edificio con pareti in muratura o in conglomerato armato possono avere carattere provvisorio o definitivo.

(*) Incluso nel fascicolo di "Leggi e Regolamenti" che sarà allegato al documento finale.

Nel primo caso si realizzano muri che hanno la funzione di collaborare con i muri esistenti, al sostegno dei carichi verticali, riducendo così in essi, la sollecitazione assiale; essi possono anche svolgere la funzione di irrigidire la scatola muraria eliminando i vuoti in essa esistenti ed eliminando le spinte interne che tendono a disgregarla.

Con le pareti in conglomerato armato e/o in muratura di tufi o di mattoni pieni e malta di cemento o misti si ottengono pannelli di rinforzo che realizzano elevata capacità resistente.

Si utilizzano le soluzioni più adeguate alle specifiche esigenze ricorrendo, ad esempio nell'ambito dei sistemi misti, a muri di mattoni pieni intercalati da cordoli in cemento armato o a muri di pietrame naturale, purché idonei a svolgere la funzione di collaborazione richiesta caso per caso.

Sono utilizzabili anche murature in blocchi forati di calcestruzzo o di laterizio di comprovate caratteristiche meccaniche.

Nel caso di edifici della prima e seconda classe danneggiati dal sisma al punto da non esser più abitabili, può rendersi necessario in prima emergenza, tamponare tutti i vani, esterni ed interni, con la finalità di irrigidire il complesso ed evitarne il crollo, in attesa dei lavori definitivi di recupero.

A questo tipo di provvedimento si accoppia la messa in opera di catene provvisorie, che contrastino lo sbandamento delle pareti verso l'esterno.

Nel secondo caso quando cioè le "puntellature in muratura" rappresentano un provvedimento definitivo, che rientra in una più articolata progettazione anche architettonica ed impiantistica del recupero, oppure dell'adeguamento sismico della struttura dell'edificio, è indispensabile curare anche un completo collegamento tra le murature vecchie e nuove.

Si devono prevedere, a tale scopo interventi di costruzione e/o perforazioni armate, che garantiscano la monoliticità del nuovo organismo murario che si viene a creare.

4.4.1. Il recupero degli edifici della prima classe.

Il progetto di recupero deve scaturire dai risultati delle verifiche della struttura originaria eseguite con i metodi esposti nel cap. 3.4. utilizzando le direttrici illustrate nel par. 4.4.0.

Esso è necessario quando il grado di sicurezza della struttura "originaria" risulta insoddisfacente.

In tal caso attraverso una catena di successivi approcci (di previsioni sistematiche di provvedimenti di rafforzamento e di corrispondenti verifiche) si dosano e si distribuiscono nel modo più opportuno gli interventi di recupero. Dall'analisi statica della struttura **originaria**, si individuano tutte le zone deficitarie sia sottoposte ad eccessivi sforzi di trazione, che di compressione. Si eliminano dapprima, i casi nei quali manca addirittura l'equilibrio, frequenti negli edifici della prima classe, per la presenza delle spinte esercitate da strutture arcuate.

Quindi si effettuano, secondo il caso, provvedimento di rafforzamento delle zone tese, confinamento di quelle compresse irrigidimento degli impalcati. Un processo iterativo di provvedimenti e verifiche conduce alla progettazione ottimale del recupero, utilizzando le "monadi tecnologiche" (par. 4.4.0.1.) secondo le direttrici D1, D2, D3, in relazione alla ottimizzazione del risultato finale. Infatti il progetto di recupero statico per gli edifici della prima classe, come per quelli delle classi successive deve integrarsi con quello di recupero architettonico - distributivo e con quello impiantistico; tali progetti, redatti di concerto con quello statico, possono porre vincoli di conservazione di alcuni caratteri (ad esempio di tipo **estetico**) e/o possono altrimenti formulare esigenze di aperture di nuovi vani, di demolizione parziale e/o totale di alcuni muri e altri provvedimenti finalizzati ad un miglior godimento dell'edificio. Questi risultati possono essere conseguiti dal progetto di recupero statico, introducendo equivalenti provvedimenti di rafforzamento e di irrigidimento della struttura. Il "ciclo" delle verifiche, utilizza inizialmente i modelli propri della classe di appartenenza e successivamente quelli richiesti dalle direttrici di recupero (D1), (D2), (D3), definite al par. 4.4.0. e infine quelli successivi della classe dell'edificio che si adegua.

4.4.2. Il recupero degli edifici della seconda classe

Il progetto di recupero strettamente statico va redatto per fronteggiare i risultati (negativi) delle verifiche eseguite per l'edificio con i metodi proposti nel cap. 3.4. Esso si ottiene adottando provvedimenti di rafforzamento secondo le tre direttrici di cui al punto 4.4.0, (eventualmente tra loro integrate), facendo ricorso ad un "ciclo" di verifiche statiche che consentano il dosaggio e la distribuzione dei provvedimenti ed il controllo della idoneità particolare e complessiva conseguita.

Nell'ordine, per sollecitazioni inammissibili ma di poco superiore alla fascia di ammissibilità, si può seguire il criterio di adeguare le caratteristiche dei materiali alle sollecitazioni risultanti dalle

verifiche, sia nelle zone compresse che nelle zone tese (D1); se le sollecitazioni sono di gran lunga maggiori di quelle ammissibili si possono introdurre anche elementi strutturali che incrementano la rigidità e la resistenza delle murature senza alterarne sensibilmente la morfologia (D2) quali ad esempio catene e fasciature; si possono infine introdurre nuovi elementi costruttivi cambiando localmente o globalmente la morfologia della struttura (D3).

Il progetto di recupero si esegue attendendosi peraltro ai criteri già specificati nel par. precedente anche in relazione alle esigenze architettoniche ed impiantistiche per conseguire infine la richiesta qualità abitativa.

4.4.3. Il recupero degli edifici della terza classe.

Se le verifiche effettuate con i metodi proposti nel terzo capitolo danno risultati insoddisfacenti, il progetto di recupero si redige adottando gli opportuni provvedimenti, secondo le tre direttrici (D1), (D2), (D3), allo scopo di rendere resistenti le zone che sono apparse deficienti.

Relativamente alla direttrice (D2), particolare considerazione va posta nel rafforzamento delle zone sovrastanti i vani, il che si ottiene realizzando piattabande profondamente **ammorsate nelle** spalle che, atte a conferire una maggiore rigidità ed efficienza statica, collaborano con il sovrastante cordolo. (caratteristico degli edifici in questione) alla efficienza statica dell'intero edificio.

Le tecnologie disponibili secondo le citate direttrici di recupero (D1) o (D2) sono state illustrate nel par. 4.4.0.

Si adotteranno provvedimenti ovunque necessari per deficienze specifiche di singoli elementi strutturali e si seguiranno peraltro i criteri già specificati per la prima classe e richiamati per la seconda, in relazione alle esigenze di recupero abitativo.

4.4.4. Il recupero degli elementi componenti

4.4.4.1. Il recupero delle volte

Nell'ambito degli edifici della prima classe, il consolidamento delle volte e in generale delle strutture arcuate che risultano deficienti, richiede innanzitutto di stabilire se la struttura dell'edificio ovvero i piedritti siano, o meno, in grado di sopportare le spinte ad esse generate; se non lo sono, occorre intervenire sulle strutture di bordo della volta e sui piedritti, per rendere questi ultimi capaci di sostenere le spinte facendo riferimento alle direttrici (D1) e (D2) o, altrimenti, per eliminare la spinta, inserendo nuovi elementi strutturali costituiti in generale da catene (direttrice D3).

Nel primo caso il consolidamento non si limita alla volta e si adottano le seguenti tecniche di risanamento:

- 1) iniezioni di miscele leganti non armate nel corpo dei piedritti (par. 4.4.0.1.1.) se basta incrementare la capacità di resistenza della muratura a compressione;
- 2) iniezioni armate per conferire alla muratura dei piedritti anche una sufficiente capacità di resistenza a trazione (par. 4.4.0.1.2.);
- 3) fasciature della muratura con strati sottili di conglomerato armato e chiodato alla struttura muraria (par. 4.4.0.2.1.).

Nel secondo caso, si eliminano le spinte migliorando radicalmente le condizioni di lavoro dei piedritti. Sicché possono ridursi, o evitarsi del tutto, i provvedimenti su descritti e si adottano invece provvedimenti del tipo qui di seguito illustrato:

- a) inserimento di catene metalliche dotate di ancoraggi alle estremità e di dispositivi di messa in tensione (par. 4.4.0.1.3.);
- b) anelli chiusi, capaci di assorbire spinte centripete, attraverso la loro capacità di resistenza a trazione e/o a flessione in dipendenza della coincidenza o meno della forma dell'anello con la funicolare delle spinte.

Per il recupero della volta vera e propria si utilizzano chiodature per conferire alla muratura capacità di resistere alle sollecitazioni principali di compressione e trazione determinate attraverso i modelli di comportamento a membrana (vedi par. 3.4.4.1.). In alternativa si può realizzare un guscio in cemento armato superiore e/o inferiore rispetto alla volta in muratura, chiodato alla struttura muraria secondo quanto descritto al par. **4.4.0.2.1. Tale guscio si verifica** secondo due modelli di funzionamento suggeriti dalla bibliografia per le volte sottili in cemento armato.

4.4.4.2.1. Il recupero dei solai in legno

Quando le verifiche effettuate secondo le indicazioni fornite ai punti 3.4.1. e 4.4.1. comportano la inaccettabilità del solaio in legno, si procede al suo rafforzamento oppure alla sua sostituzione con altro solaio.

Nel primo caso si conserva visibile la struttura in legno all'intradosso del solaio; sempre che il materiale risulti in buon stato di conservazione e sia almeno in grado di autoportarsi, si dispone al di sopra una nuova struttura resistente, in grado di sostenere da sola i carichi verticali, peso proprio, sovraccarichi permanenti ed accidentali che gravano direttamente, nonché di assolvere le funzioni

di collegamento rigido tra le pareti murarie dell'edificio che le competono in presenza di evento sismico.

Nel secondo caso si sostituisce il solaio con le seguenti modalità. Si effettua preliminarmente l'asportazione del pavimento, del masso e dei paconcelli, senza rimuovere le travi principali in legno per non rinunciare al contributo che esse possono ancora dare alla stabilità dell'edificio. La loro rimozione si effettua solo in un secondo momento ed operando in un comparto di solaio per volta.

Nel comparto dove si opera, eliminate le travi in legno, si rinforza la muratura, riempiendo i fori di alloggio delle travi con calcestruzzo ed eseguendo iniezioni di cemento in fori armati con barre metalliche per una fascia di muratura alta almeno un metro, in corrispondenza del livello dove si deve realizzare il nuovo solaio. Esso può essere in cemento armato o in profilati di acciaio.

Nel primo caso si realizzano nella muratura così risanata due filari di fori alla quota del nuovo solaio, inserendovi barre di acciaio "a maniglione" (cioè sagomate a squadra) sporgenti circa 10 cm dalla parete aventi la funzione di collegare la muratura alla zona piena che circonda il riquadro di solaio, e che sarà armata con barre parallele alla muratura. I fori per l'alloggiamento delle barre a maniglione, da eseguirsi con sonde meccaniche a rotazione (carotatrici o fioretti), devono risultare lievemente inclinati verso il basso, (circa 15°9 per agevolare il loro riempimento con malta cementizia.

Il loro diametro sarà di 50-70 mm e la profondità circa pari ai 2/3 dello spessore della muratura.

Il nuovo solaio in c.a. eventualmente alleggerito con laterizi nella zona centrale, è munito al perimetro di una fascia piena della larghezza di almeno trenta centimetri, alla quale si affida la funzione di cordolo. Per ottenere il collegamento tra i solai relativi a riquadri contigui si realizzano fori passanti opportunamente armati, ovvero perforazioni munite di barre di attesa, incrociate in pianta, in modo da creare nel muro una sorta di traliccio al quale vanno ad ancorarsi sui due lati i riquadri contigui di solaio.

Può convenire adottare comunque questo criterio al contorno anche esterno, di tutti i riquadri di solaio da realizzare (fig.4.4.3. e 4.4.16).

La fascia piena disposta al contorno di ogni riquadro di solaio, collegata alla muratura circostante mediante maniglioni da essa sporgenti, viene armata con barre longitudinali (in genere $\varnothing 14$) e staffe (in genere $\varnothing 8/20$); ad essa poi, si ancorano le barre dei travetti e le armature di ripartizione disposte nella solettina piena del solaio. In particolare va curato il getto di quest'ultima (dello spessore di almeno 5 cm) la quale, incorniciata dal cordolo perimetrale, realizza così la monoliticità dell'insieme, assicurando la voluta rigidità del solaio nel proprio piano.

Nel secondo caso, quando cioè il solaio viene sostituito con uno nuovo in profilati di acciaio, nella si modifica per quanto attiene la fase di rafforzamento della muratura, la disposizione delle barre di acciaio con maniglioni di attesa e il cordolo perimetrale, salvo la necessità di predisporre i fori nella muratura dove andranno ad alloggiare le estremità delle travi, le cui anime saranno opportunamente munite di ancoraggi di appresatura al conglomerato di sigillatura del foro. Tali ancoraggi si realizzano facendo passare nelle anime dei profilati preventivamente forate, almeno una barra di grosso diametro.

Si può prevedere in alternativa il cordolo sporgente al di sotto della trave in modo da rendere passanti le armature inferiori. Sui profilati si realizzerà una soletta dello spessore di almeno 7 cm armata con rete e con barre almeno di diametro $\varnothing 14/40$ trasversali, saldate alla suola. La finalità è di realizzare una solidarietà tra la soletta e i profilati secondo i sistemi misti acciaio-calcestruzzo. Possono infine adottarsi strutture industrializzate di vario tipo perchè conseguono le finalità di collegare tra loro i muri e conferire al solaio rigidità, resistenza e funzionalità (accoglimento impianti ecc..).

4.4.4.2.1.1. Modelli per la verifica degli ancoraggi a maniglione

Per determinare le azioni che i cilindri di calcestruzzo, (nei quali sono immerse le barre a maniglione), trasmettono alla muratura, si può far riferimento a due differenti modelli di funzionamento (fig. 4.4.17):

a) - Modello rigido

Si può considerare il cilindro di calcestruzzo armato immerso nella muratura, come infinitamente rigido rispetto ad essa (cioè una trave infinitamente rigida su suolo deformabile). In tal caso il diagramma delle tensioni di contatto con la muratura avrà andamento lineare di modo che la risultante, applicata all'estremo può considerarsi applicata nel baricentro del triangolo delle pressioni di contatto e si può risolvere quindi il problema solo con l'equilibrio. Al diagramma delle tensioni che può essere triangolare o bitriangolare, corrisponde nella muratura una sollecitazione massima di compressione, rispettivamente pari al quadruplo e al doppio di quella media (fig. 4.4.17).

b) - modello elastico

Si considera il cilindro deformabile così come la muratura.

Lo schema è, allora quello di una trave elastica su suolo elastico alla Winkler, caricata dalla forza R ad un'estremità.

Una volta stabilito il valore della costante di sottofondo ($c=E/H$) essendo E il modulo di elasticità della muratura e H la profondità efficace di risposta, possono essere calcolate le pressioni sulla muratura applicando la trattazione della trave su suolo alla Winkler, attraverso la determinazione del parametro .. dalla relazione:

manca

Nella quale

c = costante di sottofondo

D = diametro del foro

E = modulo elastico del calcestruzzo armato

I = momento d'inerzia del cilindro in c.a.

Il diagramma delle pressioni che si ottiene adottando questo secondo modello ha un andamento di tipo sinusoidale, e assume il valore massimo anche in questo caso, sul bordo della muratura.

L'interasse tra i fori va assegnato tenendo presente che non potrà essere nè troppo piccolo ($i > 5D$), per evitare possibili interferenze delle sollecitazioni prodotte dai singoli ancoraggi sulla muratura, nè troppo elevato ($i < 10D$) per assicurare un'adeguata continuità al collegamento tra solaio e muratura, evitare punte eccessive delle sollecitazioni di contatti con la muratura e infine, ridurre le dimensioni dei campi liberi delle placature. (Sarà preferibile una disposizione a quinconi).

La pressione massima di contatto calcolata andrà poi confrontata con la sollecitazione ammissibile della muratura, opportunamente incrementata per tener conto sia del miglioramento della qualità ottenuto mediante le iniezioni, sia del fatto che si tratta di pressioni a timbro agenti su una ristretta area rettangolare, circondata da materiale che non si fa intervenire nel calcolo, ma che certamente collabora con la zona direttamente sollecitata. Il valore della σ_{amm} può quindi essere almeno raddoppiato. Se tale verifica non è soddisfatta si dovrà ridurre la forza agente sul singolo chiodo incrementandone il numero fino a che il valore della pressione non diventa accettabile. Una volta fissato l'interasse tra i fori, il diametro delle barre di armatura si determina verificando le stesse al tranciamento senza tener conto della presenza del conglomerato di avvolgimento.

4.4.4.2.2. Il recupero dei solai in profilati di acciaio.

4.4.4.2.2.1. Il recupero dei solai non idonei al sostegno dei carichi verticali.

Al punto 1.4.4.2.2. sono stati descritti alcuni tipi di solaio in profilati di acciaio, diversi in relazione alle modalità di completamento degli interspazi tra le travi; dal punto di vista statico sono state individuate tipologie spingenti e non, in direzione trasversale rispetto all'orditura. Il consolidamento

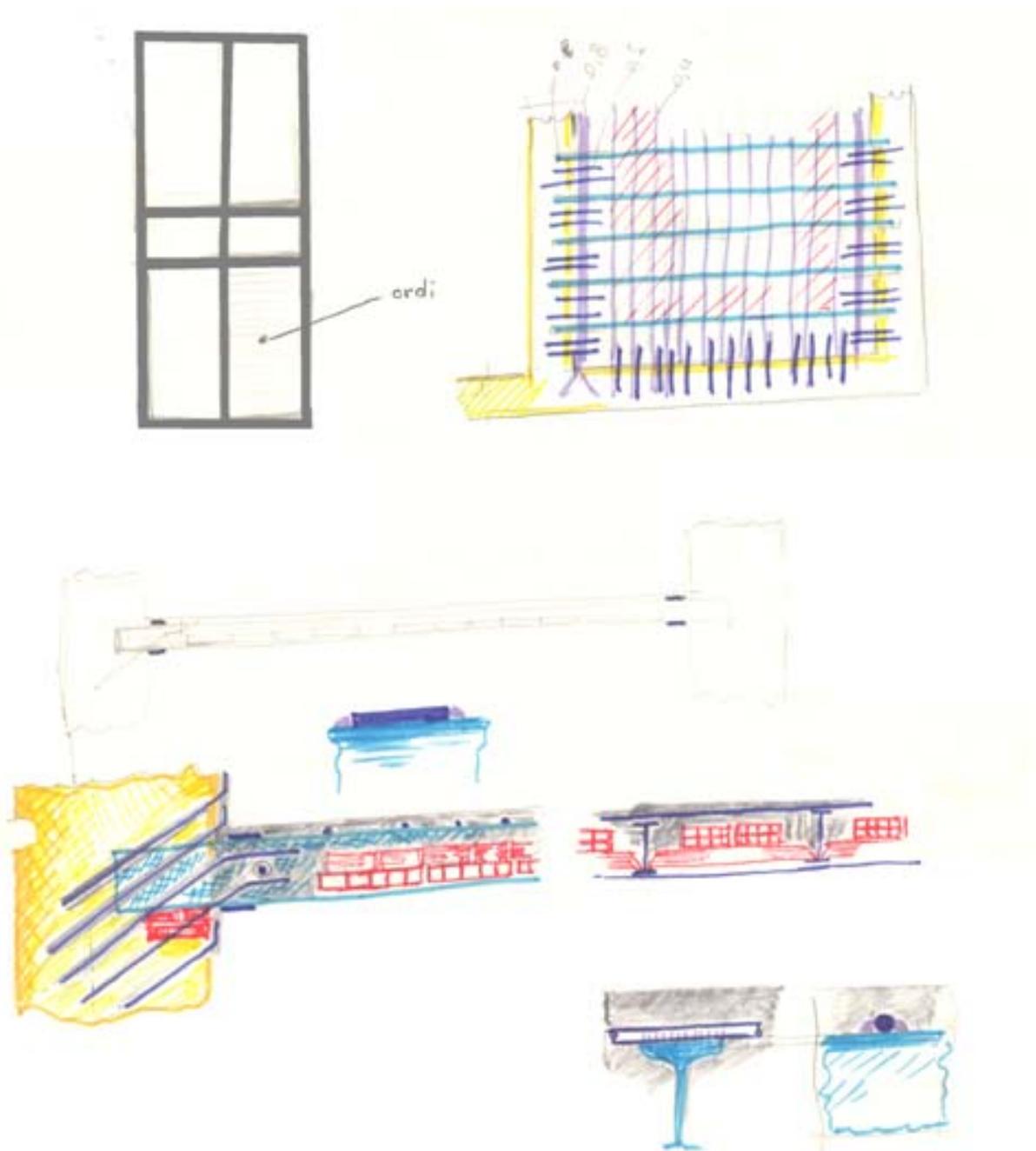
può rendersi necessario per insufficienza statica a flessione e taglio delle travi, per eccessiva deformabilità delle stesse, per insufficienza del materiale di completamento tra esse interposto e per l'esigenza della struttura portante dell'edificio di trovare nel solaio un valido collegamento tra i muri, anziché una causa dirompente nel caso che in senso trasversale eserciti spinte sulle pareti dell'edificio. Ovviamente possono coesistere più motivi di insufficienza.

Nel caso di insufficienza delle travi, l'intervento più economico consiste nel disporre uno o due profilati di acciaio ortogonali all'orditura (di dimensioni notevolmente maggiori delle travi esistenti), opportunamente messe in forza a loro sostegno con coppie di cunei, in modo da ridurre l'entità dei momenti flettenti e incrementare la rigidità del graticcio che ne consegue. (fig. 4.4.18). Tale provvedimento è possibile solo nei campi di solai delimitati da due muri paralleli all'orditura delle travi a distanza paragonabile con la luce di queste. Il vantaggio economico principale sta nel non intervenire sulle pavimentazioni e sulle altre opere di finimento degli appartamenti. Decisamente preferibile dal punto di vista statico e ottimale quando coesistono anche gli altri motivi, è l'alternativa di realizzare una soletta in c.a. al di sopra delle travi, ad esse saldata in modo che sia monoliticamente collaborante con le travi esistenti (fig. 4.4.19).

Nel par. 4.4.4.2.2.2 saranno descritte le operazioni relative a tale intervento. Questo tipo di intervento presenta il notevole vantaggio statico di risolvere con piena soddisfazione e con una struttura di elevate prestazioni, tutte le cause di insufficienza precedentemente elencate. Infatti la nuova soletta saldata attraverso le sue armature alle travi, incrementa sia la capacità di resistenza ai carichi verticali che la rigidità flessionale del solaio, e soddisfa pienamente le esigenze dell'edificio considerato nel suo complesso come si illustra nel prossimo paragrafo.

4.4.4.2.2.2. Il recupero dei solai in relazione ai carichi orizzontali agenti sull'edificio.

Si è detto in precedenza che il consolidamento dei solai in profilati di acciaio, può essere necessario per soddisfare l'esigenza dell'edificio di trovare ad ogni piano una lastra rigida e resistente di collegamento tra le pareti dell'edificio stesso.



Didascalia Fig.III-4.19.

In tal caso si può procedere come qui di seguito si espone:

a) se gli interspazi tra le travi sono costituiti da materiali resistenti a compressione, quali voltine in mattoni ribassate, conglomerato in muratura, voltine di tufo ecc., si può prevedere di saldare alle travi di acciaio, "profilati piatti" correnti in senso trasversale. Si devono disporre due piatti alle estremità e almeno uno in mezzeria; è ottimale dal punto di vista statico disporre due in campata in corrispondenza dei terzi della luce netta. I piatti disposti alle estremità in adiacenza ai muri devono collegarsi ai muri paralleli all'orditura; tale collegamento può essere realizzato direttamente,

munendo il singolo piatto di zanche che afferrano quest'ultimo e si ancorano in altrettanti fori praticati nella muratura sigillati con conglomerato o indirettamente, utilizzando al posto delle zanche le barre eventualmente già disposte in fori per iniezioni finalizzate al consolidamento dei muri. Se si agisce solo all'intradosso si evita di smantellare i pavimenti e le finiture degli appartamenti; se è assente questo vincolo conviene agire contemporaneamente all'estradosso e all'intradosso.

b) se gli interspazi tra le travi sono costituiti da materiale che non è in grado di sviluppare una sufficiente resistenza a compressione, si deve necessariamente prevedere l'asportazione del pavimento e del massetto di ricoprimento dei profilati in acciaio, accertando preventivamente durante tali operazioni, che le travi siano in grado da sole di sostenere i carichi che su di esse direttamente gravano (può infatti verificarsi che si sia creata una precaria solidarietà tra i profilati e i massi di conglomerato e che al momento dello smantellamento i profilati, privi di ogni contributo, risultino insufficienti).

Messo a nudo l'estradosso delle travi si prevederà la realizzazione di una soletta in c.a., dopo aver saldato le barre di armatura alle soles superiori delle travi in acciaio; si può anche prevedere il fissaggio di elementi metallici appositamente sagomati per garantire la collaborazione tra le travi e la soletta. Per quel che attiene il collegamento tra la soletta ed i muri circostanti, valgono le considerazioni svolte al par. 4.4.4.2.1.

4.4.4.2.3. Il recupero dei solai in c.a.

Per quanto attiene i criteri generali di verifica sia delle situazioni esistenti che di quella corrispondente agli eventuali interventi di recupero si rinvia alla bibliografia e alla normativa vigente espressa nell'ambito della L. 1086 del 1971. Si considera nel seguito le deficienze più comuni che si riscontrano nei solai in c.a. con particolare riferimento alle funzioni che esso deve svolgere in zona sismica:

- a) insufficienza delle armature dei cordoli inseriti nei muri;
- b) insufficienza delle barre di collegamento tra travetti e cordoli sporgenti inferiormente alle estremità dei travetti;
- c) insufficienza di collegamento in senso trasversale: assenza di travetti di ripartizione, assenza o insufficienza della armatura di ripartizione nella soletta, assenza o insufficienza dell'armatura di collegamento al cordolo latitante;
- d) insufficienza statica a flessione in mezzera, per errata sopravvalutazione del grado di incastro del solaio nelle murature;

- e) insufficienza a flessione e/o a taglio agli estremi, per insufficiente larghezza o assenza delle fasce piene e semipiene di calcestruzzo in prossimità dei muri;
- f) insufficiente protezione del metallo dalla corrosione per mancanza di distanziatori delle barre dalle pareti in laterizio dei travetti e dal fondo degli stessi.

Comunque se l'esame effettuato attraverso le operazioni di rilievo e di controllo teorico, porta all'accertamento di insufficienze, andrà effettuato il recupero.

Si segnala anche per questa tipologia di solai l'insidia di situazioni precariamente stabili, che possono dar luogo a gravi inconvenienti in fase di recupero anche non statico.

Si citano esemplificativamente:

- la possibilità di una precaria collaborazione tra i massi (specialmente quelli per le pendenze in copertura) e la soletta superiore del solaio; essa può venire a mancare nel caso di opere di rifazione dei pavimenti e/o dei manti di impermeabilizzazione;
- la possibilità di una insufficienza statica del solaio fronteggiata precariamente dai muri divisorii sui quali sono andati a poggiare; in tal caso i muri hanno assunto funzione di muri portanti e, se per la distribuzione interna dell'appartamento si demoliscono, può verificarsi il crollo del solaio;
- la possibilità che gravi corrosioni si siano verificate all'interno del solaio, per mancanza di adeguata protezione del metallo e che abbiano precariamente supplito capacità improprie del solaio stesso, quali quelle dei laterizi e del conglomerato che, anche per lievi turbative, possono venire a mancare. Pertanto la verifica dello stato di conservazione del metallo deve precedere qualsiasi intervento anche se di natura non statica.

Le monadi tecnologiche di recupero indicate ai par. 4.4.0.1. - 4.4.0.2. - 4.4.0.3. possono essere utilizzate dai tecnici incaricati del recupero per fronteggiare le deficienze riscontrate.

4.4.4.3. Il recupero delle strutture murarie

Il recupero delle strutture murarie si dovrà effettuare attraverso il ricorso alle monadi tecnologiche elementari di intervento, descritte nei par. 4.4.0.1. - 4.4.0.2. - 4.4.0.3. e sarà naturalmente guidato dai risultati dei calcoli effettuati nel rispetto delle modalità contenute nel cap. 3.4.. Se le verifiche si effettuano con i metodi delle tensioni ammissibili si può seguire il seguente criterio generale che suddivide il campo delle sollecitazioni in cinque fasce: una fascia centrale, cui si fanno corrispondere le sollecitazioni accettabili, che non richiede quindi alcun intervento; due fasce

adiacenti che superano i valori ammissibili (a compressione da un lato e a trazione dall'altro) ma che sono contenute nei valori di rottura; in esse la direttrice D1 può essere sufficiente se questa riesce ad incrementare la resistenza di quanto occorre per rendere ammissibile i valori delle sollecitazioni; altre due fasce da ambo i lati, nelle quali i valori delle sollecitazioni superano largamente quelli di rottura; in esse le direttrici D2 e D3 devono supplire gradatamente alle deficienze di resistenza. Dopo aver così individuato un sistema di provvedimenti occorre ripetere il procedimento di verifica per lo schema rafforzato.

4.4.4.4. Il recupero delle strutture di copertura: il caso della scuola di Buonalbergo

Per il recupero delle strutture di copertura valgono tutte le considerazioni già svolte nei par. 4.4.4.1. e 4.4.4.2, nei quali più in generale è trattato il problema del recupero degli impalcati.

4.4.4.5. Il recupero delle piattabande ai fini della resistenza globale dell'edificio.

Ai fa qui riferimento al caso di insufficienza delle piattabande ad assolvere ai compiti richiesti dalle verifiche di resistenza dell'intero edificio. Se la piattabanda è ad "arco" si è provveduto a trasformarla in modo da avere un funzionamento a "trave". Se però la piattabanda deve rappresentare anche elemento resistente a trazione nel modello di funzionamento della parete muraria sottoposta a sisma, si deve verificare la sua capacità di assolvere a tale ulteriore funzione: possono risultare insufficienti l'armatura metallica esistente nella piattabanda e/o il suo ancoraggio nei due muri cui è vincolata e/o la zona di muro circostante gli estremi per incapacità a recepire gli sforzi trasmessi dalla piattabanda.

In questo caso si può provvedere:

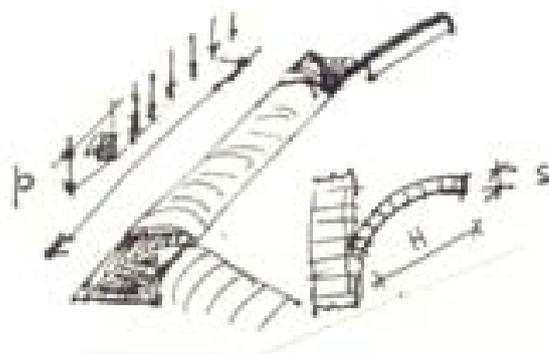
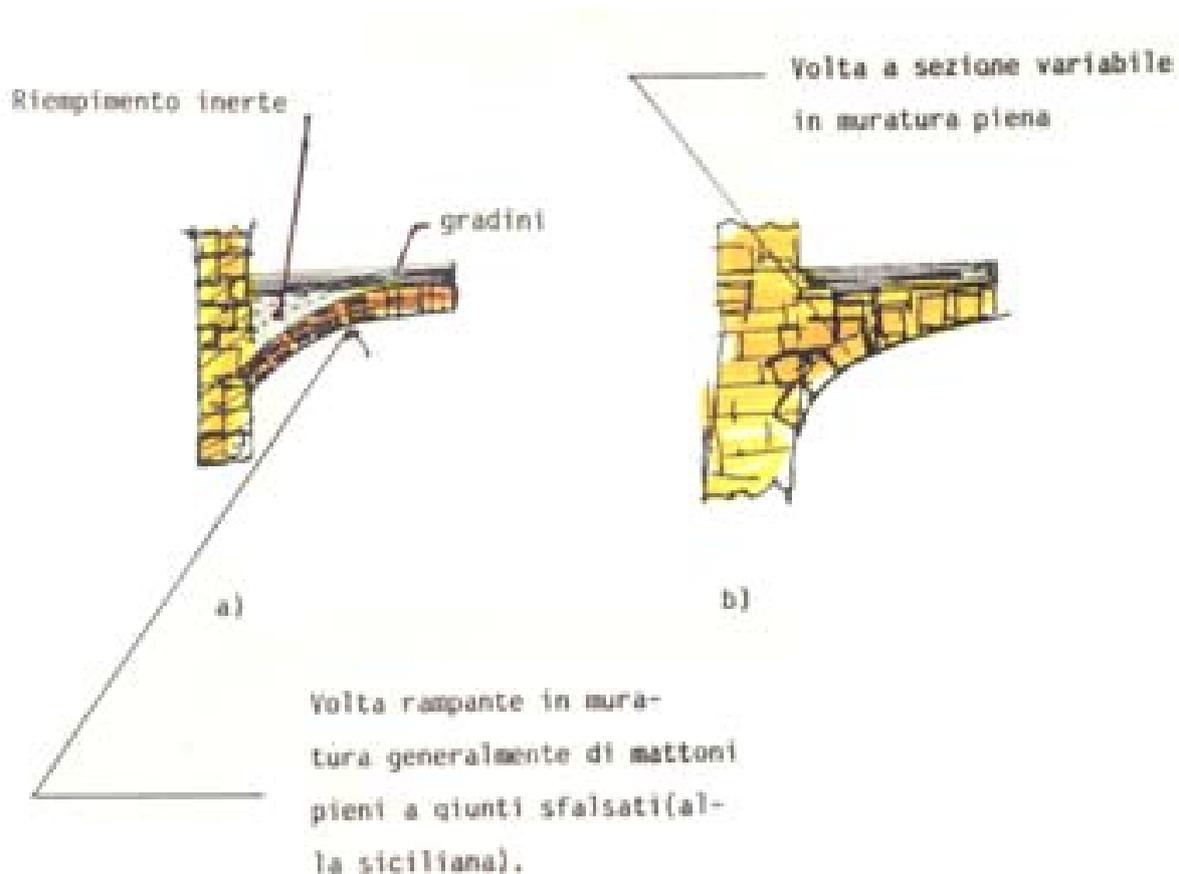
- integrando l'armatura metallica nell'ambito del vano con profilati aggiuntivi;
- rinforzando le zone di ancoraggio nei muri di sostegno agli estremi, sia con iniezioni armate, che con barre metalliche in prosecuzione dei profilati di cui al punto precedente;
- rinforzando in modo analogo le zone circostanti gli ancoraggi.

La verifica del provvedimento di recupero va fatta in base al soddisfacimento delle esigenze statiche espresse dalle verifiche statiche dell'edificio inteso nella sua globalità.

La presenza di catene o cordoli all'altezza dei piani e di piattabande efficienti al di sopra dei vani, che assicurano a tale livello un'ulteriore catena continua resistente a trazione, conferisce agli edifici notevoli risorse di resistenza al sisma. Tale circostanza è stata evidenziata sperimentalmente dal sisma del 23.11.80 e può verificarsi sia con i modelli di "continuo omogeneo" sia con modelli specifici che interpretino il reale comportamento di queste tipologie.

4.4.4.6. Il recupero delle scale

Il soddisfacimento dei requisiti potrà conseguirsi rafforzando la struttura con sistemi che le conferiscano la capacità di assorbire gli sforzi di trazione. Nel caso che la scala appartenga al tipo illustrato nella **fig. 4.4.20b** barre metalliche si disporranno principalmente nella parte superiore della mensola e si ancoreranno nel muro di perimetro della cassa di scala. Nel caso della **fig. 4.4.4.20a** si chioderanno barre metalliche parallelamente al bordo esterno delle rampe riepilogandoli verso i muri della cassa di scala in corrispondenza degli attacchi con i pianerottoli. Per entrambi i tipi strutturali, un efficace intervento alternativo di restauro può ottenersi realizzando una sottostruttura in c.a. alla quale affidare l'intera portanza della rampa di scala. Essa consiste in una solettina in cemento armato fissata all'intradosso dei rampanti in sostituzione parziale dello strato di intonaco, collegata mediante chiodature, alla sovrastante muratura che costituisce il rampante. Per la verifica statica di tale solettina che risulterà sagomata anch'essa a volta, potrà conseguentemente utilizzarsi lo stesso modello teorico già proposto per la verifica delle volte in muratura. L'impiego di armature metalliche nel sottile guscio di calcestruzzo fornirà le richieste garanzie di resistenza a trazione.



Didascalia della Fig. III-4.20 a) e b).

Fig.4.4.20. didascalia -Recupero delle scale in muratura

La copertura del metallo con calcestruzzo fornirà le garanzie di durezza; il collegamento monolitico, mediante chiodature, alla sovrastante muratura che costituisce il rampante. Per la verifica statica di tale solletina che risulterà sagomata anch'essa a volta, potrà conseguentemente utilizzarsi lo stesso modello teorico già proposto per la verifica delle volte in muratura. L'impiego di armature metalliche nel sottile guscio di calcestruzzo fornirà le richieste garanzie di resistenza a trazione. La copertura del metallo con calcestruzzo fornirà le garanzie di durezza; il

collegamento monolitico, mediante chiodature alla sovrastante struttura muraria prevenirà il pericolo di instabilità. Per una valutazione approssimata dell'area metallica da disporre parallelamente al bordo esterno nella zona di mezzeria della rampa si potrà utilizzare la formula:

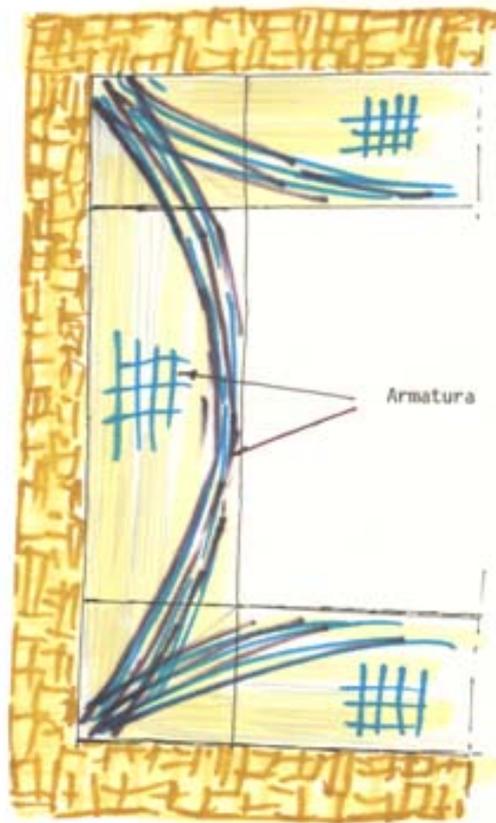
manca

ottenuta utilizzando la schematizzazione semplificata assunta al par. 3.4.4.5.

Le barre di muratura dovranno sagomarsi in modo da assorbire sforzi di trazione diagonale nelle zone di attacco delle rampe ai pianerottoli (fig. 4.4.21).

4.4.4.6.1. Scale in muratura di tipo diverso

Per altre tipologie di scale in muratura si ricade nel caso di strutture arcuate rampanti a volta ecc..



Didascalia Fig. III-4.21.

4.4.4.7. Il recupero delle fondazioni

Se dall'esame geotecnico risulta che il piano di posa non è in grado di dare la risposta, in termini di resistenza e di deformabilità, che l'edificio richiede, occorre procedere al recupero delle fondazioni. Le possibilità di recupero sono molte, tuttavia procedendo in analogia con quanto esposto relativamente agli altri componenti strutturali dell'edificio, si possono individuare anche per le fondazioni tre direttrici principali.

Qualsiasi provvedimento di recupero deve comunque ottenere un prodotto finale, tale da soddisfare la verifica che tenga conto delle caratteristiche geotecniche accertate.

La prima direttrice di recupero consiste nel creare, all'altezza del piano di spiccato, un valido legame tra tutti i muri che nel caso specifico, proseguono nella parte entroterra in assenza di vani e forature. Pertanto si potrà provvedere con le varie monadi tecnologiche già illustrate al par. 4.4.0.1. che consentono di dotare la fondazione di una cintura resistente a trazione. Si richiamano in particolare i seguenti provvedimenti:

- chiodature incrociate a reticolo;
- catene in profilati metallici chiodate lateralmente;
- cordoli in c.a. chiodati lateralmente (le cosiddette "catene aderenti").

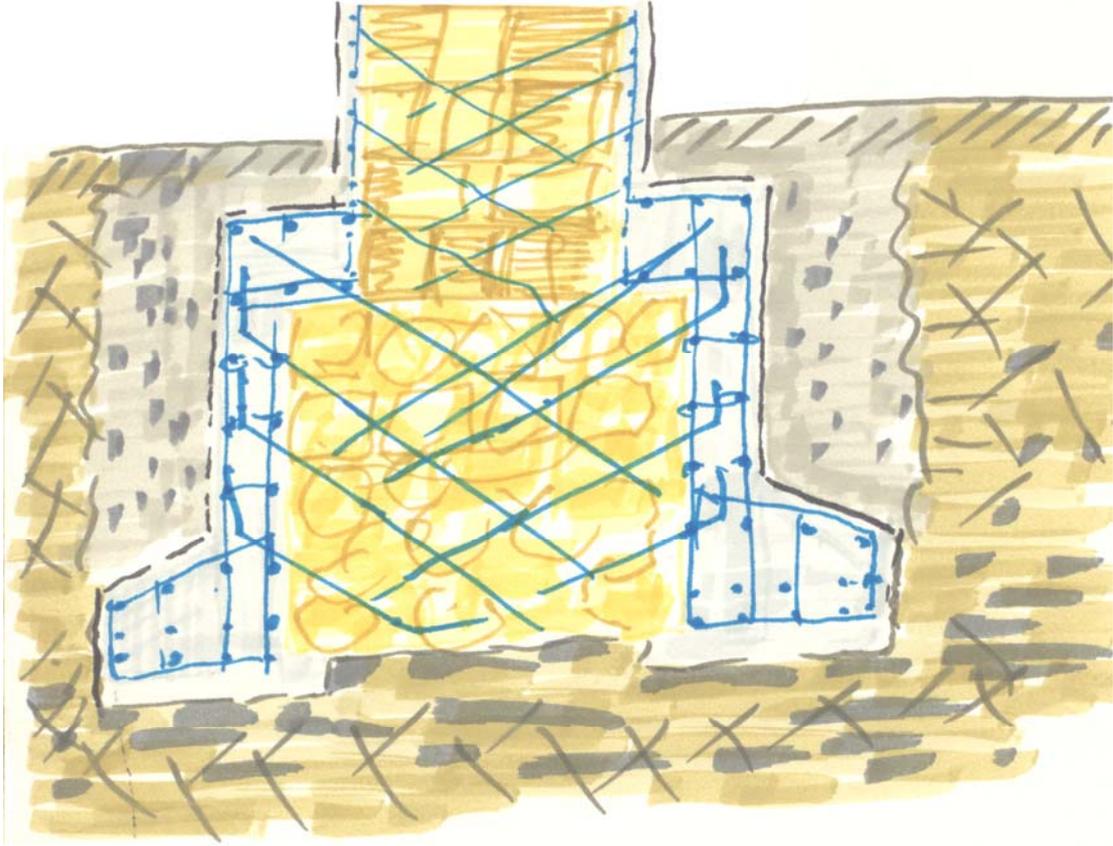
La seconda direttrice corrisponde alla necessità di dare alla fondazione un'altezza sufficiente per rendere uniformi i carichi e una larghezza compatibile con le caratteristiche meccaniche del terreno, risultanti dalle indagini geotecniche.

In definitiva si adottano i seguenti provvedimenti (fig. 4.4.22a):

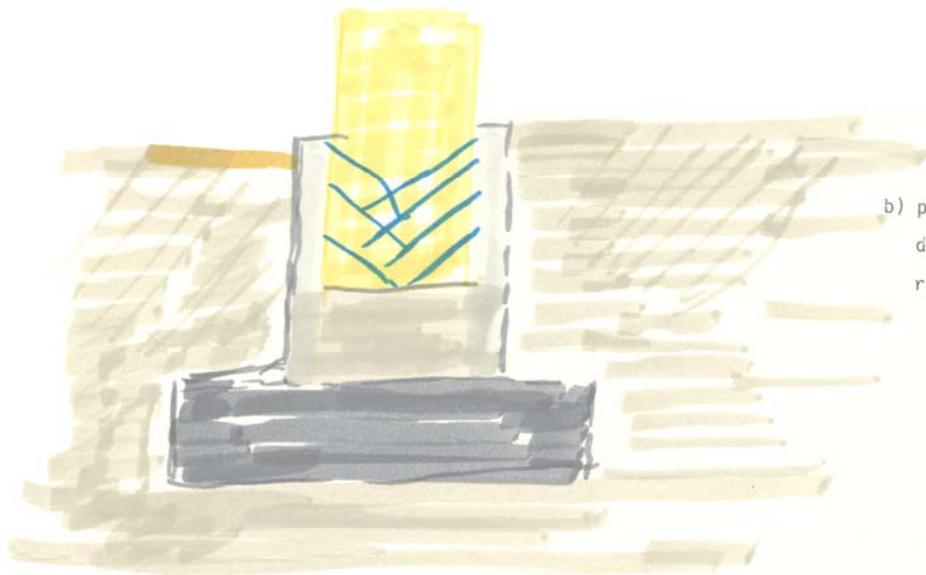
- sostruzione;
- sottofondazione;
- zoccolatura.

Il dimensionamento è compito del progettista il quale, in relazione ai casi specifici, dovrà pervenire ad una morfologia che, sottoposta a verifica, dia risultato positivo, secondo quanto già specificato nei cap. 2.4 e 3.4.

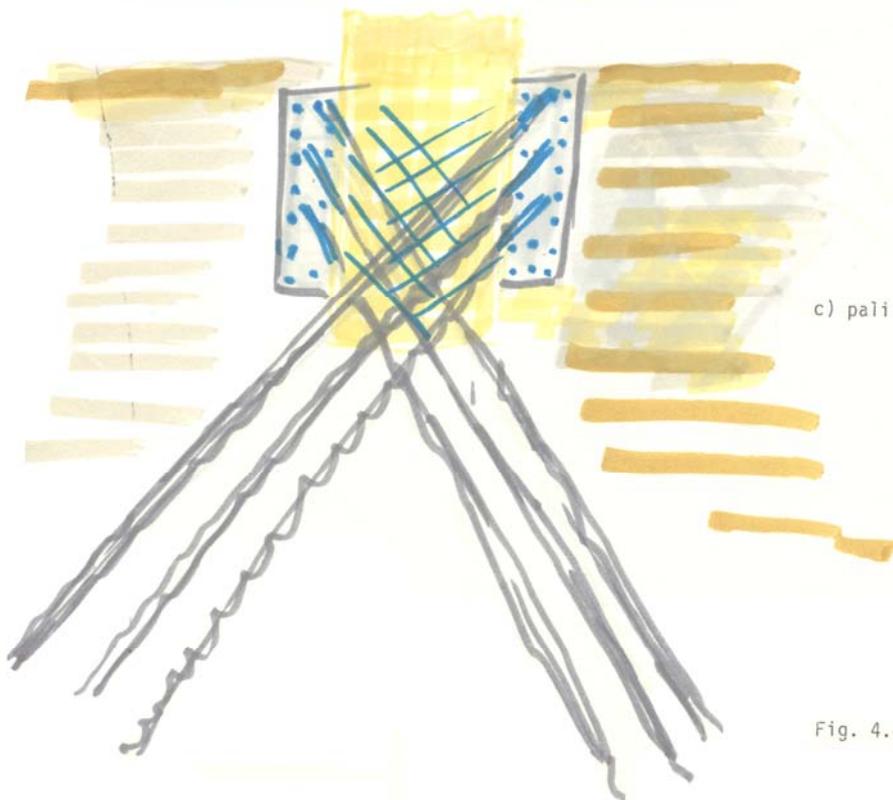
La terza direttrice consegue il risultato del recupero attraverso i cosiddetti sistemi di fondazioni indirette, ovvero attraverso la realizzazione di micropali (disponibili in vari tipi) che attraversano la muratura per un tratto di lunghezza tale da soddisfare la verifica di aderenza palo-muratura e che proseguono nel terreno per la lunghezza necessaria, da stabilire in base alle caratteristiche del sottosuolo. Ovviamente la zona di muratura immediatamente al di sotto del piano di spiccato dovrà essere portata, se necessario, ad un livello di qualità meccanica adeguata alle esigenze di resistenza ed in particolare a quelle di aderenza con i pali. Inoltre si potranno disporre in corrispondenza delle testate dei pali, degli elementi di collegamento già specificati precedentemente (fig. 4.4.22b).



a) provvedimento di fasciatura



b) provvedimento
di zoccolatura



c) pali radice

Fig. 4.4.22