



REGIONE MOLISE
IL PRESIDENTE DELLA REGIONE MOLISE COMMISSARIO DELEGATO
(Legge del 27 Dicembre 2002 n.286)

Decreto n. 76 del 3 agosto 2005
**Protocollo di Progettazione per la Realizzazione degli Interventi di Ricostruzione
Post-Sisma sugli Edifici Privati**

Decreto n.10 del 25 gennaio 2006
**Approvazione “Protocollo di Progettazione per gli Interventi su Immobili Privati per la Ricostruzione
Post-Sisma redatti in attuazione della Direttiva Tecnica del C.T.S.
approvata con Decreto Commissariale n. 35/2005”**

PARTE I – EDIFICI IN MURATURA

**ANALISI DELLE PRINCIPALI TECNICHE DI INTERVENTO
E LIMITI DELLA LORO APPLICABILITA’**
Parte prima

ALLEGATO
3B-1
Rev.01

Marzo 2006

Documento a cura di :

Ing. Claudio Pasquale

Ing. Alberto Lemme

Redatto da :

ing. Alberto Lemme – Collaboratore CNT-ITC – L'Aquila

Ing. Stefano Podestà – DISEG - Università di Genova

Ing. Giandomenico Cifani - CNR-ITC – L' Aquila

Collaborazione:

Arch. Annarita Mazzariello – collaboratore CNR-ITC-L'Aquila

Supervisione scientifica

Regione Molise - Comitato Tecnico Scientifico – D.C. n.19 del 12.6.2003

ALLEGATO 3.B
**ANALISI DELLE PRINCIPALI TECNICHE DI INTERVENTO E LIMITI DELLA
LORO APPLICABILITA'**

Per il conseguimento della massima efficienza degli interventi sugli edifici esistenti è necessario che gli interventi siano graduati ed articolati in funzione delle effettive necessità.

Il progettista deve, quindi, dimostrare la necessità e l'efficacia degli interventi proposti attraverso un'analisi dei danni subiti e delle caratteristiche di vulnerabilità prima e dopo l'esecuzione dell'intervento.

Per quanto riguarda i danni, deve esserne descritto tipo ed entità, distinguendo, per quanto possibile, quelli dovuti al sisma da quelli preesistenti. Riguardo al tipo, sarà opportuno distinguere e classificare i danni riscontrati:

- a) alle strutture murarie verticali;
- b) agli orizzontamenti;
- c) alle connessioni tra le murature e tra murature e orizzontamenti.

Occorrerà, altresì, correlarli ai meccanismi di funzionamento che li hanno prodotti (sollecitazioni nel piano e fuori del piano delle murature, in presenza o in assenza di collegamenti, incremento delle spinte degli orizzontamenti, effetti di martellamento, cedimenti delle fondazioni, etc.), così da individuare gli interventi più idonei a ridurre gli specifici elementi di vulnerabilità della costruzione.

Per quanto riguarda le eventuali carenze in grado di influenzare significativamente la vulnerabilità, bisogna identificarle e chiarire l'effetto su di esse degli interventi previsti.

Tutti i materiali usati per gli interventi dovranno essere compatibili con quelli originali e, di norma, durevoli.

Nelle pagine seguenti sono stati individuati gli interventi singoli proposti in letteratura per il consolidamento delle murature e per ognuno di essi è stato indicato il campo di applicazione e le carenze che sono in grado di contrastare. Inoltre sono stati indicati gli interventi consigliati e quelli da evitare sulla base delle analisi effettuate sul patrimonio edilizio della zona colpita dal terremoto del 2002 in Molise e a seguito della osservazione dei danni agli edifici in muratura dopo i recenti terremoti che hanno colpito l'Italia negli ultimi 20 anni in particolare quello Umbro-Marchigiano del 1997-1998..

TIPOLOGIA INTERVENTI POSSIBILI

1. RIDUZIONE DELLE CARENZE DEI COLLEGAMENTI
2. RIDUZIONE DELLE SPINTE NON CONTRASTATE DI ARCHI E VOLTE
3. RIDUZIONE DELLA ECCESSIVA DEFORMABILITÀ DEI SOLAI
4. MIGLIORAMENTO DELLA DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI VERTICALI RESISTENTI
5. MIGLIORAMENTO DELLA RESISTENZA NEI MASCHI MURARI
6. MIGLIORAMENTO DEI COLLEGAMENTI DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI
7. RINFORZO DELLE PARTI INTORNO ALLE APERTURE
8. INTERVENTI IN COPERTURA
9. MIGLIORAMENTO DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE
10. REALIZZAZIONE DI GIUNTI SISMICI
11. TECNICHE ANTISISMICHE AVANZATE
12. PILASTRI E COLONNE
13. INTERVENTI ALLE SCALE

CORRELAZIONE TRA TIPOLOGIE DI INTERVENTO E GLI INTERVENTI SINGOLI

RIDUZIONE DELLE CARENZE DEI COLLEGAMENTI	Consigliati	Da evitare
Catene singole in barre d'acciaio zincato o inossidabile o piatti in acciaio normale con possibilità di riportare in tensione la catena con capichiave tradizionali a vista (bolzone rettilineo o altra forma) o piastre in ghisa o acciaio con nervature	X	
Catene binate ai due lati del muro/Piatti sui due lati del muro collegati tra di loro con barre in acciaio e capichiave esterni	X	
Tiranti nello spessore del muro con barre metalliche o cavi in acciaio con foro iniettato con malte antiritiro	X	
Collegamenti di piano realizzati con profili di acciaio binati a due lati del muro collegati tra i loro e tra un vano e l'altro e all'esterno con barre in acciai filettate e piastre metalliche nervate, bolzoni.	X	
Fasciature realizzate con materiali compositi (fibre rinforzate)	X	
Crociere in acciaio nello spessore del solaio	X	
Incatenamenti di archi e volte con barre in acciaio con possibilità di mettere in trazione e catene	X	
Cordoli di sommità con profili in acciaio ancorati con perforazioni armate verticali alla muratura	X	
Cordoli di sommità in cemento armato		X
Cordoli di sommità in muratura armata con calcestruzzo e acciaio		X
Cordoli di sommità in mattoni e FRP	X	
Perforazioni armate con barre in acciaio		X
Perforazioni armate con barre in vetroresina o fibra di carbonio	X	
Connessione dei solai di piano e delle coperture alle murature (Collegamento dei terzi o delle travi di colmo con la muratura del timpano)	X	
Soletta armata con perfori incrociati in acciaio		X
Piatti in acciaio di collegamento del tavolato ligneo alle murature d'ambito	X	
Inserimento di capichiave in acciaio	X	
Sostituzione di solai di piano e di copertura con solaio in ferro e tavelloni o ligneo	X	
Sostituzione di solai di piano e di copertura con solaio in cemento armato		X
Speroni e ringrossi murari in muratura	X	

Irrigidimento di impalcati con: <i>Soletta collaborante</i>		X
Irrigidimento di impalcati con: <i>Caldane armate</i>		X
Irrigidimento di impalcati con: <i>Solettina armata</i>		X
Irrigidimento di impalcati con: <i>Bandelle metalliche</i>	X	
Collegamento degli elementi non strutturali	X	
Consolidamento di nodi, capriate lignee e delle teste delle travi lignee	X	
RIDUZIONE DELLE SPINTE NON CONTRASTATE DI ARCHI E VOLTE		
Catene singole in barre d'acciaio zincato o inossidabile o piatti in acciaio normale con possibilità di riportare in tensione la catena con capichiave tradizionali a vista (bolzone rettilineo o altra forma) o piastre in ghisa o acciaio con nervature	X	
Catene binate ai due lati del muro	X	
Tiranti nello spessore del muro con barre metalliche o cavi in acciaio con foro iniettato con malte antiritiro	X	
Fasciature all'intradosso realizzate con materiali compositi (fibre rinforzate)	X	
Perforazioni armate con barre in acciaio		X
Perforazioni armate con barre in vetroresina o fibra di carbonio	X	
Piatti in acciaio di collegamento del tavolato ligneo alle murature d'ambito	X	
Inserimento di capichiave	X	
RIDUZIONE DELL'ECESSIVA DEFORMABILITÀ DEI SOLAI		
Catene singole in barre d'acciaio zincato o inossidabile o piatti in acciaio normale con possibilità di riportare in tensione la catena con capichiave tradizionali a vista (bolzone rettilineo o altra forma) o piastre in ghisa o acciaio con nervature	X	
Catene binate ai due lati del muro	X	
Tiranti nello spessore del muro con barre metalliche o cavi in acciaio con foro iniettato con malte antiritiro	X	
Fasciature realizzate con materiali compositi (fibre rinforzate)	X	
Crociere in acciaio nello spessore del solaio		
Connessione dei solai di piano e delle coperture alle murature (Collegamento dei terzi o delle travi di colmo con la muratura del timpano)	X	
Soletta armata con perfori incrociati in acciaio		X
Piatti in acciaio di collegamento del tavolato ligneo alle murature d'ambito	X	
Inserimento di capichiave	X	
Sostituzione di solai di piano e di copertura con solaio in ferro e tavelloni o ligneo	X	
Sostituzione di solai di piano e di copertura con solaio in cemento armato		X
Irrigidimento di impalcati con: <i>Soletta collaborante</i>		X
Irrigidimento di impalcati con: <i>Caldane armate</i>		X
Irrigidimento di impalcati con: <i>Solettina armata</i>		X
Irrigidimento di impalcati con: <i>Bandelle metalliche</i>	X	
Irrigidimento della falda di copertura con tavolato ligneo	X	
Aggiunta di travi dello stesso tipo di quelle esistenti	X	
Rifacimento manto di copertura con tavolato e coppi in argilla	X	
MIGLIORAMENTO DELLA DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI VERTICALI RESISTENTI		
Cerchiature di aperture con profili in acciaio	X	
Cerchiature di aperture con elementi in cemento armato		X
Intervento di scusi e cuci con mattoni piani o pietra sbozzata o squadrata con caratteristiche meccaniche a quella esistente	X	
Interventi di presidio su archi e piattabande con profili in acciaio o legno	X	
Interventi di presidio su archi e piattabande con elementi in cemento armato		X
Inserimento di nuovi elementi e/o realizzazione di nuove aperture		X

Ispessimento delle pareti murarie da realizzare con mattoni pieni o pietra sbozzata o squadrata avente caratteristiche meccaniche a quella esistente	X	
Ricostruzione di muri con mattoni pieni o pietrame sbozzato o squadrato con caratteristiche meccaniche simili a quelle esistenti	X	
Iniezioni di malta con miscele a base di calci idrauliche di origine calcarea o marnosa e pozzolane con l'aggiunta di leganti idonei con l'assenza di quelli a base di cemento	X	
Iniezioni localizzate di malte o di resine	X	
Intonaco armato con rete elettrosaldata	X	
Cerchiature metalliche	X	
MIGLIORAMENTO DELLA RESISTENZA NEI MASCHI MURARI		
Intervento di scuci e cucì con mattoni pieni o pietra sbozzata o squadrata con caratteristiche meccaniche a quella esistente	X	
Tirantini antiespulsivi	X	
Ristilatura dei giunti con malta con miscele a base di calci idrauliche di origine calcarea o marnosa e pozzolane con l'aggiunta di leganti idonei con l'assenza di quelli a base di cemento	X	
Diatoni artificiali in calcestruzzo armato	X	
Diatoni artificiali in acciaio	X	
Perforazioni armate con barre in acciaio	X	
Perforazioni armate con barre in vetroresina o fibra di carbonio	X	
Ispessimento delle pareti murarie da realizzare con mattoni pieni o pietra sbozzata o squadrata con caratteristiche meccaniche a quella esistente	X	
Ricostruzione di muri con mattoni pieni o pietra sbozzata o squadrata con caratteristiche meccaniche a quella esistente	X	
Iniezioni di malta con miscele a base di calci idrauliche di origine calcarea o marnosa e pozzolane con l'aggiunta di leganti idonei con l'assenza di quelli a base di cemento	X	
Iniezioni localizzate di malte o di resine	X	
Intonaco armato con rete elettrosaldata	X	
Sistemi di tirantatura orizzontale e/o verticale con barre e/o cavi in acciaio	X	
Inserimento di catene e/o elementi in acciaio nel piano del maschio	X	
MIGLIORAMENTO DEI COLLEGAMENTI DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI		
Collegamento camini, insegne, romanella, parapetti, sporti di gronda....(da attuare possibilmente con elementi in acciaio)		
RINFORZO DELLE PARTI INTORNO ALLE APERTURE		
Cerchiature di aperture con profili in acciaio	X	
Cerchiature di aperture con elementi in cemento armato		X
Interventi di presidio su archi e piattabande con profili in acciaio o legno	X	
Interventi di presidio su archi e piattabande con elementi in cemento armato		X
Consolidamento degli architravi	X	
Sostituzione architravi/cornici	X	
INTERVENTI IN COPERTURA		
Catene tiranti	X	
Fasciature realizzate con materiali compositi (fibre rinforzate)	X	
Cordoli di sommità con profili in acciaio ancorati con perforazioni armate verticali alla muratura	X	
Cordoli di sommità in cemento armato		X
Cordoli di sommità in muratura armata con calcestruzzo e acciaio		X
Cordoli di sommità in mattoni e FRP	X	
Connessione dei solai di piano e delle coperture alle murature (Collegamento dei terzeri o delle travi di colmo con la muratura del timpano)	X	
Inserimento di capichave	X	
Sostituzione di solai di piano e di copertura	X	

Irrigidimento di impalcati con: <i>Soletta collaborante</i>	X	
Irrigidimento di impalcati con: <i>Caldane armate</i>		X
Irrigidimento di impalcati con: <i>Solettina armata</i>		X
Controventatura delle strutture di copertura con cavi barre in acciaio	X	
Consolidamento di nodi, capriate lignee e delle teste delle travi lignee	X	
Realizzazione di elementi reticolari in acciaio antiribaltamento dei timpani		
Ampliamento delle zone di appoggio delle teste delle travi con cuffie metalliche		
MIGLIORAMENTO DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE		
Esecuzione di nuove fondazioni	X	
Esecuzione di cordoli in c.a. per l'allargamento della fondazione esistente	X	
Esecuzione di sottofondazione muraria	X	
Esecuzione di piastra di collegamento delle murature alla base	X	
Esecuzione di fondazione tramite micropali	X	
REALIZZAZIONE DI GIUNTI SISMICI		
Realizzazione di giunti sismici tra corpi di fabbrica di origine diversa con collegamenti puntuali o in accostamento tra di loro	X	
TECNICHE ANTISISMICHE AVANZATE	X	
Fasciature realizzate con materiali compositi (fibre rinforzate)	X	
Tecniche antisismiche avanzate (isolamento alla base, dissipatori....)		
PILASTRI E COLONNE		
Fasciature realizzate con materiali compositi (fibre rinforzate)	X	
Iniezioni di malta con miscele a base di calci idrauliche di origine calcarea o marnosa e pozzolane con l'aggiunta di leganti idonei con l'assenza di quelli a base di cemento	X	
Iniezioni localizzate di malte o di resine	X	
Cerchiature metalliche	X	

ABACO TIPOLOGIE E INTERVENTI SINGOLI

INTERVENTI	1) Catene tiranti	2) Fasciature realizzate con materiali compositi	3) Cordoli di sommità	4) Cerchiature di aperture	5) Scuci-cuci	6) Tirantini antiespulsivi	7) Perforazioni armate	8) Connessioni dei solai di piano e delle coperture alle murature	9) Soletta armata con perfori incrociati	10) Piatti in acciaio di collegamento del tavolato ligneo alle murature d'ambito	11) Inserimento di capichieve	12) Sostituzione di solai di piano e di copertura	13) Interventi di presidio su archi e piattabande	14) Cappe in cls	15) Speroni e ringrossi murari	16) Irrigidimento di impalcati	17) Inserimento di nuovi elementi e/o realizzazione di nuove aperture	18) Ristituzione dei giunti	19) Diatoni artificiali in cls armato	20) Diatoni artificiali in acciaio	21) Iniezioni armate	22) Ispessimento delle pareti murarie	23) Ricostruzione dei muri	24) Iniezioni di malta	25) Iniezioni localizzate	26) Intonaco armato	27) Sistemi di tirantatura orizzontale e/o verticale	28) Collegamento degli elementi non strutturali	29) Consolidamento degli architravi	30) Sostituzione architravi cornici	31) Irrigidimento della falda di copertura con tavolato ligneo	32) Consolidamento di coperture	33) Consolidamento di nodi, capriate lignee e delle teste delle travi lignee	34) Esecuzione di nuove fondazioni	35) Esecuzione di cordoli in c.a. per l'allargamento della fondazione esistente	36) Esecuzione di sottofondazione muraria	37) Esecuzione di piastra di collegamento delle murature alla base	38) Esecuzione di fondazione tramite micropali	39) Realizzazione di giunti sismici	40) Tecniche antisismiche avanzate	41) Cerchiature metalliche	42) Interventi alle scale	
a) Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti	x	x	x				x	x	x	x	x	x		x		x											x																
b) Interventi volti a ridurre le spinte non contrastate di archi e volte	x	x	x				x			x	x																																
c) Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai	x	x						x	x	x	x	x				x															x												
d) Interventi volti a migliorare la distribuzione degli elementi verticali resistenti				x	x								x	x			x					x	x	x	x	x	x					x								x			
e) Interventi volti ad incrementare la resistenza nei maschi murari					x	x												x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																
f) Interventi volti ad assicurare i collegamenti degli elementi non strutturali																												x															
g) Interventi volti a rinforzare le parti intorno alle aperture				x									x																	x	x												
h) Interventi in copertura	x	x	x					x			x	x				x															x	x	x										
i) Miglioramento delle strutture di fondazione																																		x		x	x	x					
l) Realizzazione di giunti sismici																																							x				
m) Tecniche antisismiche avanzate		x																																							x		
n) Pilastri e colonne		x																							x																	x	
o) Interventi alle scale																																											

RACCOMANDAZIONI PER LA ESECUZIONE DEGLI INTERVENTI¹

L'insieme del patrimonio edilizio può ritenersi così suddiviso:

a) Edilizia monumentale

è quella definita dalla legge 1089/39 e comprende anche gli edifici individuati dagli strumenti urbanistici vigenti, esplicitamente assimilati all'edilizia monumentale.

E' da considerarsi tale anche quell'architettura che, ancorché non notificata ai sensi della Legge n. 1089/39 ne abbia i requisiti, purché assoggettata al procedimento di vincolo previsto dal Ministero per i BB.CC.AA. ai sensi di legge.

b) Edilizia di tipo tradizionale

è quella che, pur non avendo i requisiti di cui al punto a) ha comunque interesse sia in se stessa che per l'insieme unitario che concorre a definire (lungo una strada, in una piazza, in un nucleo definito). Ha interesse per la specificità e leggibilità della sua tipologia, della tradizione edilizia che rappresenta, dell'uso di materiali tradizionali o locali, della presenza di elementi decorativi. La sua realizzazione o i suoi interventi di modifica sostanziale sono precedenti al 1947 (cinquanta anni dall'evento sismico).

c) Edilizia di origine recente

comprende gli edifici costruiti, ristrutturati o modificati dopo il 1947 e comunque privi di caratteri originali, propri della cultura edilizia tradizionale regionale.

Tuttavia nell'edilizia di origine recente possono essere distinti e assimilati alla lettera b) quegli edifici moderni che per particolare singolarità architettonica siano ritenuti degni di attenzione e conservazione, previo riconoscimento della Commissione Edilizia Integrata o su motivata segnalazione della Soprintendenza ai Beni Ambientali e Architettonici.

L'indicazione di appartenenza alle classi a), b), c) ai fini della progettazione degli interventi di ricostruzione o di riparazione con miglioramento sismico degli edifici danneggiati dal sisma, è assunta dal progettista in base, oltre che agli atti amministrativi relativi ai vincoli di tutela, alle classificazioni, ove utilizzabili, del patrimonio edilizio esistente contenute nel P.R.G. o negli strumenti urbanistici esecutivi, ovvero sulla base di proprie specifiche e originali. In questo ultimo caso sarà opportuna l'acquisizione del parere favorevole della Commissione Edilizia Integrata.

INDIRIZZI DI INTERVENTO

Considerato che gran parte del patrimonio edilizio interessato dalle crisi sismiche del 1997 e 1998 è costituito da edifici in muratura di cui alla lett. b) del punto 3, in gran parte recuperabili, ne deriva che le linee tecniche di intervento dovranno perseguire il ripristino strutturale con maggior sicurezza sismica, nel rispetto delle valenze storico-architettoniche generalmente e diffusamente presenti e della normativa approvata ai sensi dell'art. 2 della L. 61/98.

Per quanto attiene agli interventi sull'edilizia di cui alla lett. a) del precedente punto 3 (ovunque collocata e comunque danneggiata) gli stessi si atterranno ai criteri e alla prassi del restauro architettonico ai sensi dell'art. 16 della L. 64/74, ed alle indicazioni contenute nelle "Norme tecniche" richiamate al punto 2, lett. c) delle presenti raccomandazioni, mentre dovranno attenersi, solo ove compatibili, alle indicazioni contenute nella normativa tecnica richiamata al precedente punto 2, lett. b).

Per quanto attiene agli interventi di cui alla lettera b) del precedente punto 3, compatibilmente con le esigenze di miglioramento antisismico, e colle verifiche previste dalle norme di cui al precedente punto 2.b), sarà opportuno che essi abbiano carattere preminentemente conservativo, privilegiando il reimpiego dei materiali e delle tecniche tradizionali e garantendo il necessario apporto di competenze specificamente qualificate, al fine di:

a) effettuare una ricognizione sistematica dell'edificio nel suo insieme, individuando le vicende costruttive pregresse;

b) assicurare la conoscenza delle regole dell'arte edificatoria, in modo da localizzare i casi di danneggiamento riconducibili al mancato rispetto dei dettami delle medesime regole;

c) valutare le condizioni di efficienza dei singoli elementi costruttivi (solai, scale, coperture, ecc.) individuando i conseguenti interventi localizzati sia ai fini antisismici che, più generalmente, ai fini conservativi;

d) realizzare con tecniche e modalità atte a salvaguardare gli interventi localizzati di riparazione o miglioramento antisismico, le strutture edilizie originali e dei caratteri tradizionali;

e) scegliere, nelle situazioni ibride, le linee di intervento in relazione all'assetto strutturale attuale ed agli eventuali valori architettonico-artistici, tenuti presenti i valori storici della stessa struttura. E' noto infatti che numerosi danni si riscontrano nelle situazioni ibride e in particolare nell'edilizia storica dove si è intervenuti in maniera spesso acritica con pedissequa e parziale applicazione delle norme tecniche. A tal fine nuovi ibridi strutturali sono da evitarsi.

f) provvedere anche al restauro degli elementi decorativi e comunque di finitura; g) privilegiare soluzioni che collochino elementi di distribuzione degli impianti tecnologici in modo da non interferire con le strutture principali;

Per quanto attiene agli edifici di cui alla lettera c), punto 3, si rinvia alla normativa vigente in materia, raccomandando, in caso di demolizione e ricostruzione in un altro sito, il rispetto dei principi insediativi del luogo, evitando d'introdurre segni detrattivi del paesaggio.

Non sono poste pregiudiziali alla natura degli interventi di miglioramento sismico. Potranno essere assunte sia soluzioni tecnico-strutturali tradizionali che di tecnologia avanzata, purché di comprovata efficacia tenendo conto anche degli aspetti operativi ed economici della manutenzione; importanti saranno la specificazione degli elementi costitutivi degli edifici e la compatibilità delle soluzioni proposte. In questo quadro la "relazione" di progetto" sarà elemento rilevante e responsabilizzante per l'intervento.

IMPIEGO DI TECNICHE E MATERIALI TRADIZIONALI

Negli interventi di cui al punto 4 sarà privilegiata la riattivazione dei processi e delle tecniche esecutive tradizionali, storicamente sedimentatesi e caratterizzanti la regione umbra.

Particolare attenzione dovrà essere rivolta agli interventi all'interno dei centri antichi tesa ad assicurare una continuità degli edifici da ricostruire sia con il contesto circostante che con la tipologia degli stessi.

¹ Normativa per la ricostruzione della Regione Umbria

E' importante tornare ad assecondare quel processo che è stato alla base della costituzione del patrimonio storico umbro ove il "nuovo" si è accostato al preesistente, con rispetto e armonia.

L'attivazione della sapienza costruttiva rappresenta una condizione necessaria anche se non sufficiente per il rispetto di quanto previsto all'art. 2, comma 3 a) della Legge n. 61 del 31.03.1998 per la "tutela" del patrimonio storico, il "risparmio energetico" e "l'architettura ecologica".

La sapienza costruttiva ed il reimpiego di materiali comportano inoltre limitazioni al movimento di materiali, all'apertura di nuove cave, all'accumulo in discariche di materiali non selezionati, alla disseminazione nel territorio di costruzioni estranee al contesto.

L'analisi del danno indotto dal terremoto ha dimostrato in maniera chiara che l'utilizzo di materiali e soluzioni tecniche-storiche di presidio antisismico per lo più efficaci, sono senz'altro compatibili con la struttura originaria mentre soluzioni più invasive possono introdurre elementi pericolosi poiché incompatibili con i materiali e i meccanismi resistenti originari.

Gli interventi e le raccomandazioni proposte negli allegati A e B suggeriscono possibili soluzioni sia per la classe a) che per la classe b) di cui al punto 4, tese a combinare la necessità di un miglioramento strutturale nel rispetto dei caratteri storico-architettonici dell'edilizia tradizionale umbra.

INTERVENTI SUGGERITI PER IL MIGLIORAMENTO ANTISISMICO NELL'EDILIZIA STORICA

Gli interventi riportati di seguito vanno considerati come indicazioni di riferimento, da valutare, adottare e controllare in sede di progettazione.

1. Consolidamento dei paramenti murari:

1.1 Consolidamento di murature in pietrame ben organizzate ma con malta decoesa.

Qualora la malta si presenti polverulenta o addirittura assente ma il muro sia costituito da pietre ben ammorsate, si rimuovono le parti decoese, si sigillano le connessure esterne con malta di calce e pozzolana e si lavano le cavità con acqua evitando l'imbibizione della muratura. Si riempiono quindi le cavità con iniezioni di malta di calce e pozzolana ventilata o malta di calce e silici micronizzate, o altre malte con calore di idratazione nullo e caratteristiche meccaniche comparabili a quelle della muratura.

La malta è iniettata a bassa pressione. Si consideri che nella maggior parte dei casi il problema principale della muratura non è la resistenza ma la mancanza di comportamento omogeneo.

1.2 Consolidamento dei muri in prossimità dei capichiave.

Le zone della muratura dove si ancorano le tirantature sono soggette ad azioni concentrate ortogonali al piano della parete in corrispondenza del capochiave. Se la muratura non è di buona qualità è necessario procedere ad un consolidamento così come specificato al punto 1.1.

1.3 Consolidamento superficiale di muri ben connessi.

Muri ben organizzati ma poveri di malta sulle facce esterne possono essere risanati scarnendo con getto d'acqua in pressione gli interstizi tra le pietre e quindi sigillando accuratamente le sconnessure con malta di calce idraulica e sabbia (o con coccio pesto), ricoprendo il tutto con intonaco.

1.4 Consolidamento di muratura in pietrame del tipo a "sacco".

Inserimento di pietre passanti allo scopo di collegare i paramenti stessi. tale intervento può essere sostituito, qualora sia previsto l'intonaco esterno, da collegamenti armati con leganti a base di calce idraulica e/o miscela di cui andrà garantita l'efficacia. Iniezioni di malta di calce e pozzolana ventilata, o malta di calce e silici micronizzate, o altre malte con calore di idratazione nullo e caratteristiche meccaniche comparabili a quelle della muratura oggetto dell'intervento. L'interasse dei fori di iniezione deve essere commisurato alla capacità di assorbimento della muratura e la lunghezza del foro deve interessare almeno 3/4 dello spessore.

2. Cerchiatura e cordolatura in copertura

1.1 Cerchiatura.

Cerchiatura su tutto il perimetro dell'edificio con profilato di opportuna rigidità ortogonalmente al piano della muratura. tale situazione è adottabile qualora si riesca a rendere compatibile la soluzione progettuale con la tipologia originaria dello sporto di gronda.

2.2 Cordolo in muratura armata.

Cordolo in muratura armata a due o tre teste di mattoni su paramenti in laterizio o in pietrame. La cordolatura può essere convenientemente collegata al tetto mediante staffe di lunghezza opportuna.

3. Incatenamenti

3.1 Tirantature.

Catene semplici in barre d'acciaio normale, zincato o inossidabile, catene in piattina d'acciaio. Le catene saranno appoggiate ai muri di spina e poste in leggera tensione. Deve essere comunque garantita la possibilità di riportare in trazione la catena. Qualora l'interasse delle murature di spina sia troppo elevato in relazione alla qualità del muro, è opportuno inserire una catena rompitratta comunque in corrispondenza di strozzamenti, provvedendo a trasferire le sollecitazioni assorbite da tale catena sulle murature d'ambito. Si possono usare i capochiavi tradizionali a vista, costituiti da un bolzone rettilineo a cui la catena è ancorata tramite un occhiello e stabilizzata tramite uno spessore a cuneo o capochiavi con bolzone a Y o ad X o con altra forma opportunamente disegnata in modo da realizzare un motivo architettonico. Sono da evitare forme tali che perdono efficacia a causa di eccessiva deformabilità.

3.2 Catene binate.

Catene binate in barre d'acciaio normale, zincato o inossidabile, catene in piattina d'acciaio. Le catene si pongono in opera in coppia sui due lati della stessa parte, vincolandole alla testa del muro con un apposito capochiave. In questo caso le catene devono essere poste in trazione avendo cura di evitare l'insorgenza di sollecitazioni flessionali.

3.3 Tiranti nello spessore del muro.

Sono realizzati mediante perforazioni armate nello spessore della muratura. La lunghezza della perforazione, da eseguirsi con perforatrici rotative, deve essere tale da consentire il trasferimento della sollecitazione dalla barra metallica al muro. E' opportuno iniettare malte antiritiro ed utilizzare barre resistenti alla corrosione.

3.4 Crociere in acciaio.

Crociera in acciaio nello spessore del massetto del solaio per collegare le murature perimetrali e irrigidire il solaio nel piano. Le catene possono essere vincolate su capochiavi ad angolo.

3.5 Incatenamenti di archi e volte.

Le catene sono di norma poste alle reni, è comunque efficace, anche se in misura inferiore, il posizionamento più in alto.

3.2 Trasformazione delle travi in legno e tiranti.

Le stesse travi dei solai o dei tetti possono fungere da catena tramite una staffa metallica posta sulla testa della trave ed ancorata ad un capochiave.

4. Interventi sul tetto e solai

4.1 Miglioramento dell'orditura principale degli orizzontamenti.

Se il tetto ha orditura principale e secondaria in legno è opportuno mantenere la struttura originaria. Le travi e i travetti ammalorati o danneggiati devono essere sostituiti con elementi analoghi. Si deve curare il collegamento delle teste delle travi con la struttura di contenimento delle spinte (se presente), e comunque cautelarsi nei confronti dello sfilamento ancorando con opportuni capichiave la testa della trave al muro. L'appoggio della trave sul muro può essere migliorato con l'interposizione di un dormiente in legno. Si eviti di sigillare internamente la testa delle travi al fine di consentire il mantenimento dell'orditura.

4.2 Aggiunta di travi.

Qualora l'orditura originaria sia insufficiente è opportuno collocare nuove travi, analoghe alle preesistenti, posizionate in modo da ripartire il carico trasmesso dai travetti.

4.3 Rifacimento del manto di copertura.

Il manto di copertura sarà ricostituito, ove possibile, con i materiali di recupero. I nuovi coppi necessari per integrare quelli danneggiati saranno posizionati sottocoppo.

4.4 Consolidamento volte.

Qualora si intervenga sulle volte portanti, è sconsigliabile generalizzare l'applicazione della solettina curva di estradosso perché è di dubbia efficacia e perché costringe allo svuotamento del materiale di riempimento che, se dotato di una certa coesione, può essere di buon contributo al sostegno strutturale ed alla stabilità della volta stessa.

5. Inserimento di nuovi setti murari

La fattura di nuovi setti murari in Pietra deve soddisfare i criteri di ingranamento previsti dalla "regola dell'arte". Si dovrà usare una muratura di pietra squadrata, legata con malta di calce: è tuttavia preferibile la muratura di pietra grezza accuratamente scelta e disposta con efficaci ripianamenti e frequenti cuciture trasversali. Sia per le nuove murature in pietra che per i più comuni setti in laterizio occorre predisporre elementi di collegamento con le murature esistenti, realizzabili anche attraverso tiranti posti parallelamente al nuovo setto.

RACCOMANDAZIONI PER IL MANTENIMENTO DEI CARATTERI ARCHITETTONICI LOCALI

1. Raccomandazioni specifiche per paramenti murari.

1.1 Sarà opportuno che gli antichi paramenti murari rimangano inalterati nella loro configurazione estetico formale originaria (a vista se è tale), limitando, ad esempio, la demolizione e sostituzione di murature fuori piombo come anche al sostituzione di pietre corrose, che potrà avvenire soltanto per comprovate gravissime esigenze. In caso di sostituzioni o di eventuali integrazioni, ove necessario e sempre per porzioni limitate, sarà bene che esse siano dello stesso tipo di quelli originarie ma distinguibili. Nel caso di interventi di consolidamento dei paramenti murari, sarà utile la loro totale "messa a vista", al fine di determinare l'effettiva consistenza e tessitura degli elementi costitutivi.

1.2 La ricostruzione di parti crollate o non più recuperabili sarà realizzata ripristinando l'originaria configurazione possibilmente con materiali di recupero, nonché strutturalmente efficaci, dovrà inoltre essere realizzata con tecniche e modalità idonee a garantire la salvaguardia dei caratteri tradizionali propri.

1.3 Il rifacimento a "cuci e scuci" dei muri in pietra o laterizio a vista sarà eseguito con mattoni o pietra e malta di buona qualità, con utilizzo di materiali simili agli esistenti per forma, dimensioni, fattura e caratteristiche cromatiche ed evitando ogni apprezzabile alterazione del complessivo aspetto esteriore.

1.4 Nelle murature a faccia a vista le stuccature e le riprese di stuccatura saranno effettuate con malta a base di calce e inerti di granulometria variabile, nel rispetto dei cromatismi esistenti.

1.5 Per gli intonaci la raccomandazione fondamentale è di non utilizzare mai come legante delle malte il cemento, ma essere realizzati con malta a base di calce idraulica. Gli inerti delle malte (sabbia) saranno scelti con lo stesso colore e composizione granulometrica di quelli esistenti in modo da mantenerne il colore e la consistenza. Uguale cura sarà osservata nella posa in opera. Gli intonaci non saranno messi in opera "a piombo" con le "rigature", ma devono essere posati a mano "senza riga" seguendo l'andamento superficiale delle murature stesse.

1.6 La tinteggiatura esterna sarà eseguita con tinte a tempera e a calce, ovvero a silicati (a base di terre), che presentino elevate caratteristiche di resistenza ai raggi UV e di permeabilità al vapor acqueo.

1.7 Le tonalità dei colori da utilizzare per tinteggiature esterne saranno quelle delle pitture a base di terre (silicati) tipiche della tradizione costruttiva.

2. Raccomandazioni specifiche per elementi architettonici.

2.1 E' preferibile che le coperture restino invariate nelle quote di imposta e di colmo originali, nonché nei profili di gronda.

2.1.1 I manti di copertura saranno possibilmente recuperati o ripristinati con elementi di tipo tradizionale (coppo e contro Coppo; Coppo ed embrice).

2.1.2 Gli eventuali lucernai sulle coperture fatte salve eventuali diverse disposizioni degli strumenti comunali vigenti dovrebbero essere limitati nel numero e nelle dimensioni e tali da assicurare il passaggio per l'ispezione della copertura stessa.

2.1 3 E' consigliata la ricostruzione delle torrette da camino e gli abbaini esistenti, possibilmente con materiali di recupero simili a quelli precedenti, per far fronte a problemi di instabilità rifacendosi comunque, sempre ai modelli originali i cui disegni e materiali saranno rispettati.

2.2 Gli elementi caratteristici dei prospetti esterni saranno valorizzati conservando sia i materiali che le forme e dimensioni originali, ovvero ripristinandoli dove è possibile. In particolare:

2.2. 1 Le aperture originarie praticate nei muri per ospitare passaggi pedonali, portoni, porte e finestre andranno conservate e occorrerà prevedere nell'intervento di miglioramento antisismico anche il consolidamento di questi particolari.

2.2. 2 Gli elementi architettonici delle aperture (incorniciature, architravi, piedritti, cornicioni, portali, ...) andranno mantenute ripristinando le parti mancanti, ovvero sostituiti con elementi dello stesso materiale quando sia irrecuperabile quello originale.

2.2. 3 Gli infissi saranno riproposti possibilmente in legno.

2.2. 4 Le soglie ed i davanzali saranno riproposti con materiali di tipo tradizionale effettuando gli interventi con gli accorgimenti necessari per garantire la sicurezza antisismica.

2.2. 5 Le inferriate di tipo antico saranno restaurate; mentre quelle nuove dovranno essere riproposte con materiali tradizionali e disegno che si ispiri allo stile locale.

2.2. 6 I canali di gronda ed i pluviali da sostituire saranno riproposti con materiali e forme che rispettino il decoro dell'ambiente urbano: si consiglia di utilizzare elementi di rame con terminali in ghisa.

2.2. 7 Gli sporti di gronda manterranno la conformazione originaria e saranno eventualmente riproposti con materiali tradizionali e disegno che si ispiri allo stile locale, adottando gli accorgimenti necessari per garantire la sicurezza antisismica.

2.3. Gli elementi caratteristici degli interni saranno salvaguardati o restaurati, sia che si tratti di controsoffittature decorate o di pregio, sia di strutture orizzontali dove il miglioramento sismico dovrà privilegiare soluzioni che adottino materiali e idonee tecniche costruttive tradizionali, nonché il mantenimento degli elementi stessi. Nello specifico si raccomanda di mantenere i solai in legno, per i quali è consentito il ricorso a tecniche di consolidamento con materiali collaboranti; fermo restando che, insieme all'irrigidimento, deve essere garantita l'idonea ammortatura con le strutture verticali.

ABACO INTERVENTI
CATENE – TIRANTI
FASCIATURE CON MATERIALI COMPOSITI
CORDOLI DI SOMMITA'
CERCHIATURE DI APERTURE
SCUCI E CUCI
TIRANTINI ANTIESPULSIVI
PERFORAZIONI ARMATE
CONNESSIONE DEI SOLAI DI PIANO E DELLE COPERTURE ALLE MURATURE
SOLETTA ARMATA CON PERFORI INCROCIATI
PIATTI IN ACCIAIO DI COLLEGAMENTO DEL TAVOLATO LIGNEO ALLE MURATURE D'AMBITO
INSERIMENTO DI CAPICHIAVE
SOSTITUZIONE DI SOLAI DI PIANO E DI COPERTURA
INTERVENTI DI PRESIDIO SU ARCHI E PIATTABANDE
SOSTITUZIONE DI SOLAI DI PIANO E DI COPERTURA
INTERVENTI DI PRESIDIO SU ARCHI E PIATTABANDE
CAPPA IN CLS
SPERONI E RINGROSSI MURARI
IRRIGIDIMENTO DI IMPALCATI
INSERIMENTO DI NUOVI ELEMENTI E/O REALIZZAZIONE DI NUOVE APERTURE
RISTILATURA DEI GIUNTI
DIATONI ARTIFICIALI IN CALCESTRUZZO ARMATO E DIATONI NATURALI
DIATONI ARTIFICIALI IN ACCIAIO
INIEZIONI ARMATE
ISPESSIMENTO DELLE PARETI MURARIE
RICOSTRUZIONE DI MURI
INIEZIONI DI MALTA
INIEZIONI LOCALIZZATE
INTONACO ARMATO
SISTEMI DI TIRANTATURA ORIZZONTALE E VERTICALE
INTERVENTI VOLTI AD ASSICURARE I COLLEGAMENTI DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI
CONSOLIDAMENTO DEGLI ARCHITRAVI
SOSTITUZIONE DI ARCHITRAVI
IRRIGIDIMENTO DELLA FALDA DI COPERTURA
CONSOLIDAMENTO DI COPERTURE
CONSOLIDAMENTO DI NODI, CAPRIATE LIGNEE E DELLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE
ESECUZIONE DI NUOVE FONDAZIONI
ESECUZIONE DI CORDOLI IN C.A. PER L'ALLARGAMENTO DELLA FONDAZIONE ESISTENTE
ESECUZIONE DI SOTTOFONDAZIONE MURARIA
ESECUZIONE DI PIASTRA DI COLLEGAMENTO DELLE MURATURE ALLA BASE
ESECUZIONE DI FONDAZIONE TRAMITE MICROPALI
REALIZZAZIONE DI GIUNTI SISMICI
TECNICHE ANTISISMICHE AVANZATE
CERCHIATURE METALLICHE
INTERVENTI ALLE SCALE

1. CATENE – TIRANTI

SCHEDA B.12

(Linee guida per gli interventi di riparazione del danno e miglioramento sismico per gli edifici di culto e monumentali - parte seconda - Regione Molise CNR-DAST-UOIG - approvate con Decreto del Commissario Delegato n.70/2004)

1.1 Principi funzionali di base

Le catene, realizzate con elementi metallici (barre, piatti, tondi, profili.....), ancorate alle murature mediante capichiave a piastra o a paletto, disposte nelle due direzioni principali del fabbricato, sono elementi costitutivi tradizionalmente impiegati con funzioni strutturali di collegamento, contenimento e ritegno e sono quindi sottoposte a sforzo di trazione. Una peculiarità dell'intervento è la possibilità di intervenire nel corso della vita della struttura alla ritesatura delle catene. Nel campo del restauro esse sono utilizzate principalmente per:

- contrastare l'azione di ribaltamento di pareti fuori dal loro piano (azione di ritegno);
- contrastare la pressoflessione dei pannelli murari indotte da azioni ortogonali al piano;
- per assorbire spinte anomale (azione di contenimento)
- per conferire all'edificio un comportamento scatolare funzionando da collegamento tra le varie parti (azione di collegamento).

1.2 Campi di applicazione

L'inserimento delle catene in acciaio è consigliato prevalentemente per i solai di piano ma può essere esteso anche alle coperture.

Le strutture in muratura, e specialmente gli edifici monumentali, risultano altamente vulnerabili nei confronti di un'azione sismica in quanto presentano spesso un comportamento non scatolare. Per limitare questa fonte di vulnerabilità e conferire alla struttura un adeguato stato di collegamento tra le pareti ortogonali, si può ricorrere all'antica tradizione costruttiva dell'inserimento di catene orizzontali, le quali sono chiamate a svolgere contemporaneamente un'azione di collegamento e di ritegno. La posizione delle catene è pressoché obbligata; esse potranno essere inserite all'altezza della quota dei solai intermedi o entro le strutture lignee dei tetti. Nel caso si operi su una chiesa le catene possono essere inserite in controfacciata, posizionate in adiacenza alla muratura all'altezza del fregio, per limitare i meccanismi di taglio nel piano, o in senso longitudinale aventi lo scopo di evitare il ribaltamento della stessa fuori dal proprio piano. Le catene hanno comune e diffuso impiego soprattutto nelle strutture arcuate e voltate spingenti, ove generalmente sono poste in opera alle reni degli elementi, ossia nella posizione staticamente più corretta ed efficace. Le catene per il basso costo, la facilità d'impiego e la elevata efficacia vengono utilizzati usualmente anche per la messa in sicurezza dei monumenti nei casi di danno modesto.

1.3 Applicazione della tecnica e fasi operative

- esecuzione dei fori passanti di diametro 25 – 30 mm. mediante carotiere a rotazione;
- scasso nella muratura per inserimento delle piastre d'ancoraggio. Il piano di posa di queste andrà preparato con malta a ritiro compensato;
- rinforzo della muratura retrostante la piastra di ancoraggio dei tiranti;
- taglio a preparazione dei tiranti filettati agli estremi;
- inserimento delle barre (o dei trefoli) in apposite scanalature effettuate lungo la muratura;
- messa in opera delle piastre dello spessore di circa 15 mm. con opportune nervature o adeguato rapporto tra larghezza e lunghezza del paletto;
- messa in tensione dei tiranti con chiavi dinamometriche;
- sigillatura delle scanalature con malta a ritiro compensato.

Le catene annegate o affiancate alle murature o poste a contrasto delle spinte laterali di archi e volte erano tradizionalmente realizzate in ferro forgiato e sono attualmente prodotte in acciaio, o in altre leghe inossidabili. Le catene sono bloccate, nella posizione prevista, con elementi detti bolzoni o paletti capochiave che, ancora non l'estremità dell'elemento alle murature, impedendone lo sfilamento per contrasto. I capochiavi utilizzabili possono essere di diverso tipo. Nel caso in cui siano metallici possono essere a paletto o a piastra. La soluzione di bolzoni metallici, si integra perfettamente con gli interventi storici presenti nella maggior parte dell'edilizia tradizionale in pietra o in laterizio. La scelta tra le due tipologie (a paletto o a piastra) dipende essenzialmente dalla qualità della muratura: nel caso in cui questa sia composta da elementi di piccole dimensioni la diffusione dello sforzo di contrasto esercitato sulla muratura non può essere affidato alla sola dimensione del bolzone. In tal caso risulta quindi maggiormente conveniente utilizzare la tipologia a piastra. Se invece, la muratura è costituita da elementi di dimensioni maggiori il solo bolzone a paletto, posizionato inclinato rispetto alla verticale, in modo da interessare il maggior numero di elementi, riesce a diffondere lo stato tensionale su un'area sufficientemente vasta grazie alla dimensione stessa degli elementi. L'estremità delle catene è appositamente preparata per realizzare la loro connessione con gli elementi di ancoraggio. Tradizionalmente tale collegamento era garantito da bolzoni a paletto inseriti nelle asole terminali degli elementi. Attualmente la stessa funzione viene assolta da porzioni di profilati metallici generalmente a C o da piastre, eventualmente nervati per aumentare resistenza e rigidità, dotate di fori filettati, entro i quali s'inserisce la testa

del tirante successivamente bloccata, ad esempio, da un dado. I capochiavi metallici potranno restare a vista o venire ricoperti con intonaco, evitando tuttavia di incassarli all'interno del paramento per non indebolire il muro in corrispondenza dell'ancoraggio della catena.

Nel caso in cui la catena supera la lunghezza dei 10 metri, (sia per motivazioni strutturali che di facilità di messa in opera), la catena dovrà essere costituita da più pezzi, opportunamente collegati tra loro. Le unioni possono essere realizzate tramite elementi tenditori in grado di "mettere in tiro la catena".

Particolare attenzione dovrà essere posta nell'individuazione dei punti in cui inserire gli organi di bloccaggio, in modo da garantire la corretta e stabile posizione e l'effettivo funzionamento della catena. Il dispositivo può, infatti, esercitare la sua azione solo se la sua estremità opposta a quella connessa alla struttura instabile è ancorata ad elementi, strutture o organi di bloccaggio stabili e fermi. Al fine di progettare in modo corretto gli organi di ancoraggio sarà inoltre necessario eseguire un'analisi dei materiali che costituiscono l'edificio; nel caso in cui si operi su pareti in muratura di qualità scadente può risultare necessario consolidare con iniezioni di malta una porzione di muro intorno al capochiave per un diametro non inferiore a una volta e mezzo lo spessore, in modo da limitare gli effetti di punzonamento. Per la realizzazione delle perforazioni in cui andranno inseriti gli elementi di rinforzo è consigliabile utilizzare procedure e strumenti che evitino di sollecitare le strutture e di indurre nuovi danni come avverrebbe con strumenti a percussione. In questa fase occorre realizzare, anche eventuali dispositivi di protezione degli elementi di rinforzo inserendo, ad esempio, nei fori di passaggio delle catene, guaine o rivestimenti che li isolano dai materiali attraversati, prevenendo eventuali danni futuri.

Può essere previsto un eventuale pre-tensionamento della catena che può essere realizzato mediante tenditori intermedi, o esercitando un opportuno serraggio con eventuali dispositivi filettati o, ancora, agendo su cunei, zeppe, biette o altri organi in grado di indurre nell'elemento la presollecitazione richiesta.

Una volta posto in opera la catena e l'elemento di bloccaggio è necessario procedere alla sigillatura di essi con le parti del manufatto in cui sono inseriti. La sigillatura dovrebbe in ogni caso garantire la successiva ispezionabilità e ritesaggio dell'elemento.

Parti componenti:

a) organi di ritegno o capochiave del tipo:

- piastre circolari, ellittiche o quadrate solitamente nervate radialmente in modo da aumentare la rigidità flessionale. Il diametro od il lato è solitamente variabile tra 30 e 50 cm;
- paletti, che dovrebbero essere posizionati inclinati a 45° rispetto all'orizzontale in modo che il semipaletto inferiore agisca sul muro ortogonale. La lunghezza del paletto varia da 80 a 120 cm, misure inferiori possono comportare tensioni unitarie di contatto paletto-muro molto elevate. Eccessive lunghezze possono favorire gli effetti flessionali e, pertanto, lo spessore del paletto deve essere proporzionato alla lunghezza.

b) giunti di connessione: vengono adottati quando non sono disponibili barre di lunghezza particolare e possono essere del tipo a forchetta con spinotto, a manicotto a vite, a gabbia;

c) giunti di tensione del tipo a gabbia e a manicotto, a dado e vite impiegato per tiranti con organi di ritegno a piastra.

d) tiranti: possono essere realizzati da normali barre in acciaio per armatura, con profilati piatti o quadri, con trefoli in acciaio armonico.

Posa in opera:

Le catene più efficaci sono quelle poste non in asse con la muratura, libere di scorrere, disposte su una o due facce della muratura. Le catene con estremità filettate sono fissate alla piastra o bolzoni tramite dadi, in modo che il controllo dello stato di tensione della barra, eseguito con chiavi dinamometriche, consenta la stessa messa in tensione nel tirante; dopo tale operazione è necessario porre un controdado in modo da evitare possibili allentamenti della bullonatura; la saldatura del dado alla piastra o al bolzone è sconsigliabile in quanto impedisce possibili ritesature della catena (nel caso non siano presenti tenditori intermedi). In passato il tirante veniva riscaldato e bloccato alle estremità dal capochiave; la contrazione del medesimo per effetto del raffreddamento veniva impedita dalla presenza di strutture murarie e ciò lo poneva in trazione, esercitando sulla muratura azioni orizzontali di contrasto a quelle deformanti.

Posizionamento:

Catena in controfacciata libera di scorrere: posizionata in aderenza alla muratura, all'interno della parete e lasciata libera di scorrere per eventuali successivi ritensionamenti. Generalmente è posizionata sopra al portale e all'eventuale rosone. Ai lati viene bloccata tramite piastre o paletti inclinati.

Catena longitudinale: vengono posizionate una o più catene per lato della facciata ad una quota compresa tra 1/2 dell'altezza e la quota di sommità della parete laterale; le catene sono disposte all'interno della chiesa in aderenza alle pareti laterali ancorate in facciata e sul lato opposto della chiesa o in una colonna o parasta con un organo di ritegno. Le catene longitudinali di solito possono essere nascoste dalle cornici longitudinali, al di sotto delle imposte delle volte.

Catene negli arconi e nelle volte: per contrastare le spinte degli arconi e delle volte vengono posizionate catene in prossimità delle reni. Nel caso delle volte a botte si metteranno in opera più catene trasversali, distanzia-

te in proporzione allo spessore dei muri che sostengono la volta. Le catene possono essere disposte anche in posizione estradossale al disopra della chiave dell'arco, in modo da non essere visibili dall'interno della chiesa. In questo caso la catena viene sistemata alla quota dell'estradosso e risulta molto meno efficace del caso precedente.

Catene in copertura: in copertura le catene integrano le strutture con funzione di controventatura.

1.4 Accorgimenti, varianti, limiti

Le raccomandazioni principali riguardano la bonifica della zona della muratura di contrasto e la "messa in forza" del tirante, legando questo secondo aspetto ad un dimensionamento curato degli elementi di contrasto (dimensioni e spessori sia delle piastre che dei paletti e realizzazione di eventuali nervature di irrigidimento).

Le catene e gli organi di bloccaggio metallici inclusi nella muratura sono soggetti alla corrosione per effetto dell'umidità in essa contenuta e possono quindi andare incontro a diminuzione della sezione resistente e, nei casi limite, alla totale scomparsa. La riduzione della sezione causa l'indebolimento dei tiranti e conseguentemente, la perdita delle loro funzioni statiche. In tali casi, l'intervento di consolidamento può prevedere la sostituzione delle catene degradate, oppure l'inserimento, a fianco di esse, di nuovi elementi. La corrosione delle catene può inoltre provocare ingenti danni nelle murature, poiché il conseguente aumento del loro volume può determinare tensioni che superano la resistenza dei manufatti in cui sono inseriti e determinare lesioni, rotture e spaccature.

I tiranti liberi, come quelli inseriti all'intradosso delle volte, sono invece soggetti a corrosione soprattutto per l'azione dell'umidità ambientale e risultano inoltre esposti a rischi d'incendio o ad altri urti e indebite sollecitazioni indotte da carichi aggiuntivi non previsti all'atto della progettazione e del dimensionamento.

Particolare attenzione va posta nel dimensionamento dell'elemento di ancoraggio in quanto, ad esempio, un paletto capochiave di tipo tradizionale, troppo esile oppure di lunghezza troppo esigua, può cedere e deformarsi o spezzarsi, sotto l'azione del carico concentrato che gli trasmette la catena. E' necessario però anche verificare che l'elemento di contrasto trasmetta alla parete un carico di compressione che non determini il punzonamento della muratura.

Gli elementi di contrasto devono essere posizionati non eccessivamente vicini agli spigoli della costruzione, alle sue aperture o a discontinuità e punti deboli di varia natura.

In alcuni casi, i problemi possono derivare dall'eventuale eccesso di presollecitazione indotta nei tiranti, all'atto della posa in opera, o dall'aumento delle sollecitazioni di esercizio provocate da variazioni delle condizioni di carico gravanti sulle parti connesse o da mutamenti dei loro assetti geometrici. Ciò può provocare il punzonamento della muratura in corrispondenza dei punti di ancoraggio e di bloccaggio della catena, il ribaltamento di alcune porzioni dei manufatti connessi al tirante o lo snervamento di quest'ultimo per superamento delle capacità di resistenza. Ultimo delicato aspetto riguarda il rischio di allentamento o di apertura degli organi o dei dispositivi di bloccaggio e di ancoraggio, poiché ciò provocherebbe, indipendentemente da ogni altro fenomeno, la perdita di efficacia del tirante. Occorre infine che tali dispositivi siano progettati e posti in opera in modo da consentire una periodica ispezione e manutenzione.

1.5 Riferimenti normativi

catene decreto n.35/2005 approvazione direttive tecniche per gli interventi su immobili privati e sugli edifici pubblici - o.c. n.13/2003 art.2

Assicurarne l'efficacia fin dai livelli di deformazione iniziali prevedendo opportune coazioni, controllare le azioni localizzate indotte dai capichiave sulla muratura, dimensionare le sezioni in proporzione alle azioni attese, tenendo presente l'azione di vincolo e di cucitura delle pareti, usare materiali dotati di sufficiente duttilità e rigidità.

tiranti ordinanza pcm 3274 s.m.i. - allegato 2

L'inserimento di tiranti, metallici o di altri materiali, disposti nelle due direzioni principali del fabbricato, a livello dei solai ed in corrispondenza delle pareti portanti, ancorati alle murature mediante capochiave (a paletto o a piastra), può favorire il comportamento d'assieme del fabbricato, in quanto conferisce un elevato grado di connessione tra le murature ortogonali e fornisce un efficace vincolo contro il ribaltamento fuori piano dei pannelli murari. Inoltre, l'inserimento di tiranti migliora il comportamento nel piano di pareti forate, in quanto consente la formazione del meccanismo tirante-puntone nelle fasce murarie sopra porta e sotto finestra. Per i capochiave sono consigliati paletti semplici, in quanto vanno ad interessare una porzione di muratura maggiore rispetto alle piastre; queste sono preferibili nel caso di murature particolarmente scadenti, realizzate con elementi di piccole dimensioni (è in genere necessario un consolidamento locale della muratura, nella zona di ancoraggio). E' sconsigliabile incassare il capochiave nello spessore della parete, specie nel caso di muratura a più paramenti scollegati.

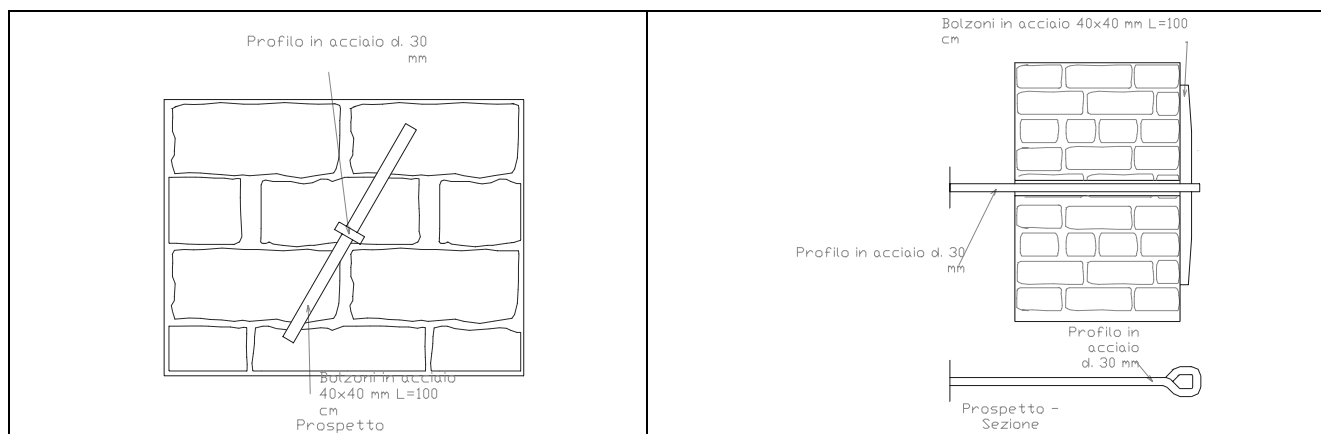


Figura B.12.1 – Schematizzazione dell'ancoraggio con paletto o bolzone

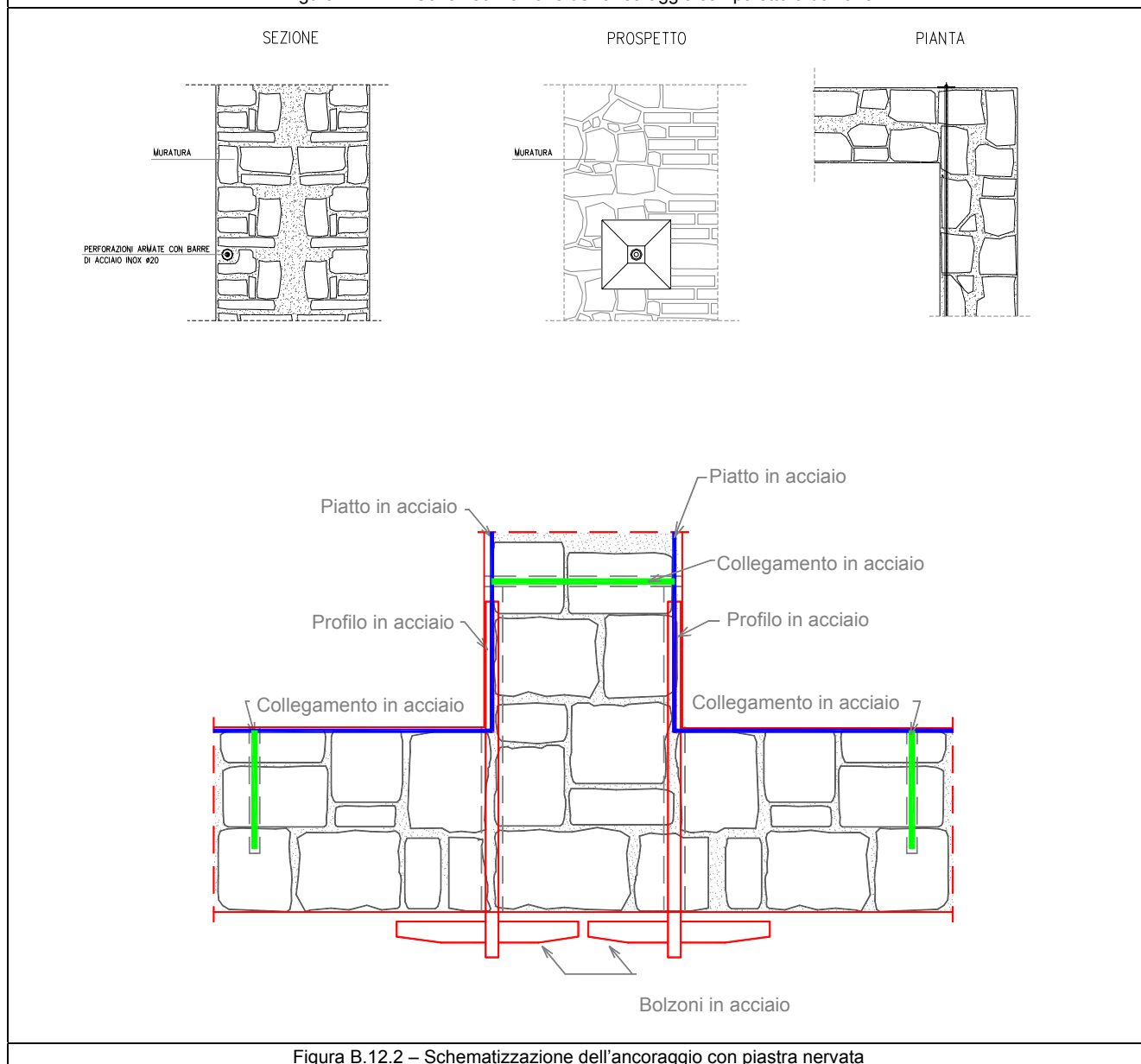
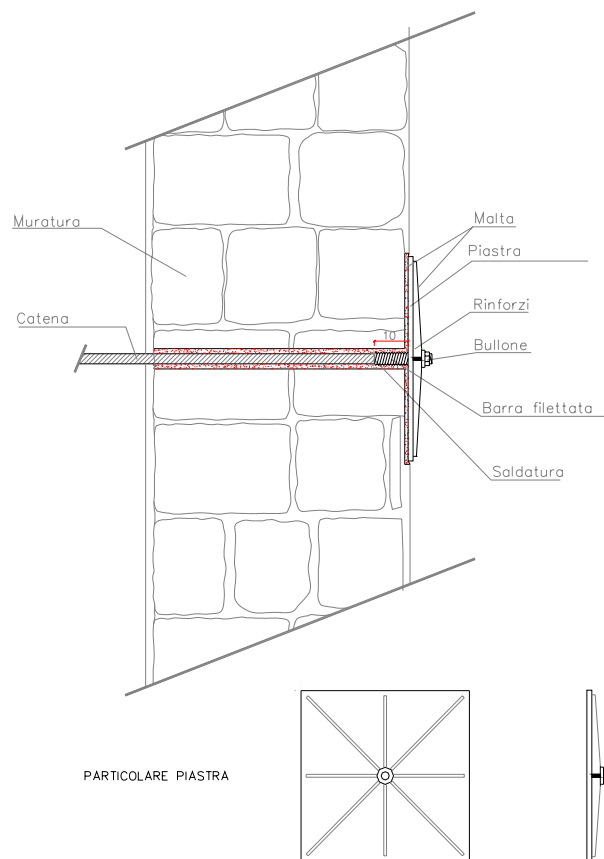


Figura B.12.2 – Schematizzazione dell'ancoraggio con piastra nervata



Particolare ancoraggio catena

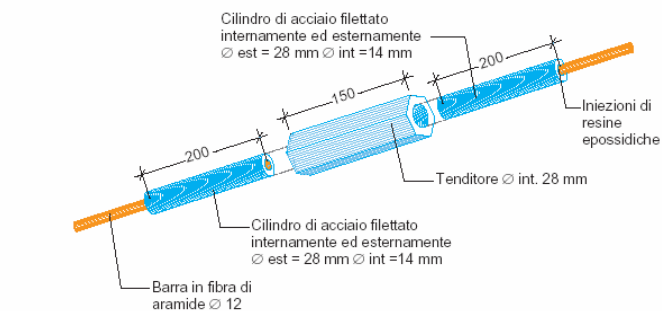


Fig. 11. Tenditore per barre in aramide

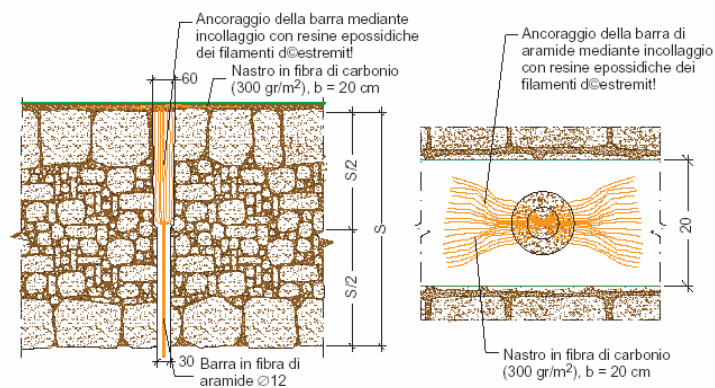


Fig. 12. Ancoraggio esterno della barra in aramide

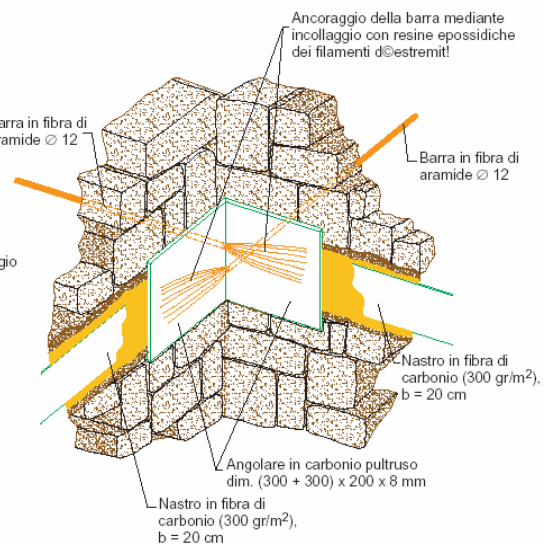
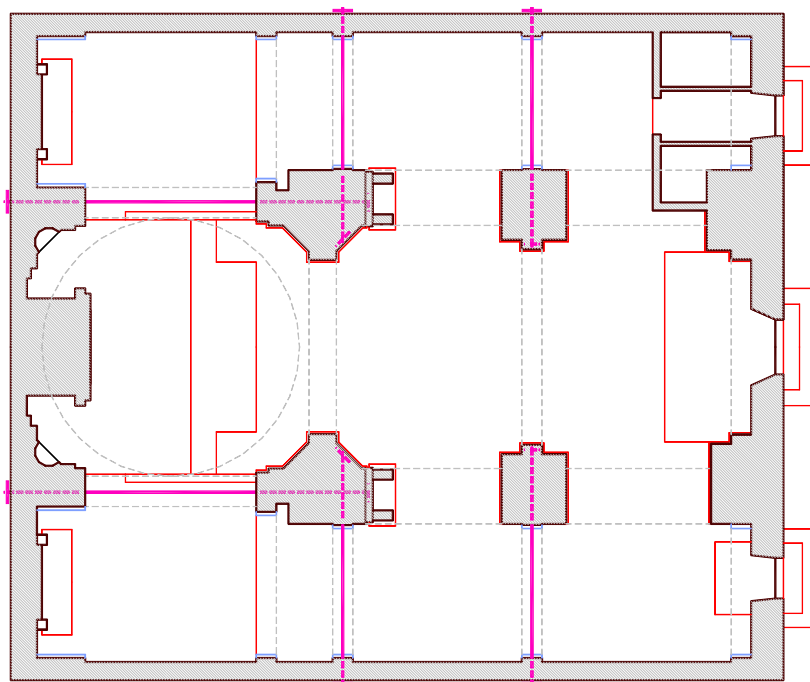


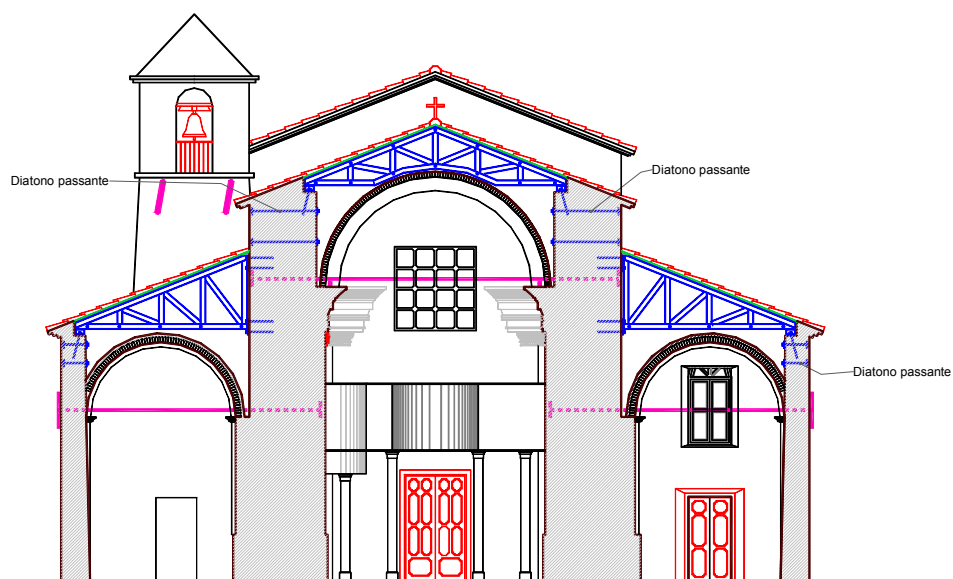
Fig. 13. Ancoraggio interno della barra in aramide

Figura B.12.2 Esempio di catene in FRP



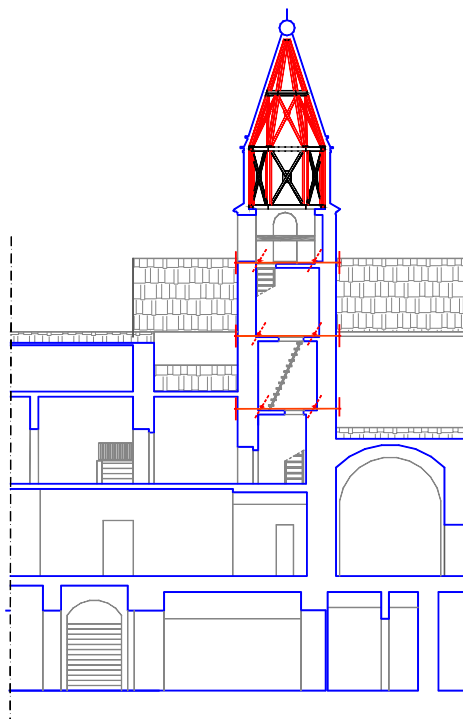
Legenda interventi

— Catene realizzate con barre

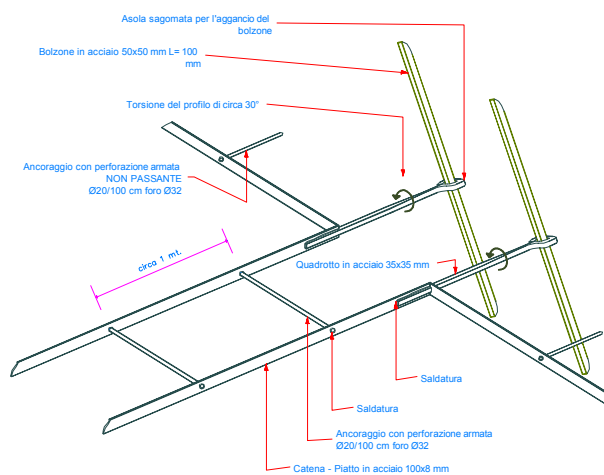
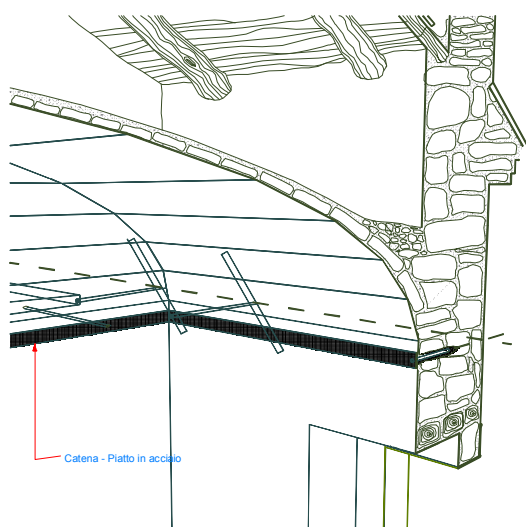


Legenda interventi

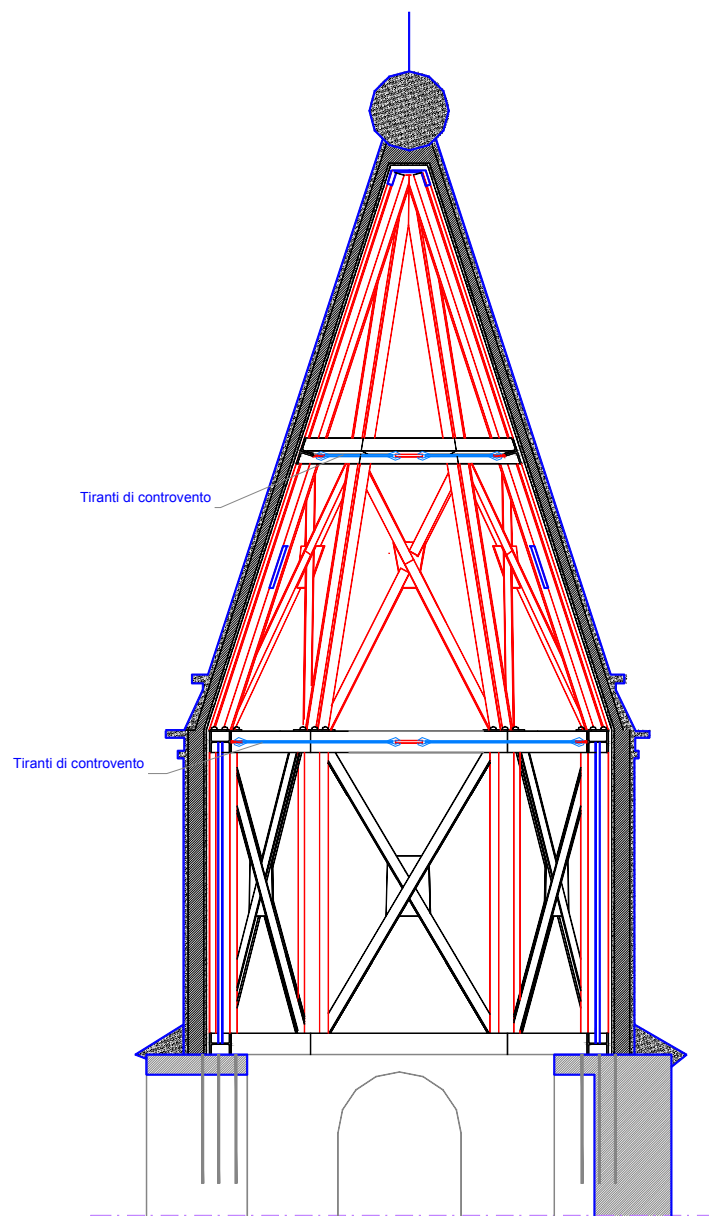
— Catene realizzate con barre



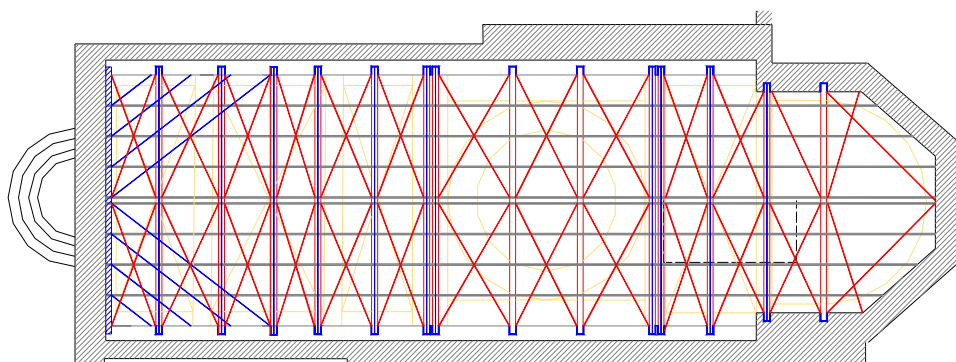
Posizionamento delle catene



Posizionamento catene all'imposta della volta

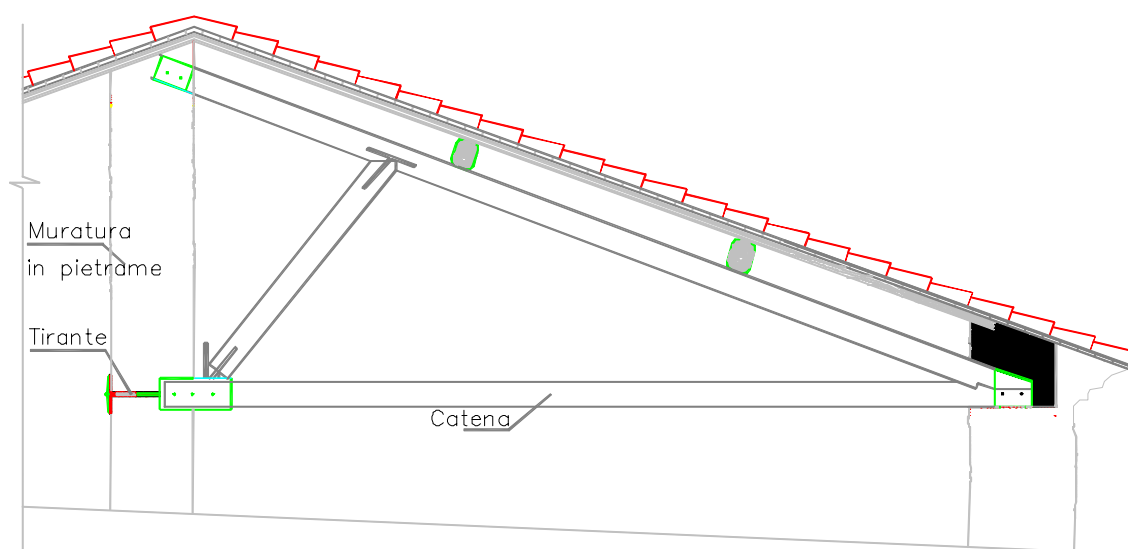


Tiranti di controvento



CAPRIATA
Sostituzione della catena in legno della capriata
con barra tonda di acciaio

CAPRIATA



Posizionamento delle catene in copertura

2. FASCIATURE CON MATERIALI COMPOSITI

SCHEDA B.10

(Linee guida per gli interventi di riparazione del danno e miglioramento sismico per gli edifici di culto e monumentali - parte seconda - Regione Molise CNR-DAST-UOIG - approvate con Decreto del Commissario Delegato n.70/2004)

2.1 Principi funzionali di base

La tecnica consiste nell'incollare alla struttura, mediante resine epossidiche, delle fasce ad alta resistenza, composte da tessuti di fibre di materiale composito (carbonio, vetroresina) immerso in una matrice polimerica. La tecnologia di tali sistemi compositi, denominati FRP, è indicata per i rinforzi flessionali e di confinamento a compressione per elementi in calcestruzzo, legno e acciaio e per il rinforzo di pannelli e volte murarie. Essa è efficacemente utilizzata da alcuni anni per la conservazione e il recupero delle strutture di interesse storico – artistico in muratura. Le caratteristiche principali del sistema sono la resistenza meccanica e chimica, il peso e lo spessore limitati, la facilità e la duttilità di applicazione nei riguardi dell'adattamento a forme complesse e non perfettamente piane. I compositi, a parità di peso, forniscono prestazioni migliori dell'acciaio, adesione perfetta alle superfici e spessori ridotti che fanno sì che l'impatto visivo sia trascurabile. L'intervento, in ogni caso, è completamente reversibile in quanto le fasce sono semplicemente incollate alla superficie e possono essere rimosse in qualsiasi momento mediante un adeguato trattamento termico.

2.2 Campi di applicazione

Il campo di applicazione di questa tecnologia nei riguardi delle strutture in muratura, comprende:

- il confinamento degli elementi verticali compressi,
- il cerchiaggio di pareti murarie per evitarne il ribaltamento fuori dal piano;
- il rinforzo di volte.

L'utilizzo di materiali compositi con scopo di cerchiatura o confinamento consente l'efficace incremento sia del carico ultimo sia della duttilità e costituisce, pertanto, una valida alternativa all'utilizzo di cerchiature rigide.

L'intervento di fasciatura a base di FRP, può essere utilizzato per il consolidamento di elementi verticali lapidei o in muratura (colonne, pilastri, ecc.), portanti o non portanti, soggetti a degradazioni di vario genere (fessurazioni, distacchi, ecc.). Tale intervento può risultare indicato anche qualora si debba realizzare un consolidamento preventivo (ad es. per un cambio di destinazione d'uso). La cerchiatura degli elementi verticali compressi, secondo i casi e le prescrizioni progettuali, può consistere nella fasciatura completa dei singoli elementi o in una fasciatura disposta secondo piani orizzontali. Un'applicazione particolare consiste nell'eseguire una fasciatura di pilastri in muratura esclusivamente nei giunti di malta, mediante l'utilizzo di un nastro di altezza molto ridotta. Una soluzione di questo tipo, inoltre, interessando una superficie molto ridotta rispetto a quella totale, non è eccessivamente invasiva per il manufatto e consente di mantenere sostanzialmente inalterato il suo aspetto.

L'intervento di cerchiaggio con le fibre di composito, pur non aumentando sensibilmente la rigidità fuori dal piano delle murature, ha lo scopo di collegare efficacemente le murature ortogonali, "chiudendo" la scatola muraria. La tecnica consente di migliorare la risposta globale dell'edificio, conferendo, inoltre, una maggiore duttilità al sistema.

La fasciatura con FRP può essere utilizzata anche per contrastare il collasso della parte alta dei cantonali prodotto dalla spinta dei puntoni dei tetti a padiglione. In questi casi, si osserva la rotazione di un cuneo delimitato da superfici di frattura che assumono inclinazioni diverse in relazione alla qualità del materiale e alla presenza di aperture. Per rendere efficace l'intervento, le fibre, devono essere prolungate oltre la linea di frattura fino a raggiungere una zona di muratura non interessata dal meccanismo utilizzando piastre di ancoraggio vincolate alla muratura. Le fibre in materiale composito possono, inoltre, essere utilizzate come intervento nei dissesti che interessano archi e volte, applicate sull'intera superficie o in corrispondenza dei punti critici che si evidenziano attraverso il rilievo o la previsione del quadro fessurativo associato al meccanismo di collasso esaminato.

In tali elementi strutturali, le fibre posizionate all'intradosso, manifestano una limitata efficacia garantita solo dall'aderenza tra lo strato di resina e la superficie dell'elemento; si vengono a creare degli sforzi di trazione perpendicolari alle fibre (tiro a vuoto).

Se l'applicazione viene effettuata all'estradosso, la tensione di trazione nelle fibre, provoca invece una tensione di compressione sulla volta. Per questo motivo si consiglia l'applicazione delle fibre all'estradosso degli archi e delle volte. Sulle volte a crociera i nastri di materiale composito possono essere posizionati all'estradosso degli archi di imposta della volta e eventualmente anche sulle nervature diagonali. In alcuni casi il semplice intervento di placaggio con fibre, pur essendo poco invasivo e facilmente removibile, può essere tuttavia di scarsa efficacia. La fasciatura con fibre può quindi essere associata alla costruzione di un arco di rinforzo all'estradosso dell'esistente, posizionando le fibre tra la volta e il nuovo arco di rinforzo.

La presenza dell'arco, oltre ad aumentare lo spessore in chiave, ha lo scopo di confinare la fibra obbligandola ad aderire all'estradosso della volta. Soluzioni analoghe ma relative all'applicazione intradosale, sono poco praticabili su edifici monumentali. L'intervento con le fibre sulle volte può essere associato alla sostituzione del rinfianco con frenelli di laterizio che, diminuiscono il peso gravante sulla volta. Se all'intervento con i frenelli si aggiungono le fibre di composito con un sistema di ancoraggio, si limitano le possibilità di attivazioni dei meccanismi di collasso più probabili.

2.3 Applicazione della tecnica

Il sistema applicativo varia in funzione delle caratteristiche generali degli elementi interessati e dal loro stato di conservazione. Generalmente, le diverse fasi consistono nell'applicazione:

- di un primer;
- di una resina adesiva;
- delle fibre (in nastri, tessuti, barre).

Deve, inoltre, essere prevista una protezione o un trattamento finale dei vari strati. Esistono diverse tipologie, grammature e dimensioni di nastri e tessuti di fibre di materiale composito (carbonio, vetroresina). L'orientamento delle fibre può essere di tipo unidirezionale, bidirezionale e di tipo quadriassiale. Per il confinamento a compressione mediante fasce disposte secondo piani orizzontali si possono utilizzare nastri di tipo unidirezionale, mentre per un aumento della resistenza a flessione vanno utilizzati i tessuti bidirezionali.

Prima di procedere all'applicazione delle fibre è necessario preparare le superfici, previa indagine preliminare e tracciatura delle aree da trattare.

Le irregolarità superficiali e gli spigoli vivi possono comportare fenomeni di distacco e di esfoliazione al momento dell'adesione delle fibre di carbonio, pertanto nella zona di incollatura le asperità rilevanti devono essere regolarizzate, così come devono essere stuccate tutte le cavità e fessurazioni. Per i pilastri quadrati o rettangolari, ad esempio, è necessario procedere all'arrotondamento degli angoli, con un raggio di curvatura che dipende dalla tipologia di materiale che si intende utilizzare (in ogni caso > 1 cm).

La superficie deve essere priva di parti friabili o con scarsa coesione al sottofondo. Nei casi in cui è presente l'intonaco, questo deve essere rimosso sino al raggiungimento della superficie muraria. Preparata la superficie, si procede all'applicazione del primer a rullo o a pennello, nella quantità idonea all'assorbimento del supporto che varia in ragione della porosità e della scabrezza della superficie. Nei casi in cui la superficie presenta irregolarità residue, si procede alla rasatura superficiale. Dopo l'applicazione dello strato di primer si può procedere all'applicazione del primo strato di adesivo epossidico, applicato uniformemente mediante un rullo o un pennello. Anche in questo caso, la quantità da applicare può variare in funzione della scabrezza superficiale del supporto. Infine si applica lo strato di rinforzo vero e proprio costituito dalle fibre di carbonio. I tessuti e i nastri sono ricoperti su di un lato da una pellicola protettiva: essi vanno applicati dal lato della fibra scoperta sullo strato di resina mentre sul lato della pellicola si esercita una leggera pressione in modo da far aderire le fibre alla struttura; dopo tale operazione si toglie la carta protettiva e si fa scorrere un rullo lungo la direzione delle fibre per favorire l'impregnazione della resina, evitando la formazione di bolle d'aria. Dopo questa fase il tessuto deve presentarsi ben disteso e ben ancorato per assicurare una corretta trasmissione degli sforzi. Nella direzione longitudinale le strisce devono sovrapporsi per una ventina di centimetri, mentre trasversalmente, nei casi in cui è prevista, è sufficiente una sovrapposizione più ridotta. In corrispondenza delle sovrapposizioni di tessuto si applica un'ulteriore mano di resina sulla superficie esterna.

Dopo aver atteso il tempo necessario di presa (generalmente 1 ora), si procede all'applicazione del secondo strato di resina secondo le stesse modalità precedentemente descritte. Nel caso di superfici esposte direttamente ai raggi U.V. le fibre devono essere protette da un'idonea pellicola. Quando è prevista l'esecuzione di un intonaco di finitura, come nel caso della fasciatura completa degli elementi, prima che il secondo strato di resina sia del tutto asciutto, si provvede allo spolvero con sabbia di quarzo per consentire l'aggrappaggio del rinzafo dell'intonaco o della malta.

Esempio applicativo : Consolidamento di volte in mattoni con nastri di tessuto unidirezionale e bidirezionale in fibra di carbonio (in presenza di affreschi all'intradosso).

Il rinforzo strutturale tramite fasciature all'estradosso seguirà le seguenti fasi di lavorazione:

- Stuccatura accurata di eventuali lesioni o microlesioni all'intradosso della volta da effettuare con idonee malte e successivo puntellamento delle strutture oggetto dell'intervento. Pulizia dell'estradosso, con eliminazione totale di parti inconsistenti e di qualsiasi materiale che possa pregiudicare il buon aggrappo delle lavorazioni seguenti.
- Eliminazione totale della polvere dall'intera superficie da trattare da effettuare con aspirapolvere. Nel caso in cui la superficie di applicazione del rinforzo si presenti molto irregolare, si provvederà a regolarizzarla con opportune malte idrauliche.
- Consolidamento di eventuali fessurazioni mediante intasamento con resina epossidica fluida a due componenti esente da solventi e che non presenti ritiri all'atto dell'indurimento. Se le lesioni superano i 4 mm si provvederà a miscelare la resina epossidica nelle giuste proporzioni con sabbia di quarzo di opportuna granulometria. La resina epossidica sarà preparata ed applicata seguendo le indicazioni della Casa Produttrice.
- Successiva stesura a spatola di adesivo epossidico tixotropico a due componenti esente da solventi con un consumo minimo di 4 kg/mq. Il prodotto avrà la funzione di livellare la superficie da rinforzare e di realizzare uno strato adesivo per la successiva applicazione del rinforzo.
- Sull'adesivo epossidico ancora fresco verrà effettuato uno spolvero di quarzo in granulometria fine per rendere la superficie idonea per l'ancoraggio del successivo strato di malta. L'adesivo epossidico tixotropico sarà pre-

parato ed applicato seguendo scrupolosamente le indicazioni riportate nelle schede tecniche fornite dalla casa produttrice.

- Applicazione a fresco di tessuto di armatura unidirezionale o bidirezionale in fibra. Il tessuto dovrà essere steso con rullo o spatola nella direzione di progetto ed incorporato nella massa resinosa facendo attenzione alla formazione di bolle d'aria.

2.4 Accorgimenti, varianti e limiti

La raccomandazione principale riguarda la preparazione del supporto e lo smusso degli spigoli per evitare concentrazioni di tensioni sulle fibre e taglio sulle stesse. Tali accorgimenti richiedono, per la posa in opera di tali elementi, personale specializzato.

Le prestazioni finali del sistema dipendono strettamente dalla corretta progettazione e dalla accuratezza con cui sono eseguite le diverse operazioni.

In generale, vanno valutate attentamente le condizioni ambientali d'intervento, in particolare nel corso della stagione invernale e in presenza di forte umidità. In caso di applicazione all'aperto, gli elementi interessati devono essere protetti dagli agenti atmosferici (pioggia, polvere), con teli o altri tipi di barriere, sia durante le diverse fasi di lavoro che dopo aver completato il ciclo applicativo. La protezione delle fibre è ottenibile, a lavorazione finita, anche mediante uno strato di intonaco.

Dal punto di vista dell'invasività, l'intervento è in ogni caso completamente reversibile in quanto le fasce sono semplicemente incollate alla superficie e possono essere rimosse in qualsiasi momento mediante un adeguato trattamento termico. Questo rende compatibile l'intervento con le esigenze di recupero conservativo. Un limite è costituito dalla necessità di dover smussare gli angoli in presenza di spigoli vivi.

Il cerchiaggio con fibre può trovare impiego anche nelle situazioni in cui il perimetro dell'edificio non sia convesso. In tali casi si possono posizionare dei tiranti negli spigoli interni per trattenere la fasciatura.

Se la fasciatura con fibre viene utilizzata per contrastare il collasso della parte alta dei cantonali, è necessario curare la zona terminale delle fibre risvoltandole, se possibile, attorno a nicchie ricavate sullo spessore murario, oppure utilizzando piastre di ancoraggio, vincolate alla muratura. Particolare cura deve essere riservata anche all'ancoraggio delle fibre nel consolidamento di volte. Nelle volte a crociera, le fibre, possono essere ancorate ai quattro angoli della volta in un getto di malta cementizia, predisposto ad ospitare una barra di ancoraggio che verrà inserita diagonalmente in un opportuno preforo.

2.5 Riferimenti normativi

fasciatura con materiali compositi ordinanza pcm 3274 s.m.i. - allegato 2

E' possibile il ricorso a tecniche di placcaggio all'estradosso con fasce di materiale composito. La realizzazione di controvolte in calcestruzzo o simili, armate o no, è da evitarsi per quanto possibile e, se ne viene dimostrata la necessità, va eseguita con conglomerato alleggerito e di limitato spessore. Il placcaggio all'intradosso con materiali compositi è efficace se associato alla realizzazione di un sottarco, in grado di evitare le spinte a vuoto.

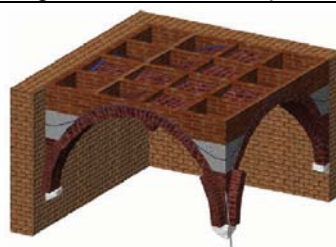
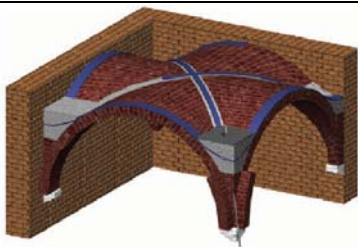


Figura B.10.1 - Esempi applicativi: Consolidamento volta a crociera con nastri in FRP e frenelli

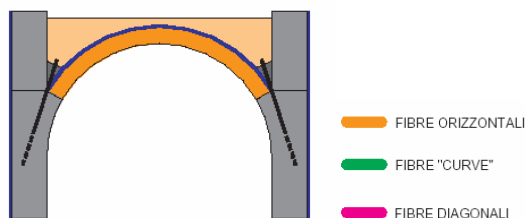
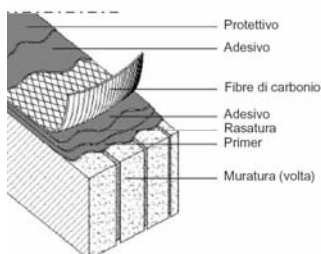


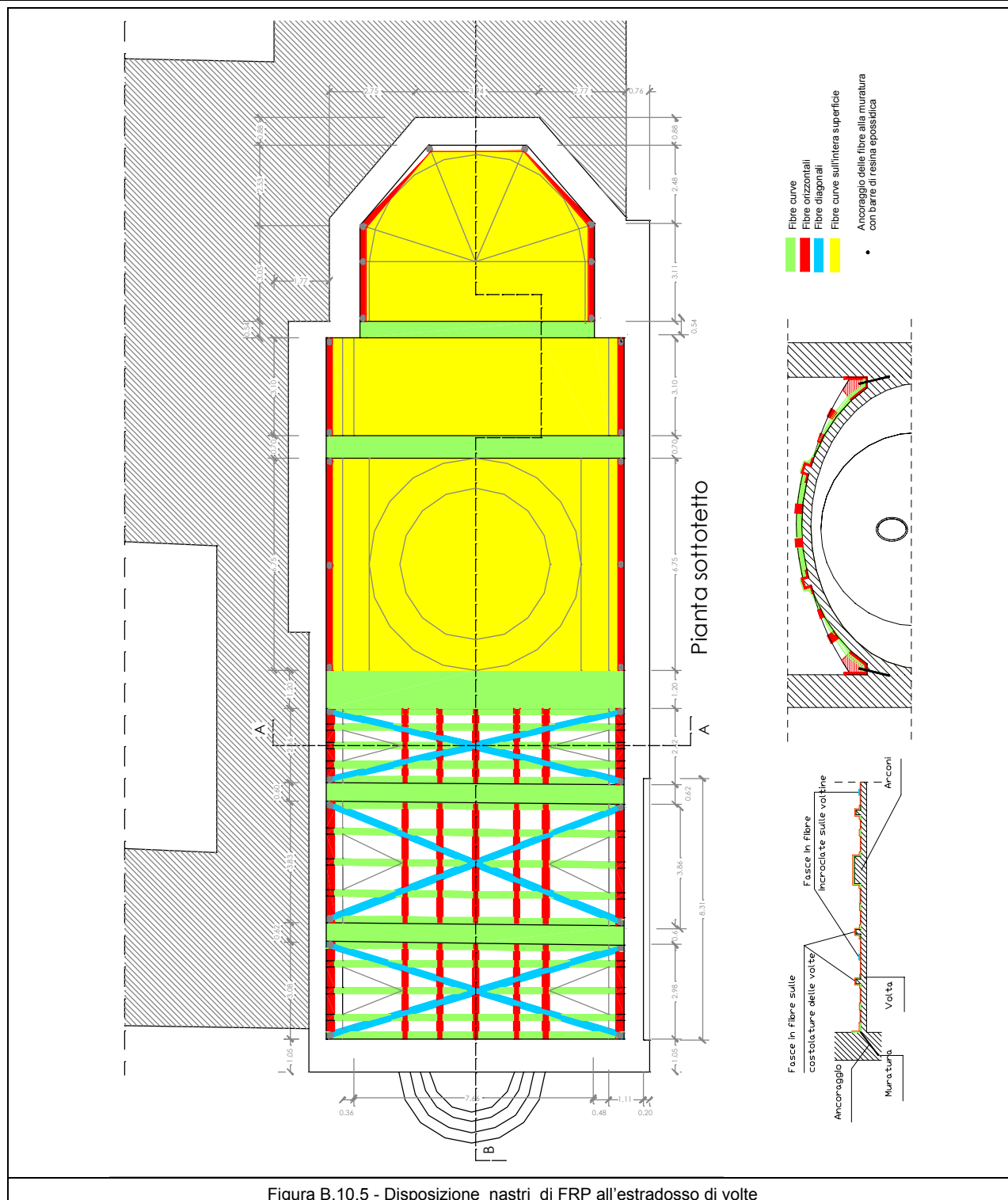
Figura B.10.2 – Schematizzazione applicazione di FRP

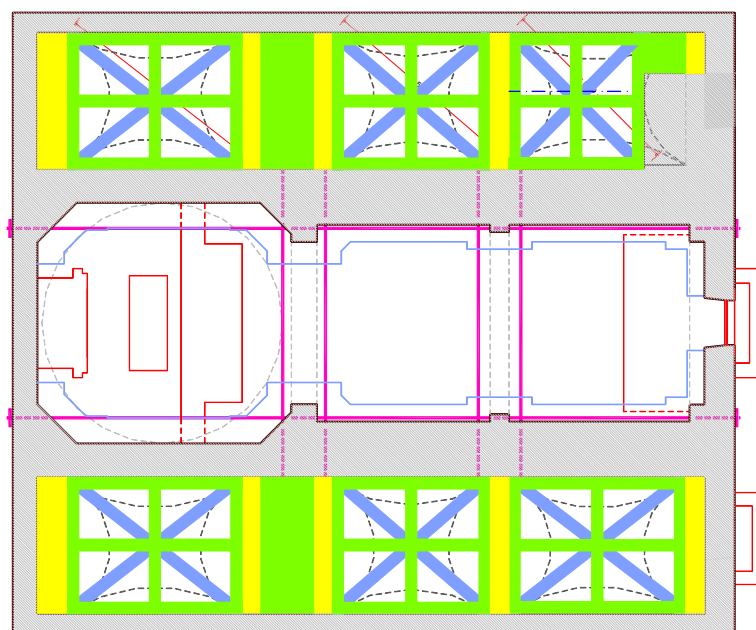
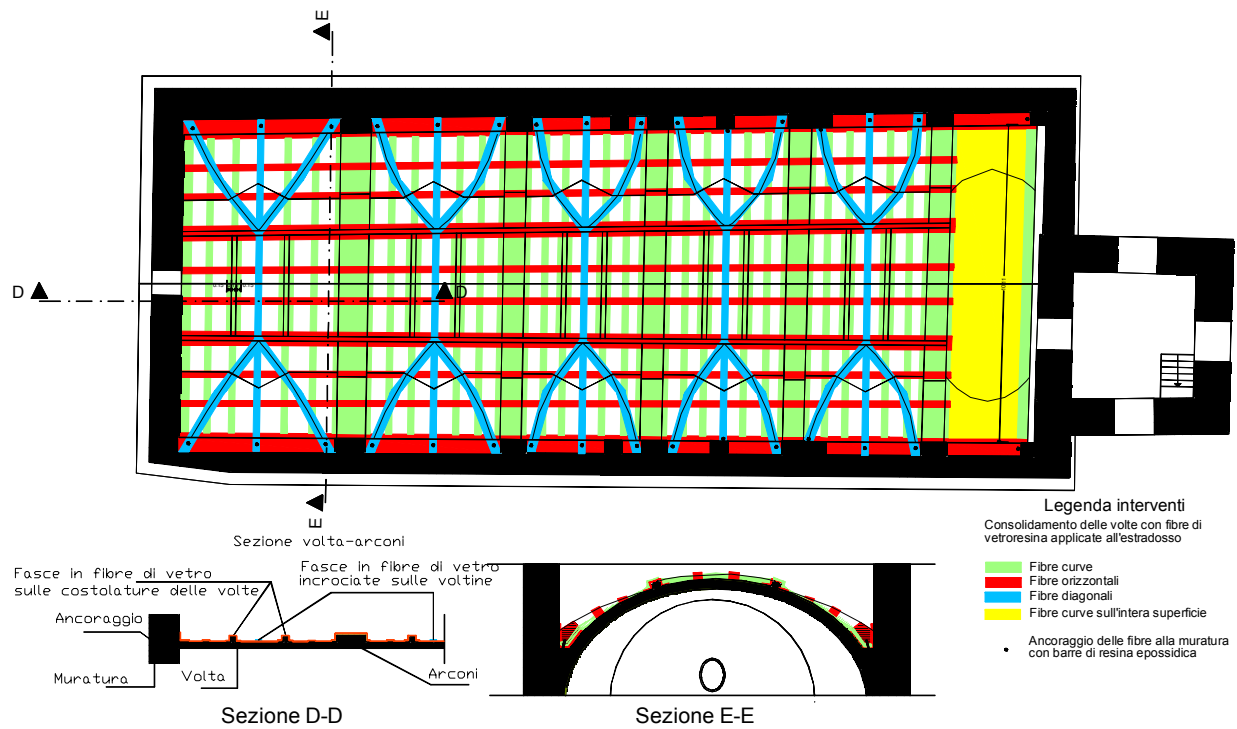
Figura B.10.3 – Ancoraggio dei nastri in FRP all'imposta di una volta

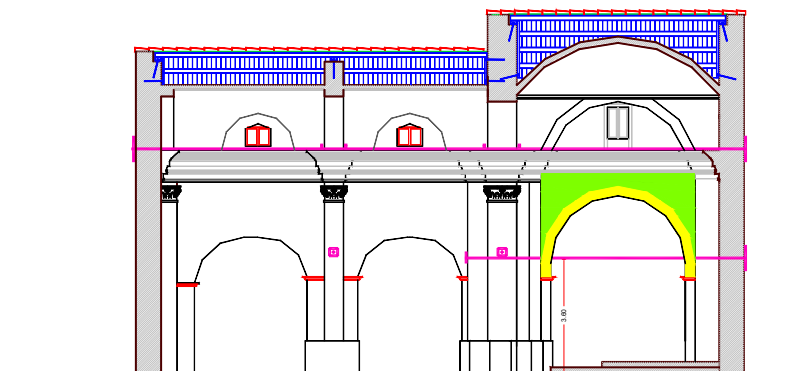


Figura B.10.4 - Frenelli armati con nastri di FRP

Figura B.10.5 - Baggiolo in betoncino epossidico per ancoraggio nastro in FRP



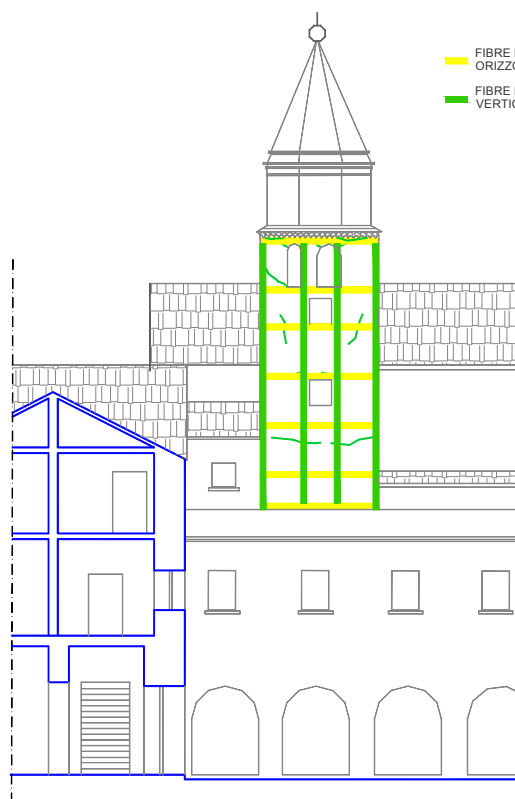
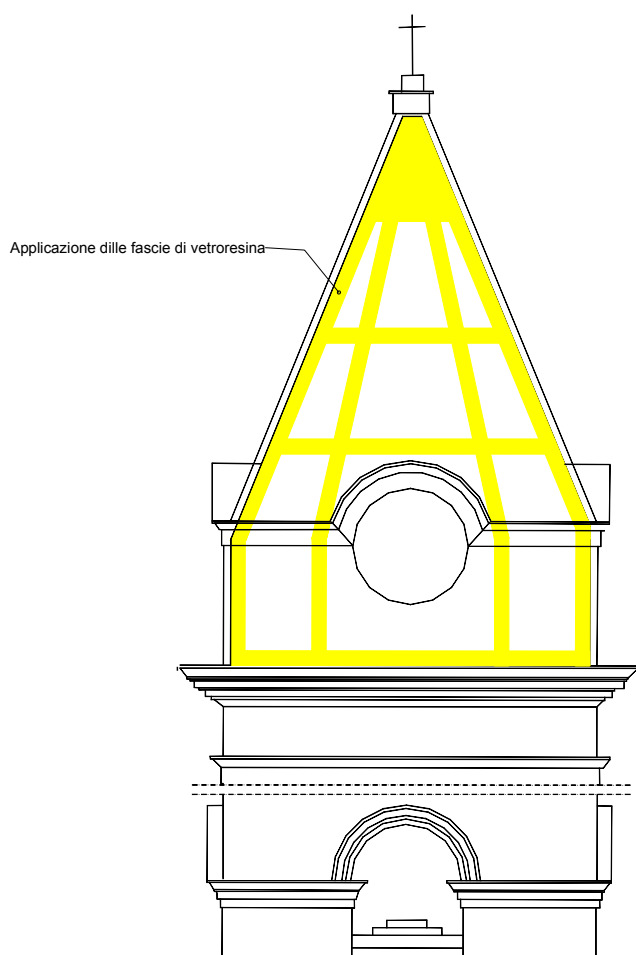




Legenda interventi
 Consolidamento delle volte con fibre di vetroresina applicate all'estradosso

- Fibre verticali, orizzontali ed a copertura totale
- Fibre sugli archi
- Catene esistenti, sostituite con nuove barre d. 30 mm
- Piastre sotto traccia per ancoraggio catene navate laterali

Consolidamento volte e archi con fibre in vetroresina



Fibre in vetroresina posizionata nella guglia e nella cella campanaria

3. CORDOLI DI SOMMITA'

SCHEDA B.11

(Linee guida per gli interventi di riparazione del danno e miglioramento sismico per gli edifici di culto e monumentali - parte seconda - Regione Molise CNR-DAST-UOIG - approvate con Decreto del Commissario Delegato n.70/2004)

3.1 Principi funzionali di base

La tecnica consiste nella realizzazione nella sommità dell'edificio, lungo il perimetro delle pareti, di un elemento strutturale con funzione di cordolo di coronamento che può essere realizzato, in muratura armata, attraverso un cordolo reticolare piano metallico, in materiale composito, o in cemento armato. Le funzioni del cordolo sono quelle:

- di realizzare un collegamento continuo tra la struttura della copertura e i muri su cui questa insiste;
- di realizzare un'azione di contenimento delle spinte delle travi dei tetti sulle murature;
- di distribuire i carichi verticali in condizioni statiche;
- di collegare le murature ortogonali;
- di favorire il comportamento scatolare realizzando un collegamento tra le pareti murarie; "legando" la copertura alle murature sommitali mediante la creazione di un elemento chiuso collegato alla muratura sottostante con una fitta rete di perfori armati (1 ogni 50" - 60").

I collegamenti aiutano in maniera sensibile contro l'eventuale espulsione dei pannelli murari al di sotto dei cordoli offrendo un vincolo di tipo diffuso. Inoltre, è un intervento consigliabile poiché se integrato con un'ideale controventatura delle falde, assicura una buona trasmissione di tutte le spinte orizzontali agli elementi di muratura resistenti.

3.2 Campi di applicazione

La vulnerabilità sismica degli edifici storici è significativamente condizionata dalla tipologia e dalla qualità delle connessioni tra i componenti dell'organismo edilizio stesso. Per limitare tale fonte di vulnerabilità è quindi possibile realizzare dei cordoli in sommità dell'opera.

Questo intervento è quasi sempre attuabile e può essere utilizzato per contrastare l'azione di ribaltamento di pareti fuori dal loro piano, per contrastare meccanismi di danno riguardanti elementi di copertura e per creare un buon collegamento tra le pareti murarie dell'edificio favorendo il comportamento scatolare dell'edificio.

3.3 Applicazione della tecnica

I cordoli possono essere realizzati:

- in muratura armata con acciaio;
- in muratura armata con FRP
- in acciaio;
- con fasce di FRP;
- in cemento armato;

Le tipologie in c.a. e muratura armata oltre a fornire un confinamento delle spinte della copertura, svolgono anche un'azione di ripartizione dei carichi sui pannelli murari mentre i cordoli in acciaio e con fasce in FRP hanno il solo scopo di ridurre le spinte del tetto e collegare le murature verticali.

Di seguito sono indicate le fasi operative per la realizzazione dell'intervento con cordoli:

- *Scelte prioritarie:* occorre stabilire se eseguire il cordolo per cantieri alternati (puntellando brevi tratti della copertura) oppure in un'unica fase per ciascuna falda (puntellando l'intera falda). Inoltre, occorre valutare se e come demolire la muratura esistente. Entrambe le scelte sono funzione delle caratteristiche proprie del sistema costruttivo e del complesso di interventi che riguardano la copertura.
- *Opere di puntellatura:* variano in relazione alle scelte del punto precedente. Quando è possibile avere un sicuro e agevole appoggio conviene eseguire il cordolo in un'unica fase per tutta la falda.
- *Esecuzione del cordolo e ancoraggio della struttura:*
 - a) *cordoli in c.a. con perfori armati verticali:*
 - predisposizione dei casseri e delle armature;
 - posa in opera delle armature;
 - rispetto del copriferro di progetto;
 - sovrapposizioni delle armature in campata e su angoli e incroci;
 - chiusura delle staffe;
 - realizzazione di perfori verticali di collegamento alle murature sottostanti (se le murature su cui poggia il cordolo sono nuove e tali da fornire un idoneo ingranamento tra superfici a contatto è possibile omettere l'inserimento di barre verticali di collegamento);
 - esecuzione del getto in cls.
 - b) *cordoli in acciaio con perforazioni armate di collegamento*

- verificare la compatibilità del progetto con le caratteristiche delle murature (fatture e spesso-re);
- posizionamento del profilo lungo la muratura, creando continuità;
- esecuzione dei perfori di collegamento tra il profilo e la muratura esistente, in numero adeguato;
- realizzazione dei collegamenti tra il profilo e l'orditura principale del solaio;
- irrigidimento dell'angolo di incontro dei profili;
- sostegno del solaio durante la fase di consolidamento.

c) *cordoli in muratura armata – cordolo a “2 teste” – “cordolo a 3 teste”*

Cordolo a 2 teste

- prevede la posa di due file di mattoni paralleli lasciando lo spazio per il passaggio di una barra ϕ 22;
- riempire lo spazio tra la barra e le due teste con malta cementizia;
- murare a regola d'arte due filari superiori alternando diatoni e ortostati facendo passare in senso longitudinale delle spille ϕ 8/20 ancorate alla barra inferiore;
- eseguire nuovamente due file di mattoni paralleli lasciando lo spazio per il passaggio di una barra ϕ 22 da agganciare sul risvolto superiore della spilla;
- riempire lo spazio tra la barra e le due teste con malta cementizia.

Cordolo a 3 teste

- eseguire un piano di posa in muratura di laterizio a tre teste;
- posa di due file di mattoni paralleli lasciando lo spazio per il passaggio delle armature: 4 barre ϕ 16 e staffe ϕ 6/18”;
- riempire lo spazio con malta cementizia;
- murare a regola d'arte due filari superiori alternando diatoni ed ortostati ed inserendo i diatoni all'interno dell'armatura del cordolo;
- eseguire nuovamente due file di mattoni paralleli lasciando lo spazio per il “getto” della malta cementizia di completamento.

Cordolo in cemento armato.

L'intervento è adatto per tutte le tipologie di solaio e per tutti i tipi di muratura. Particolari precauzioni vanno prese in fase di realizzazione sulle murature a sacco, in quanto i perfori devono essere realizzati in maniera alternata inclinandoli per interessare entrambi i paramenti murari. Sono da evitare le realizzazioni di cordoli in breccia.

Nella pratica spesso, come suggerito anche dalla precedente normativa, sono state previste cordolature di larghezza “pari a quella della muratura sottostante con una riduzione di larghezza fino a 6 cm per l'arretramento del filo esterno pari allo spessore della muratura” e altezza pari e/ o superiore allo spessore della muratura. In molti casi tale tecnica non è apparsa efficace come evidenziato dai dissesti rilevati dopo i recenti eventi sismici.

Il cordolo in cemento armato consigliato deve essere eseguito per un'altezza non superiore al minore tra lo spessore della muratura e 40 cm, e deve essere eseguito per tutta la larghezza della muratura; in un'unica fase per tutta la falda o per cantieri alternati. Prima del getto devono essere posizionati gli elementi metallici di collegamento cordolo - struttura del coperto. Può essere realizzato con o senza lo smontaggio della copertura. Collegamenti:

- Se si conserva il dormiente, esso viene collegato al cordolo a mezzo di barra d'acciaio filettata ad un'estremità e imbullonata (un collegamento ogni 50 cm. circa). I travicelli o puntoni saranno quindi collegati al cordolo con chiodatura o fasce metalliche se necessario.

– Senza ricorrere ad un elemento di legno con funzione di dormiente è possibile utilizzare un cuneo per l'appoggio dei travicelli o puntoni, realizzando un collegamento con il cordolo per mezzo di due zanche di ferro piatto.

– Quando possibile si può realizzare un cordolo col bordo superiore inclinato come la falda. In questo caso i travicelli o puntoni vengono fissati con zanche annegate nel getto o con cuffie in acciaio.

Il cordolo deve continuare anche a coronamento della muratura del timpano, con la stessa altezza e per tutta la larghezza del muro. In questo caso si provvederà a collegare con esso la trave di colmo, a mezzo di una staffa metallica annegata nel cordolo.

L'armatura del cordolo in c.a. di solito è costituita da quattro barre in acciaio e da altre barre disposte lungo il lato maggiore in base alla larghezza della parete con una staffatura chiusa (sezione minima 6 mm) con interasse pari almeno allo spessore del cordolo. Per un migliore collegamento del cordolo alla muratura sottostante possono essere realizzate degli ancoraggi con barre in acciaio debolmente iniettate di malta a base di calce. I cordoli in c.a. sono consigliati qualora si dovesse procedere alla demolizione di un setto murario e alla sua successiva ricostruzione, infatti, in tal caso, il cordolo in c.a. rappresenterebbe il collegamento a livello di piano tra il muro in oggetto e quello ad esso ortogonale.

I cordoli in c.a. sono sconsigliati a livello dei piani intermedi, su tutti i tipi di muratura, poiché la loro realizzazione è legata ad aperture in breccia sui muri. I cordoli in c.a. devono essere realizzati con idonei provvedi-

menti nelle zone di incrocio d'angolo e a martello per ciò che concerne l'ancoraggio delle armature (ferri ad L incrociati a cucire i nodi).

Cordolo in acciaio.

Sono consigliati sia per i solai di piano che di copertura.

Può essere realizzato con o senza lo smontaggio della copertura. I cordoli d'acciaio rappresentano un efficace sistema di collegamento e un intervento poco invasivo nei confronti delle murature interessate. L'eliminazione degli scassi da eseguire sui muri non va ad alterare lo stato tensionale preesistente sulle murature. L'intervento risulta proponibile su tipologie di solaio ligneo e metallico nonché su tutti i tipi di muratura. Particolari precauzioni vanno prese in fase di realizzazione sulle murature a sacco, in quanto i perfori devono essere realizzati in modo da interessare una zona della muratura tale da raggiungere il paramento esterno. Per le altre tipologie murarie la profondità di perforazione dovrà essere pari almeno a 2/3 dello spessore murario. In alcuni casi l'intervento deve essere accompagnato da un'opera di bonifica della fascia di muratura interessata mediante la tecnologia delle iniezioni.

In presenza di murature con apprezzabili curvature orizzontali e molto irregolari bisogna sagomare il profilato e livellare l'area d'appoggio. Diverse sono le tipologie dei cordoli in acciaio. Una tipologia frequente è quella di posizionare nella sommità delle pareti lungo il perimetro dell'edificio un profilo di acciaio (C, L...) collegato negli spigoli ed eventualmente ancorato alla muratura sottostante con barre in acciaio debolmente iniettate con resine o malte espansive. Altra soluzione possibile è quella di realizzare il collegamento all'interno mediante l'applicazione sul sottotetto, in aderenza alla muratura o sul lato interno della muratura, di un profilo a L o a C collegato alla muratura con ancoraggi meccanici o chimici (perforazioni armate inghisate con passi dell'ordine di 50"-60" cm.) a sua volta collegato alle strutture di copertura. Gli stessi profili vanno collegati agli elementi di solaio (travi lignee o d'acciaio) mediante analoghi criteri con un passo pari a quello delle orditure. Gli incroci d'angolo delle cordolature metalliche dovranno essere dotati di elementi di rinforzo per l'irrigidimento dei nodi e in tali zone dovranno essere infittiti i perfori di collegamento alle murature. Dove possibile il cordolo metallico deve essere dotato di barra di estremità da portare all'esterno della muratura ancorandola con capichave a piastra o a paletto a formare un tirante. Il cordolo può essere realizzato anche da un traliccio costituito da profili piatti in acciaio saldati a una trave reticolare e poggiati di piatto sulla sommità delle pareti perimetrali. Il traliccio può essere ancorato alla muratura sottostante con barre in acciaio iniettate con resine o malte espansive ed infine ricoperto da un sottile strato di malta. Anche in questo caso il traliccio può essere collegato alle strutture di copertura con saldature o cuffie metalliche. Al cordolo in acciaio possono essere accoppiati dei tiranti disposti in senso trasversale costituiti da barre in acciaio ancorati sulle murature con capochave a paletto, a bolzone o a piastra.

Cordolo in muratura armata con barre in acciaio da c.a.

Sono consigliati solo in copertura. Consentono il collegamento dei solai di copertura alle murature sommitali, mediante una tecnica che tende a mantenere le caratteristiche delle tipologie murarie esistenti, senza aggravare la situazione dei carichi e conseguentemente delle masse ai livelli più alti del fabbricato. Tale cordolo si realizza bene nei tratti in piano mentre è di più difficile esecuzione nei tratti in pendenza dei timpani. Per la realizzazione occorre smontare la copertura ed eventualmente rimuovere, quando possibile, la parte sommitale della muratura. Si realizzano due paramenti di mattoni pieni ad incatenamento regolare con interposto un traliccio costituito da un'armatura costituita da barre di adeguata sezione (14-16mm) e staffe (almeno 6 mm di sezione) ad interasse non minore di 15 cm. Il collegamento tra i due paramenti è integrato da armature e mattoni disposti in senso trasversale; i mattoni vengono allettati con malta cementizia limitando il getto alla copertura delle armature. Al cordolo possono essere collegati gli sporti di gronda, gli zampini e le travature di copertura. L'intervento è proponibile su tipologie di solaio ligneo e metallico e risulta proponibile su tutti i tipi di muratura. In alcuni casi l'intervento deve essere accompagnato da un'opera di bonifica della fascia di muratura interessata mediante la tecnologia delle iniezioni.

Cordolo in muratura armata con materiale composito (travi in laterizio pieno lamellare)¹

La prima fase esecutiva riguarda la preparazione della superficie di appoggio degli interventi in laterizio con malta di allettamento per regolarizzare la superficie sulla quale si stende il primo strato di fibre di vetro e il primo livello di elementi in laterizio. I conci sono disposti in modo tale da evitare la sovrapposizione in verticale dei giunti di resina. Si procede quindi a disporre gli ulteriori strati di nastri in fibra di vetro incollati tramite resina epossidica, e con l'utilizzo aggiuntivo di stucco epossidico per aiutare il coronamento degli eventuali vuoti o giunti tra elementi contigui. Terminata la stesura dei tre strati di materiale si passa alla solidarizzazione del cordolo con la muratura sottostante. Tale collegamento viene realizzato praticando delle perforazioni armate, per una profondità sufficiente a garantire l'ancoraggio dell'elemento, con funzioni di connessione tra gli elementi in laterizio e la muratura sottostante. I fori sono realizzati "a quinconce" e all'interno di questi si inseriscono barre in fibra di vetro. Si richiude, quindi, il foro colando la quantità necessaria di resina all'interno del

¹ A. Borri, A. Grazini, e A. Giannantoni, "Cordoli di sommità realizzati con "laterizio lamellare" in FRP", Atti del XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Genova, 2004.

foro.

Cordolo in legno lamellare

Il cordolo può essere realizzato allo stesso modo del cordolo in acciaio disponendo lungo la sommità delle pareti perimetrali una trave in legno lamellare di sezione rettangolare (max 30 cm x 15 cm) poggiata con il lato lungo e collegata con ancoraggi in acciaio iniettati con malte espansive o resine.

3.4 Accorgimenti, varianti e limiti

Le funzioni svolte dai cordoli sono d'estrema importanza ai fini del comportamento strutturale dell'edificio; essi, infatti:

- limitano le spinte della copertura;
- ripartiscono i carichi sulla muratura in condizioni statiche;
- ripartiscono le spinte orizzontali indotte dal sisma;
- favoriscono il comportamento scatolare dell'edificio.

Tutti questi obiettivi però non sono raggiungibili insieme, se non con interventi che possono stravolgere le strutture murarie, con grave pregiudizio per la conservazione e, se mal eseguiti, anche per la sicurezza dell'edificio.

Nella pratica sono state spesso realizzate cordolature in c.a., a volte abbinate a piani rigidi, realizzate con coperture in latero-cemento. Tale metodo non è risultato efficace portando in molti casi al crollo della parte sommitale delle murature. Questo può essere spiegato osservando che il cordolo sommitale rigido in c.a., essendo molto meno deformabile della muratura su cui si appoggia, scarica le sollecitazioni verticali solo in alcuni punti del pannello spesso localizzati nei cantonali. L'effetto stabilizzante dei carichi verticali non si esercita in modo continuo così che porzioni di muratura, non trattenute e caricate, sotto un'azione sismica ortogonale tendono a ribaltare. Nel caso di eccessivo irrigidimento della sommità delle pareti con cordoli in c.a, prossimi al piano di imposta delle volte, spesso si è rilevato un danneggiamento localizzato all'imposta che in alcuni casi ha provocato anche il crollo della stessa volta. Le cause di tale danneggiamento sono da attribuire al richiamo di azione sismica provocato dall'aumento di rigidezza in sommità e all'aumento della differenza di deformabilità dovuta alla presenza del cordolo molto rigido. La maggiore rigidezza, infatti, provoca un aumento di azione sismica con incremento dello spostamento globale e un aumento della differenza di deformabilità tra volta e parete.

Se si realizzano quindi cordoli in cemento armato bisogna porre particolare attenzione alle dimensioni e alla rigidezza di tali elementi in rapporto alle caratteristiche della muratura sottostante. In generale si possono definire rigidi i cordoli di altezza maggiore di 40 cm.

Una possibile alternativa è quella di realizzare cordoli in muratura armata o in acciaio che pur avendo le stesse funzionalità di quelli in c.a non alterano in maniera significativa il funzionamento globale della fabbrica storica in muratura.

Il cordolo-catena in acciaio, è una sorta di tirante che, abbinato ad un profilo metallico, consente di assorbire le spinte orizzontali delle coperture. Quest'ultimo intervento si può prevedere con o senza lo smontaggio della copertura e può essere realizzato sia per la singola parete, sia per tutto il perimetro realizzando un vero e proprio cerchiaggio. Il cordolo in acciaio non ridistribuisce le spinte del tetto sui setti murari che quindi continuano a ricevere gli stessi carichi, non alterando pertanto in maniera negativa i meccanismi resistenti dell'edificio. Tale intervento è reversibile ma, negli edifici non intonacati, ha un elevato impatto visivo e richiede una manutenzione minima (trattamento antiruggine) se non coperto da intonaco.

La tipologia in muratura armata richiede il rifacimento della porzione ultima di parete per realizzare un cordolo murario armato. E' una soluzione già ampiamente sperimentata che si può adattare a molteplici situazioni strutturali e a varie tipologie di muratura. Esso ha una buona deformabilità verticale che gli consente di scaricare i pesi sulle murature sottostanti evitando gli effetti sui cantonali provocati da cordoli troppo rigidi. Può essere realizzato sia in laterizio sia in pietra consentendo quindi il rispetto dell'estetica dell'edificio. L'intervento non crea problemi di ponte termico.

3.5 Riferimenti normativi

cordoli in c.a. decreto n.35/2005 approvazione direttive tecniche per gli interventi su immobili privati e sugli edifici pubblici - o.c. n.13/2003 art.2

Verificare preliminarmente la fattibilità e l'efficienza di interventi meno invasivi rispetto ai cordoli in breccia (p.es. cordoli esterni in c.a. o elementi in acciaio collegati al solaio ed alle murature e resi continui agli angoli), curare la sovrapposizione e gli ancoraggi delle barre di armatura per assolvere la funzione di tirante, curare il corretto posizionamento del cordolo rispetto ad entrambi i parametri in muratura, usare calcestruzzo a ritiro compensato.

cordoli in sommità ordinanza pcm 3274 s.m.i. - allegato 2

Cordoli in sommità alla muratura possono costituire una soluzione efficace per collegare le pareti, in una zona dove la muratura è meno coesa a causa del limitato livello di compressione, e per migliorare l'interazione con la copertura; va invece evitata l'esecuzione di cordolature ai livelli intermedi, eseguite nello spessore della parete (specie se di muratura in pietrame), dati gli effetti negativi che le aperture in breccia producono nella distribuzione delle sollecitazioni sui paramenti. Questi

possono essere realizzati nei seguenti modi:

- in muratura armata, consentendo di realizzare il collegamento attraverso una tecnica volta alla massima conservazione delle caratteristiche murarie esistenti. Essi, infatti, devono essere realizzati con una muratura a tutto spessore e di buone caratteristiche; in genere la soluzione più naturale è l'uso di una muratura in mattoni pieni. All'interno deve essere alloggiata un'armatura metallica, resa aderente alla muratura del cordolo tramite conglomerato, ad esempio malta cementizia. La realizzazione di collegamenti tra cordolo e muratura, eseguita tramite perfori armati disposti con andamento inclinato, se necessaria risulta efficace solo in presenza di muratura di buona qualità. Negli altri casi è opportuno eseguire un consolidamento della muratura nella parte sommitale della parete ed affidarsi all'aderenza ed al contributo dell'attrito.

- in acciaio, rappresentando una valida alternativa per la loro leggerezza e la limitata invasività. Essi possono essere eseguiti attraverso una leggera struttura reticolare, in elementi angolari e piatti metallici, o tramite piatti o profili sui due paramenti, collegati tra loro tramite barre passanti; in entrambi i casi è possibile realizzare un accettabile collegamento alla muratura senza la necessità di ricorrere a perfori armati. In presenza di muratura di scarsa qualità, l'intervento deve essere accompagnato da un'opera di bonifica della fascia di muratura interessata. I cordoli metallici si prestano particolarmente bene al collegamento degli elementi lignei della copertura e contribuiscono all'eliminazione delle eventuali spinte.

- in c.a., solo se di altezza limitata, per evitare eccessivi appesantimenti ed irrigidimenti, che si sono dimostrati dannosi in quanto producono elevate sollecitazioni tangenziali tra cordolo e muratura, con conseguenti scorrimenti e disgregazione di quest'ultima. In particolare, tali effetti si sono manifestati nei casi in cui anche la struttura di copertura era stata irrigidita ed appesantita. Nel caso di cordolo in c.a. è in genere opportuno un consolidamento della muratura in prossimità dello stesso, in quanto comunque è diversa la rigidità dei due elementi. Il collegamento tra cordolo e muratura può essere migliorato tramite perfori armati, alle condizioni già illustrate in precedenza.

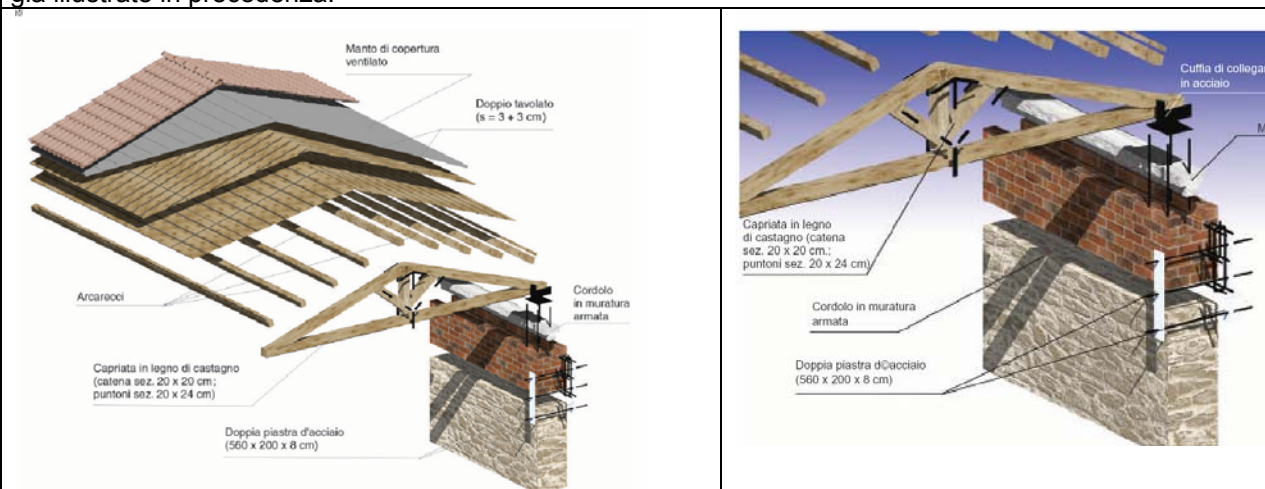


Figura B.11.1 – Esempio di cordolo in muratura armata

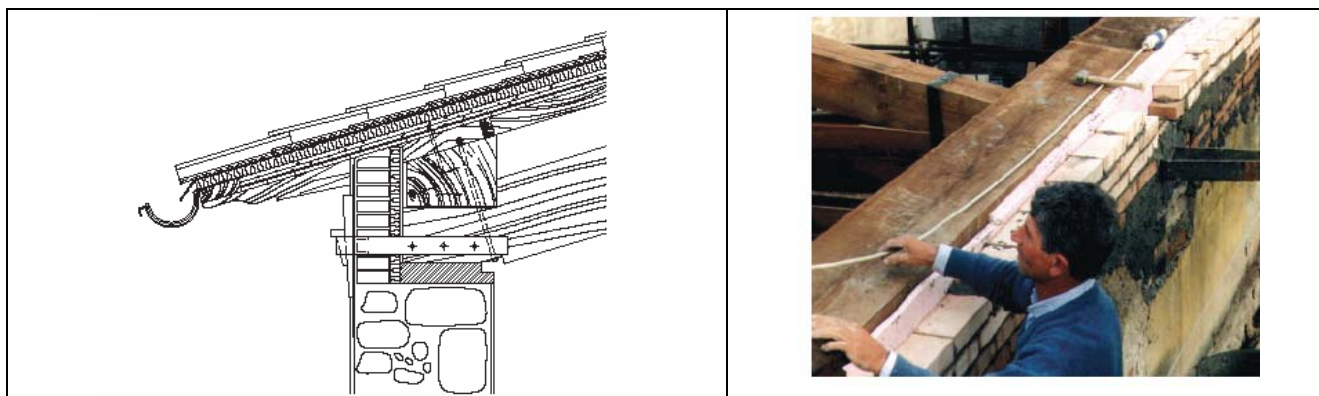


Figura B.11.2 – Esempio di cordolo in muratura ligneo

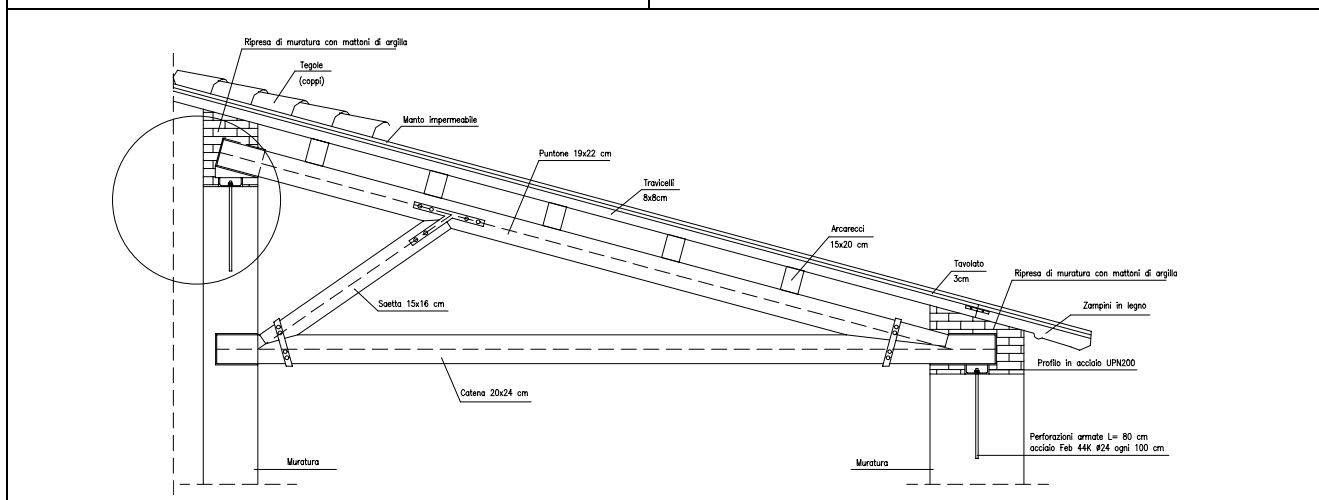
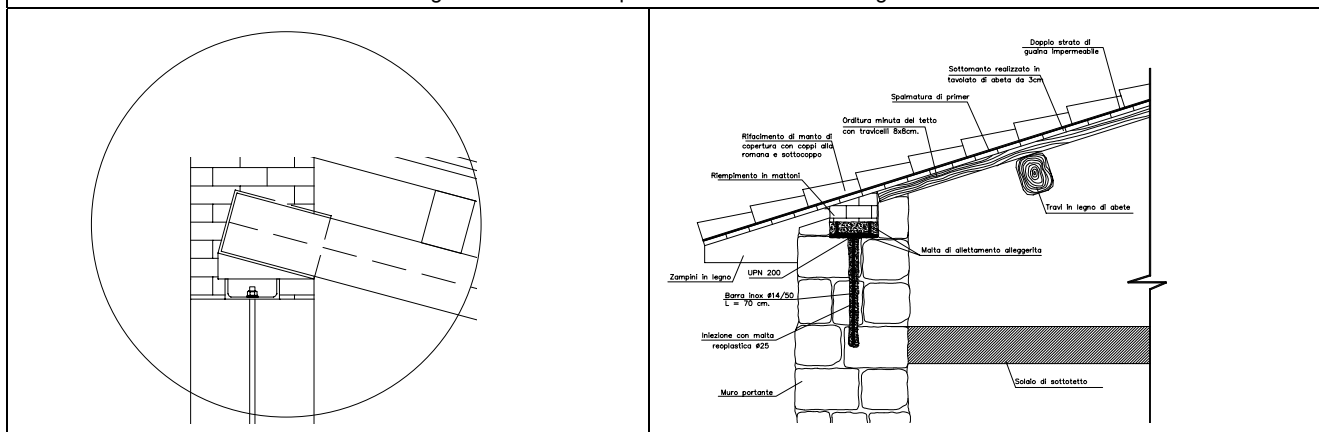


Figura B.11.3 – Alcuni esempi di cordolature in sommità della muratura

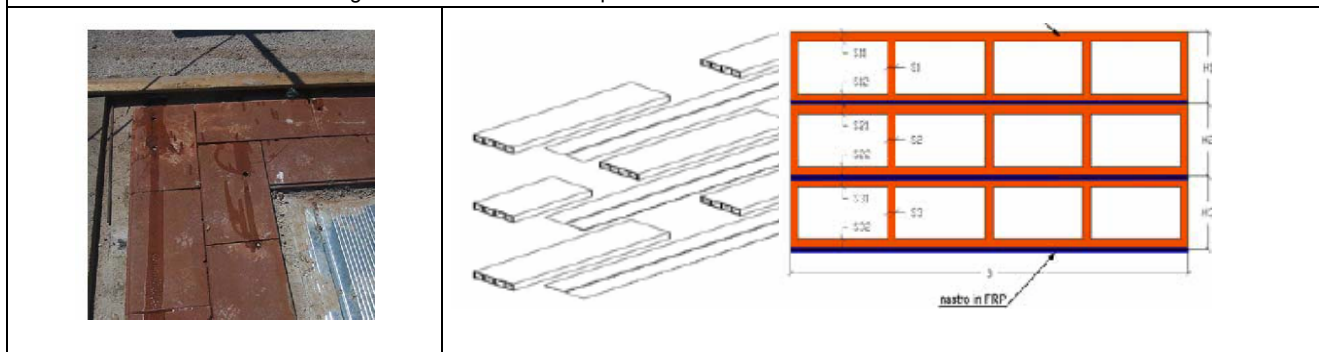
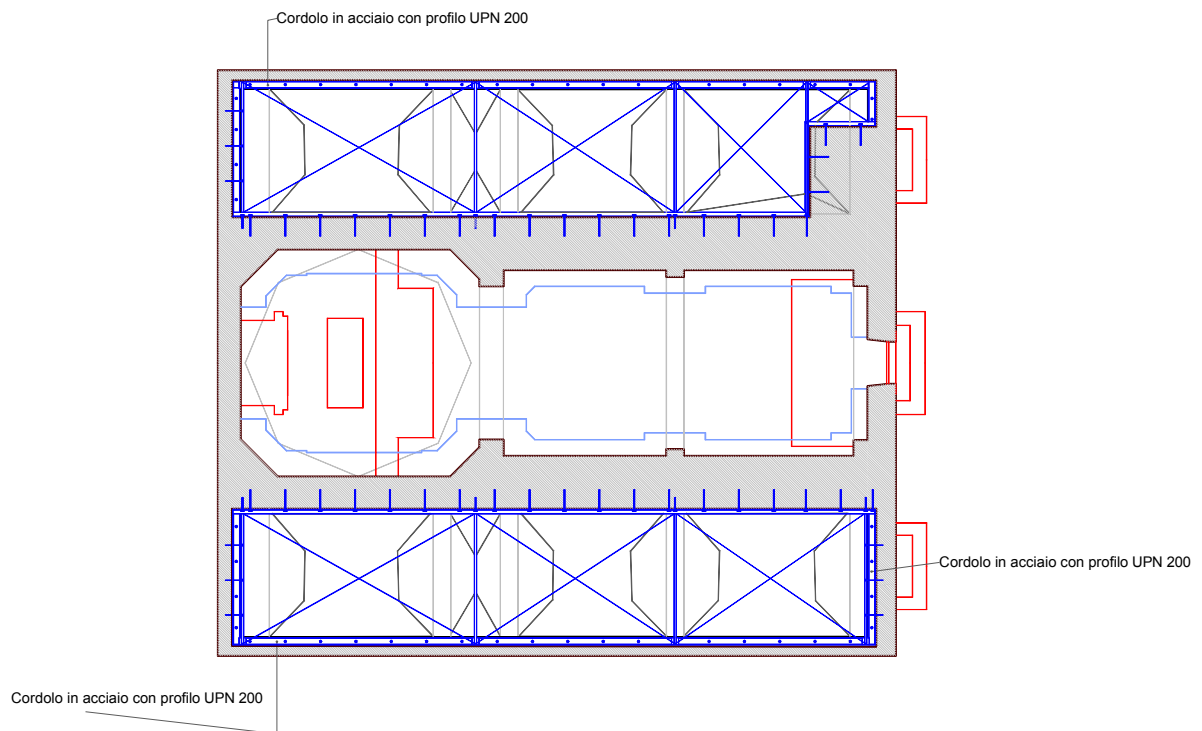
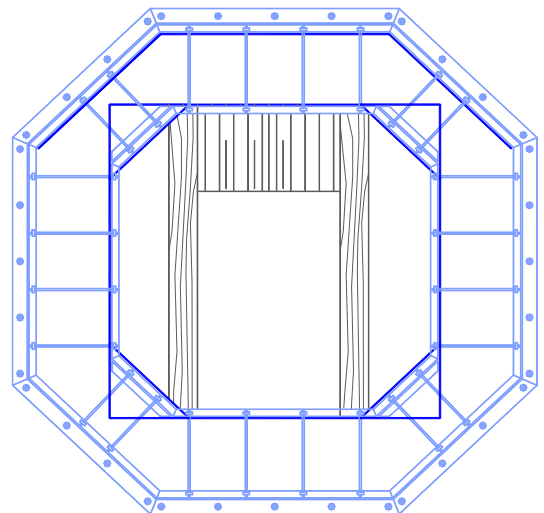
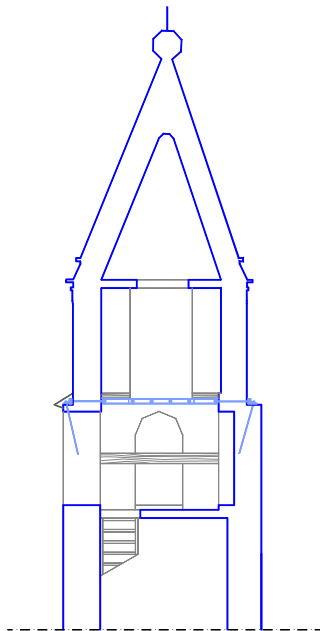


Figura B.11.4 – Particolari costruttivi dei cordoli in laterizio lamellare con FRP

Devono essere evitati cordoli inseriti nello spessore della muratura ai livelli intermedi, mentre possono risultare utili cordoli in acciaio, realizzati con piatti o profili sui due paramenti, collegati tra loro tramite barre passanti. Essi forniscono una certa rigidezza flessionale fuori dal piano della parete e ostacolano lo sviluppo di meccanismi di rottura delle fasce sopra porta e sotto finestra (meccanismo tirante-puntone).



Cordolo in copertura



Cordolo di collegamento tra la cella campanaria e il tamburo della guglia

4. CERCHIATURE DI APERTURE

4.1 Principi funzionali di base

Sono costituite da telai in c.a. di spessore ridotto o in acciaio collegati alla muratura adiacente tramite perforazioni armate.

Le cerchiature possono essere realizzate:

- in c.a.;
- in acciaio;

4.3 Applicazione della tecnica

Realizzazione di cerchiature di aperture in c.a.:

- realizzazione di perforazioni armate su tutto il perimetro della foratura ad un interasse di 60-70cm. con perfori di 35mm. (ϕ 35) armati con barre di diametro pari a 16mm. (ϕ 16) inghisate con boiacca cementizia a ritiro compensato;
- posa in opera delle armature metalliche dei montanti e dei traversi;
- verifica degli ancoraggi e delle sovrapposizioni delle barre (staffe chiuse);
- predisposizione dei casseri distanziandoli dalle armature con appositi distanziatori per il rispetto del copriferro di progetto;
- esecuzione del getto in c.l.s

Realizzazione di cerchiature di aperture in profilati di acciaio:

- posa in opera dei montanti metallici e dei traversi a riquadrare le aperture;
- collegamento tra i profili sullo spessore della muratura tramite barre filettate o piatti metallici saldati;
- irrigidimento dei nodi d'angolo con piatti di rinforzo;
- esecuzione, previa foratura della muratura e dei profili, degli ancoraggi su tutto il perimetro dell'apertura tramite barre 16/60-70cm. con l'estremità filettata, inghisate con boiacca cementizia a ritiro compensato nei perfori ϕ 35, e dado di serraggio.

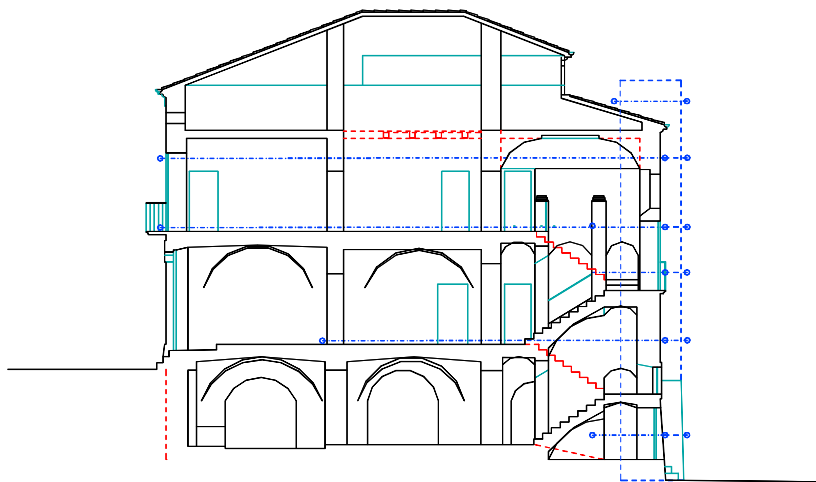
4.4 Accorgimenti, varianti e limiti

E' importante che in entrambi i casi gli elementi costituenti la cerchiatura stessa siano debitamente ancorati alle murature su cui si intestano con perforazioni armate.

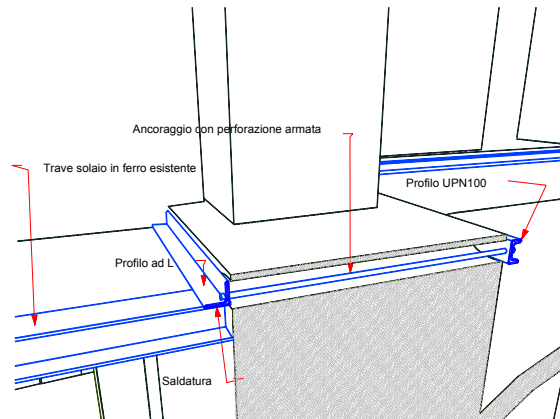
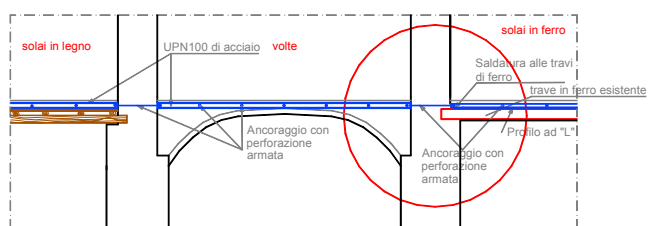
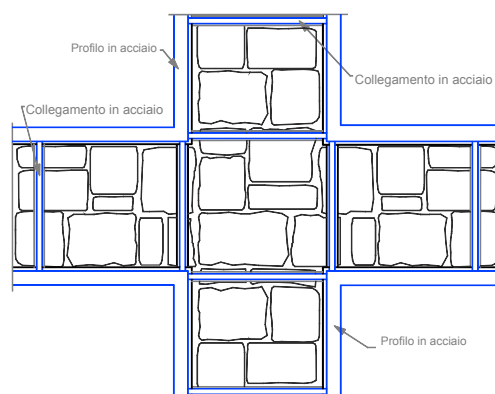
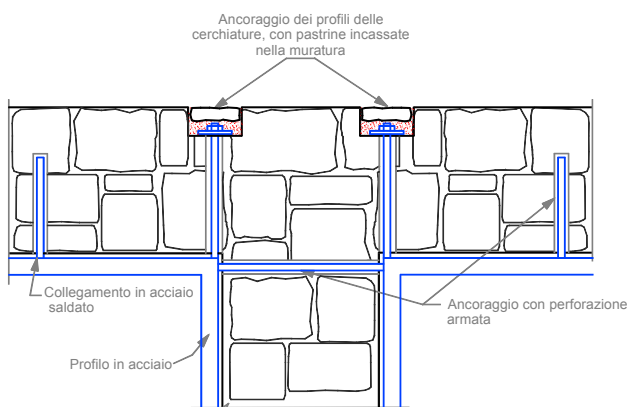
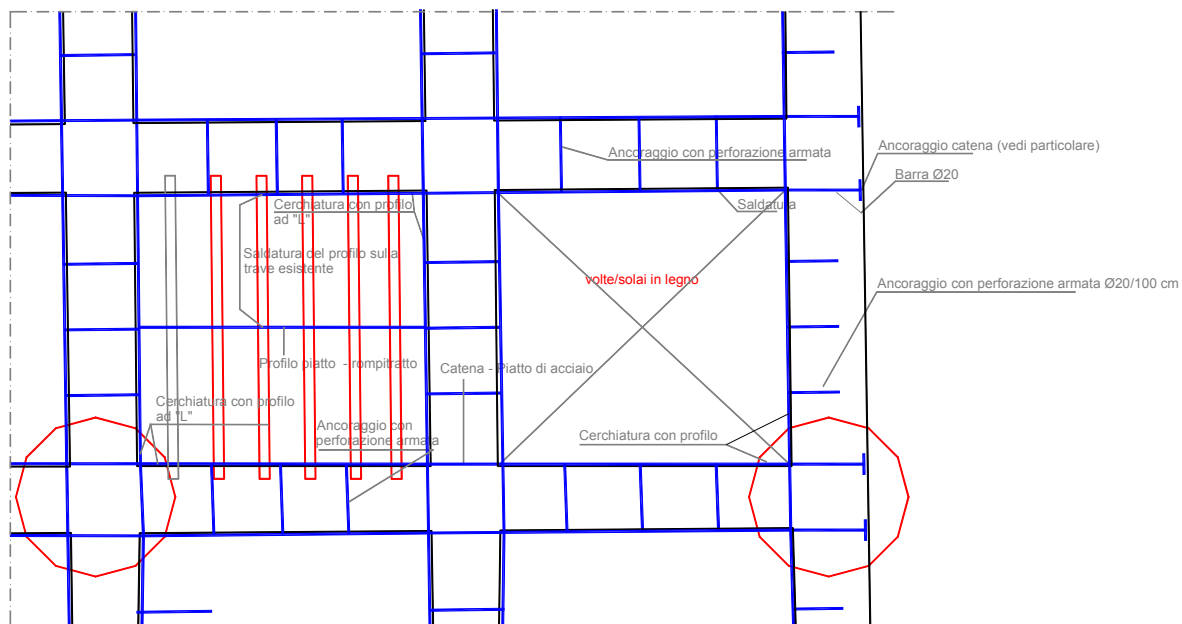
4.5 Riferimenti normativi

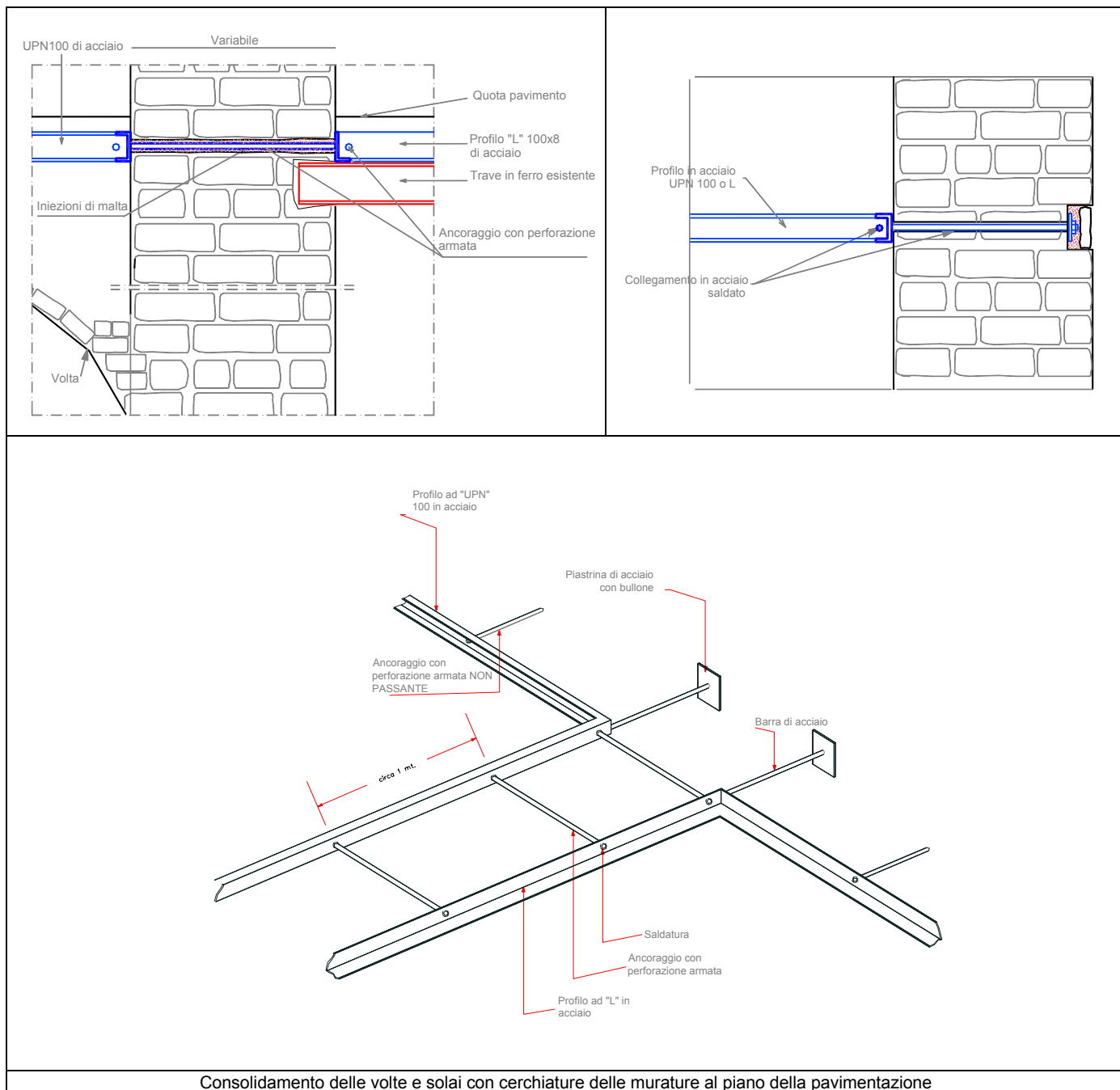
cerchiature esterne ordinanza pcm 3274 s.m.i. - allegato 2

In alcuni casi, si possono realizzare con elementi metallici o materiali compositi, allo scopo di "chiudere" la scatola muraria e di offrire un efficace collegamento tra murature ortogonali. Tale intervento può risultare efficace nel caso di edifici di dimensioni ridotte, dove i tratti rettilinei della cerchiatura non sono troppo estesi, o quando vengono realizzati ancoraggi in corrispondenza dei martelli murari. E' necessario evitare l'insorgere di concentrazioni di tensioni in corrispondenza degli spigoli delle murature, ad esempio con opportune piastre di ripartizione o in alternativa, nel caso si usino fasce in materiale composito, procedendo allo smusso degli spigoli.



Cerchiaggio ai vari livelli





5. SCUCI CUCI

SCHEDA B.2

(Linee guida per gli interventi di riparazione del danno e miglioramento sismico per gli edifici di culto e monumentali - parte seconda - Regione Molise CNR-DAST-UOIG - approvate con Decreto del Commissario Delegato n.70/2004)

5.1 Principi di funzionamento di base

Questo intervento si effettua in presenza di murature lesionate o degradate limitatamente a zone circoscrivibili. Tale tecnica consiste, nel ripristino della continuità muraria attraverso la rimozione degli elementi (lapidei o laterizi) lesionati o degradati e la realizzazione di una nuova tessitura muraria con nuovi elementi sani senza interrompere la funzione statica della muratura nel corso dell'applicazione o nella creazione della connessione efficace tra elementi di incroci e martelli murari, da realizzare, nei casi in cui esista una discontinuità netta, attraverso la messa in opera di morse tra incroci murari..

5.2 Campi di applicazione

Il campo di applicazione della tecnica del "cuci-scuci" è obbligatoriamente confinato a quelle situazioni che presentano stati fessurativi o di degrado che interessano zone di parete di estensione modesta. Esso non può, quindi, essere inteso come un intervento di consolidamento diffuso per quelle situazioni in cui la muratura presenta un degrado complessivo e legato in genere ad una scarsa qualità muraria. Tale intervento, è consigliabile inoltre qualora si abbiano murature in pietrame con collegamenti tra pareti confluenti affidati ad elementi di forma e dimensioni non idonee ad attuare un buon collegamento. Si consiglia di realizzare tale intervento utilizzando materiali inerti simili per forma e dimensioni a quelli delle murature da collegare con malte a ritiro nullo o leggermente espansive.

Tale tecnica potrà, ad esempio, essere adottata quando la muratura presenta lesioni a seguito di un dissesto specifico la cui natura in genere non è legata ad una scarsa qualità muraria.

Affinché la tecnica del "cuci-scuci" possa essere applicata, è necessario che la muratura presenti una minima regolarità nella tessitura (presenza di corsi orizzontali, forma degli elementi); nel caso di muratura irregolare (ciottoli o mista) è impossibile ripristinare una continuità con tale tecnica mentre, è preferibile l'iniezione locale di malta. E' importante che la porzione di muro di nuovo inserimento non sia troppo dissimile per rigidità e resistenza rispetto al materiale originario, in modo da non arrecare un disturbo al comportamento di insieme della parete. Un buon intervento non dovrebbe far notare la differenza tra la zona preesistente e quella sostituita. Per la chiusura di nicchie e vuoti si dovrà porre particolare attenzione nel realizzare un efficace collegamento dei nuovi elementi di muratura con quelli esistenti non solo nel piano del paramento murario ma anche trasversalmente al paramento stesso. Tale intervento è obbligatorio qualora la nicchia/apertura/vuoto sia posizionata a ridosso dell'incrocio con muri ortogonali esterni. La chiusura di nicchie e la riduzione dei vuoti può essere effettuata a tutto spessore o a parziale spessore.

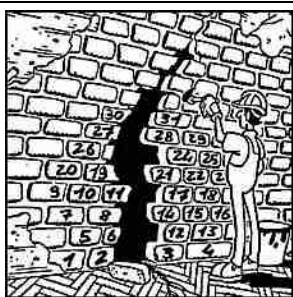
5.3 Applicazione della tecnica e fasi operative

Si riportano di seguito le fasi operative di tale tecnica d'intervento. Si sottolinea come potrebbe essere necessario realizzare puntellature e opere di sostegno provvisori per le parti del manufatto interessate dall'intervento per prevenire crolli o deformazioni indesiderate.

Per quanto riguarda i materiali utilizzati, si fa notare come i mattoni si prestino meglio, rispetto alla pietra, ad essere sagomati secondo necessità. In ogni caso non è necessario che il nuovo materiale sia di uguale natura, forma e dimensione di quello preesistente, fatta eccezione, per quelle circostanze nelle quali si intenda porre una particolare attenzione agli aspetti estetici dell'intervento.

Si pone in evidenza, inoltre, come la riparazione delle lesioni debba sempre seguire ad una diagnosi che individui precisamente la natura del dissesto e succedere, quindi, agli interventi di consolidamento nei riguardi dello stesso (cedimenti di fondazione, rotazioni di pareti murarie...).

	1 - <i>Puntellamento</i> di entrambi i lati del muro.
	2 - Recuperare materiale antico uguale a quello da integrare La muratura sulla quale si deve operare presenta mattoni lesionati o mancanti. Inoltre la tecnica del "cuci - scuci" comporta lo smontaggio dei laterizi circostanti, con i conseguenti rischi di fratture: si ha pertanto la necessità di disporre di una certa quantità di mattoni uguali a quelli esistenti. Usare mattoni diversi per dimensioni genera discontinuità nella trama e provoca scollamenti strutturali fra parti vecchie e parti nuove; la presenza di laterizi con diversa compattezza e quindi con diverso grado di assorbimento può generare altri problemi, ad esempio in fase di intonacatura. Occorre quindi trovare elementi uguali a quelli esistenti, eventualmente reperiti in demolizioni di altre zone dello stesso fabbricato.
	3 - <i>Raschiatura e pulitura</i> dei bordi del vano che si ricava nello spessore del muro.

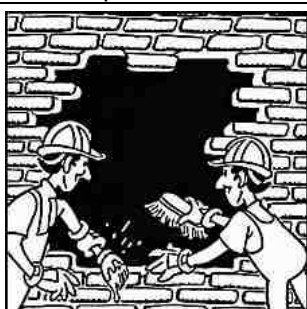


4 - Individuare la zona da cui iniziare e la direzione di sviluppo

La tecnica si usa in presenza di un quadro fessurativo della muratura che può presentarsi più o meno complesso, ramificato ed esteso. Normalmente si inizia dal punto più in basso, ma non è una regola immutabile: occorre valutare con attenzione come deve progredire il lavoro, tenendo conto anche delle eventuali tensioni presenti nella muratura stessa. Può essere molto utile eseguire delle fotografie mentre si esegue tale operazione.

5 - Iniziare a smontare la zona di muratura scelta

Utilizzando punta e mazzetta e scalpelli a punta larga si va ad agire sui giunti tra mattone e mattone, cercando di scalzare ogni singolo elemento senza romperlo o danneggiarlo. Possono essere utilizzati anche cunei in ferro oppure, in caso di forte adesione della malta, strumenti abrasivi (ad esempio seghetti). Deve essere sconsigliato, se non in casi estremi, l'uso del flessibile. La zona smontata deve avere una dimensione limitata (non più di 20 - 30 mattoni per volta) e deve avere un contorno frastagliato per permettere la successiva immorsatura tra la parte esistente e quella rifatta.



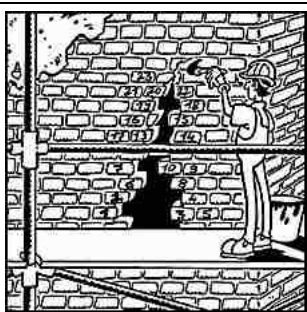
6 - Preparazione delle superfici e dei mattoni

E' necessario a questo punto preparare le superfici ed i mattoni per la messa in opera; con picchette, spazzole ed eventualmente getti d'aria pulire accuratamente la muratura ed i mattoni ricavati. Quindi bagnare il tutto per favorire l'adesione della malta.



7 - Ricucire la muratura

Occorre in primo luogo preparare la malta : l'operazione, apparentemente semplice, deve essere studiata ed eseguita con cura, perché si deve ottenere una malta il più possibile simile a quella originale. In murature strutturali succede spesso che il cemento utilizzato a rinforzo determini nuovi motivi di dissesto nelle parti rimanenti a causa delle più elevate caratteristiche di resistenza. A questo punto, utilizzando i mattoni di recupero o analoghi preventivamente bagnati, si inizia a porre in opera i corsi di laterizi prestando particolare attenzione a ripetere la configurazione originale e gli opportuni spessori di malta.



8 - Ripetere scucitura e cucitura secondo la direzione prefissata

A questo punto dobbiamo ripetere l'operazione seguendo la direzione che avevamo stabilito. E' necessario che il processo di presa della malta nella prima zona sia iniziato ma non ancora concluso, per permettere un comportamento il più possibile omogeneo alla parte ricucita.



9 - Risarcire i giunti degradati e stuccare le fughe e rifinitura della muratura

Con la stessa malta usata per legare i mattoni, eventualmente additivata con polvere di cotto a granulometria disomogenea, si risarciscono i giunti degradati nella restante muratura esistente e, nel caso di muratura faccia a vista, si stuccano le fughe. Quando l'operazione è completata possiamo procedere alle operazioni di finitura applicando l'intonaco o lasciando la muratura faccia a vista. Si realizzano infine ammorsature adeguate alle murature esistenti sia trasversali che paralleli al piano della muratura.

5.4 Accorgimenti varianti e limiti

La tecnica richiede in fase preventiva e diagnostica un'attenta e prudente valutazione della stabilità e dell'equilibrio della muratura oggetto di intervento e, un'accurata esecuzione che eviti di determinare rotture e crolli. Per tali motivi è sempre consigliabile procedere per sezioni successive e di limitata estensione eventualmente puntellando la struttura. La scelta dei materiali, inoltre, non può essere governata esclusivamente da ragioni estetico-formali.

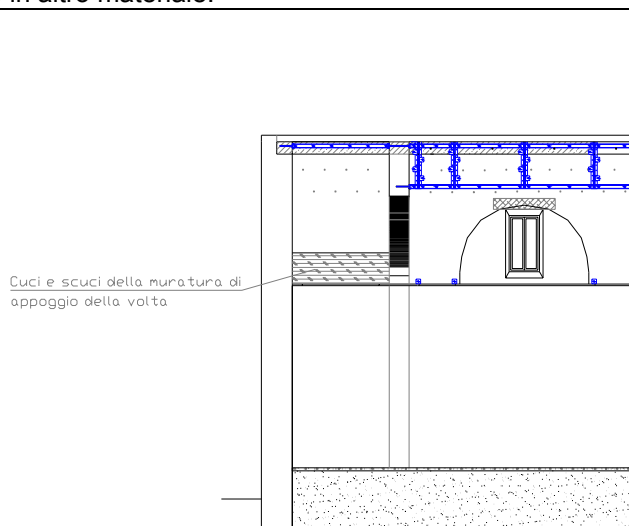
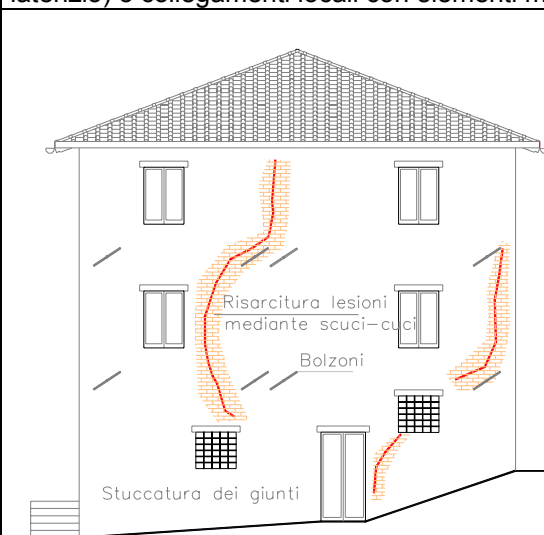
La tecnica non garantisce un adeguato ripristino della continuità del nucleo interno ma è efficace solo per murature con buoni paramenti, o dotati di tessitura regolare e di notevole spessore rispetto all'eventuale nucleo interno.

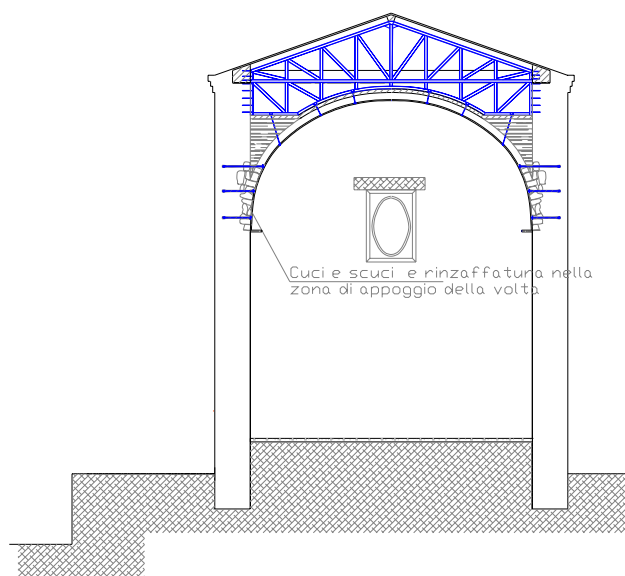
E' necessario porre particolare attenzione agli interventi di "cuci-scuci" quando si opera su manufatti in zone sismiche, poiché se non si assicura un saldo legame tra le nuove porzioni di muratura e quelle preesistenti, si può rischiare la sconnessione e il crollo della struttura.

5.5 Riferimenti normativi

ammorsatura ordinanza pcm 3274 s.m.i. - allegato 2

Un'adeguata ammassatura tra parti adiacenti o tra murature che si intersecano, si può realizzare, qualora i collegamenti tra elementi murari siano deteriorati (per la presenza di lesioni per danni sismici o di altra natura) o particolarmente scadenti; si precisa infatti che questi interventi di collegamento locale sono efficaci per il comportamento d'assieme della costruzione in presenza di murature di buone caratteristiche, mentre per le murature scadenti è preferibile l'inserimento di tiranti, che garantiscono un miglior collegamento complessivo. L'intervento si realizza o attraverso elementi puntuali di cucitura (tecnica scuci e cuci con elementi lapidei o in laterizio) o collegamenti locali con elementi metallici o in altro materiale.





6. TIRANTINI ANTIESPULSIVI

SCHEDA B.3

(Linee guida per gli interventi di riparazione del danno e miglioramento sismico per gli edifici di culto e monumentali - parte seconda - Regione Molise CNR-DAST-UOIG - approvate con Decreto del Commissario Delegato n.70/2004)

6.1 Principi funzionali di base

La tecnica consiste nella realizzazione o nel ripristino della continuità muraria attraverso il collegamento dei paramenti di una parete in muratura tramite barre metalliche passanti, ancorate con piccole piastre bullonate. L'intervento è indicato in presenza di murature con paramenti scollegati (murature "a sacco" od a paramenti accostati non connessi), soprattutto nei casi in cui sono evidenti gli spancamenti (instabilità locale). Tali collegamenti, anche se puntuali, garantiscono una certa efficacia in un intorno della piastra, grazie all'attrito tra gli elementi. Nel caso d'azioni orizzontali, che producono il ribaltamento della parete (azioni sismiche, spinte di volte o archi), i tirantini non garantiscono la realizzazione di una monoliticità della parete, non essendo dotati di resistenza a taglio.

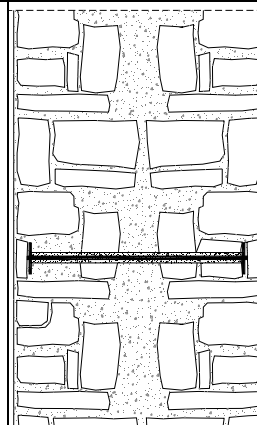
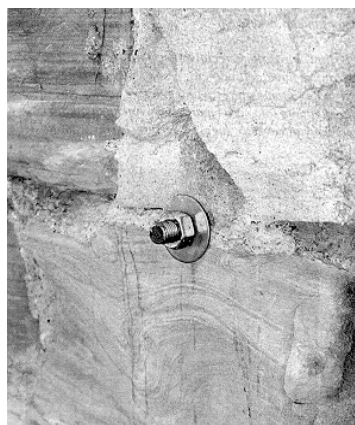


Figura B.3.1 – Alcuni esempi di applicazione di tirantini antiespulsivi (con rondella, piastra di piccole dimensioni, e ancoraggio non in vista)

6.2 Campi d'applicazione

L'efficacia dell'intervento è subordinata alla presenza di una certa qualità muraria iniziale. Nel caso di murature disordinate con pietre di piccola pezzatura, l'azione del tirantino è limitata ad una piccola area e la stessa presollecitazione cui l'elemento è sottoposto durante la posa, potrebbe indurre fessurazioni sulla parete.

Nei riguardi della conservazione, l'intervento è facilmente leggibile e localizzato ma, se realizzato in modo diffuso, può assumere un significativo impatto visivo. Dal momento che non è necessario iniettare le barre, tale tecnica d'intervento può essere considerata in qualche maniera reversibile. Dato il materiale adottato, si ritiene che il campo d'applicazione più idoneo sia quello di un consolidamento puntuale nelle zone soggette a spancamento (dove si è riscontrato un inizio di dissesto). In questo senso, l'intento è analogo alle cerchiature delle colonne, quando è evidente l'attivazione di fenomeni di rottura per compressione (vedi scheda B.1.9). In casi particolari, per murature con grossi conci lapidei, l'intervento può essere mascherato asportando, con la carotatrice, un piccolo cilindro lapideo e ricoprendo la piastra inserita all'interno. In questi casi, tuttavia, raramente la muratura necessita di tale intervento.

6.3 Applicazione della tecnica e fasi operative

Le fasi operative sono legate alla determinazione progettuale d'alcuni aspetti fondamentali. In primo luogo bisogna valutare il passo delle perforazioni, che dipende dalle dimensioni degli elementi lapidei e dalla gravità del dissesto: in genere l'indicazione riportata in vari manuali è di assumere una maglia di 1 perforazione ogni m². L'esecuzione dei fori deve essere effettuata tramite un trapano a rotazione, utilizzando una punta da 20÷25 mm in modo da potere agevolmente inserire delle barre filettate all'estremità (ϕ 16÷20 mm). Le piastre metalliche devono avere un diametro opportuno, in relazione alla qualità della muratura (nel caso di ciottoli o nel caso di murature con malta abbondante il diametro consigliato è di 8÷10cm) e il serraggio finale deve essere effettuato in modo da attribuire una piccola presollecitazione alle barre.

6.4 Accorgimenti varianti e limiti

Di seguito vengono riportati, per punti, alcuni utili accorgimenti per la messa in opera di tale tecnica d'intervento. L'esecuzione del foro deve essere effettuata in modo che almeno su uno dei due lati sia individuata una posizione ottimale per l'ancoraggio. E' necessario al fine di eliminare problemi di corrosione l'utilizzazione, se possibile, di barre in acciaio inox o in titanio. E' necessario, inoltre, verificare il serraggio dopo la posa in opera dei tiranti adiacenti e comunque alcuni giorni dopo la posa in opera. Come in parte già accennato, è possibile nascondere le piastre solo in murature a grossi conci lapidei; in murature irregolari la realizzazione di piccoli scassi fa perdere completamente efficacia all'intervento.

