



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"**

EDIFICI IN MURATURA
Aggiornamento Marzo 2012



**analisi delle principali tecniche di intervento ritenute invasive dalla
vigente normativa sismica e delle soluzioni alternative**

A cura di Alberto Lemme, Claudio Pasquale, Carmenzo Miozzi e Giandomenico Cifani



collaborazione : Commissione Sismica "Sisma Molise 2002"

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

A - ANALISI DELLE PRINCIPALI TECNICHE DI INTERVENTO E LIMITI DELLA LORO APPLICABILITA' - allegato 3B
(gennaio 2006)

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..

A1 - 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

A2 - 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 capichave 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 capichave 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	
Crociera 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 capichave 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 capichave 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 capichave	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 capichave 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	
Crociera 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 capichave	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 scuci e cucì con mattoni piani o pietra sbazzata 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 sbazzata o squadrata avente caratteristiche meccaniche a quella esistente	X	
Ricostruzione di muri con mattoni pieni o pietrame sbazzato 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 sbazzata 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 sbazzata o squadrata con caratteristiche meccaniche a quella esistente	X	
Ricostruzione di muri con mattoni pieni o pietra sbazzata 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 terzi o delle travi di colmo con la muratura del timpano)	X	
Inserimento di capichiave	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	

B - ANALISI DELLE PRINCIPALI TECNICHE DI INTERVENTO RITENUTE INVASIVE DALLA VIGENTE NORMATIVA SISMICA E DELLE SOLUZIONI ALTERNATIVE (Marzo 2012)

A partire dal 2006 nei progetti di miglioramento sismico degli edifici in muratura spesso sono stati proposti interventi e soluzioni che prevedono il consolidamento delle murature con malta cementizia e il ricorso alla realizzazione di elementi strutturali in cemento armato che sono stati sconsigliati sia dalla recente normativa sismica del 2008 che dal protocollo di progettazione introdotto a seguito del sisma del 2002 per la ricostruzione in Molise.

Tali interventi sono ritenuti invasivi, non reversibili, non rispettosi delle tecniche e della concezione strutturale originaria della struttura ed inoltre introducono irrigidimenti ed elementi costruttivi che al collaudo dei passati terremoti hanno evidenziato una risposta sismica non efficace.

A tal proposito si ritiene opportuno evidenziare le problematiche connesse con la loro esecuzione e si forniscono alcune soluzioni tecniche da considerare alternative agli interventi in questione.

Si evidenzia, inoltre, che ai sensi del codice dei Beni Culturali sono ritenuti di interesse culturale gli edifici con età superiore a 70 anni che costituiscono il tessuto edilizio dei centri storici per i quali vanno applicate le "Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni" che illustrano in modo indiscutibile gli effetti negativi conseguenti l'impiego di tali interventi.

Si riporta una sintesi degli interventi da evitare suddivisi per elementi strutturali :

Strutture verticali

- Posa in opera di intonaco cementizio armato con rete elettrosaldata in acciaio sulle pareti verticali
- esecuzione di perforazioni armate con barre di acciaio ancorate con iniezioni di cemento;
- consolidamento delle murature con malta cementizia;
-

Strutture orizzontali

- consolidamento delle strutture voltate con cappe in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata;
- esecuzione di solette rigide sugli orizzontamenti di aggregati edilizi irregolari;
-

Interventi in copertura

- esecuzione di cordoli in calcestruzzo armato di elevato spessore;
-

irrigidimenti localizzati con elementi in cemento armato

In allegato è riportato un estratto delle citate Linee Guida che forniscono soluzioni alternative alla esecuzione di tali interventi.

B1 - POSA IN OPERA DI INTONACO CEMENTIZIO ARMATO CON RETE ELETTROSALDATA IN ACCIAIO SULLE PARETI VERTICALI

Criticità e limiti alla applicazione

"Il placcaggio delle murature con intonaco armato è un intervento invasivo e non coerente con i principi della conservazione; esso risulta efficace solo se realizzato su entrambi i paramenti e se sono poste in opera barre trasversali di collegamento. Tale tecnica può essere presa in considerazione solo in singoli maschi murari, pesantemente gravati da carichi verticali o danneggiati da eventi sismici; in questi casi un'alternativa può essere anche la demolizione e ricostruzione della porzione muraria. Dal punto di vista sismico, è opportuno considerare che l'elevata rigidità a taglio dei pannelli murari così rinforzati altera profondamente il comportamento originario della costruzione; in genere ciò comporta negativi effetti sulla regolarità in pianta della costruzione, ma in rari casi può consentire di limitare le eccentricità tra i baricentri delle masse e delle rigidità. Nel caso di murature gravemente danneggiate e inconsistenti, sulle quali non sia possibile intervenire altrimenti, l'intervento può risultare efficace ma coincide con la perdita di autenticità del manufatto.

Il placcaggio con tessuti o lamine in materiale fibrorinforzato è anch'esso un intervento invasivo, la cui efficacia va adeguatamente comprovata, sia a livello locale che di comportamento globale; inoltre valgono le considerazioni già formulate al punto 6.3.2, relativamente alla compatibilità di questi materiali e delle resine di incollaggio con la muratura storica. Tale tecnica può rappresentare una soluzione per interventi localizzati, ad esempio rinforzi flessionali di fasce murarie, verticali od orizzontali, o mirati ad assorbire la spinta di elementi della copertura, di archi e di volte."

Interventi consigliati

Per il rinforzo delle murature molto danneggiate è possibile prevedere la ricompattazione del paramento murario con stuccatura profonda dei giunti con malta a base di calce, cucì e scuci localizzati, sigillatura e rinzeppatura delle lesioni e realizzazioni di connessioni trasversali in acciaio o altri materiali aventi funzione di diatoni. Eventualmente possono essere eseguite iniezioni a base di malta idraulica non cementizia e la finitura con intonaco a base di calce rinforzato o fibrorinforzato evitando l'impiego di materiali a matrice epossidica. Soluzioni alternative possono prevedere la posa in opera di un sistema di cuciture armate attive con fasce in acciaio inox (CAM) e posa in opera di un reticolo flessibile avente resistenza a trazione inserito nei giunti murari e collegato alla pareti con connessioni meccaniche (reticulatus).

B1.1 - RETICULATUS - Ristilatura con SRG di murature storiche

Antonio Borri, Marco Corradi, Emanuela Speranzini, Andrea Giannantoni,

La tecnica di rinforzo è particolarmente idonea per costruzioni murarie in pietra dove è richiesto il mantenimento della muratura faccia-vista. La tecnica consiste nell'inserimento nei giunti di malta di un reticolato continuo di piccoli trefoli in acciaio UHTSS, i cui nodi sono fissati mediante barre metalliche trasversali al paramento murario. Il risultato è quello di una muratura armata, per la quale si ha, come già confermato dalle prime sperimentazioni, un incremento della resistenza a compressione, a taglio e a flessione e un efficace collegamento trasversale tra i paramenti della muratura. L'intervento risulta poco invasivo, reversibile, inteso ad integrare la muratura e non a sostituirla, compatibile con la conservazione materica del manufatto e durevole, dato l'impiego di materiali ad elevata durabilità. La tecnica in oggetto si propone sia autonomamente, sia come integrativa di altre tecniche (ad esempio le iniezioni) e può fornire contributi sia nei confronti di sollecitazioni dinamiche di tipo sismico, sia di azioni statiche verticali.

Materiali impiegati e requisiti richiesti

Per la realizzazione sono impiegati i seguenti materiali:

a) trefoli in acciaio UHTSS (Ultra High Tensile Strength Steel), ricavabili da rotoli presenti sul mercato. I rotoli, larghi circa 30 cm (fig.1a) e della lunghezza variabile (da 15 m fino a 1500 m) sono costituiti da una serie di trefoli disposti parallelamente tra loro (fig. 1b e 1c) e tenuti insieme da una maglia in poliestere.

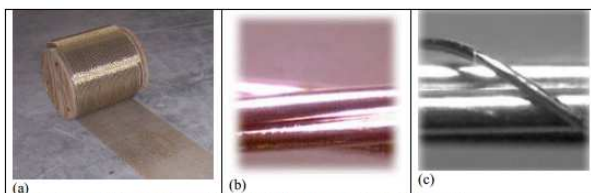


Fig. 1: (a) Rotoli di trefoli in acciaio UHTSS, (b) 3X2 trefolo, (c) 3SX trefolo.

b) Risulta quindi semplice sfilare dal nastro i trefoli per poterli quindi utilizzare singolarmente. È possibile comunque servirsi anche di altri materiali, quale ad esempio materiali compositi (funi o trefoli) o funi di acciaio zincato, purché applicabili con malta cementizia o a base calce;

c) barre di acciaio zincato filettate all'estremità, che, mediante una apposita rondella con rostri e un dado di chiusura (fig. 2), consentono di trattenere il trefolo all'interno del giunto di malta. In alternativa possono essere usati dei "fittoni" in acciaio zincato (fig. 3), anche questi disponibili sul mercato, normalmente impiegati nelle "ferrate" (percorsi su roccia) per aggrapparsi alle pareti rocciose. Si tratta essenzialmente di paletti a punta che possono essere infissi nel paramento, ed hanno all'estremità un gancio o un anello attraverso il quale si può far passare un cavetto. La caratteristica più interessante dei trefoli UHTSS risiede nel fatto che la dimensione molto ridotta (diametro medio tipico del trefolo: 1 mm) e la forma stessa dei trefoli, ottenuti avvolgendo tra loro elicoidalmente i singoli cavi di acciaio (tipicamente 3-4 cavi) portano ad una elevata aderenza e compatibilità tra i trefoli e la malta che li avvolge, garantendo così un ottimo comportamento meccanico dell'insieme "pietra-malta-trefolo". Inoltre, le ridotte dimensioni consentono di curvare agevolmente e a piacimento i trefoli, per farli passare nei giunti tra i vari elementi lapidei costituenti la muratura. Per quanto concerne la compatibilità chimica dei materiali sopraelencati, sono state condotte (c) alcune prove di corrosione che hanno dimostrato la possibilità di utilizzo di tali materiali anche con malta a base di calce.

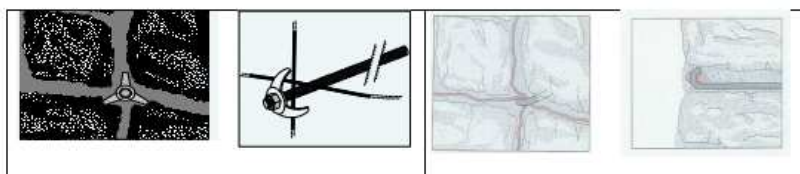


Fig. 2 – Particolare di aggancio delle barre filettate con rondella e dado.

Fig. 3 – Particolare di aggancio dei fittoni in acciaio.

La tecnica e il campo di applicazione

Il sistema di rinforzo, a cui è stato dato il nome "Reticolatus", consiste nella scarnitura dei giunti di malta per una profondità di 6-8 cm, nell'inserimento nei giunti di malta di una maglia continua costituita dai sottili trefoli in acciaio UHTSS i cui nodi sono fissati mediante barre metalliche trasversali al paramento murario e nel rabbocco di malta cementizia o a base di calce andando a ricoprire completamente sia i trefoli che le teste dei fittoni o delle barre. Gli elementi trasversali (barre filettate in acciaio zincato o fittoni), tipicamente in numero minimo di 4 a metro quadro e comunque in funzione delle necessità progettuali, sono disposti per quanto possibile in modo regolare secondo una maglia quadrata ed inseriti fino ad interessare 15-20 cm (per gli interventi di rinforzo delle facce esterne) oppure arrivando ad almeno i due terzi dello spessore del paramento murario, nel caso in cui si vuole ottenere anche un collegamento tra i paramenti. L'inserimento sulla faccia su cui si lavora avviene all'interno dei giunti di malta ed il perforo, in ogni caso, deve rimanere contenuto nello spessore murario per almeno 7-8 cm. La testa deve restare all'interno della faccia su cui si sta lavorando per almeno 3-4 cm. Poiché i lati della rete sono flessibili e passano nei ganci o negli anelli degli elementi trasversali senza essere solidali a questi ultimi, è possibile disporli precisamente lungo i giunti (precedentemente scarniti) degli elementi costituenti la muratura, qualunque ne sia l'andamento. L'ampiezza della maglia è condizionata dalle dimensioni e dalla forma degli inerti, ed in generale sarà non superiore allo spessore murario. Valori, per le murature irregolari tipiche dell'Italia centrale, possono essere compresi tra 30 e 50 cm. Le dimensioni ridotte degli elementi di rinforzo ed il loro agevole inserimento nei giunti di malta consentono di realizzare un intervento diffuso che evita nocive e pericolose concentrazioni di sollecitazioni. Per quanto riguarda la parte inferiore del pannello, i trefoli possono essere efficacemente ancorati girandoli intorno agli elementi lapidei alla base del pannello stesso o collegati alla fondazione (se esistente) attraverso perfori o connettori, a seconda dei casi. In sommità i trefoli possono essere collegati con il cordolo (se presente) oppure, ad esempio nelle mura di cinta, girati sul coronamento per andare ad interessare l'altra faccia del muro (fig. 4). Lo "scheletro armato" della maglia continua inserita nella muratura, oltre a rinforzare il pannello murario, va a collegare tra loro i diversi elementi murari contigui (pannelli ortogonali adiacenti, orizzontamenti, fondazioni, etc.) costituendo quindi un vero e proprio sistema di rinforzo dell'intera fabbrica muraria, specie se proposto come integrativo delle attuali tecniche "tradizionali" di intervento

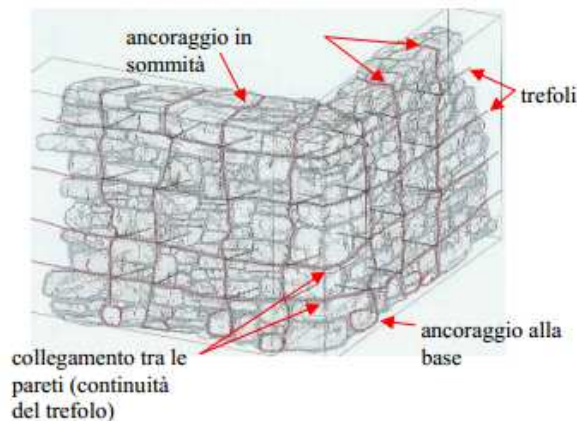


Fig. 4 – Intervento con “Reticolatus”: particolare della zona d’angolo.

Dal punto di vista meccanico si possono riconoscere, i seguenti possibili benefici attesi:

- 1) gli incrementi nella caratteristiche meccaniche: sia della resistenza a compressione, che di quella a taglio, come anche delle capacità flessionali per azioni nel piano e ortogonali al piano della muratura;
- 2) la capacità di collegare, in modo diffuso, le lesioni, le pareti verticali tra loro e le pareti verticali con gli orizzontamenti;
- 3) la possibilità di fornire alla muratura quella resistenza a trazione che nel caso di murature irregolari (dove spesso si hanno giunti verticali allineati) non riesce a beneficiare nemmeno dell’effetto catena presente nelle murature regolari con ortostati e giunti ben sfalsati;
- 4) il collegamento trasversale tra i paramenti della muratura, essendo i fittoni o le barre trasversali disposti come diatoni artificiali capaci di dare monoliticità al pannello murario, opponendosi al distacco tra i paramenti e fornendo una adeguata resistenza a trazione (necessaria anche in presenza dei soli carichi verticali) e a taglio (necessaria nel caso di azioni che tendano a far ribaltare il pannello murario, e quindi a far scorrere tra loro i paramenti). Il sistema proposto può essere utilizzato per murature irregolari, sia a livello locale, ad esempio per singoli pannelli murari di edifici esistenti (mura di cinta, mura urbane, etc.), sia a livello globale, ovvero come sistema di rinforzo di una costruzione in muratura nel suo comportamento di insieme, con particolare, ma non esclusivo, riferimento al comportamento in presenza di sisma. Risulta particolarmente indicato per le murature faccia a vista di edifici vincolati ai sensi della legge di tutela degli edifici e dei manufatti in genere di interesse storico e architettonico, essendo sostanzialmente reversibile, limitatamente invasivo, durevole, in grado di integrare la muratura e non di sostituirla, e quindi compatibile con la conservazione materica del manufatto.

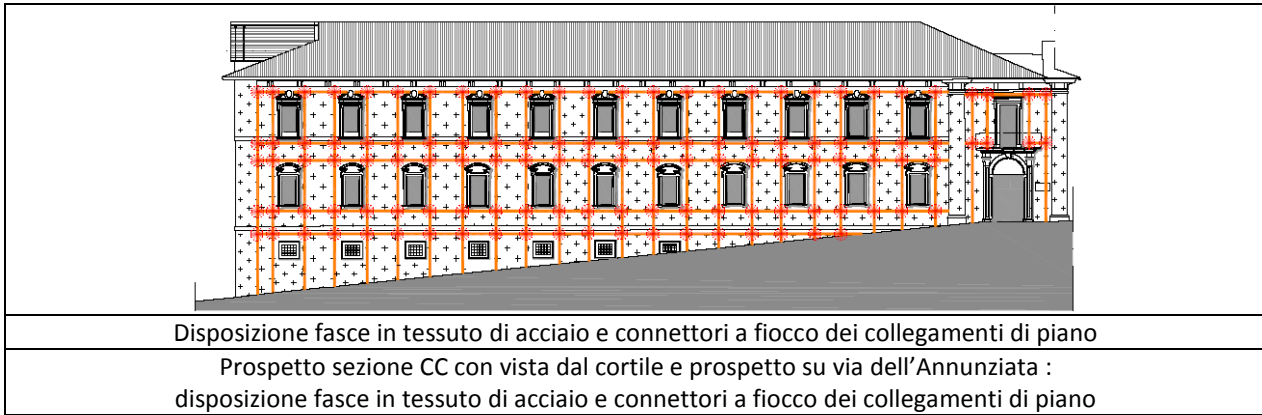
B2 - CONSOLIDAMENTO DELLE MURATURE CON INTONACO RINFORZATO CON AL BASALTO, RETICOLO IN TESSUTO DI ACCIAIO E CONNESSIONI TRASVERSALI

L’intervento prevede il consolidamento delle pareti murari a tutta superficie sia all’interno che all’esterno integrato da un reticolo resistente a trazione che favorisce la collaborazione dei maschi murari tra di loro e con le fasce di piano. Inoltre la presenza dei collegamenti di piano, disposti lungo il perimetro migliora la risposta nel piano delle pareti trasversali. Verticalmente sono previsti collegamenti ai lati delle aperture in modo da rinforzare il collegamento tra le fasce soprafinestre e i maschi murari. I collegamenti ortogonali saranno bloccati sulle facciate con connessioni a fiocco. Tale intervento va messo in relazione ai collegamenti di piano.

Interventi singoli previsti :

- spicconatura dell’intonaco e stuccatura profonda dei giunti;
- iniezione di malta a base di calce ;
- realizzazione di connessioni trasversali dei paramenti murari con barre in acciaio elicoidali a secco;
- rifacimento dell’intonaco con betoncino strutturale a base di calce con interposta rete al basalto.

Tali interventi sono da mettere in relazione ai collegamenti di piano e al rinforzo delle pareti operato con fasce di tessuto di acciaio.



Consolidamento delle strutture murarie

La muratura, come risulta dalle prove eseguite sulle strutture, è formata da :

- due paramenti accostati o debolmente ammorsati con malta di calce aerea friabile;
- elementi costitutivi composti da pietre calcaree leggermente sbazzate di pezzatura varia, da medie (15 cm ÷ 25 cm) a grandi (> 25 cm) dimensioni, in discreto stato di conservazione.
- Malta: calce aerea con scarsa consistenza (friabile) con funzione di allettamento.
- Rivestimento: intonaco esterno ed interno presente in scarse condizioni.

Il consolidamento delle strutture murarie comprende la stuccatura profonda dei giunti (B8), l' iniezione di malta a base di calce idraulica (B9), l' inserimento a secco di barre elicoidali in acciaio inox per il collegamento trasversale dei paramenti (B10) e il rifacimento dell'intonaco con betoncino di calce idraulica naturale sia all'interno che all'esterno, per l'intera superficie prevedendo un abbinamento con una rete termosaldata in fibra di basalto (B11).

Di seguito sono illustrate le fasi esecutive dell'intervento di consolidamento con indicazione delle modalità operative :

- pulizia e messa a vivo dei conci con spazzola a fili di acciaio e lavaggio con idropulitrice a bassa pressione della superficie;
- stuccatura profonda dei giunti (B8) e iniezione di malta a base di calce idraulica (B9):
 - scarnitura profonda dei giunti evitando accuratamente la scalpellatura degli stessi, loro preparazione secondo le indicazioni della Direzione Lavori;
 - esecuzione di un reticolo nel paramento, costituito da un numero adeguato di fori per iniezioni, mediamente n. 4 per ogni metro quadrato, utilizzando le cavità presenti nei giunti o praticando con trapano elettrico a sola rotazione, perforazione di diametro 20 mm;
 - fissaggio dei bocchigli con malta pronta a base di calce idraulica naturale ed inerti selezionati ad alte prestazioni meccaniche;
 - sigillatura dei giunti di allettamento con malta pronta a base di calce idraulica naturale ed inerti selezionati ad alte prestazioni meccaniche a granulometria controllata;
 - colatura di acqua, se necessaria al fine di inumidire le cavità da iniettare;
 - iniezioni a bassa pressione di speciale miscela inorganica a basso contenuto di sali idrosolubili (CaO libero= 4%) esclusivamente a base di calce idraulica naturale;
 - asportazione di bocchigli di iniezione e della malta di fissaggio;
 - sigillatura e stuccatura con malta pronta a base di calce idraulica naturale ed inerti selezionati ad alte prestazioni meccaniche, caratterizzato da granulometria controllata;
- B10 - Inserimento a secco mediante apposito mandrino a percussione di barre elicoidali in acciaio inox da 10mm AISI 316 da 10mm nella muratura come mostrato nella figura sottostante.
- B11 - Rifacimento dell'intonaco mediante betoncino di calce idraulica naturale sia all'interno che all'esterno, per l'intera superficie prevedendo un abbinamento con una rete termosaldata in fibra di basalto;

Tipologia e qualità dei materiali

Saranno utilizzati *materiali* di qualità presenti sul mercato italiano, certificati e garantiti dalle vigenti normative; la scelta, sulla base delle indicazioni progettuali, sarà indirizzata al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- riconoscimento delle cause dei dissesti strutturali;
- riconoscimento della natura di eventuali fenomeni chimico-fisici di degrado o dissesto;
- recupero delle capacità strutturali del tessuto murario;
- recupero estetico/ambientale;
- affidabilità e durabilità dell'intervento;

- compatibilità ambientale.

La scelta dei materiali ha come requisito fondamentale la compatibilità con quelli esistenti ed è legata alla compatibilità chimica, alla elevata adesione con il supporto, alla stabilità dimensionale nel tempo ad avere simili comportamenti termici ed elastici.

Le malte : Come emerge dalle indagini condotte per la caratterizzazione delle malte presenti, queste sono classificabili come *idrauliche*. La scelta sarà indirizzata all'utilizzo di:

- o malte a base calce, prive di cemento, ad alta resistenza (fino a M20) ed esenti da sali idrosolubili;
- o boiacche per iniezione a base di calce, prive di cemento, ad altissima fluidità e basso rapporto acqua/legante;
- o intonaci deumidificanti ad alta porosità e basso assorbimento capillare ove richiesto specificatamente dalla DL.

A seconda delle prestazioni richieste è prevista :

- o calce idraulica naturale per gli intonaci;
- o calce idraulica pozzolanica per le malte strutturali e per le boiacche da iniezione;
- o grassello di calce per le finiture.

B3- CAM - CUCITURE ARMATE ATTIVE

Il sistema CAM è realizzato con nastri in acciaio inox, di spessore 0.75-0.8 mm e larghezza di 18-20 mm, le cui caratteristiche di resistenza a snervamento e a rottura sono pari a 250-300 e 600-700 Mpa rispettivamente, con allungamento a rottura pari a più del 40%. I nastri vengono utilizzati per cucire la muratura attraverso due fori a distanza normalmente compresa tra i 100 e i 200 cm, richiudendo la singola fascetta ad anello mediante una macchina capace di imprimere una pretensione regolabile al nastro, e dunque una precompressione nella muratura, sia trasversale che complanare alla parete trattata (v. fig. 5). Il sistema comprende anche piastre di dimensioni circa 125x125 mm anch'esse in acciaio inox, dotate di fori conformati ad imbuto, disposte all'imboccatura del foro (v. fig. 6). Tali piastre svolgono una funzione di distribuzione delle forze di contatto del nastro, altrimenti concentrate nella muratura intorno al foro stesso, e di assorbimento delle tensioni di trazione prodotte nella muratura intorno al foro da due avvolgimenti contigui. Il sistema è infine completato da angolari, ancora in acciaio inox, per gli avvolgimenti dei nastri in corrispondenza delle aperture o delle zone terminali delle pareti (angoli, incroci a L e a T). Il sistema di nastri di acciaio inox può essere posto in opera secondo maglie quadrate, rettangolari o triangolari, anche irregolari, con la massima flessibilità, così da realizzare un'imbracatura continua di tutta la parete, sia in orizzontale che in verticale. Nella fig. 7 è riportata una tipica applicazione su una parete a doppio paramento con disposizione dei fori a quinconce, così da minimizzare il numero di fori e realizzare una maglia ortogonale. La messa in opera dei nastri di acciaio può essere, eventualmente, completata con l'iniezione della muratura attraverso i fori praticati per il passaggio dei nastri stessi, iniezione che, grazie all'inossidabilità dell'acciaio, può essere effettuata anche con miscele leganti non cementizie. Si ottiene in tal modo un rafforzamento della muratura nella zona circostante il foro, che migliora la funzione di presidio rispetto allo sfaldamento dei paramenti nelle zone limitrofe più lontane dalla zona di applicazione della precompressione

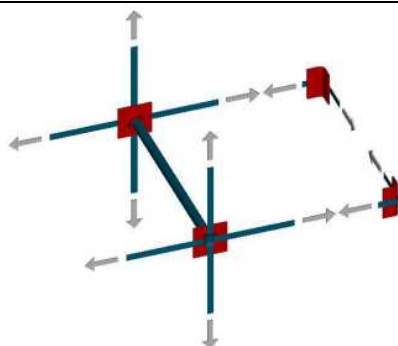
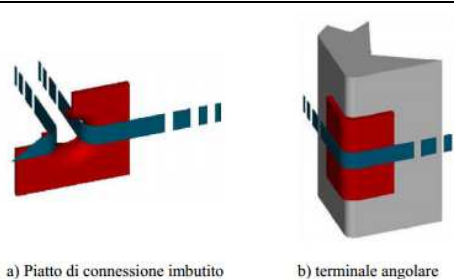


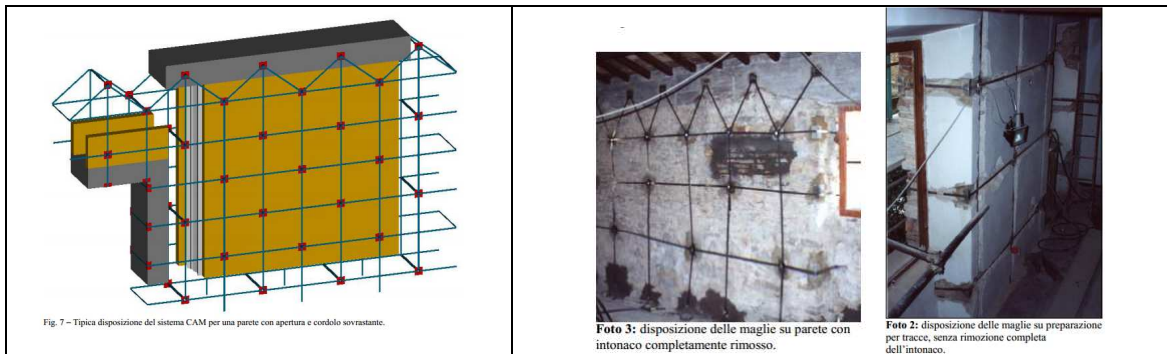
Fig. 5 – CAM – disposizione base.



a) Piatta di connessione imbuto

b) terminale angolare

Fig. 6 – Elementi base del sistema CAM.



I vantaggi conseguibili con il sistema CAM sono i seguenti:

- I nastri di acciaio inox svolgono un ruolo attivo, imprimendo alla muratura un benefico stato di precompressione, sia nel piano della parete, orizzontalmente e verticalmente, sia in direzione trasversale, collegando efficacemente i paramenti dell'apparecchio murario; questo stato di precompressione ritarda la formazione di lesioni e fessure e rende le armature immediatamente attive e capaci di impedire o limitare significativamente la formazione di grandi lesioni e di sconessioni,
- La resistenza delle armature viene sfruttata integralmente, non essendo il loro coinvolgimento legato all'aderenza tra la muratura e l'intonaco cementizio, ma, al contrario, ad un collegamento meccanico totalmente controllabile,
 - La tecnologia è poco invasiva (la rimozione dei nastri richiede solo l'asportazione dell'intonaco (non più cementizio),
- L'acciaio inox garantisce la totale affidabilità nel tempo del sistema,
- L'efficacia delle legature trasversali, garantita dai collegamenti meccanici e dalla pretensione dei nastri di acciaio, permette di ridurre il loro numero, e conseguentemente il numero di perforazioni da effettuare sulla muratura, riducendo l'invasività dell'intervento,
- I collegamenti tra avvolgimenti adiacenti è assicurato meccanicamente in maniera totalmente controllabile ed affidabile;
- I collegamenti in verticale tra le pareti di piani successivi sono facili da realizzare (anche senza la demolizione del solaio, è sufficiente praticare fori di diametro di circa 30mm in adiacenza alla parete) e sicuri nel risultato; si realizza così un sensibile miglioramento delle caratteristiche di resistenza a flessione sia nel piano dei maschi murari che nel piano ortogonale,
- Il piccolo spessore dei nastri inox permette l'adozione di intonaci tradizionali, negli spessori usuali, così da non alterare i pesi strutturali,
- Il sistema di cucitura risolve automaticamente anche il problema delle connessioni, spesso carenti, tra pareti ortogonali,
- La conservazione degli intonaci tradizionali elimina le problematiche create dall'uso degli intonaci cementizi, indispensabili nelle applicazioni delle reti elettrosaldate,
- L'utilizzazione dell'acciaio inox garantisce una buona duttilità d'insieme, chiamando in causa le riserve di sicurezza nelle condizioni limite di lavoro della struttura

B4 - ESECUZIONE DI PERFORAZIONI ARMATE CON BARRE DI ACCIAIO ANCORATE CON INIEZIONI DI MALTA CEMENTIZIA

"L'uso di perforazioni armate deve essere limitato ai casi in cui non siano percorribili altre soluzioni, per la notevole invasività di tali elementi e la dubbia efficacia, specie in presenza di muratura a più paramenti scollegati; in ogni caso dovrà essere garantita la durabilità degli elementi inseriti (acciaio inox, materiali compositi o altro) e la compatibilità delle malte iniettate.

Si precisa che questi interventi di collegamento locale sono efficaci per il comportamento d'insieme della costruzione solo in presenza di murature di buone caratteristiche, mentre per le murature scadenti è preferibile l'inserimento di tiranti, che garantiscono un collegamento complessivo

Interventi consigliati

Il collegamento dei paramenti e degli incroci murari va migliorato con ammorsature realizzate con lo stesso materiale e/o con mattoni pieni con disposizione alternata e in casi particolari con barre in acciaio e/o altri aventi resistenza a trazione.

Nel caso siano utilizzate barre in acciaio l'ancoraggio dovrà essere meccanico e la barre dovranno essere bloccate sulle pareti verticali con piastre in acciaio.

Possono essere previste barre in acciaio inox in tessuto di calza iniettate con malta a base di calce (sistema Bossong) o barre in acciaio inox elicoidali (FIDIA) che possono essere poste in opera a secco con l'utilizzo di un semplice mandrino. Tra le soluzioni flessibili vi sono i fiocchi in materiale composito o in tessuto di acciaio galvanizzato. In tutti i casi gli elementi di collegamento dovranno essere posti in opera con l'impiego di malta a base di calce idraulica evitando l'utilizzo di malta cementizia e resina epossidica.

Scheda 1 - Connessioni trasversali con barre elicoidali in acciaio inox

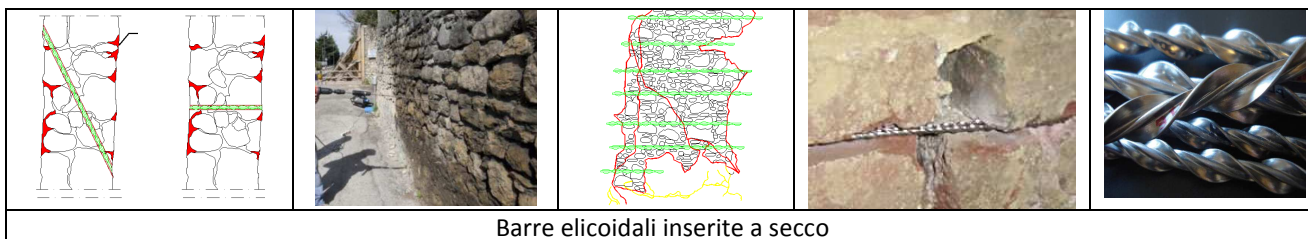
Per migliorare la connessione dei paramenti murari in senso trasversale e consentire alle pareti di avere un comportamento di corpo rigido è prevista la posa in opera di barre elicoidali in acciaio inox. La realizzazione o il ripristino della continuità attraverso il collegamento dei paramenti di una parete in muratura tramite barre metalliche passanti è indicato in presenza di murature con paramenti scollegati (murature "a sacco" o a paramenti accostati non connessi), soprattutto nei casi in cui sono evidenti gli spancamenti (instabilità locale). L'utilizzo di speciali barre elicoidali in acciaio inox, permette di ottenere elevate prestazioni in termini di aderenza e la possibilità di installazione a secco e quindi l'avanzamento all'interno dell'elemento soggetto a rinforzo essendo, di fatto, una vite senza fine. Le fasi operative sono legate a scelte progettuali che dipendono dal passo delle perforazioni in funzione delle dimensioni degli elementi lapidei e della gravità del dissesto. L'esecuzione dei fori deve essere effettuata tramite un trapano a rotazione, e l'inserimento della barra (ϕ 8÷10 mm) avviene utilizzando un apposito mandrino. Si prevedono le seguenti fasi:

apertura e pulitura dei giunti di allettamento per una profondità di almeno 3 cm.

- Inserimento a secco mediante apposito mandrino a percussione di barre elicoidali in acciaio inox AISI 316 nella muratura come mostrato in figura sottostante.
- Successiva esecuzione di adeguato reticolo di perfori e posizionamento di canule. Stilatura dei giunti di allettamento con malta a base di calce idraulica naturale.
- Esecuzione di iniezioni con speciale miscela a basso contenuto di sali idrosolubili.

I vantaggi derivanti dall'utilizzo di tecnologie di questo tipo sono legati principalmente a:

- sistema di rinforzo resistente alla corrosione, ottima aderenza, resistenza al taglio, flessibilità, durabilità, intervento semplice da mascherare, velocità d'installazione, facilità d'installazione.



Barre elicoidali inserite a secco

Tale tecnologia può essere utilizzata anche come intervento di "cuci-scuci" in alternativa a quello tradizionale e in casi particolari in cui occorre una resistenza maggiore. L'intervento prevede l'inserimento corticale di barre elicoidali in acciaio inox di diametro 8 mm che permette l'ammorsamento puntuale e diffuso delle porzioni di muratura danneggiate e slegate. Questa tecnologia garantisce una perfetta aderenza con il betoncino strutturale impiegato per la ristilatura dei giunti grazie alla loro particolare geometria. Le barre possono essere altresì sagomate facilmente per prevedere passaggi in zone preferenziali all'interno della tessitura muraria senza dover prevedere intagli nella stessa, grazie alla loro flessibilità ed elevata resistenza a taglio. Vantaggi dall'impiego di tali materiali e tecnologia:

- Durabilità del sistema di rinforzo grazie all'ottima resistenza agli alcali delle barre elicoidali in acciaio inox;
- Perfetta compatibilità con l'esistente grazie all'impiego di materiali esenti da cementi e sali idrosolubili;
- Minore invasività rispetto alla tecnica del "cuci-scuci";
- Rinforzo del pannello murario a compressione e trazione;
- Ottime prestazioni meccaniche;
- Rapidità di esecuzione;

Materiali innovativi:

Fibre/Barre:

Barre elicoidali in acciaio inox FIDHELIBAR Dry Fix \square da 8/10mm (linee di colore blu negli schemi) FIDHELIBAR è una speciale barra elicoidale (scheda tecnica allegata) in acciaio inox AISI 316, ottenuta da una laminazione a freddo di semplici barre in acciaio inossidabile a sezione cilindrica. Tale laminazione a freddo è in grado di conferire alla barra la particolare forma ad elica e di incrementarne la resistenza meccanica. La particolare forma elicoidale dona alla barra

elevate prestazioni in termini di aderenza e dunque la possibilità di posa in opera come armatura di rinforzo a secco in un elemento murario e quindi l'avanzamento all'interno dell'elemento soggetto a rinforzo essendo, di fatto, una vite senza fine. La barra può inoltre essere impiegata anche come armatura integrativa installata con matrici cementizie o epossidiche oppure utilizzata come armatura annegata all'interno di un getto in calcestruzzo.

Matrici:

Malta di calce idraulica naturale a basso contenuto di sali idrosolubili adatta al confezionamento di malte da muratura o da intonaco ad elevata traspirabilità e resistenza ai solfati, conforme alla UNI EN 459-1 riguardante le "Definizioni, specifiche e criteri di conformità delle calce da costruzione", classificata come NHL5 e soggetta a marcatura CE secondo la normativa vigente. E' ottenuta dalla cottura a basse temperature di calcari argillosi (marna naturale). Il principale costituente mineralogico è il silicato bi-calcico β che reagendo con l'acqua di impasto sviluppa composti idrati stabili in grado di conferire alla malta caratteristiche meccaniche ed elasticità tali da garantirne la durabilità nel tempo. Grazie alla particolare natura mineralogica non è reattivo in presenza di solfati e permette di riprodurre dal punto di vista fisico, chimico e mineralogico le caratteristiche delle malte di allestimento originarie a base di leganti ottenuti dalla cottura a basse temperature di calcari argillosi.

Malta fluida di calce idraulica naturale per iniezioni priva di silicato tricalcico e alluminato tricalcico tipici costituenti del cemento Portland.

Primo vantaggio di un impiego è da ritrovare nel basso valore di calce libera presente inferiore al 4%. E' noto che una bassa percentuale di calce libera è sinonimo di bassa presenza di sali solubili; ciò significa ridurre al minimo i danni estetici e strutturali per il legante stesso dovuti a efflorescenze saline. Vuol dire inoltre aumentare la traspirabilità ed inerzia chimica di un intonaco, di una finitura; ciò significa durabilità nel tempo.

Secondo vantaggio di un impiego di BFLUID X/A è certamente il più basso modulo elastico che per un legante è fondamentale per il confezionamento di malte pronte per restauro. Oltre ad aumentare la compatibilità delle murature esistenti, aumenta anche il grado di elasticità, di traspirabilità e porosità degli intonaci e delle finiture. La rigidità di un intonaco può creare distacchi e fessurazioni che minano la durabilità del lavoro eseguito.

Terzo vantaggio di un impiego rispetto alle prescrizioni è il colore tradizionalmente nocciola che rispecchia la classica colorazione della marna estratta dalle Ns cave di estrazione. Il colore di un legante è determinante per la produzione di malte pronte a campione. Questa colorazione si avvicina di più alle originali aiutando gli operatori di restauro ad ottenere effetti estetici notevoli.

Quarto vantaggio, di un impiego di BFLUID X/A rispetto ai materiali prescritti è la durata nel tempo come testimoniano le molteplici applicazioni eseguite nel restauro.

Scheda 2 - Rinforzo dei collegamenti tra pareti con barre in acciaio inox

Ad integrazione dei collegamenti di piano si prevede di migliorare la connessione dei paramenti murari con collegamenti continui inseriti nella muratura costituiti da barre in acciaio inox di opportuno diametro ricoperte da una calza in tessuto iniettata con malta idraulica a base di calce. Il collegamento previsto con questa soluzione è continuo ed è dovuto all'aderenza e all'ingranamento che si sviluppa tra il bulbo di calce in calza e la muratura circostante. In alcuni collegamenti, che secondo il progetto definitivo, non hanno l'appoggio all'esterno con piastra, la soluzione proposta migliora l'efficacia del collegamento tra le pareti.

Inserimento di catene in galleria con calza di tessuto

Moderne ricerche, materiali e tecniche operative, hanno permesso di elaborare una tecnologia che, riprendendo i principi di funzionamento dei sistemi tradizionalmente utilizzati per il rinforzo degli elementi strutturali, garantisce, grazie ad alcuni accorgimenti progettuali, i migliori risultati dal punto di vista tecnico, nel completo rispetto del manufatto esistente.

Il "SISTEMA BOSSONG" è una combinazione flessibile di diversi tipi di ancore in acciaio, avvolte da una calza in tessuto poliestere nella quale vengono iniettate, a bassa pressione, speciali malte consolidanti. L'utilizzo di questa tecnologia prevede:

- l'ancoraggio con calza posizionato all'interno di un foro realizzato nella muratura da consolidare;
- viene effettuata una iniezione di materiale consolidante, a bassa pressione, coassialmente al tirante stesso, per mezzo di un apposito sistema di tubicini di iniezione;
- la speciale calza in tessuto, posizionata intorno alla barra, viene riempita gradualmente durante l'iniezione, fino a completa saturazione, adattandosi alla forma del substrato e garantendo così una efficace connessione alla muratura da consolidare.

L'installazione degli ancoraggi viene effettuata all'interno di fori realizzati nella muratura per mezzo di carotatrici con sonda diamantata, con funzionamento a sola rotazione, in modo da evitare effetti di vibrazione e di percussione sulle strutture murarie. Le perforazioni possono essere effettuate, a seconda del tipo di muratura e del contesto in cui si

deve operare, con raffreddamento ad acqua ad aria o con tecnologie che evitano la dispersione dei liquidi di raffreddamento. La scelta della modalità di perforazione è determinante, soprattutto se si opera in contesti di particolare pregio ove possono essere presenti pareti affrescate, intonaci, stucchi e altri manufatti la cui salvaguardia deve essere garantita. Il diametro del perforo viene definito in base alle dimensioni dell'ancoraggio: in particolare deve essere circa tre volte il diametro della barra in acciaio che costituisce l'ancoraggio; anche la valutazione della lunghezza dell'ancoraggio è determinante per la scelta del diametro di perforazione. Il corretto dimensionamento del perforo garantisce non solo la fattibilità delle operazioni di inserimento dell'ancoraggio, completo di calza, manicotti di giunzione e dispositivi di iniezione, ma è anche fondamentale per il funzionamento stesso dell'ancoraggio dal momento che una variazione del diametro di perforazione influisce sulla superficie di contatto con il substrato.



Fasi posa in opera e iniezione barre in acciaio inox

Schema barra in acciaio, calza e dispositivi di iniezioni

Rinforzo delle strutture e collegamenti di piano con fasce in fibra di acciaio

Tale tecnologia è stata utilizzata sia per il rinforzo delle pareti verticali, dei frenelli delle volte dei corridoi, del cordolo di copertura in muratura, delle volte e sia per realizzare i collegamenti di piano tra le pareti verticali e il cerchiaggio della sezione dei corridoi e di alcune aperture.

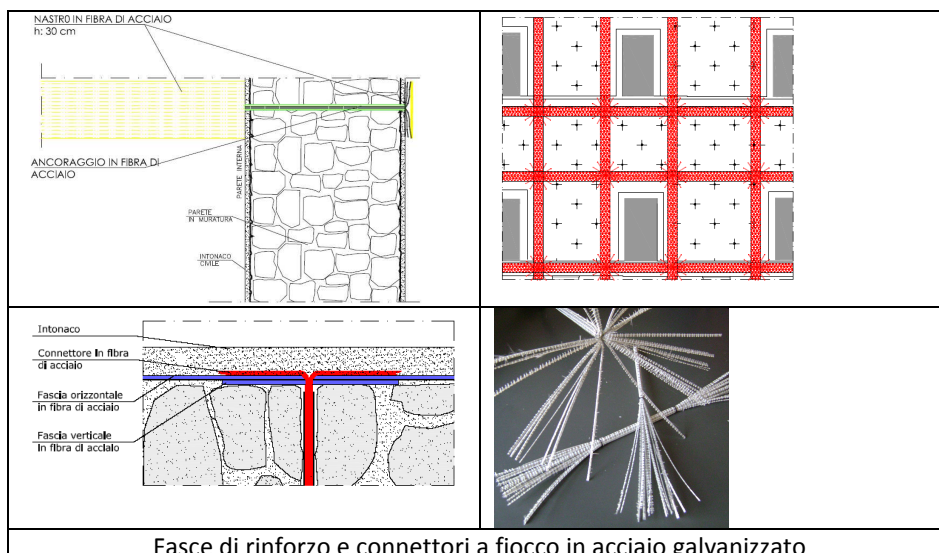
Tipologia e qualità dei materiali

Fibre/Barre: Tessuto in fibra di acciaio a bassa o media densità galvanizzato;

Il tessuto in acciaio rappresenta un sistema di rinforzo strutturale formato da trefoli di acciaio ad alta resistenza galvanizzati per assicurare massima durabilità del sistema, impregnabile con matrice di calce idraulica naturale o epossidica a seconda delle necessità progettuali. Il trefolo 3x2 è costituito avvolgendo tra loro 5 filamenti (3 filamenti rettilinei, più 2 che si attorcigliano su questi) con un elevato angolo di avvolgimento. Il rinforzo è un trefolo molto maneggevole che combina in se ottime proprietà meccaniche, di installazione e elevata durabilità grazie al rivestimento galvanizzato in zinco.

Scheda 3 - Connettori in fibra di acciaio galvanizzato;

Il connettore a singolo o doppio fiocco è realizzato con tessuto in acciaio galvanizzato composto da una prima parte a fiocco con fibra a 90°, una seconda parte rettilinea e se necessario una terza ed ultima parte nuovamente a 90°. Tale connettore può essere installato mediante matrici organiche od inorganiche oppure miste. La lunghezza dei fiocchi e della parte rigida può variare a piacere in funzione della struttura da rinforzare.



Fasce di rinforzo e connettori a fiocco in acciaio galvanizzato

Matrici:

- Malta di calce idraulica naturale;
- Malta fluida di calce idraulica naturale per iniezioni;

Come da progetto a base di gara si prevede un intervento di rinforzo mediante l'apposizione di un grigliato sui due paramenti del maschio murario mediante tessuti in fibra di acciaio orditi nelle due direzioni principali (orizzontale e verticale), impregnati ed installati mediante matrice inorganica di malta di calce idraulica naturale a bassissimo contenuto di Sali. La connessione trasversale avverrà mediante inserimento, in corrispondenza dei punti di incrocio del grigliato, di connettori a doppio fiocco a 90 con il fiocco aperto al di sopra delle fasce di rinforzo a taglio e flessione. La parte rigida della connessione a fiocco dovrà esser impregnata mediante malta fluida di calce idraulica naturale per iniezioni.

B5 - CONSOLIDAMENTO DELLE MURATURE CON MALTA CEMENTIZIA;

"L'adozione di iniezioni di miscele leganti mira al miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura da consolidare. A tale tecnica non può essere affidato il compito di realizzare efficaci ammorsature tra le pareti murarie. Tale intervento risulta inefficace se impiegato su tipologie murarie che per loro natura siano scarsamente iniettabili (scarsa presenza di vuoti e/o vuoti non collegati tra loro). Particolare attenzione va posta nella scelta della pressione di immissione della miscela, per evitare l'insorgere di dilatazioni trasversali. Particolare cura dovrà essere rivolta alla scelta della miscela da iniettare, curandone la compatibilità chimico-fisico-meccanica con la tipologia muraria oggetto dell'intervento. Malte a base cementizia possono produrre danni alle murature e in particolare alle superfici, per la produzione di sali; l'affioramento di sali solubili dalla malta provoca efflorescenze sulla superficie della muratura, particolarmente dannose in presenza di antichi intonaci storici o affreschi. Tali malte potranno essere utilizzate solo dopo averne accuratamente valutati gli eventuali effetti negativi."

Interventi consigliati

"L'adozione di iniezioni di miscele leganti mira al miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura da consolidare. A tale tecnica, pertanto, non può essere affidato il compito di realizzare efficaci ammorsature tra i muri e quindi di migliorare, se applicata da sola, il comportamento d'insieme della costruzione. Tale intervento risulta inefficace se impiegato su tipologie murarie che per loro natura siano scarsamente iniettabili (scarsa presenza di vuoti e/o vuoti non collegati tra loro).

Particolare attenzione va posta nella scelta della pressione di immissione della miscela, per evitare l'insorgere di dilatazioni trasversali prodotte dalla miscela in pressione.

Nel caso si reputi opportuno intervenire con iniezioni su murature incoerenti e caotiche, è necessario prendere provvedimenti atti a ridurre il rischio di sconnessione della compagine muraria e di dispersione della miscela. Particolare cura dovrà essere rivolta alla scelta della miscela da iniettare, curandone la compatibilità chimico-fisico-meccanica con la tipologia muraria oggetto dell'intervento.

Si consiglia di ricorrere a tale tecnica soltanto nei casi in cui ci siano sufficienti strumenti per verificarne la buona riuscita e di assicurare l'efficacia dell'intervento attraverso l'uso di miscele a ritiro compensato e l'esecuzione di controlli sistematici per accertare l'avvenuto riempimento dei vuoti.

Se il danno e/o il degrado della muratura sono da addebitare al solo legante (malta), mentre gli inerti (naturali o artificiali) presentano soddisfacenti caratteristiche di resistenza e tessitura, si può utilizzare la tecnica delle iniezioni di miscele leganti (in pressione o per colo) così da ripristinare o migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura, senza modificare il primitivo schema strutturale.

Poiché l'efficacia dell'intervento è legata alla possibilità della malta iniettata di permeare l'interno della massa muraria, l'intervento è praticabile solo se nella tessitura sono presenti significative soluzioni di continuità ed è dunque possibile riempire uniformemente, con una miscelalegante, gli interstizi presenti all'interno della muratura

L'intervento va progettato in funzione delle caratteristiche della muratura e della sua iniettabilità. Murature realizzate con pietre disposte in modo irregolare e percentuale elevata di malta materiali incoerenti e malta".

Si consiglia di impiegare malte a base di calce idraulica naturale a basso contenuto di sali idrosolubili, resistenti ai solfati. Le miscele dovranno riprodurre dal punto di vista fisico, chimico e mineralogico le malte di allettamento originarie a base di leganti ottenuti dalla cottura a bassa temperatura di calcari argillosi.

Per quanto riguarda le modalità di esecuzione si richiamano alcuni principi di base che prevedono di procedere all'iniezione dal basso verso l'alto da eseguirsi per colatura o con pompa in continuo tarata a bassa pressione per garantire la fuoriuscita dell'aria contenuta all'interno della muratura, evitando la formazione di sacche vuote.

Scheda 1- Consolidamento delle strutture murarie

La muratura, come risulta dalle prove eseguite sulle strutture, è formata da :

- due paramenti accostati o debolmente ammorsati con malta di calce aerea friabile;
- elementi costitutivi composti da pietre calcaree leggermente sbazzate di pezzatura varia, da medie (15 cm ÷ 25 cm) a grandi (> 25 cm) dimensioni, in discreto stato di conservazione.
- Malta: calce aerea con scarsa consistenza (friabile) con funzione di allettamento.
- Rivestimento: intonaco esterno ed interno presente in scarse condizioni.

Il consolidamento delle strutture murarie comprende la stuccatura profonda dei giunti (B8), l' iniezione di malta a base di calce idraulica (B9), l' inserimento a secco di barre elicoidali in acciaio inox per il collegamento trasversale dei paramenti (B10) e il rifacimento dell'intonaco con betoncino di calce idraulica naturale sia all'interno che all'esterno, per l'intera superficie prevedendo un abbinamento con una rete termosaldata in fibra di basalto (B11).

Di seguito sono illustrate le fasi esecutive dell'intervento di consolidamento con indicazione delle modalità operative :

- pulizia e messa a vivo dei conci con spazzola a fili di acciaio e lavaggio con idropulitrice a bassa pressione della superficie;
- stuccatura profonda dei giunti (B8) e iniezione di malta a base di calce idraulica (B9):
 - scarnitura profonda dei giunti evitando accuratamente la scalpelinatura degli stessi, loro preparazione secondo le indicazioni della Direzione Lavori;
 - esecuzione di un reticolo nel paramento, costituito da un numero adeguato di fori per iniezioni, mediamente n. 4 per ogni metro quadrato, utilizzando le cavità presenti nei giunti o praticando con trapano elettrico a sola rotazione, perforazione di diametro 20 mm;
 - fissaggio dei boccagli con malta pronta a base di calce idraulica naturale ed inerti selezionati ad alte prestazioni meccaniche;
 - sigillatura dei giunti di allettamento con malta pronta a base di calce idraulica naturale ed inerti selezionati ad alte prestazioni meccaniche a granulometria controllata;
 - colatura di acqua, se necessaria al fine di inumidire le cavità da iniettare;
 - iniezioni a bassa pressione di speciale miscela inorganica a basso contenuto di sali idrosolubili (CaO libero= 4%) esclusivamente a base di calce idraulica naturale;
 - asportazione di boccagli di iniezione e della malta di fissaggio;
 - sigillatura e stuccatura con malta pronta a base di calce idraulica naturale ed inerti selezionati ad alte prestazioni meccaniche, caratterizzato da granulometria controllata;
- B10 - Inserimento a secco mediante apposito mandrino a percussione di barre elicoidali in acciaio inox da 10mm AISI 316 da 10mm nella muratura come mostrato nella figura sottostante.
- B11 - Rifacimento dell'intonaco mediante betoncino di calce idraulica naturale sia all'interno che all'esterno, per l'intera superficie prevedendo un abbinamento con una rete termosaldata in fibra di basalto;

Tipologia e qualità dei materiali

Saranno utilizzati *materiali* di qualità presenti sul mercato italiano, certificati e garantiti dalle vigenti normative; la scelta, sulla base delle indicazioni progettuali, sarà indirizzata al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- riconoscimento delle cause dei dissesti strutturali;
- riconoscimento della natura di eventuali fenomeni chimico-fisici di degrado o dissesto;
- recupero delle capacità strutturali del tessuto murario;
- recupero estetico/ambientale;
- affidabilità e durabilità dell'intervento;
- compatibilità ambientale.

La scelta dei materiali ha come requisito fondamentale la compatibilità con quelli esistenti ed è legata alla compatibilità chimica, alla elevata adesione con il supporto, alla stabilità dimensionale nel tempo ad avere simili comportamenti termici ed elastici.

Le malte : Come emerge dalle indagini condotte per la caratterizzazione delle malte presenti, queste sono classificabili come *idrauliche*. La scelta sarà indirizzata all'utilizzo di:

- malte a base calce, prive di cemento, ad alta resistenza (fino a M20) ed esenti da sali idrosolubili;
- boiacche per iniezione a base di calce, prive di cemento, ad altissima fluidità e basso rapporto acqua/legante;
- intonaci deumidificanti ad alta porosità e basso assorbimento capillare ove richiesto specificatamente dalla DL.

A seconda delle prestazioni richieste è prevista :

- calce idraulica naturale per gli intonaci;

- calce idraulica pozzolanica per le malte strutturali e per le boiacche da iniezione;
- grassello di calce per le finiture.

B6 - CONSOLIDAMENTO DELLE STRUTTURE VOLTATE CON CAPPE IN CALCESTRUZZO ARMATO CON RETE ELETTROSALDATA

"La realizzazione all'estradosso di controvolte in calcestruzzo, armate o no, è da evitarsi, per la riduzione dello stato di compressione nella volta in muratura e l'aumento delle masse sismiche, oltre che per l'impoverimento che induce, in termini di valori culturali e testimoniali, nel manufatto storico.

È possibile il ricorso, sull'estradosso, a tecniche di placcaggio con fasce di materiale composito, perché più leggere e comunque amovibili. Tuttavia vanno considerate le seguenti problematiche: diversa traspirabilità tra le zone placcate e non (specie in presenza di affreschi all'intradosso); durabilità (l'esperienza di comportamento nel tempo, sia delle fibre sia delle resine di incollaggio, è ancora limitata); non completa reversibilità (la parte superficiale della muratura resta comunque impregnata dalla resina). La posizione delle fasce in fibra, specie in presenza di volte complesse, deve essere definita a seguito di una accurata valutazione strutturale, che ne dimostri l'efficacia. Il placcaggio all'intradosso con materiali compositi è efficace se associato alla realizzazione di un sottarco, in muratura o altro materiale (ad esempio legno lamellare), in grado di evitare le spinte a vuoto; queste possono essere equilibrate anche attraverso ancoraggi puntuali, diffusi lungo l'intradosso (questa soluzione è tuttavia maggiormente invasiva)."

Interventi consigliati

"Gli interventi sulle strutture ad arco o a volta possono essere realizzati con il ricorso alla tradizionale tecnica delle catene, che compensino le spinte indotte sulle murature di appoggio e ne impediscano l'allontanamento reciproco.

Le catene andranno poste di norma alle reni di archi e volte. Qualora non sia possibile questa disposizione, si potranno collocare le catene a livelli diversi (ad esempio estradosso) purché ne sia dimostrata l'efficacia nel contenimento della spinta e siano verificate le sollecitazioni taglienti e flessionali che si producono nella parete. Le catene devono essere poste in opera con un'adeguata presollecitazione, in modo da assorbire parte dell'azione spingente valutata tramite il calcolo (valori eccessivi del tiro potrebbero indurre danneggiamenti localizzati).

Per assorbire le spinte di volte ed archi deve essere anche considerata la possibilità di realizzare contrafforti o ringrossi murari. Questi presentano, peraltro, un certo impatto visivo sulla costruzione e la loro efficacia è subordinata alla creazione di un buon ammorsamento con la parete esistente, da eseguirsi tramite connessioni discrete con elementi lapidei o in laterizio, ed alla possibilità di realizzare una fondazione adeguata.

Per eliminare le spinte è anche possibile intervenire riducendo i carichi all'estradosso (riempimenti alleggeriti, frenelli, ecc), ponendo attenzione al fatto che ciò altera l'originale curva delle pressioni ed un minor carico permanente rende la volta maggiormente sensibile ai carichi accidentali.

Ovviamente, in presenza di lesioni deve essere prevista una riparazione, mirata a ricostituire il contatto tra i conci, tramite semplice iniezione di malta; in casi particolari potranno essere utilizzati cunei (biette) o si dovrà procedere a sostruzione muraria nelle zone soggette a schiacciamento. Particolari attenzioni dovranno essere poste nei casi in cui siano evidenti significative perdite di forma dell'arco o della volta; il loro recupero è spesso problematico, per cui si potrà ricorrere a sottarchi o altre strutture integrative."

Scheda 1- Interventi di consolidamento delle volte

Le volte presenti nei complessi edilizi hanno caratteristiche costruttive e tipologiche differenti, si passa dalle volte strutturali (a botte, a crociera,) in pietra e in mattoni disposti di coltello alle volte sottili in mattoni pieni in foglio e alle volte in camorcanna. Tenuto conto della variabilità dei caratteri tipologici delle varie volte si è in presenza di diverse situazioni per ciascuna delle quali si propone una soluzione specifica.

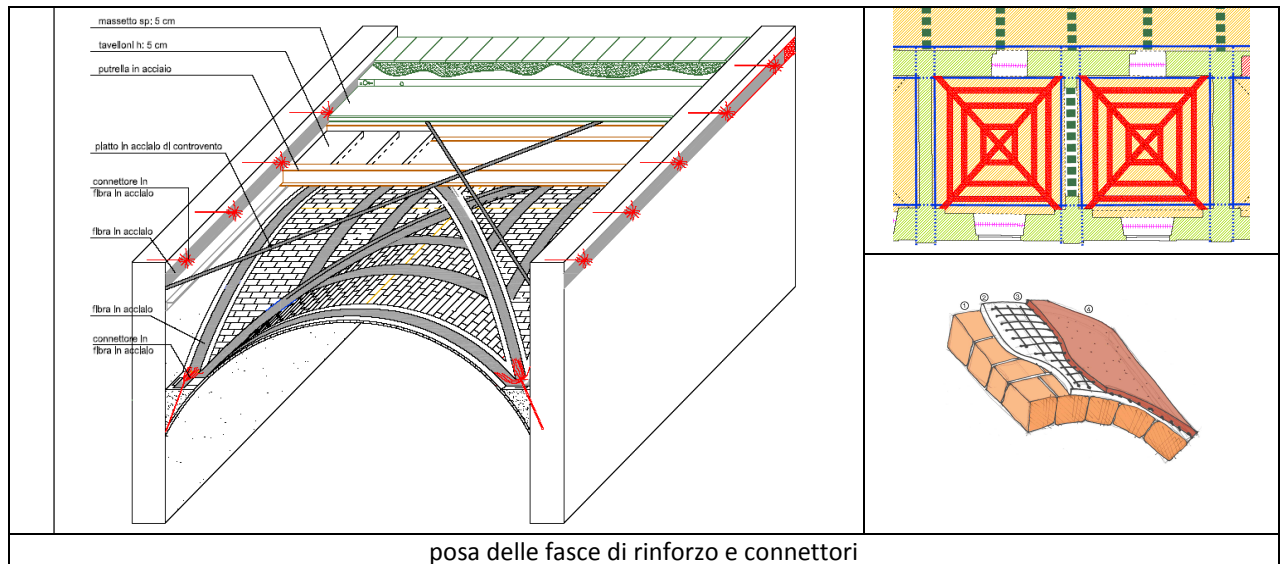
Scheda 1.1 - Volte in mattoni disposti in foglio

La soluzione proposta prevede il rinforzo della volta e nello stesso tempo di conservare la deformabilità nel piano dell'elemento strutturale e quindi di assecondare gli spostamenti della struttura in muratura. Un aumento di rigidità della volta potrebbe elevare notevolmente la rigidità e favorire meccanismi locali di rottura inoltre, l'eccessiva adesione della matrice epossidica al substrato in mattoni, aventi carenti proprietà meccaniche, potrebbe favorire fenomeni di delaminazione prima ancora che si verifichi la crisi del sistema strutturale. La scelta di un sistema di rinforzo a base di matrice di calce idraulica naturale e tessuto in fibra (carbonio, vetro, acciaio galvanizzato, lino, ...) garantisce la possibilità sia di rinforzare le volte, contrastandone i cinematismi che ne causerebbero un prematuro collasso, sia al contempo di non irrigidire eccessivamente garantendo quelle deformazioni necessarie in fase di

sollecitazione dinamica. L'ausilio di connettori (fibra di acciaio, carbonio, acciaio, ...) posti alle estremità delle fasce assicurano l'ancoraggio delle stesse alla muratura perimetrale, eseguendo così l'incatenamento del corpo di fabbrica, puntuale e compatibile con l'esistente.

Fasi operative :

- Eventuale centinatura;
- Stuccatura intradossale delle lesioni;
- Smontaggio del pavimento;
- Svuotamento della volta;
- rimozione delle parti incoerenti e raschiatura con spazzolatura dei giunti di malta all'estradosso;
- il consolidamento della superficie da trattare mediante applicazione di una mano di prodotto pronto a base di silicato di etile;
- Rinforzo dell'estradosso della volta mediante rete in fibra (carbonio, basalto, vetro, acciaio, ...) disposta a tutta superficie o in fasce andando a realizzare una maglia in funzione della tipologia della volta.
- regolarizzazione della superficie mediante stesura di uno strato di malta pronta;
- la posa del secondo strato di malta pronta a chiusura del pacchetto di rinforzo;
- Inserimento dei collegamenti di piano realizzati sul perimetro e di eventuali tiranti;
- Eventuale realizzazione di impalcato in acciaio o ligneo con tavolato incrociato;
- pacchetto di finitura e posa in opera del pavimento.



Solo in corrispondenza della sovrapposizione fra la fascia e il fiocco del connettore è previsto l'impiego di resina epossidica per garantire un ancoraggio fra la fascia e il connettore.

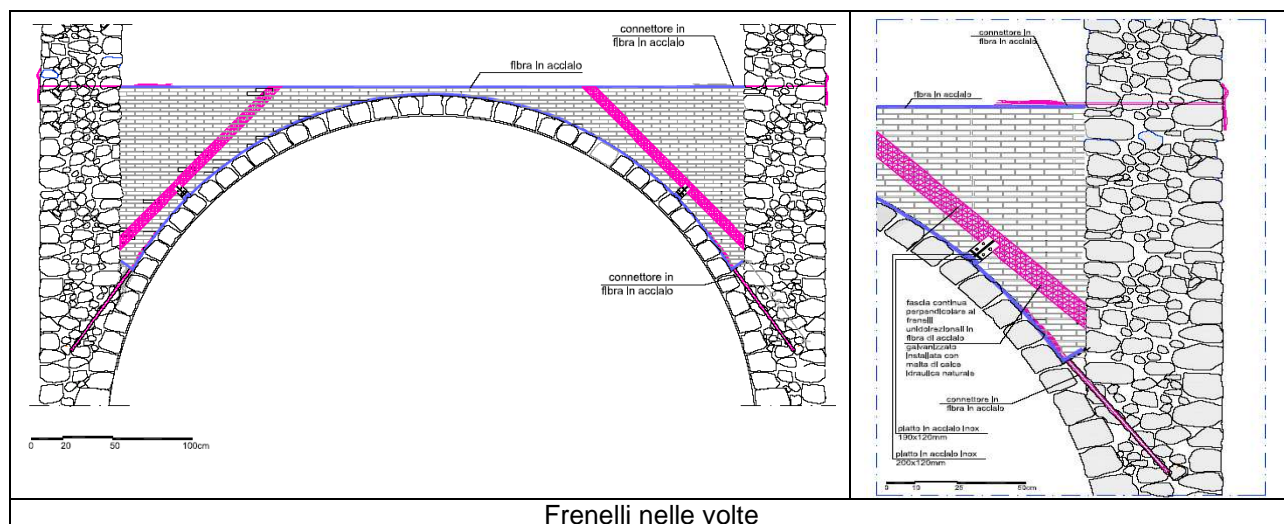
Stesura del tessuto di rinforzo	Iniezione di resina nel perforo per l'installazione del connettore	Installazione connettore e impregnazione con malta di calce idraulica naturale delle fasce e del connettore	Cupola a rinforzo concluso

Scheda 1.2 - Rinforzo estradosso delle volte in mattoni disposti a coltello e realizzazione di frenelli

Per questo intervento proposto valgono le stesse considerazioni introduttive del precedente punto. Il sistema è integrato dalla posa in opera di fasce in fibra di acciaio galvanizzato e da frenelli attivi in muratura armata. Tali fasce

verranno inserite ortogonalmente ai frenelli all'interno dei giunti di malta e risvoltate alle estremità sugli stessi al fine di connetterle rendendo così il sistema di rinforzo unico e uniforme senza irrigidimenti locali. A conclusione del ciclo di applicazione si prevede inoltre il rinforzo estradossale dei frenelli mediante posa di fasce in fibra di acciaio galvanizzato di media densità pretensionate. Tale **sistema di rinforzo** permette di installare il tessuto di rinforzo in modo attivo, e con una distribuzione delle tensioni di sollecitazione lungo tutto lo sviluppo del rinforzo, a differenza di una tradizionale catena che si ancora alle estremità, permettendo il trasferimento delle tensioni solo sulle teste di ancoraggio. Il sistema consiste in una testa di tiro e una testa di ancoraggio e di un sistema di tiro del tessuto mediante semplice vite che accorcia la distanza della testa di ancoraggio del tessuto con la piastra provvisoriamente ancorata alla muratura.

Tali fasce saranno altresì ancorate alla muratura perimetrale mediante connettori in fibra di acciaio. Il sistema così proposto prevede un "impacchettamento" del sistema voltato e cucitura attiva delle murature perimetrali.



Si evidenzia che l'intervento proposto presenta caratteristiche di **reversibilità** in quanto la malta a base di calce e la rete in fibra di acciaio possono essere rimossi dal supporto strutturale delle volte, con ordinarie operazioni di rimozione da eseguire con cura. La rimozione della fibra di carbonio posta in opera su supporto epossidico risulterebbe più complessa e richiederebbe l'impiego di solventi e/o di elevate temperature che potrebbero non essere compatibili con la futura funzionalità della struttura. L'intervento proposto si avvale poi di un'intensa campagna sperimentale post-intervento al fine di qualificarne la **qualità** e la **durabilità** nel tempo. Sono stati previsti dispositivi di **monitoraggio** remoto, diffuso e continuo, al fine di tenere sotto osservazione l'edificio nel corso degli anni successivi all'intervento e di valutarne l'efficacia e il suo comportamento globale in servizio e in presenza di eventuali future scosse sismiche, ovvero in condizioni di sollecitazioni dinamiche non usuali. Si riporta un esempio di applicazione di rinforzo in fibra di acciaio pretensionato all'estradosso di un frenello in muratura: frenello "attivo" attraverso rinforzo con fasce in fibra di acciaio pretensionate mediante sistema di pretensione brevettato "Pretendi l'Italia".

Fasi operative : Volte in mattoni disposti di taglio

- Eventuale centinatura;
- Stuccatura intradossale delle lesioni;
- Smontaggio del pavimento;
- Svuotamento della volta;
- la rimozione di parti incoerenti e la raschiatura e spazzolatura dei giunti di malta all'estradosso;
- il consolidamento della superficie da trattare mediante applicazione di una mano di prodotto pronto a base di silicato di etile;
- Rinforzo dell'estradosso della volta mediante rete in fibra di basalto disposta in fasce andando a realizzare una maglia in funzione della tipologia della volta. I terminali delle fasce di rinforzo vanno opportunamente connessi alle estremità mediante connettori a fiocco;
- Messa in opera di frenelli in mattoni pieni;
- la regolarizzazione della superficie mediante stesura di uno strato di malta pronta;
- la posa del secondo strato di malta pronta a chiusura del pacchetto di rinforzo;
- Inserimento dei collegamenti di piano realizzati sul perimetro e di eventuali tiranti;

- pacchetto di finitura e posa in opera del pavimento.

Solo in corrispondenza della sovrapposizione fra la fascia e il fiocco del connettore è previsto l'impiego di resina epossidica per garantire un ancoraggio fra la fascia e il connettore.

Vantaggi dall'impiego di tali materiali e tecnologia proposta:

- Durabilità e compatibilità del sistema di rinforzo grazie all'impiego di malta di calce idraulica naturale come matrice del tessuto di rinforzo a base di acciaio zincato ad altissima resistenza;
- Ottime prestazioni meccaniche sia in termini di aderenza al supporto, garantito dalla malta, sia per l'elevata resistenza meccanica dei tessuti impiegati;
- Ottima traspirabilità;
- Basso contenuto di sali idrosolubili (inferiore al 4%) che evita la formazione di eventuali efflorescenze all'intradosso della volta;
- Connessioni efficaci e resistenti a sforzi di taglio e allo sfregamento mediante l'impiego dei trefoli in fibra di acciaio ad altissima resistenza;
- Elevata duttilità del sistema di rinforzo grazie all'impiego di malta a basso modulo elastico, anziché di resina, che garantisce al contempo ottima aderenza al supporto e limitato irrigidimento del sistema voltato, contrastando il formarsi dei cinematismi critici per la volta e permettendo la dissipazione di energia.

Materiali innovativi:

Fibre/Barre:

- Tessuto in fibra di acciaio a bassa o media densità galvanizzato;
- Connettori in fibra di acciaio galvanizzato;

Matrici:

- Malta di calce idraulica naturale;
- Malta fluida di calce idraulica naturale per iniezioni;
- Resina epossidica bi componente tixotropica;

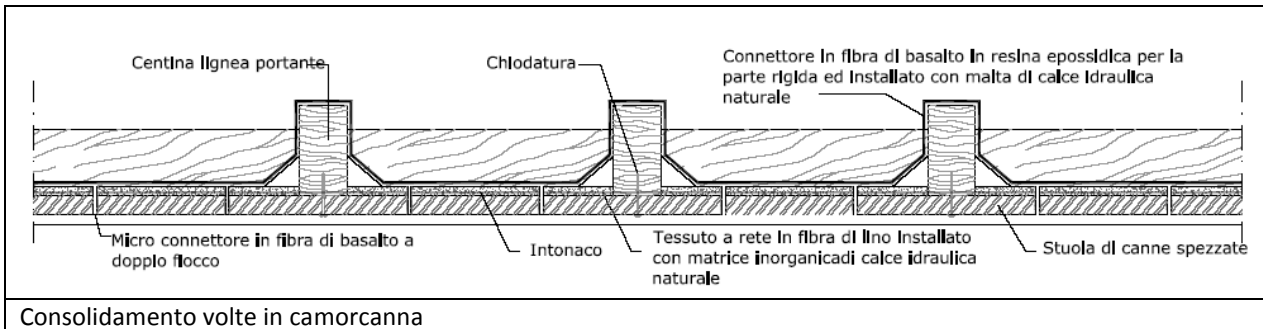
Scheda 1.3 - Volte in camorcanna

Le volte in camorcanna (o cannucciato) non svolgono una funzione portante, sono costituiti da un telaio di travi in legno e all'intradosso di quest'ultimi sono poste le cannuce immerse in uno strato di malta di calce. Questo genere di volte soffre l'azione del tempo: ruggine nei chiodi, sfilamento del cannuccio dai travicelli, muffe e fessurazioni nelle travature di legno; questo insieme di problematiche genera deformazioni, distacchi e fessurazioni di vario orientamento. L'intervento prevede il consolidamento dell'intera superficie voltata delle strutture in cannucciato mediante la posa di un sistema di rinforzo realizzato interamente da materiali naturali, biocompatibili e di moduli e resistenze meccaniche simili a quelle della struttura esistente. Il rinforzo estradossale avviene mediante reti bilanciate in fibra di **lino**, interamente naturale, impregnate con matrice inorganica di calce idraulica naturale, e connessa al sistema voltato esistente mediante micro-connettori in fibra di basalto.

L'intervento proposto consiste sinteticamente in:

- trattamento con antibiotico tutte le superfici lignee;
- rimozione delle parti incoerenti;
- consolidamento della superficie da trattare mediante applicazione di una mano di prodotto pronto a base di silicato di etile;
- realizzazione e posa di connettori ad "Ω" in fibra di basalto, avvolgenti la sezione dell'arcareccio, con stesura di uno strato di resina epossidica bicomponente;
- realizzazione e posa di micro-connettori in fibra di basalto a doppio fiocco realizzati da una parte rigida impregnata in resina e una parte a doppio fiocco da collegarsi al supporto con malta di calce idraulica naturale; lo scopo è di legare il sistema di rinforzo in rete di lino e malta nella parte intradossale alla struttura portante della volta, e tale da integrarsi con il sistema di connessione attualmente presente.
- realizzazione di un primo strato di betoncino pronto di spessore medio 5mm;
- stesura a fresco della rete in **fibra di lino** umida;
- stesura dello strato finale di malta strutturale a chiusura del pacchetto con lo scopo di legare il sistema di rinforzo in rete di lino e malta alla struttura portante.

- È possibile inoltre intervenire migliorando i collegamenti tra le sovrastanti strutture portanti e la volta in camorcanna utilizzando elementi in acciaio inox (tenditori) e strisce di tessuto in LINO il cui accurato studio è rimandato ad una fase esecutiva.



Materiali innovativi:

Fibre/Barre:

- Tessuto in fibra di lino

Vantaggi dall'impiego di tali materiali e tecnologia:

- Durabilità e compatibilità del sistema di rinforzo grazie all'impiego di malta di calce idraulica naturale come matrice del tessuto di rinforzo a base di tessuto di lino;
- Ottime prestazioni meccaniche sia in termini di aderenza al supporto, garantito dalla malta, sia per l'elevata resistenza meccanica dei tessuti impiegati;
- Ottima traspirabilità;
- L'impiego di prodotti naturali a base calce e il sistema di connessione e rinforzo proposto, garantiscono di non modificare l'equilibrio della struttura architettonica-artistica esistente, sia durante le fasi di lavorazione che in futuro, senza l'insorgere di efflorescenze, macchie o altri fenomeni dannosi per i sottostanti affreschi e intonaci presenti all'intradosso;
- Basso contenuto di sali idrosolubili (inferiore al 4%) che evita la formazione di eventuali efflorescenze all'intradosso della volta;
- Connessioni efficaci e resistenti a sforzi di taglio e allo sfregamento mediante l'impiego dei trefoli in fibra di acciaio ad altissima resistenza;
- Elevata duttilità del sistema di rinforzo grazie all'impiego di malta a basso modulo elastico anziché di resina che garantisce al contempo ottima aderenza al supporto e limitato irrigidimento del sistema voltato, contrastando il formarsi dei cinematismi critici per la volta e permettendo la dissipazione di energia.
- Basso peso specifico del rinforzo



Fasi di rinforzo mediante barre in tessuto d'acciaio e malta di calce idraulica naturale

B7 - ESECUZIONE DI SOLETTE RIGIDE SUGLI ORIZZONTAMENTI DI AGGREGATI EDILIZI IRREGOLARI;

"Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai ed al loro consolidamento

I solai devono essere efficacemente collegati alle pareti murarie, attraverso un appoggio sufficientemente ampio e, talvolta, elementi di connessione che ne impediscano lo sfilamento. Il ruolo dei solai nel comportamento sismico delle costruzioni in muratura è quello di tra- sferire le azioni orizzontali di loro competenza alle pareti disposte nella

direzione parallela al sisma; inoltre essi possono costituire un ulteriore vincolo per le pareti sollecitate da azioni ortogonali al proprio piano, oltre all'ammorsamento con le pareti ortogonali ed ai sistemi di collegamento puntuale. Per le suddette ragioni risulta utile un limitato irrigidimento dei solai, di cui vanno valutati gli effetti, a cui si associa inevitabilmente un aumento della resistenza degli elementi. Solo in casi particolari risulta invece necessario un irrigidimento significativo dei solai nel proprio piano, con l'obiettivo di ripartire l'azione sismica tra le diverse pareti; nella maggior parte dei casi questa ripartizione porta a concentrare le forze sugli elementi più rigidi, anticipandone la rottura, e sugli elementi perimetrali, nel caso d'irregolarità planimetri- che con accentuazione degli effetti torsionali. Compatibilmente con il rispetto delle precedenti finalità, è opportuno che i solai con struttura in legno siano il più possibile conservati, anche in considerazione del loro ridotto peso proprio. Un limitato irrigidimento dei solai, nel caso dei solai lignei, può essere conseguito operando all'estradosso sul tavolato. Una possibilità è fissare un secondo tavolato su quello esistente, disposto con andamento ortogonale o inclinato, ponendo particolare attenzione ai collegamenti con i muri laterali; in alternativa, o in aggiunta, si possono usare rinforzi con bandelle metalliche, o di materiali compositi, fissate al tavolato con andamento incrociato. Un analogo beneficio può essere conseguito attraverso un controventamento realizzato con tiranti metallici. Nel caso di solai a semplice orditura, dovrà essere curato il collegamento con le pareti parallele alle travi, realizzandolo, ad esempio, con bandelle fissate al tavolato ed ancorate nella muratura. Nei casi in cui risulti necessario un consolidamento statico del solaio per le azioni flessionali, è possibile, con le tecniche legno-legno, limitare la deformabilità flessionale ed aumentare la resistenza con un secondo tavolato, utilizzando, ortogonalmente rispetto al tavolato esistente, dei nuovi tavoloni continui, resi collaboranti alle travi mediante perni anche di legno. Anche mediante la tecnica di rinforzo con soletta collaborante in calcestruzzo, eventualmente alleggerito, si può realizzare un irrigidimento nel piano del solaio e flessionale; gli effetti di tale intervento vanno valutati in relazione alle specifiche esigenze di conservazione. Nel caso in cui gli elementi lignei non siano adeguatamente collegati alle mura- ture, può risultare necessario collegare la soletta alle pareti, tramite elementi puntuali analoghi a quelli già indicati.

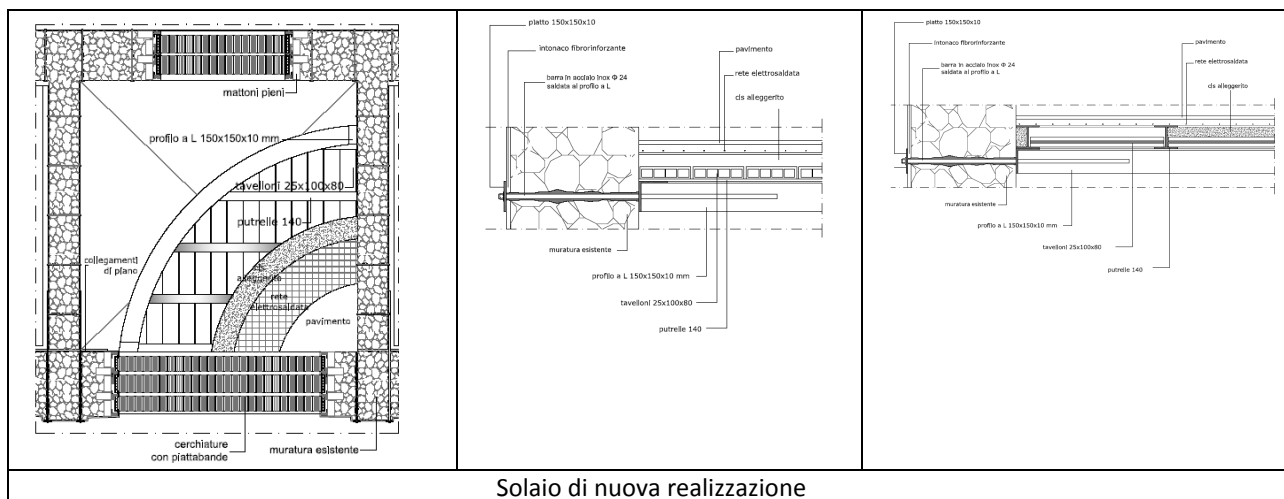
Nel caso di solai a travi in legno e pianelle di cotto, se viene dimostrata l'insufficiente resistenza nel piano, possono essere adottati interventi di irrigidimento all'estradosso con sottili caldane armate in calcestruzzo alleggerito, opportunamente collegate alle murature perimetrali ed alle travi in legno.

Nel caso di solai a struttura metallica con interposti elementi in laterizio (putrelle e voltine o tavelloni), può essere necessario collegare tra loro i profili saldando bandelle metalliche trasversali, poste all'intradosso o all'estradosso. Inoltre, in presenza di solai di luce significativa, per meglio vincolare la parete muraria, è opportuno collegarla in mezzera ai profili di bordo.

L'inserimento di cordoli in c.a. nello spessore della muratura ai livelli intermedi produce conseguenze negative sul funzionamento strutturale della parete, oltre che essere un intervento non compatibile con i criteri della conservazione. Eventualmente, nel caso di pareti molto deformabili flessionalmente per l'elevata distanza tra i muri di spina ortogonali, possono risultare utili i cordoli in acciaio, realizzati con piatti o profili sui due paramenti, collegati tra loro tramite barre passanti. Essi forniscono una certa rigidità flessionale fuori dal piano della parete e ostacolano lo sviluppo di meccanismi di rottura delle fasce sopra porta e sotto finestra. Nel caso di pareti perimetrali, può essere valutata la possibilità di eseguire il cordolo con un solo profilo all'interno, ancorato al paramento murario esterno attraverso ancoraggi passivi diffusi."

Consolidamento Solai piani di recente costruzione in putrelle e tavelloni o gettati in opera

Il consolidamento è previsto mediante il cerchiaggio sul perimetro con un profilo a L saldato sui travetti e bloccato alle pareti con connettori in acciaio inox sovrapposto alla fascia in tessuto di acciaio, prolungati all'interno del massetto strutturali. Il profilo a L da 100*100 mm migliora l'appoggio del travetto alla parete e realizza un cerchiaggio rigido nel piano del solaio. Al di sopra del travetto è previsto un massetto di 5 cm realizzato con malta strutturale a base di calce idrata armata con rete elettrosaldata in acciaio da 4 mm maglia 10 cm che ingloba l'ala superiore dei travetti al fine di rendere collaborante la sezione dello stesso travetto collegato alle pareti verticali con le barre radiali sul perimetro del solaio. In corrispondenza degli angoli, per una lunghezza di circa 150 cm, è prevista l'interruzione del massetto e la realizzazione di un giunto di 4-5 cm realizzato con materiale deformabile attraversato dalle barre radiali. Tale soluzione consente di conservare la deformabilità nel piano degli orizzontamenti al fine di non favorire l'espulsione delle angolature in caso di deformazione, delle celle murarie in particolare nelle posizioni di testata o d'angolo. Nel caso di solai realizzati con travetti gettati in opera di laterizio e cemento si prevede il cerchiaggio perimetrale con gli stessi profili a L bloccati sui travetti con connettori in tessuto di acciaio e il consolidamento dei travetti all'intradosso e all'estradosso con fasce in tessuto di acciaio collegate da connettori a fiocco in acciaio.



Solaio di nuova realizzazione

VEDI PUBBLICAZIONE DEI

B9 - ESECUZIONE DI CORDOLI IN CALCESTRUZZO ARMATO DI ELEVATO SPESSORE

"È in linea generale opportuno il mantenimento dei tetti in legno, in quanto capaci di limitare le masse nella parte più alta dell'edificio e di garantire un'elasticità simile a quella della compagine muraria sottostante.

In generale, vanno il più possibile sviluppati i collegamenti e le connessioni reciproche tra la parte terminale della muratura e le orditure e gli impalcati del tetto, ricercando le configurazioni e le tecniche compatibili con le diverse culture costruttive locali. Oltre al collegamento con capochiave metallico, che impedisce la traslazione, si possono realizzare cordoli-tirante in legno o in metallo opportunamente connessi sia alle murature sia alle orditure in legno del tetto (cuffie metalliche), a formare al tempo stesso un elemento di connessione sul bordo superiore delle murature ed un elemento di ripartizione dei carichi concentrati delle orditure del tetto. Vanno in generale evitati i cordoli in cemento armato di elevato spessore, per la diversa rigidità che essi introducono nel sistema e per l'impatto che producono. Essi possono essere utilizzati solo quando non alterino la situazione statica della muratura e ne sia dimostrata chiaramente l'efficacia, coerentemente con quanto già indicato al punto 6.3.2.

Ove i tetti presentino orditure spingenti, come nel caso di puntoni inclinati privi di semicatene in piano, la spinta deve essere compensata.

Nel caso delle capriate, deve essere presente un buon collegamento nei nodi, necessario ad evitare scorrimenti e distacchi in presenza di azioni orizzontali. Questo può essere migliorato con piastre e barre metalliche o con altri materiali (ad esempio fibrorinforzati). Possono essere introdotte forme di parziale irrigidimento delle falde, ad esempio per mezzo di tavolati sovrapposti e incrociati a quelli esistenti, con opportuni collegamenti ai bordi della muratura, o tramite controventi posti all'intradosso, realizzati con semplici catene metalliche.

Miglioramento del comportamento della copertura.

Realizzazione della cordolatura in muratura sulla sommità del timpano

L'intervento proposto ha una triplice finalità: il ripristino della porzione sommitale del timpano crollata, ma anche un miglioramento della risposta sismica di questa porzione di muratura, nonché la possibilità di garantire un ancoraggio efficace tra gli arcarecci della copertura ed il timpano stesso. La metodologia di realizzazione di cordolo in muratura risulta tuttavia innovativa. Come ormai ampiamente appurato irrigidimenti della parte sommitale delle murature, ad esempio con cordoli in cemento armato, non sono in grado di garantire una corretta distribuzione dei carichi verticali e delle relative tensioni sulle porzioni di muratura sottostante. Ne deriva che un'azione sismica orizzontale può provocare fenomeni di ribaltamento di quelle porzioni di muratura "non stabilizzate" dal carico verticale mal distribuito dal cordolo. La muratura armata rappresenta invece un'efficace soluzione. La tecnologia qui proposta costituisce un'innovazione sperimentale i cui risultati scientifici hanno messo in luce l'efficacia di questo sistema. L'applicazione a livelli alternati di nastri in SRG (Steel Reinforced Grout), il cui rinforzo è costituito da fili di acciaio galvanizzati ad alta resistenza immersi all'interno di una matrice a base di calce ed elementi in laterizio consente infatti di ottenere un laterizio "lamellare" capace di fornire prestazioni strutturali di notevole rilievo, coniugando le caratteristiche di resistenza a compressione del laterizio con le ottime resistenze a trazione dei trefoli di acciaio UHTSS degli SRG.



Figura 1-2 - Esempi di realizzazione

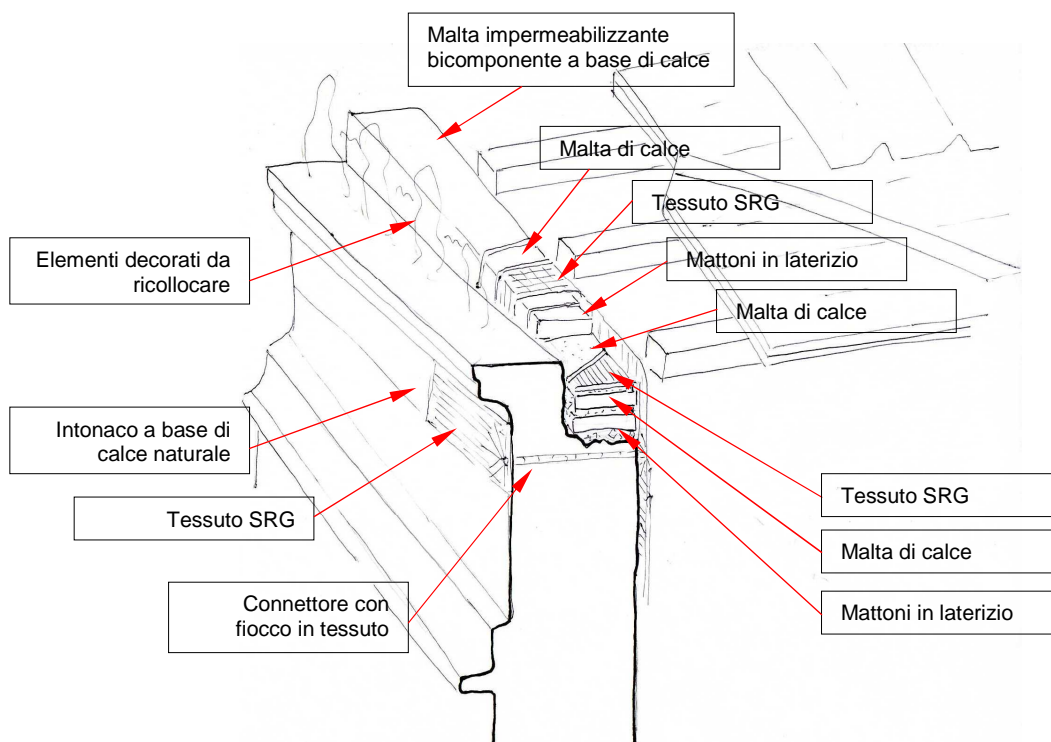


Figura 3 - Schizzo dell'idea progettuale

proposta



Figura 4 - Immagine esemplificativa

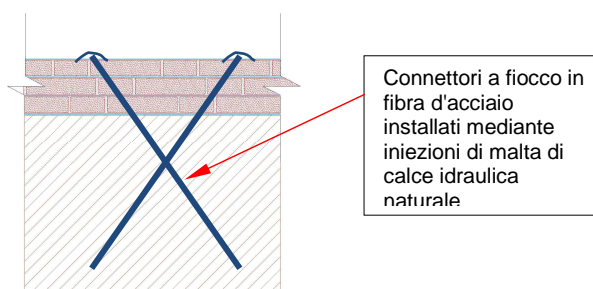


Figura 5 - Sezione tipo

Fasi operative

La metodologia operativa consiste nel realizzare la sovrapposizione di strati di mattoni semipieni comuni alternati a strati di materiale SRG tipo 3x2 a bassa densità immerso in matrici a base di calce idraulica naturale. Si procederà prima alla livellatura del supporto, con eventuali fasi di ripristino e riparazione di lesioni presenti. Nelle fasi di realizzazione del cordolo particolare cura sarà posta alla corretta impregnazione del tessuto nella matrice idraulica. Il

sistema verrà reso solidale con la muratura sottostante mediante l'inserimento di connettori a fiocco in fibra d'acciaio installati mediante iniezioni di malta di calce idraulica naturale per la profondità di 1 m, inclinati e con passo 50-70 cm. In eventuali zone di sovrapposizione dei tessuti l'impregnazione avverrà mediante impasto misto al 50 % di malta di calce idraulica e resina epossidica bicomponente tixotropica.

Rinforzo del timpano

Il rinforzo del timpano è stato previsto per conferire al macroelemento un comportamento a corpo rigido, necessario per introdurre presidi di controllo dei meccanismi fuori del piano, e per migliorare le proprietà meccaniche della muratura al fine di evitare l'attivazione dei meccanismi interni di disgregazione della muratura e di flessione orizzontale. A tale scopo è previsto l'utilizzo di tessuti in acciaio galvanizzato ad altissima resistenza. Questi elementi possono essere alloggiati verticalmente ed orizzontalmente (realizzando un reticolo), sia sulla faccia interna che su quella esterna, rispettando integralmente la configurazione architettonica del prospetto, ed essere collegati trasversalmente mediante connettori con fiocchi realizzati con lo stesso materiale. In funzione dei dettagli di fregio in prospetto esterno è possibile realizzare le fasciature esterne, corrispondenti a quelle interne ed utilizzando dei connettori a fiocco risvoltando la fibra a 90° sulle due facciate (interno e d'esterno), come un capo chiave, si può realizzare l'ancoraggio meccanico mascherando tale soluzione sotto intonaco.



Le connessioni trasversali saranno realizzate negli incroci delle fasce e negli intervalli con passo di circa 70 cm. Nei campi di timpano non coperti dalle fasce si realizzeranno connessioni con barre in acciaio inox a forma elicoidale. L'utilizzo di malte a base di calce idraulica naturale esenti da cementi e sali idrosolubili realizza una perfetta compatibilità con l'esistente.

Fasi operative

Preparazione del sottofondo mediante rimozione di intonaco (dove presente), pulizia tramite spazzolatura o sabbatura, da polveri, grassi e parti incoerenti. Sigillatura/riparazione di eventuali fessurazioni o lesioni. Applicazione a rifiuto a spruzzo o a pennello di prodotto pronto consolidante a base di esteri etilici dell'acido silicico in miscela di solventi.

Stesura del primo strato di malta strutturale a base di calce idraulica naturale ed inerti selezionati per uno spessore minimo medio di cm 1.

Applicazione del tessuto, strato di malta ancora "fresco", prestando attenzione a non formare grinze, spianandolo manualmente.

Impregnazione manuale e per mezzo di un apposito rullo del tessuto precedentemente tagliato.

Applicazione di una seconda mano di malta strutturale ad a base di calce idraulica naturale ed inerti selezionati, ottenendo uno strato di spessore minimo medio di cm 1. Realizzazione di una rasatura finale eseguita a regola d'arte.

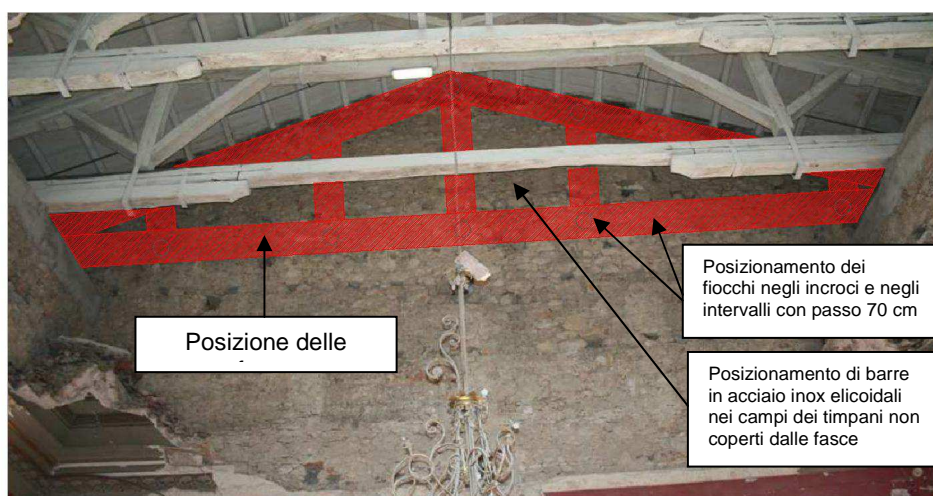


Figura 1 - Individuazione della posizione di fasce ed ancoraggi (controfacciata)

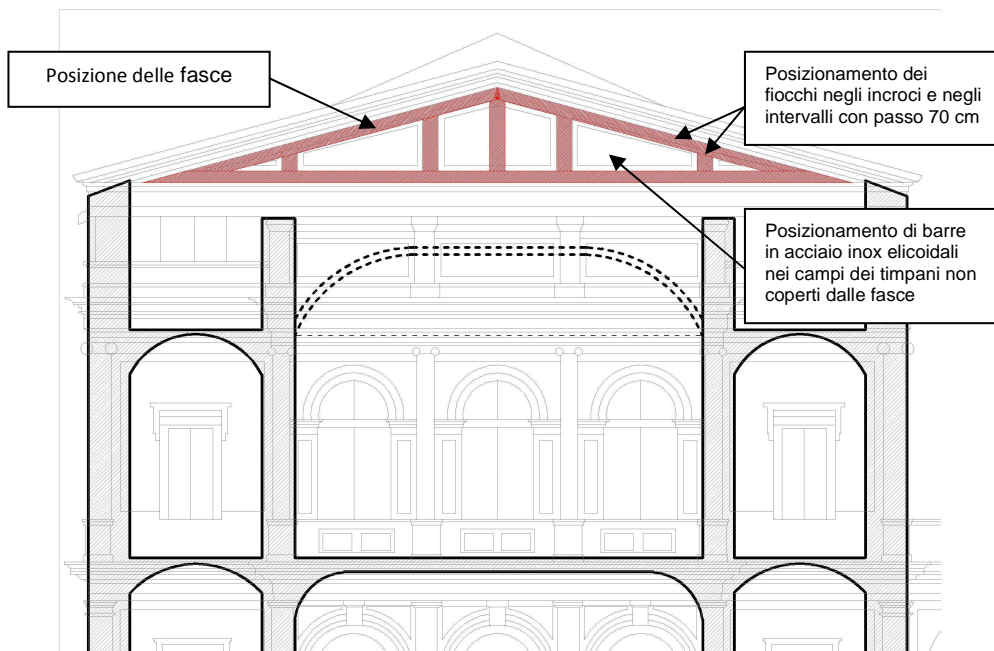
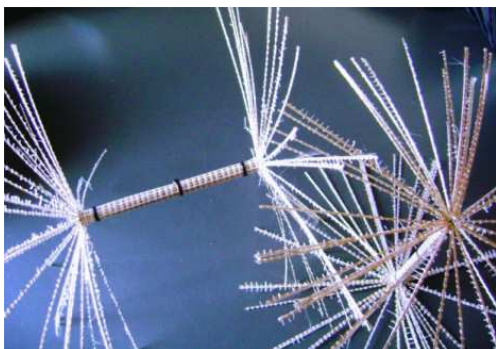
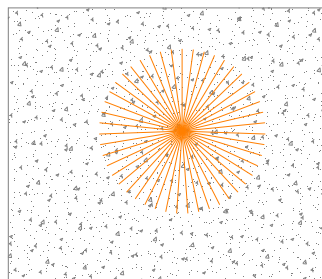


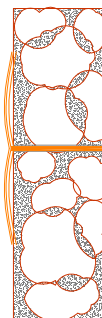
Figura 2 - Individuazione della posizione di fasce ed ancoraggi (facciata)



Fiocco in acciaio



Sfiocco a radiale su parete.



Sezione muratura a singolo paramento.

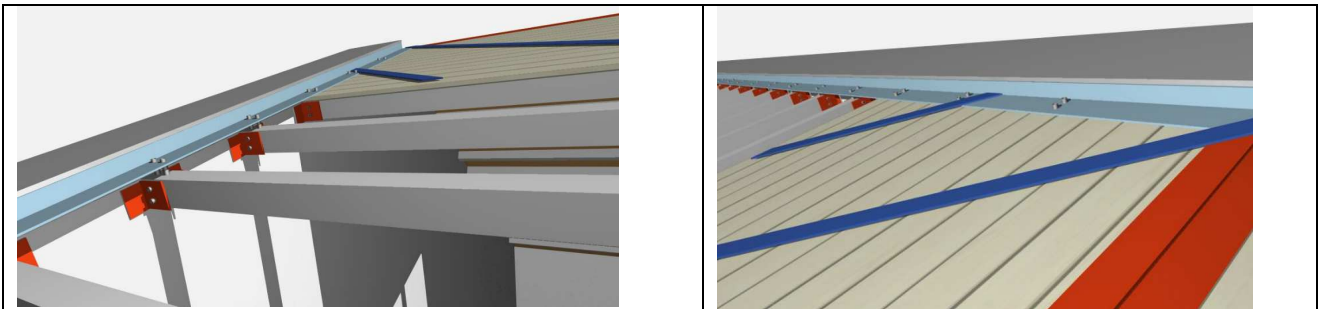
Collegamento degli arcarecci alla muratura del timpano e alle pareti laterali

Per contrastare i meccanismi fuori del piano di ribaltamento del timpano si prevede di integrare i controventi di falda, previsti nel progetto definitivo, realizzando un collegamento *lineare* lungo il profilo della copertura alle pareti laterali e di migliorare il collegamento degli arcarecci al timpano con squadri in acciaio bullonati ai lati della trave lignea e ancorati al timpano stesso con barre in acciaio.

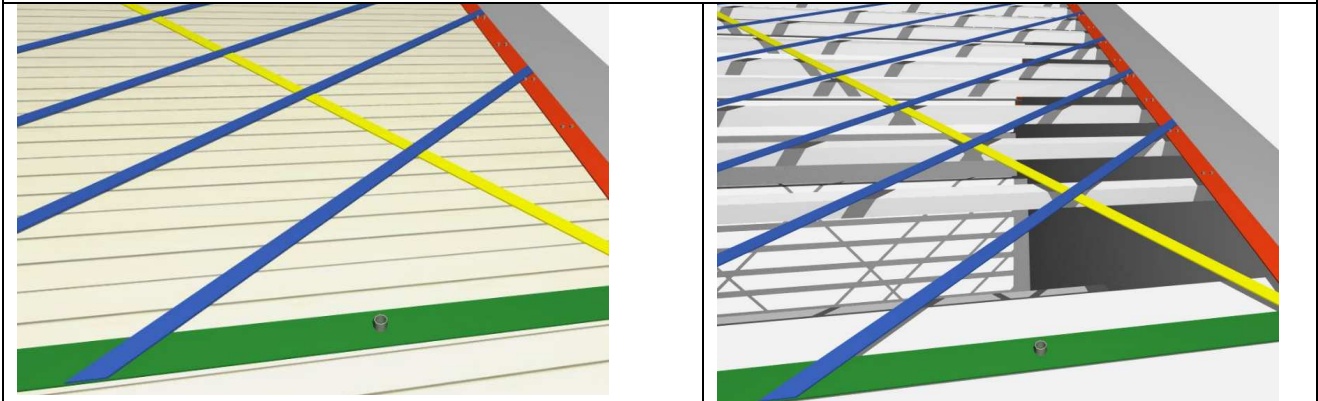
Il collegamento lineare è realizzato al di sopra del tavolato incrociato con la posa in opera di un profilo piatto a L (80x160 mm e spessore 8 mm), disposto con il lato maggiore parallelo al tavolato, collegato agli arcarecci con due bulloni passanti e al timpano (zona cordolo) con barre in acciaio inclinate verso il basso. In alternativa del profilo a L potrebbe essere collocato in opera un profilo piatto. Questa soluzione potrebbe essere utilizzata nel caso in cui non risultasse sufficiente lo spazio al di sopra degli arcarecci. Il rilievo e i saggi del sistema costruttivo, da eseguire in sede di progettazione esecutiva, consentiranno di stabilire se introdurre il profilo a L o soltanto il profilo piano. Il profilo a L (o piatto) sarà collegato ad un profilo piatto disposto in asse alle pareti perimetrali con piatti in acciaio (larghezza 80 mm e sezione 8 mm) saldati al profilo a L, bloccati con viti non allineate al tavolato e saldati al profilo longitudinale. Gli incroci piani tra i profili saranno realizzati con saldature di testa tra gli elementi rinforzate con piatti sovrapposti e saldati in acciaio.

Per rinforzare il collegamento degli arcarecci al timpano è prevista la posa in opera di due angolari in acciaio ai lati di ciascun arcareccio. Gli angolari (lato 120 mm e spessore di 8 mm) saranno collegati tra di loro e all'arcareccio con un bullone in acciaio inox (sezione 16 mm) e al timpano con barre in acciaio inox con calza in tessuto (Bossong G bos 16). Le barre in acciaio inox, di collegamento al timpano (interasse circa 80-100 cm) potranno, essere collegate all'esterno

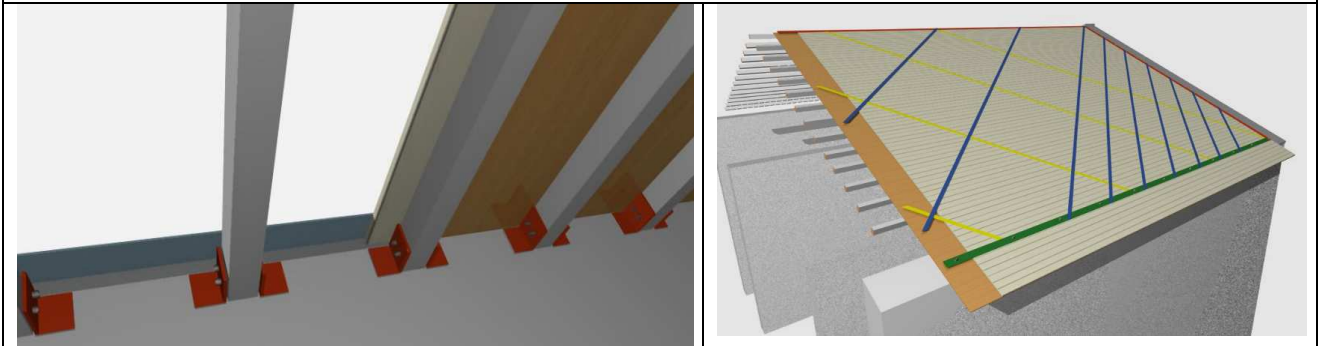
con un profilo piatto in acciaio in corrispondenza della fascia consolidata con le fibre in acciaio ovvero ancorate nello spessore del timpano con ancoraggio chimico.
 In corrispondenza delle pareti laterali, al di sopra del tavolato esistente, sarà posto in opera un profilo piatto (larghezza di 150 cm e spessore 8-10 mm) ancorato alla parete verticali con perforazioni inclinate (soluzione Bossong).



Collegamento degli arcarecci al timpano e profilo angolare al si sopra del tavolato (soluzione A)

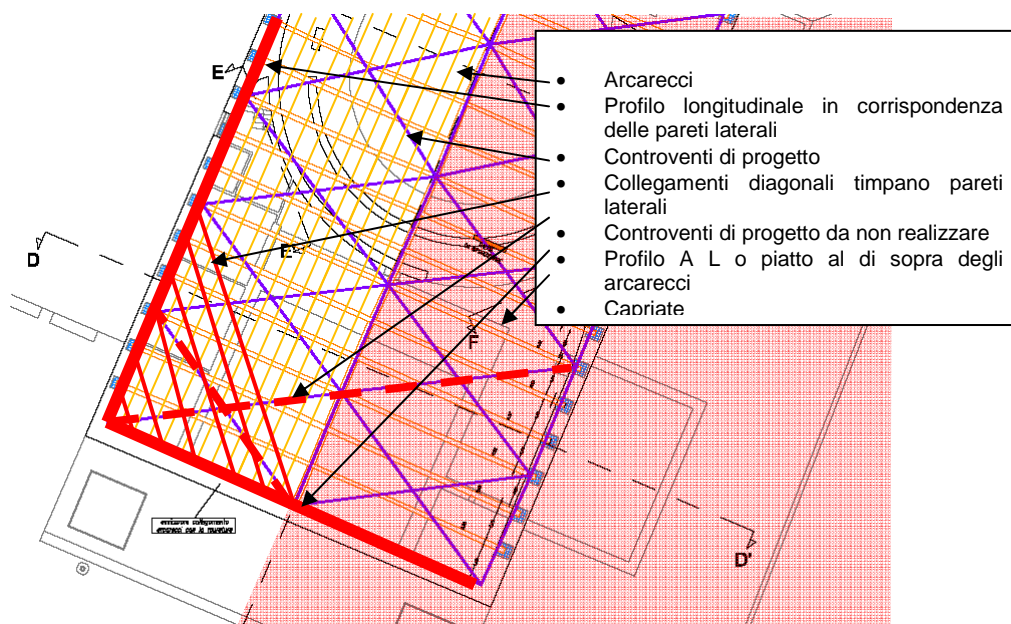


Collegamento degli arcarecci al timpano e profilo piatto al si sopra del tavolato (soluzione B)



Collegamento degli arcarecci al timpano con angolari

Disposizione dei controventi di falda



Schema collegamenti di controvento del timpano riportati soltanto su una falda

Collegamenti da eliminare — —

Le soluzioni tecniche proposte per il timpano di facciata possono essere realizzate, con idonei accorgimenti, anche per i timpani della parte posteriore.

B10 - RINFORZO SOMMITALE IN MURATURA ARMATA

La cimasa delle pareti in muratura può essere rinforzata con la costruzione di una porzione di parete di mattoni pieni armata con barre in acciaio avente l'obiettivo di assolvere alle prestazioni fondamentali dei cordoli di sommità che consistono nella capacità di:

1. assorbire le sollecitazioni assiali e di ripartirle sulle murature d'imposta;
2. ripartire i carichi concentrati verticali in modo da agevolarne la diffusione nella muratura sottostante;
3. contrastare i meccanismi di danno fuori del piano.

Tali funzioni possono essere assolte conservando le stesse proprietà della muratura in opera evitando di introdurre elementi strutturali di elevata rigidità come i cordoli in cemento armato o in acciaio.

La soluzione prevede di sostituire la muratura della sommità delle pareti con mattoni pieni di argilla disposti con tessitura regolare. Sono previste due barre in acciaio inox longitudinali e collegamenti trasversali per assicurare gli elementi lapidei e il collegamento con le capriate". Il cornicione non sarà smontato ed è prevista la protezione e la puntellatura da eseguirsi prima di iniziare le operazioni di smontaggio della retrostante muratura.

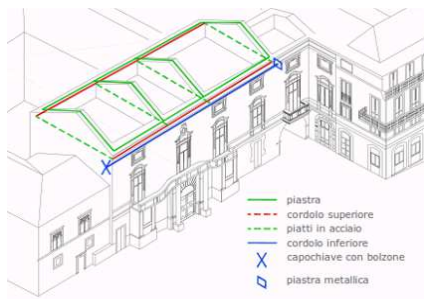
Armatura del rinforzo sommitale : L'armatura è costituita da una barra in acciaio alla base del rinforzo collegata all'estremità della parete con un bolzone in acciaio e di una seconda barra posta dietro la capriata collegata alle pareti trasversali con collegamenti realizzati con piatti in acciaio bloccati alle pareti con connessioni costituite da barre in acciaio ad interasse di 70-80 cm. Le armature sono alloggiare in due bauletti in malta idraulica pozzolanica aventi sezione di 10-15 cm. Essi saranno piegate negli angoli a 90 gradi per una lunghezza di ancoraggio di circa 100 cm. Il collegamento delle armature, in corrispondenza degli angoli, è affidato all'aderenza tra le barre in acciaio inox e la malta e integrato, eventualmente, con fasce metalliche che consentono piccoli spostamenti o con saldatura.

Esecuzione del rinforzo sommitale per cantieri: L'esecuzione è prevista per cantieri aventi lunghezza variabile (minimo 200 cm) e il collegamento delle barre è previsto con manicotti filettati in modo da garantire la continuità della barra in acciaio lungo l'intero sviluppo del cordolo e l'eventuale messa in tiro.

Appoggio capriate e travi lignee : All'interno del rinforzo in mattoni è inserito l'appoggio della capriate lignee. Il collegamento tra le capriate e le travi prevede la posa in opera di presidi che ripartiscono il carico verticale sulla muratura e consentono il collegamento tra queste e il rinforzo sommitale. Per realizzare tale appoggio possono essere previste cuffie in acciaio, di forma rettangolare aperte nella parte anteriore e posteriore, costituite da una piastra di base in acciaio ancorata al cordolo in muratura con 4 tirafondi in acciaio.

Fasi operative del rinforzo sommitale

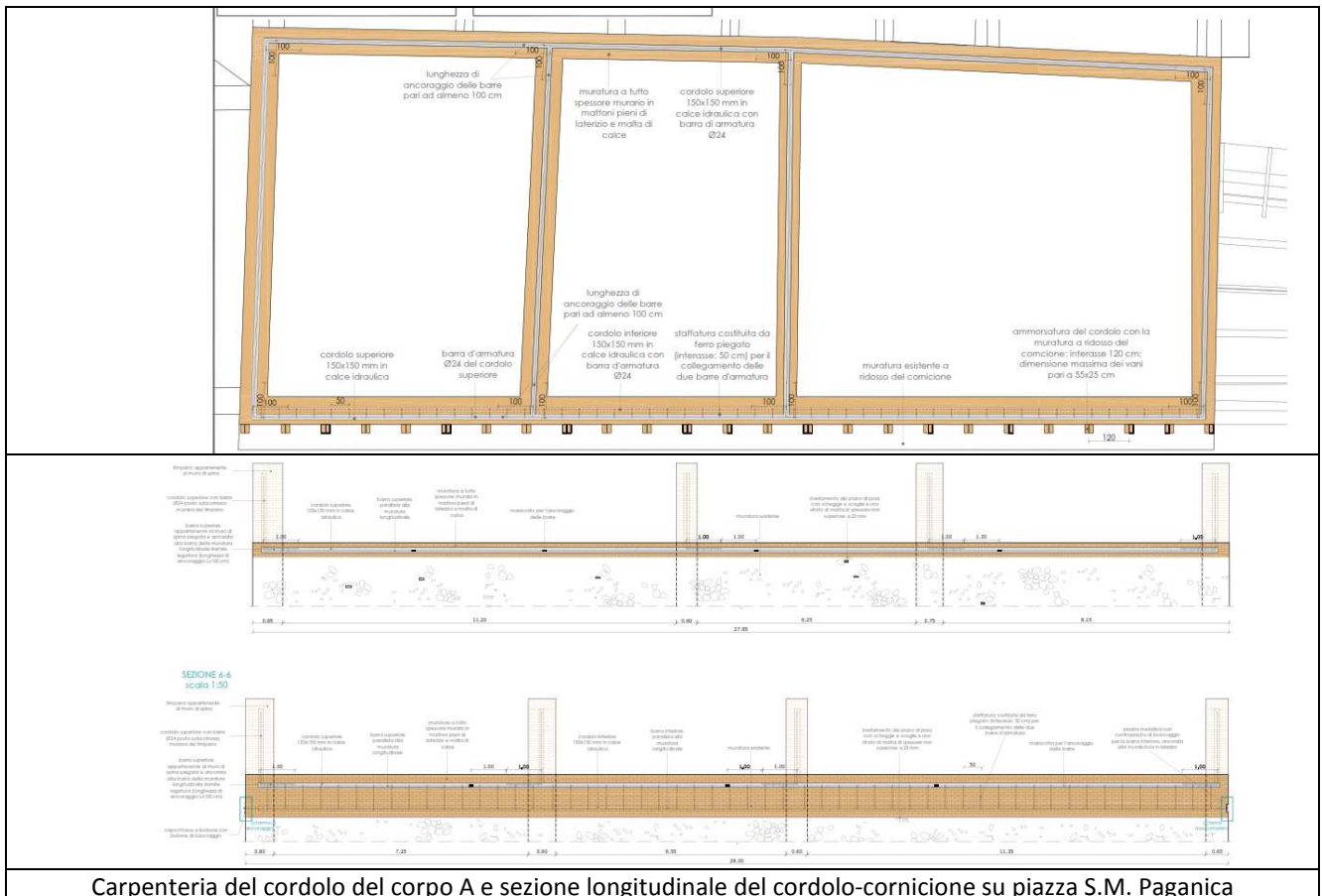
- Costruzione di un ponteggio esterno di servizio con una mantovana di sostegno al cornicione ed eventuale protezione con una copertura provvisoria della zona di intervento;
- Operazioni di pulitura e preconsolidamento degli apparati decorativi (pietre e stucchi);
- smontaggio della copertura a cantieri di lunghezza di circa 200 cm;
- smontaggio della muratura dietro il cornicione fino alla quota di imposta del cordolo murario;
- realizzazione dei primi filari di mattoni;
- posa in opera della prima barra longitudinale e realizzazione del bauletto di malta per l'alloggio della barra in acciaio;
- tessitura della muratura e ancoraggio del rivestimento di facciata dall'interno con perni in acciaio inox fino all'imposta della capriata;
- raggiunta la quota di imposta delle capriate si provvederà alla posa in opera dell'apparecchio di appoggio collegato alla muratura con 4 tirafondi;
- posa in opera delle capriate e completamento della tessitura muraria;
- posa in opera di un nastro in acciaio sugli elementi lapidei di sommità e collegamento alla muratura in mattoni;
- posa in opera degli arcarecci e del tavolato chiodato agli arcarecci e del manto di copertura



Schema collegamenti su Piazza S. Maria Paganica



Rilievo laser scanner della - facciata su piazza S.M. Paganica



Carpenteria del cordolo del corpo A e sezione longitudinale del cordolo-cornicione su piazza S.M. Paganica

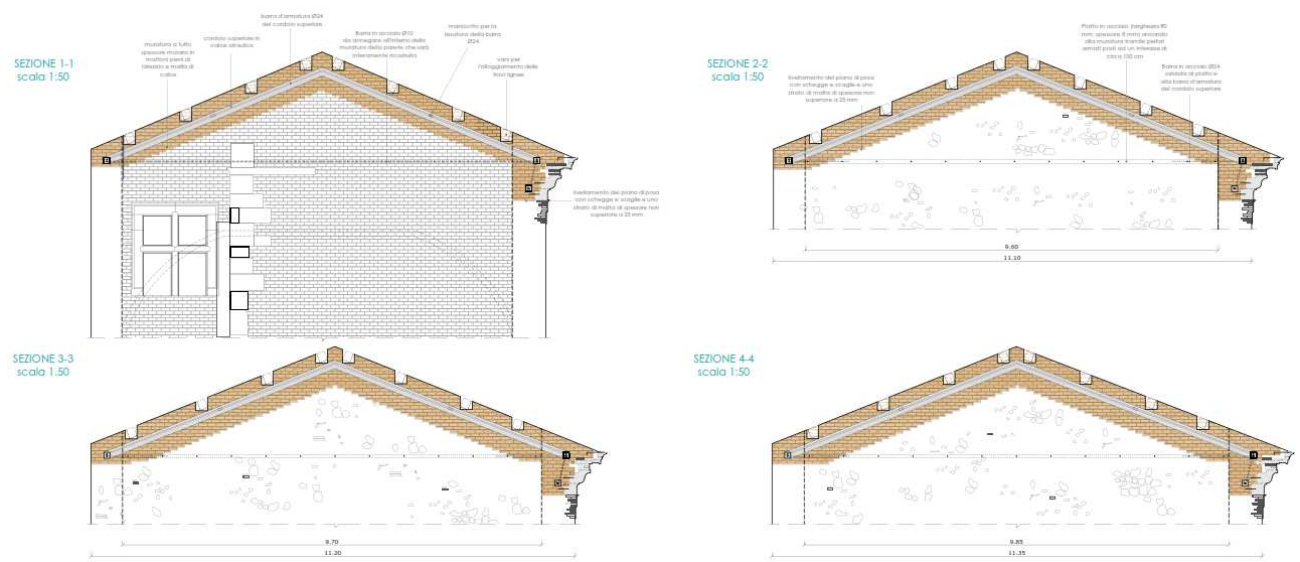
Rinforzo strutturale sui timpani trasversali

Il rinforzo sommitale sul lato interno del cortile e sui timpani trasversali sarà realizzato anch'esso a tutto spessore di muratura armata con una barra in acciaio inox da 24 mm all'interno di un bauletto in malta di calce pozzolanica. L'intervento prevede lo smontaggio della cimasa muraria per un'altezza di circa 70 cm e la ricostruzione con mattoni pieni. Particolare attenzione dovrà essere rivolta alla interfaccia tra la porzione di timpano in mattoni e quella sottostante in pietra. I mattoni sono previsti a partire dal profilo inclinato coincidente con l'andamento delle falde prima della sopraelevazione del timpano. La proposta prevede di rimontare il timpano con la stessa configurazione realizzando una interfaccia scalettata tra i due profili in modo da favorire la posa orizzontale dei mattoni. Oltre alla barra in acciaio inox all'interno del bauletto in malta è previsto un ulteriore collegamento trasversale nel piano del timpano realizzato con due piatti in acciaio da 100 mm * 8 mm posti su entrambe le facce della parete, ove possibile, e collegati tramite perforazioni armate ad interasse con barre di acciaio da 12 mm ad interasse di 70-80 cm.

Il collegamento tra il piatto in acciaio e la barra in acciaio inox è assicurato da un ancoraggio meccanico costituito da un anello forgiato in testa alla barra in acciaio inox che è collegato con una barra da 20 mm in senso trasversale a collegare i due piatti ai lati del timpano.

Il collegamento delle armature, in corrispondenza degli angoli, è affidato all'aderenza malta-acciaio e il contrasto per azioni fuori del piano è affidato alla sezione di calcestruzzo all'interno del cordolo in muratura e all'attrito che si sviluppa tra il calcestruzzo e i mattoni. Il collegamento è migliorato collegando meccanicamente le barre con fasce metalliche che consentono piccoli spostamenti o con saldatura.

L'appoggio delle capriate verso il cortile sarà realizzato allo stesso modo della facciata sulla piazza mentre il collegamento degli arcarecci ai timpani sarà realizzato con cuffie metalliche in acciaio.



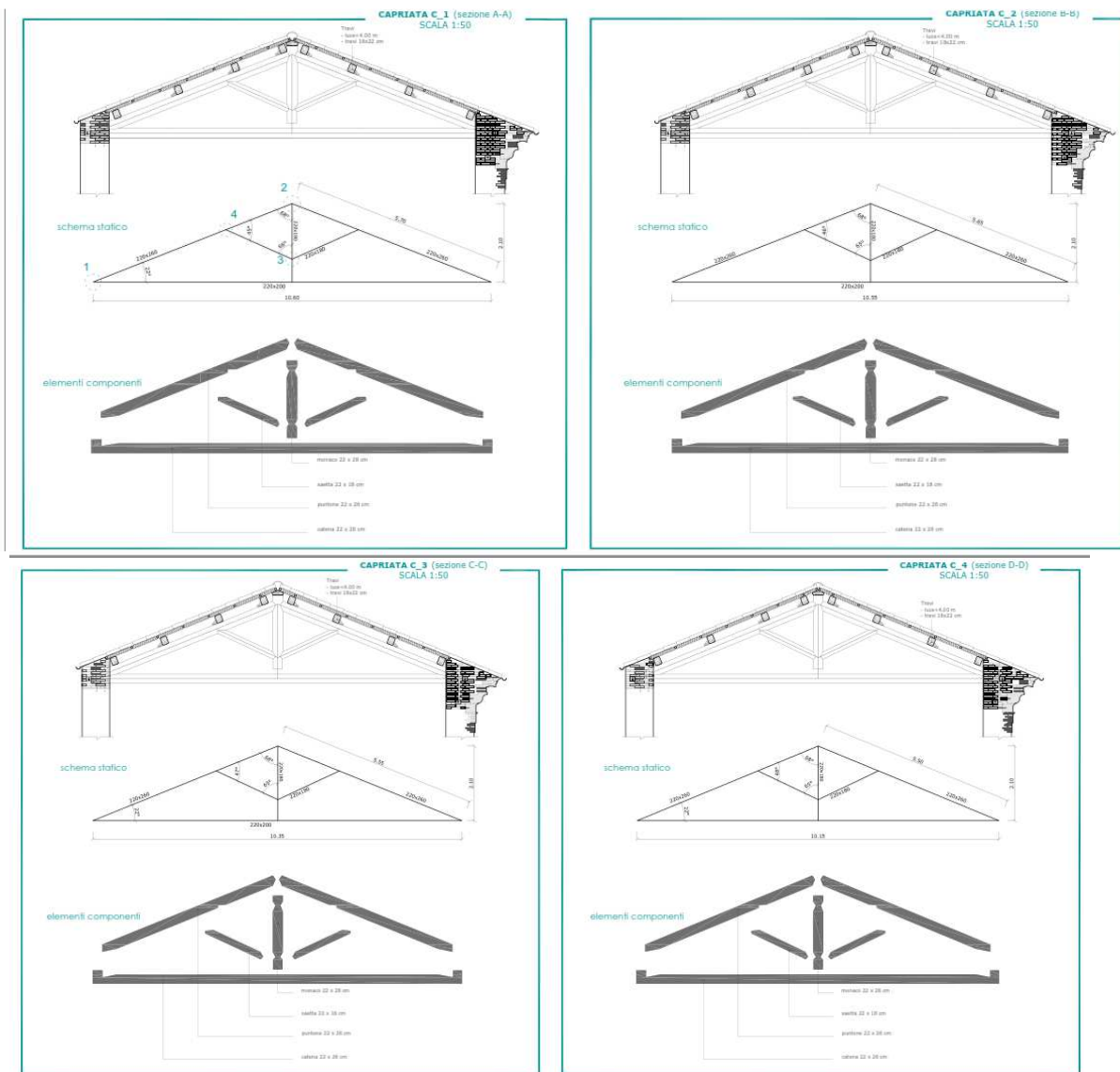
Sezioni del cordolo del corpo A in corrispondenza dei timpani

L'assemblaggio dei laterizi prevede uno schema maggiore di 4 teste come sulla piazza e le fasi operative sono le seguenti :

- costruzione del ponteggio di servizio;
- riparazione e consolidamento della muratura del timpano
- smontaggio del timpano
- realizzazione dei primi filari di mattoni;
- posa in opera della arra longitudinale e realizzazione del bauletto di malta;
- realizzazione della tessitura muraria fino alla sommità
- posa in opera dei piatti binati in acciaio alla base del timpano

Struttura portante primaria e secondaria

La struttura portante della copertura è costituita dai timpani di testata e da 4 capriate lignee intervallate da due timpani in muratura. Sui timpani e sulle capriate sono poggiati gli arcarecci. Le capriate ripropongono il disegno originale ed hanno larghezza variabile dovuta alla irregolarità in pianta del corpo di fabbrica. La struttura secondaria è costituita da arcarecci in legno di castagno poggiati sulle capriate e sui timpani e ad essi collegati con staffe sagomate in acciaio bloccate sulle travi e sui timpani/capriate.

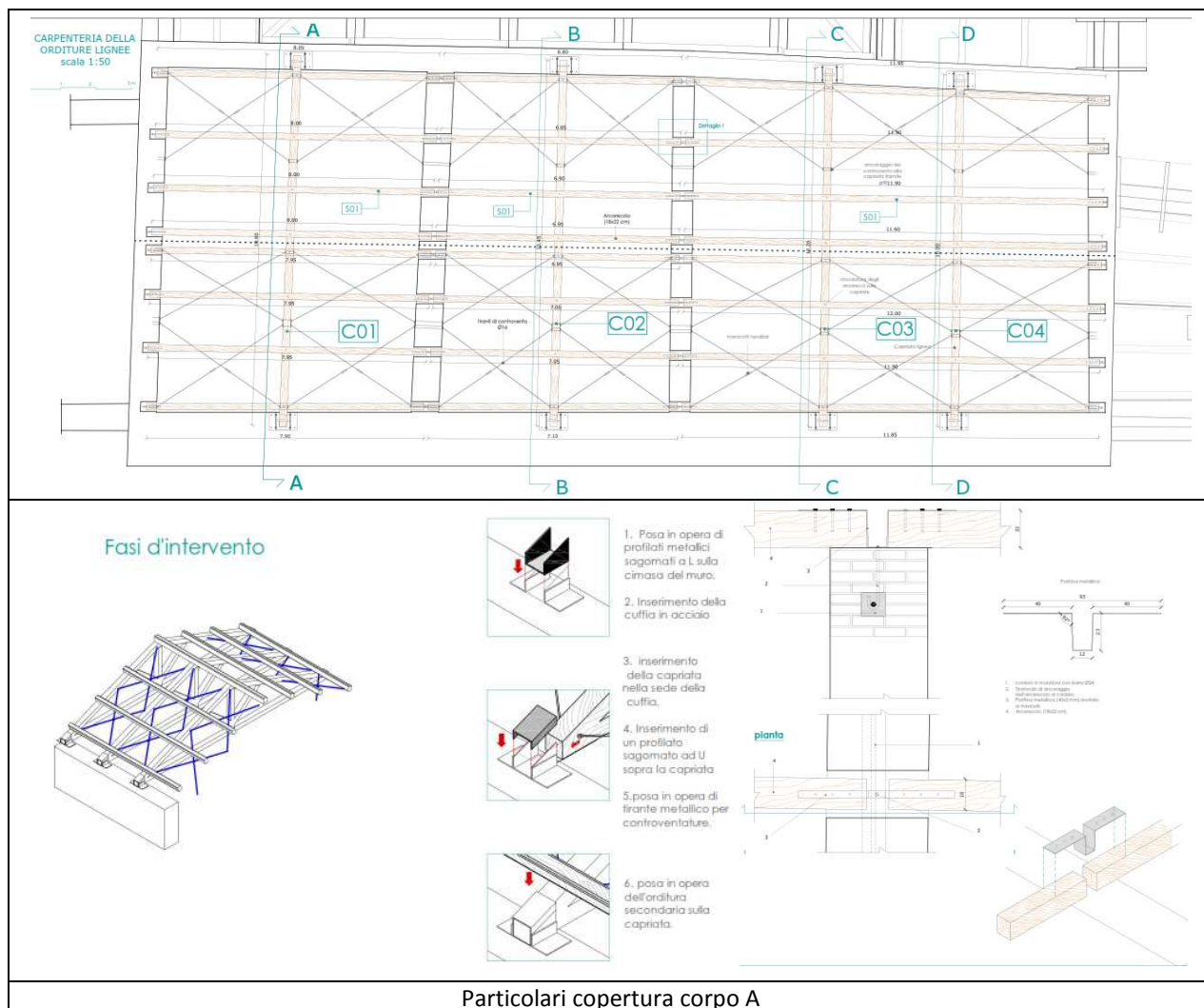


Corpo A - particolari costruttivi delle capriate

Controventi di falda

Sono stati previsti con "un sistematico inserimento di croci di S. Andrea".

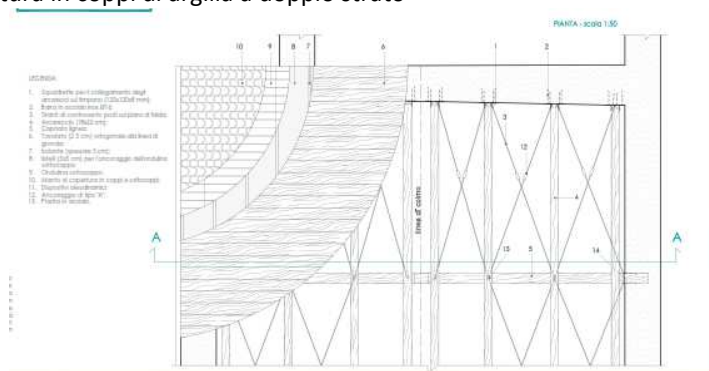
L'intervento prevede la realizzazione delle croci di S. Andrea con tiranti in acciaio (sezione 16 mm), in regime di sforzo assiale per le quali va trascurato il contributo dell'elemento alla compressione. I tiranti sono collegati tra le capriate e tra capriata e timpano. Tale configurazione consente di impedire lo spostamento fuori piano delle capriate e realizza un vincolo al ribaltamento dei timpani di testata. Le travi sono collegate alle capriate con due squadri in acciaio con connessioni bullonate passanti.



Manto di copertura

Il manto di copertura del corpo di fabbrica è costituito da :

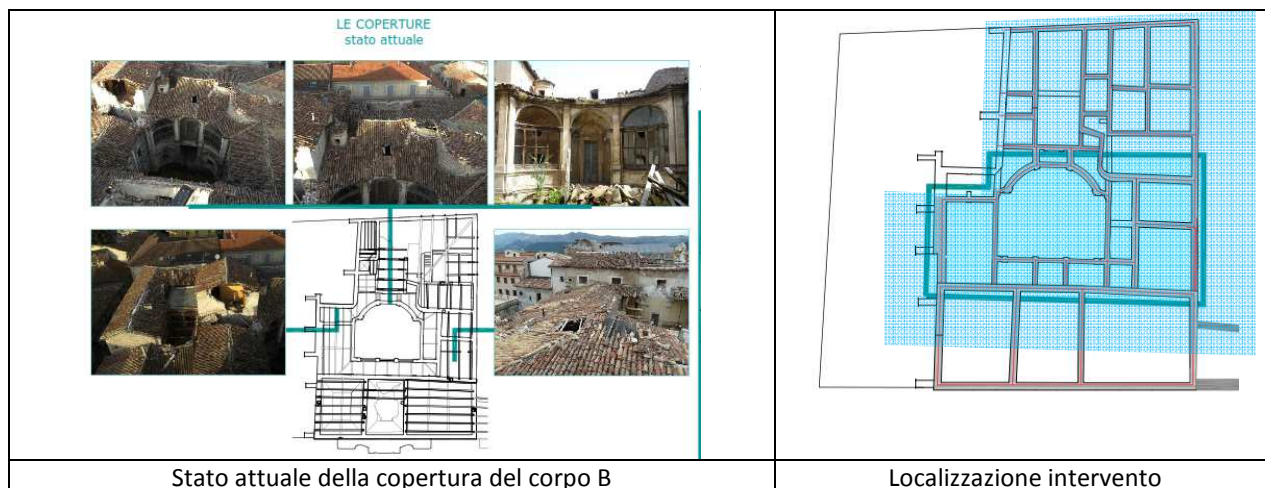
- tavole di abete da 2.5 chiodate sugli arcarecci con tessitura longitudinale;
- membrana impermeabilizzante bituminosa armata con feltro al vetro accorpato ad un film antiradice di polietilene da 36 microns applicata a fiamma con giunti sovrapposti da 10 cm.
- isolate termico costituito da poliuretano espanso autoestinguente con densità di 36 kg/mc e conduttività termica di 0.20 Kcal/mhC tagliato a listelli largi 50 cm
- listelli in legno da 5*5 cm per l'ancoraggio dell'onduline
- onduline sottocoppo
- manto di copertura in coppi di argilla a doppio strato

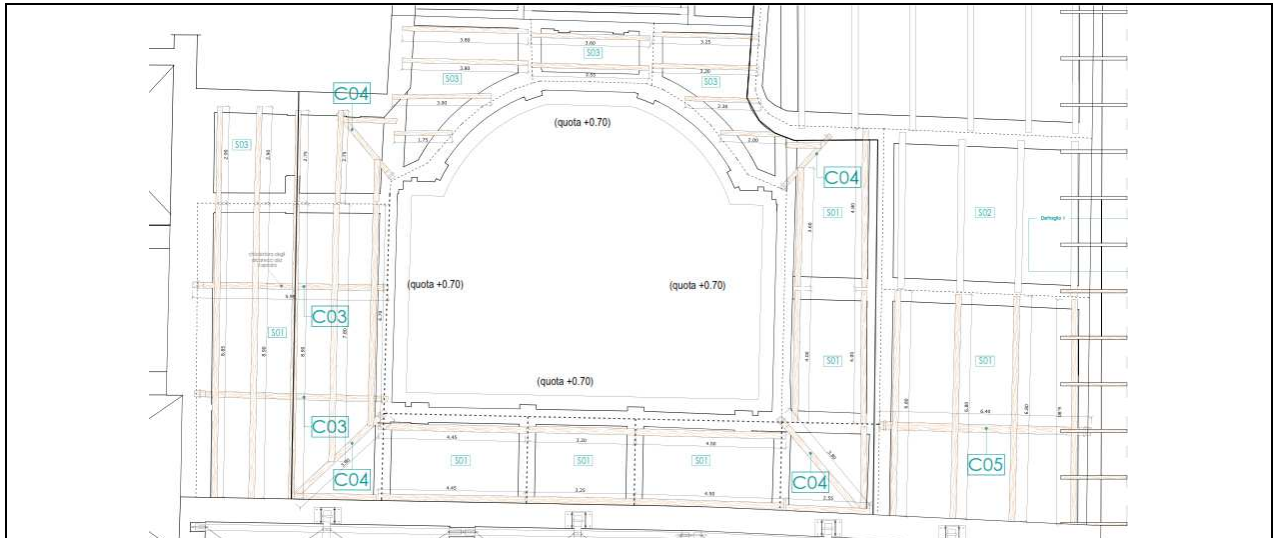


Manto di copertura

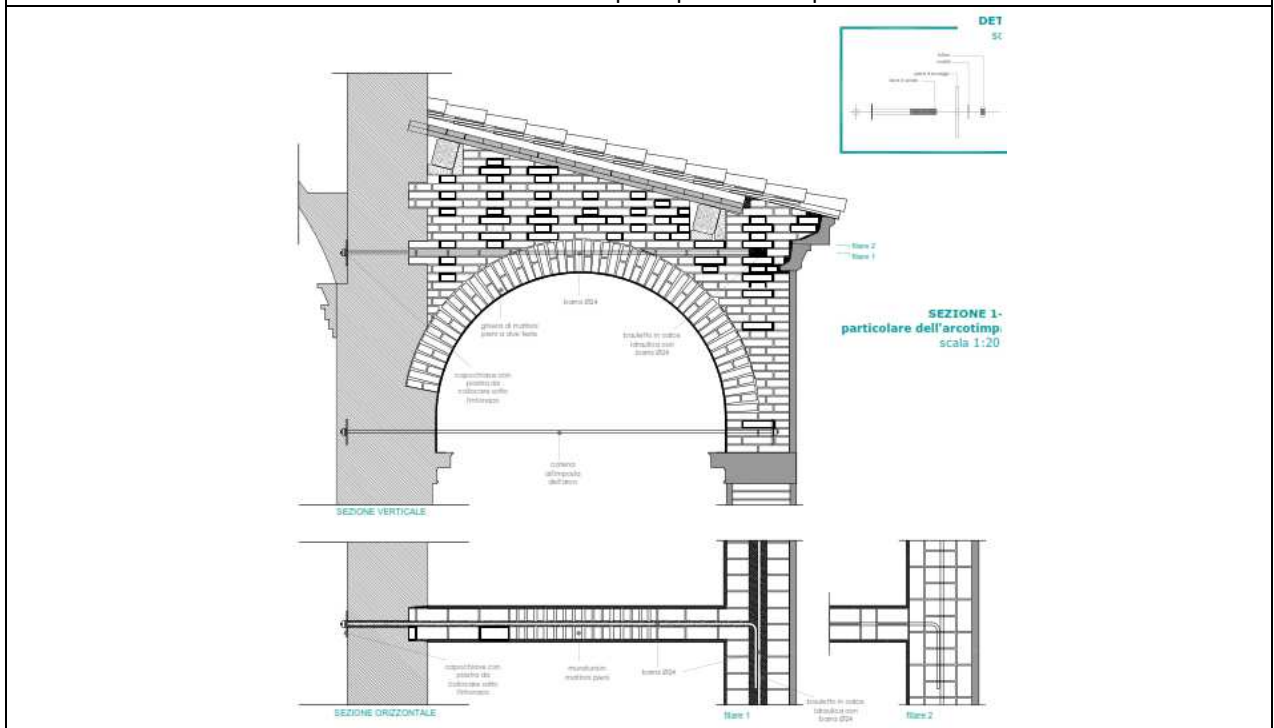
Copertura di una loggia poggiata su archi-timpano

La copertura della loggia ha forma quadrata con un lato a profilo circolare con la falda inclinata sul cortile. La struttura è composta da due arcarecci poggiati sugli arconi trasversali sui quali è poggiato direttamente il tavolato e da semicapriate negli angoli. L'intervento prevede la ricostruzione integrale della copertura e la realizzazione del rinforzo sommitale in muratura di mattoni armata con una barra di acciaio. La tecnologia di intervento è identica a quella del corpo A. La struttura della copertura è realizzata con arcarecci poggiati sui timpani in direzione parallela ai prospetti esterni.

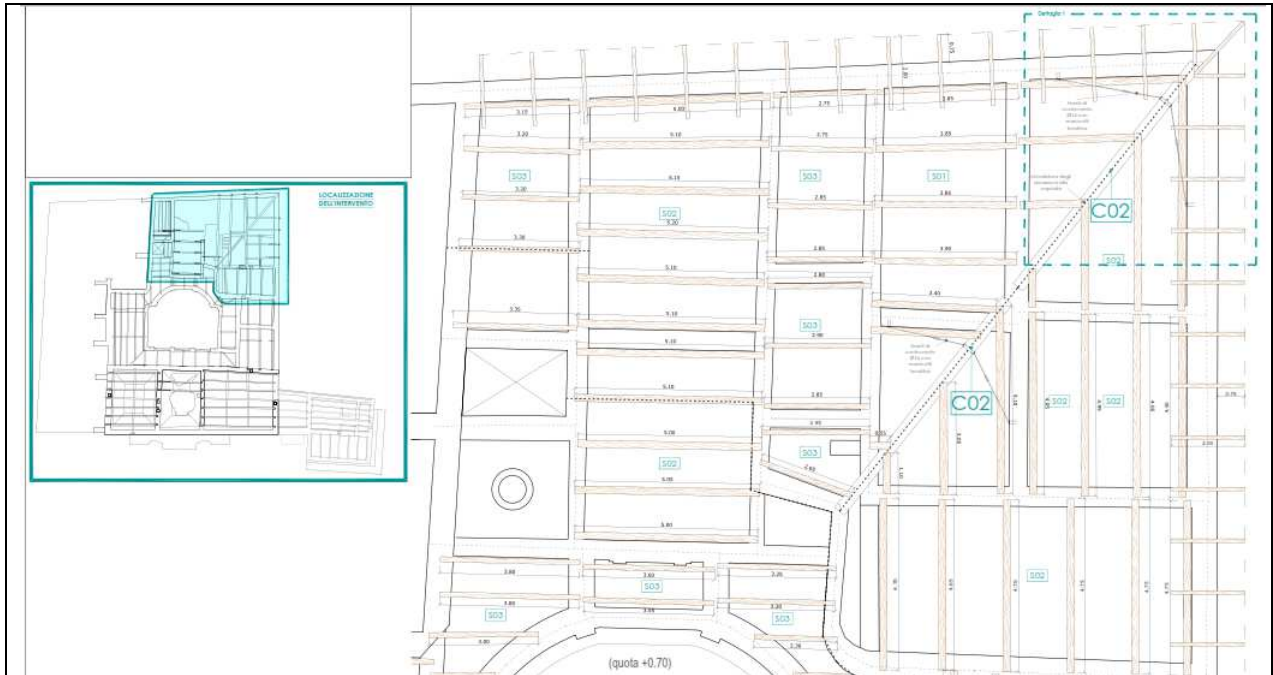




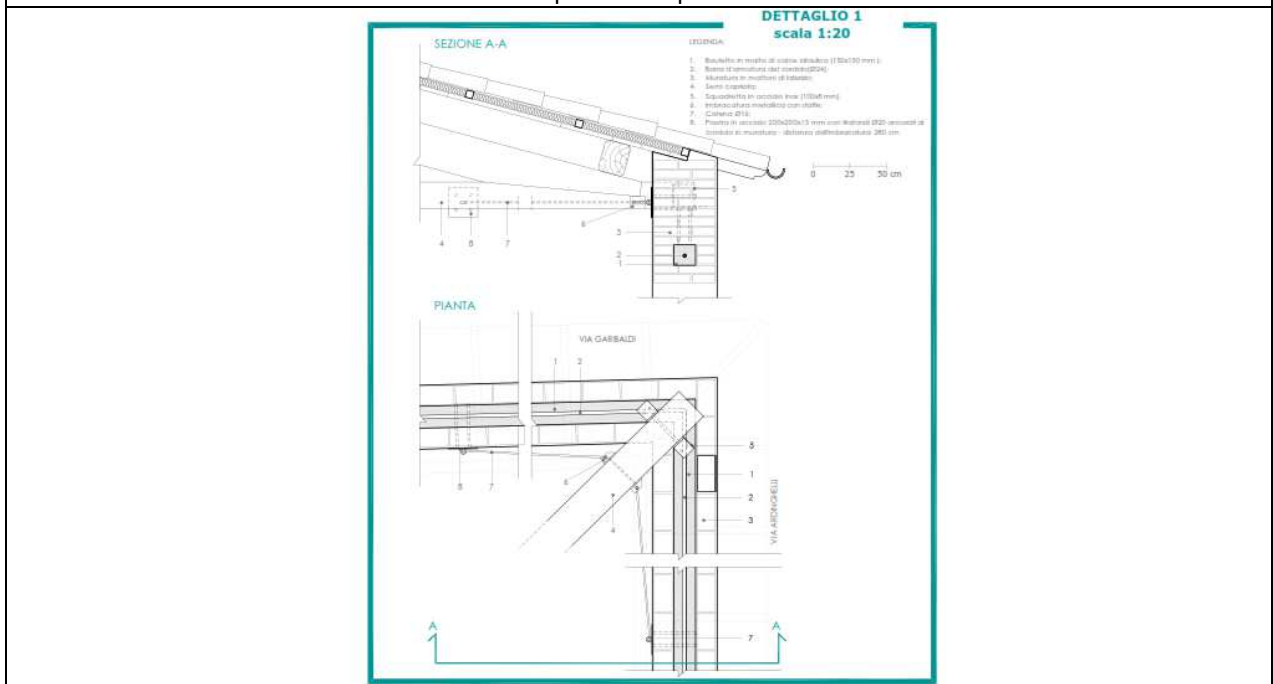
Pianta del sottotetto e andamento della orditura principale della copertura della zona intorno al cortile



Copertura corpo B - Timpano Loggia



Carpenteria copertura

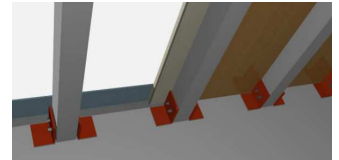


particolare collegamento del puntone di copertura alle pareti laterali

B11 - CONTROVENTI DI FALDA

Realizzazione di un sistematico sistema di controventamento con croci di S.Andrea con tiranti in acciaio in regime di sforzi assiali per le quali va trascurato il contributo dell'elemento alla compressione. I tiranti sono collegati tra le capriate, tra capriata e timpano e sul bordo laterale al cordolo in muratura. Tale configurazione consente di impedire lo spostamento fuori piano delle capriate e realizza un vincolo al ribaltamento dei timpani di testata. Inoltre è stato previsto un doppio tavolato incrociato chiodato al di sopra delle travi di copertura per impedire le deformazioni nel piano di falda. Le travi sono collegate alle capriate con due squadri in acciaio con connessioni bullonate passanti. Per controllare gli spostamenti del sistema di controventatura sono stati previsti in asse ai tiranti in acciaio dispositivi oleodinamici a dissipazione di energia di piccole dimensioni che garantiscono una elevata affidabilità delle prestazioni nel tempo anche a seguito di azioni dinamiche di elevata intensità. Il collegamento dei dispositivi oleodinamici ai tiranti metallici è previsto con connessioni meccaniche filettate a cerniera E' stata presa in considerazione anche la possibilità di utilizzare dispositivi a memoria di forma disposti con un schema a quadrilatero nel centro del campo di controventatura..

Controventatura con un doppio tavolato da 30 mm+30 mm con collegamento lineare disposto in asse della sommità delle pareti perimetrali realizzato con un piatto in acciaio (200 mm x 8 mm) collegato alla muratura del timpano con barre in acciaio inox tipo Bossong con calza in tessuto iniettata e con nastri di acciaio (60 mm x 3 mm) disposti a croce di S.Andrea e chiodati sugli arcarecci in tutti i campi di copertura individuati dalle travi dell'orditura principale e dai setti murari. Nei campi di falda in corrispondenza dei timpani il nastro forato in acciaio inox è sostituito con nastri in tessuto in acciaio galvanizzato collegato e disposti nella direzione inclinata di collegamento timpano cordolo laterale. Per rinforzare il collegamento degli arcarecci al timpano e alla capriate è prevista la posa in opera di due angolari in acciaio ai lati di ciascun arcareccio. Gli angolari saranno collegati tra di loro e all'arcareccio con un bullone in acciaio inox al timpano o e alla capriata con barre in acciaio inox. L'irrigidimento della falda è trasferita alla capriate da profili ad angolo ai lati degli arcarecci.



Fasi dell'intervento per la realizzazione del doppio tavolato	
Posa in opera del secondo tavolato incrociato rispetto a quello sottostante assicurandosi del livellamento inserendo spessori idonei	
Chiodatura del secondo tavolato a quello sottostante	
Applicazione di cunei per stringere il tavolato	

<p>disposizione generale dei controventi</p>	<p>Disposizione dei controventi</p>	<p>Particolare controventi</p>
<p>Disposizione dispositivi oleodinamici</p>	<p>Disposizione dispositivi a memoria di forma</p>	<p>Dettaglio dispositivi a memoria di forma</p>

Riferimenti Bibliografici

- 2012 - Sisma Abruzzo 2009 - A.Lemme, M.Liris, E.Narducci, F.Martegiani - Progetto di consolidamento e restauro di palazzo Ardinghelli
- 2012 - Sisma Abruzzo 2009 - A.Lemme, M.Liris, M.Menesto, F.Martegiani - Progetto di consolidamento e restauro di Palazzo Camponeschi a L'Aquila;
- 2011 - Sisma Abruzzo 2009 - A.Lemme, G.Olivieri - Progetto di consolidamento e restauro del Teatro Comunale a L'Aquila
- 2911 - Sisma Abruzzo 2009 - A.Lemme, M.Liris - Progetto di consolidamento e restauro del Teatro Comunale e L'Aquila
- 2008 - Sisma Molise 2002 - Edifici in Muratura - A.Lemme, A.Martinelli, S.Podestà - DEI- Editore
- 2007 "Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura" - Sisma Marche 1997 - Regione Marche, Università degli studi dell'Aquila, CNR-ITC;
- 2007 "Strumenti per il rilievo del danno e della vulnerabilità sismica ai Beni Culturali" - C. Civerra, A. Lemme, G. Cifani, S. Podestà;
- 2007 "Danni al patrimonio monumentale ed effetti di amplificazione sismica per cause topografiche" .S. Podestà, F. Pergalani, S. Peppoloni, A. Lemme, E. Curti, M. Compagnoni, G. Di Capua, ANIDIS 2007 - XII Convegno nazionale "L'Ingegneria sismica in Italia". 10-14 Giugno 2007 - Pisa
- 2007 "Indicazione per la valutazione della qualità muraria" A. Lemme G. Cifani, E. Curti, A. Martinelli, S. Podestà
- 2005 Beni Monumentali e terremoto - Dall'emergenza alla ricostruzione A.Lemme, G.Cifani, S.Podestà - Regione Molise-CNR-DAST-UOIG-DEI
- 2005 Protocollo unico di verifica dei Progetti preliminari semplificati - linee guida - www.regione.molise.it/sis/pubblicazioni C.Pasquale, A.Lemme - Sisma Molise 2002 - Pr.u.ver
- 2005 Raccomandazioni per la redazione dei progetti di ricostruzione post-sisma dell'edilizia residenziale privata - www.regione.molise.it/sis C.Pasquale, A.Lemme - Sisma Molise 2002.
- 2004 Linee guida preliminari per gli interventi di riparazione del danno e miglioramento sismico per gli edifici di culto e monumentali A.Lemme, G.Cifani e altri -, Decreto Commissario delegato n.26 del 6.8.2003
- 2004 Linee guida per gli interventi di riparazione del danno e miglioramento sismico per gli edifici di culto e monumentali - parte seconda A.Lemme, G.Cifani e altri - progetto esecutivo - Decreto Commissario Delegato n.70/2004
- 2003 Rilievo di danno e della Vulnerabilità sismica agli edifici del centro abitato di Ripabottoni danneggiati dalla crisi sismica iniziata il 31.10.2002 GNDT - S.Lagomarsino, A.Martinelli, A.Lemme e altri - - Convegno Sanremo.
-