

REGIONE MARCHE - Commissario Delegato

**CODICE DI PRATICA (LINEE GUIDA)
PER LA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI
DI RIPARAZIONE, MIGLIORAMENTO SISMICO
E RESTAURO DEI BENI ARCHITETTONICI
DANNEGGIATI DAL TERREMOTO
UMBRO-MARCHIGIANO DEL 1997**

**ISTITUTO UNIVERSITARIO DI ARCHITETTURA DI VENEZIA - D.S.A.
Prof. Francesco DOGLIONI**

Contributi: arch. Gianluca Canofeni, arch. Floriana Marino, arch. Giovanna Minardi,
ing. Alberto Moretti, arch. Pietro Regazzo, ing. Giorgio Serafini

CONTRATTO DI RICERCA TRA COMMISSARIO DELEGATO
PER LA REGIONE MARCHE E IUAV
D.G.R. n. 78 PR/CBC del 18 gennaio 1999
Convenzione reg. int. 2709 del 25 maggio 1999

I testi non firmati sono di Francesco Doglioni, responsabile della ricerca, Unità Operativa di Venezia del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, CNR, presso il Dipartimento di Storia dell'Architettura, Istituto Universitario di Architettura di Venezia.

Le foto e i grafici, ove non diversamente specificato, sono opera degli autori dei singoli capitoli.

Parte delle ricerche di base sono state realizzate con fondi di ricerca CNR-GNDT.

Oltre agli autori dei diversi contributi, si ringraziano per la collaborazione prestata:

Paola Barbirato, Andrea Bonazza, Giorgia Carlig, Marco De Giacometti, Silvia Fachin, Roberto Jannon, Roberta Tarini; I.R.R.S- CNR, Tipolitografia DBS.

Un vivo ringraziamento all'ing. Alberto Cherubini, presidente del Comitato Tecnico-Scientifico, e all'arch. Mario Canti, direttore del Centro Regionale per i Beni Culturali, per aver promosso e seguito lo sviluppo della ricerca.

CODICE DI PRATICA (LINEE GUIDA) PER LA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPARAZIONE, MIGLIORAMENTO SISMICO E RESTAURO DEI BENI ARCHITETTONICI DANNEGGIATI DAL TERREMOTO UMBRO-MARCHIGIANO DEL 1997

INDICE

PRESENTAZIONE (<i>A. Cherubini</i>)	pag. 15
PREFAZIONE (<i>M. Canti</i>)	pag. 17
1. PREMESSA E INTRODUZIONE AL TEMA	pag. 19
1.1. Premessa	pag. 19
1.2. L'evoluzione delle posizioni scientifiche, lo sviluppo degli strumenti legislativi e normativi	pag. 20
1.3. Contributi dalla ricerca scientifica	pag. 20
1.4. Obiettivi e campo di applicazione del codice di pratica per la progettazione del miglioramento	pag. 21
2. IL PROGETTO DI MIGLIORAMENTO ANTISISMICO NEL RESTAURO	pag. 25
2.1. Indirizzi e direttive dell'opera di restauro dei beni architettonici danneggiati nelle Marche: la scelta del miglioramento	pag. 25
2.2. Comportamento, danno, vulnerabilità tipica e specifica	pag. 26
2.3. Macroelementi e meccanismi di danno	pag. 29
2.4. La peculiarità progettuale del miglioramento	pag. 29
2.5. Altre componenti o condizioni del restauro strutturale: riparazione, consolidamento statico, manutenzione	pag. 30
2.6. Impostazione e valutazione degli interventi secondo i criteri del restauro architettonico	pag. 30
3. SCHEMA METODOLOGICO E PROCEDIMENTO DI PROGETTAZIONE DEL MIGLIORAMENTO	pag. 35
3.1. Sequenza e articolazione delle fasi di progettazione	pag. 35
3.2. Configurazione del progetto in rapporto al livello di danno e alla complessità del caso: semplificato/speditivo, standard, complesso	pag. 40
4. IL RILIEVO DELL'EDIFICIO PER L'ANALISI DEL SUO COMPORTAMENTO STRUTTURALE NEL TEMPO	pag. 41
4.1. Requisiti richiesti al rilievo dalle "Direttive Tecniche della Regione Marche e dalle "Istruzioni" del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali	pag. 41
4.2. Le conoscenze necessarie al progetto di miglioramento nel restauro	pag. 42
4.3. Il rilievo metrico, architettonico-costruttivo e del degrado	pag. 43
4.4. Il rilievo del quadro fessurativo e deformativo	pag. 44
4.5. Rilevamento e documentazione fotografica	pag. 48
4.6. Ricerca storica e Relazione storico-critica	pag. 48

5.	LA DIAGNOSI DI VULNERABILITA' E IL PROGETTO DI DANNO	pag. 53
5.1.	La diagnosi di vulnerabilità sismico-strutturale e di danno ulteriore atteso (progetto di danno) in base alla casistica di danno	pag. 53
5.2.	Vulnerabilità tipica e meccanismi di danno delle chiese (<i>A. Moretti</i>)	pag. 54
5.3.	Vulnerabilità tipica e meccanismi di danno degli edifici in aggregato (<i>G. Canofeni</i>)	pag. 76
5.4.	Forme di vulnerabilità specifica (<i>F. Marino</i>)	pag. 97
6.	LA "LISTA DI CONTROLLO" DEGLI ESITI DIAGNOSTICI E DEGLI OBIETTIVI DI PROGETTO	pag. 121
6.1.	Finalità della "Lista di Controllo"	pag. 121
6.2.	Articolazioni della lista di controllo	pag. 121
7.	LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEGLI INTERVENTI	pag. 125
7.1.	Ruolo, finalità generali e livelli di approfondimento del progetto	pag. 125
7.2.	La concezione complessiva degli interventi di miglioramento-Esemplificazione	pag. 127
7.3.	Contenuti della "Relazione programmatica"	pag. 142
7.4.	I grafici di Progetto Definitivo: contenuti e modalità redazionali	pag. 143
8.	LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DEL MIGLIORAMENTO: GLI INTERVENTI NEI NODI STRUTTURALI E NELLE PARTI COSTITUTIVE	pag. 151
8.1.	Ruolo e requisiti del progetto esecutivo	pag. 151
8.2.	Il nodo muro-tetto: confinamento e consolidamento sommitale delle murature, connessioni tra muro e tetto, irrigidimento e solidarizzazione delle falde del tetto	pag. 152
8.3.	Il nodo muro-solaio: consolidamento dell'appoggio e connessioni muro-solaio, irrigidimento di solai e tirantatura perimetrale	pag. 164
8.4.	Il nodo muro di fondazione-terreno di appoggio	pag. 171
8.5.	Le discontinuità murarie: la riparazione delle lesioni, il risarcimento di vuoti, la neutralizzazione strutturale delle discontinuità costruttive	pag. 173
8.6.	Sistemi di consolidamento meccanico della muratura a fronte di vulnerabilità accentuate	pag. 178
8.7.	Gli interventi sulle volte: volte strutturali, volte strutturali leggere (a mattoni in foglio)	pag. 182
8.8.	Sistemi di tirantatura metallica o mista a contenimento di meccanismi	pag. 185
8.9.	Aspetti legati alla protezione e al restauro di superfici architettoniche e di elementi di arredo fisso e mobile	pag. 188
9.	DOCUMENTI TECNICO-ECONOMICI PER IL CONTRATTO D'APPALTO NEL PROGETTO ESECUTIVO	pag. 189
9.1.	Il Capitolato Speciale di Appalto	pag. 189
9.2.	L'Elenco dei Prezzi Unitari	pag. 189
9.3.	Il Computo Metrico Estimativo con Quadro Economico di Spesa	pag. 190
9.4.	La richiesta del rendiconto "come costruito" a consuntivo	pag. 190

10. ESEMPLIFICAZIONI DI PROGETTI E DI INTERVENTI	pag. 191
10.1. Presentazione dei casi	pag. 191
10.2. Il progetto per il miglioramento sismico del Tempio monumentale di S. Nicolò a Carpi (RE) (<i>G. Serafini</i>)	pag. 193
10.3. Interventi di riparazione, manutenzione, consolidamento statico e miglioramento del Palazzo Cumano a Feltre (BL), ora sede della galleria d'arte moderna "C. Rizzarda"	pag. 203
10.4. La progettazione del miglioramento sismico nel caso della Chiesa di S. Savino a Liceto di Sassoferrato (AN) (<i>P. Regazzo</i>)	pag. 219
10.5. Casa Castellani a S. Ippolito (PS) (<i>G. Minardi</i>)	pag. 236
11. BIBLIOGRAFIA	pag. 251

I testi non firmati, le foto e i grafici di cui non è indicato l'autore sono di Francesco Doglioni, responsabile dell'Unità Operativa di Venezia - IUAV del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - CNR.
Parte degli studi di base sono stati realizzati con fondi ricerca del CNR-GNDT.

PRESENTAZIONE

Una delle attività istituzionali dei Comitati Tecnico-scientifici istituiti a seguito del terremoto del IX/97 nelle regioni Umbria e Marche, su precisa indicazione del Prof. Franco Barberi, è quella dello svolgimento di ricerche connesse alla materia trattata nella preparazione di procedure e direttive di attuazione della Legge n. 61/1998.

Le prime ricerche attivate riguardano il settore dei Beni Culturali e non è un caso: questo post-evento a seguito del sisma iniziato il 26/09/97, caratterizzato da molte novità rispetto alle esperienze del passato, ha riscoperto la centralità dei Beni Culturali nel nostro patrimonio edilizio e storico danneggiato.

Si tratta di due contributi significativi – sulla scia della lunga scuola del GNDT di V. Petrini: la ricerca di Francesco Doglioni segue il filone delle analisi svolte per le chiese danneggiate a seguito del sisma del 1976 nel Friuli e della proposta di modellazione strutturale per macroelementi; sulla stessa linea, la ricerca di Sergio Lagomarsino porta a risultati significativi l'approccio iniziato dalla Protezione Civile con il Censimento di vulnerabilità dei Beni Monumentali svolto negli anni 1998 – 99 con lo strumento dei "Lavori Socialmente Utili".

Una intelligente ed accurata revisione concordata con il Centro Regionale Beni Culturali delle Marche, permette oggi di rendere questi preziosi lavori disponibili ed utilizzabili da tutti, in particolare dai Progettisti, a cui è stato richiesto di assecondare, anche se con un po' di fatica iniziale, il notevole sforzo innovativo richiesto a tutti dall'attuazione della Legge.

Nella regione Marche l'attività di ricerca del CTS sta vedendo oggi il progressivo coinvolgimento delle strutture regionali, in prima linea quella dei Beni Culturali: è certamente un elemento di grande novità e di soddisfa-

zione per tutti noi constatare che, nella fase di reale avvio dell'autonomia regionale, trova spazio e dignità l'attività speculativa e di pensiero che accompagna e valida un processo e lo rende ripetibile ed esportabile ad altri contesti italiani

Alberto Cherubini
Presidente del CTS Marche

PREFAZIONE

Nell'ambito degli strumenti adottati dalla Regione Marche come riferimenti fondamentali per fornire una risposta ad una corretta metodologia di indagine e di intervento sul patrimonio culturale danneggiato dalla crisi sismica, si è ritenuto opportuno, d'intesa con il Comitato Tecnico Scientifico delle Marche, di conferire incarichi di ricerca volti ad ottenere indirizzi di metodo e, contemporaneamente, un sussidio tecnico sotto forma di "Codice di pratica per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei Beni Architettonici", e "Modelli semplificati per valutare la vulnerabilità sismica delle costruzioni storiche e calcolare il livello di protezione sismica a seguito degli interventi di miglioramento".

S'è pensato così di fornire un sussidio specifico per impostare correttamente, sia sotto il profilo culturale, sia in diretta conseguenza, tecnico e applicativo, un tema come quello del restauro, del miglioramento delle caratteristiche costruttive e statiche come risposta al sisma, e della conservazione attiva dell'organismo edilizio.

Il lavoro è il risultato delle ricerche parallele condotte dal professore Francesco Doglioni (del Dipartimento di Storia dell'Architettura dell'Università di Venezia) e dal Professore Sergio Lagomarsino (del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università di Genova), entrambi, figure di riferimento nel campo accademico, esperti nell'indagine conoscitiva dell'organismo architettonico e nello studio di principi teorici e metodologici della conservazione, con particolare riguardo ai comportamenti dei sistemi edilizi in fase sismica.

I risultati delle ricerche costituiscono una tappa fondamentale per la realizzazione degli intenti programmatici con i quali è stato predisposto il Piano di ripristino, recupero e restauro del patrimonio culturale danneggiato dalla crisi sismica; e rappresentano altresì un

documento finalizzato all'individuazione di un processo metodologico che non si propone come mero "prontuario" bensì, basandosi su una preventiva e approfondita lettura critica dell'organismo architettonico, pone indirizzi di metodo, e induce ad ottenere nei progetti e negli interventi di recupero che ne conseguiranno, una rispondenza e comparabilità nei mezzi di indagine, nelle scelte figurative e di linguaggio, e nel percorso tecnico.

La funzione svolta dalle ricerche ha promosso e consentito lo sviluppo di una metodologia sperimentale, tuttora in evoluzione, costituita da un insieme di criteri e tecniche dove il miglioramento entra organicamente a far parte dell'opera di restauro rafforzandone la connessione tecnica e concettuale con gli interventi di protezione dagli effetti sismici.

Un primo ringraziamento va quindi agli autori, senza la cui dedizione e competenza non sarebbe stato possibile il perseguimento degli obiettivi raggiunti.

Inoltre, un grazie particolare va rivolto all'Ing. Alberto Cherubini, che come presidente del Comitato Tecnico Scientifico delle Marche, con grande cultura tecnica ha promosso e incentivato gli studi.

Nel dare pubblicazione dei risultati delle ricerche, si auspica che da queste derivi un'attenzione maggiore al recupero dei caratteri e dei valori dei beni culturali ed ambientali che costituiscono il tessuto insediativo del patrimonio marchigiano e si esprime la convinzione che gli studi attivati potranno essere strumento utile per la definizione di una strategia di conservazione attiva del territorio, anche al di là della contingente situazione di emergenza.

Mario Canti

Direttore del Centro Regionale
per i Beni culturali della Marche

1. PREMESSA E INTRODUZIONE AL TEMA

1.1. Premessa

1.2. L'evoluzione delle posizioni scientifiche, lo sviluppo degli strumenti legislativi e normativi

1.3. Contributi dalla ricerca scientifica

1.4. Obiettivi e campo di applicazione del codice di pratica per la progettazione del miglioramento

1.1. Premessa

Il naturale ed inevitabile ripetersi di eventi sismici in Italia pone un problema strategico che coinvolge tanto la cultura della conservazione del patrimonio storico architettonico, quanto la sfera della protezione civile e dell'ingegneria sismica.

I terremoti che hanno di recente colpito l'Umbria e le Marche ripropongono in modo ancora più evidente che in passato il tema della vulnerabilità sismica del patrimonio architettonico. Nelle due regioni almeno 4.000 edifici vincolati hanno subito danni, e ad essi vanno aggiunti numerosi edifici privati nei centri storici e nel territorio. Nella maggior parte dei casi il danneggiamento non ha raggiunto livelli prossimi al crollo, e questo fatto induce a ritenere che l'opera di riparazione post-sisma potrà assumere come propria finalità anche la prevenzione di danni futuri.

Siamo consapevoli che la maggior parte del patrimonio architettonico del paese è vulnerabile al sisma, intendendo per vulnerabilità l'intrinseca predisposizione dell'edificio a subire danni e crolli in caso di terremoto. Il patrimonio si trova perciò in una condizione di elevato degrado potenziale, ed una azione che miri a conservare e trasmettere al futuro i monumenti, quale si propone il restauro, deve includere come obiettivo della normale operatività la dotazione di predisposizioni antisismiche. Il D.L. 29 ottobre 1999, n. 490, Testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali, nel fornire la definizione di restauro all'art. 34, afferma esplicitamente: "*Nel caso di beni immobili nelle zone dichiarate a rischio sismi - co in base alla normativa vigente il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale*".

D'altro canto, una azione di protezione civile rivolta a ridurre il rischio per gli uomini e le cose, deve porsi lo stesso obiettivo, data la grande diffusione nel territorio italiano di edifici di antica origine.

Questo studio si propone di approfondire la particolare articolazione che il progetto di restauro deve assumere quando si pone anche la finalità del miglioramento sismico, in funzione preventiva o per riparare un manufatto già danneggiato. Riteniamo infatti che debba essere precisata e rafforzata l'appartenenza tecnica e concettuale degli interventi di miglioramento sismico alle opere di conservazione. Va anche dimostrato come questi interventi siano di fatto inseparabili dal complesso di opere manutentive necessarie a mantenere in efficienza la fabbrica, e debbano organicamente associarsi ad essi. Inoltre dobbiamo delineare e mettere a punto un percorso tecnico comune tra restauro e protezione da sisma, superando una separazione oggi fre-

quente e facendo sì che il miglioramento costituisca un usuale *strato tematico* del progetto di restauro.

Ne deriva che, se il miglioramento deve entrare organicamente a far parte dell'opera di restauro e costituirne uno specifico obiettivo, gli interventi che esso prevede devono poter essere valutati anche in base ai criteri di accettazione che sono propri del restauro, e contribuire al rapporto tra mezzi e fini che appartiene a questa disciplina. Simmetricamente, se il restauro vuole accogliere al proprio interno l'opera di miglioramento, deve dividerne le categorie concettuali, ad esempio considerare la vulnerabilità come una condizione di degrado potenziale futuro sulla quale intervenire preventivamente, anche a costo di motivati impatti sulla fabbrica da conservare.

Proponiamo perciò una procedura di riferimento per ricercare attraverso il progetto una connessione concettuale e operativa tra il restauro architettonico e il miglioramento in funzione antisismica. Lo definiamo con termine oggi in voga "codice di pratica", anche se ci rendiamo conto - e non perderemo occasione per ricordarlo - di come, anche al di là di limiti imposti dalle capacità individuali, la comunità scientifica nel suo insieme sia ben lungi dall'aver raggiunto in materia quelle certezze che la formula sembra presupporre. Ma le necessità del fare incalzano, i progetti e gli interventi di riparazione devono comunque essere realizzati anche senza potersi fondare su acquisizioni definitive, di cui oggi non disponiamo.

Proponiamo perciò un lavorare tecnico riflessivo, attento a captare i segnali che la fabbrica ci può dare, utilizzando metodi e concetti di cui non mitizziamo l'efficacia, ma che ci spingono a cercare di capire il comportamento avuto sino ad oggi dalla fabbrica, facendone il punto di riferimento per prevederne il comportamento futuro. Teniamo conto che l'esperienza del danno sismico subito dagli edifici monumentali, a documentare la quale si stanno formando significative banche dati, può diventare quello che è stata l'anatomia patologica per lo sviluppo della scienza medica, e quello che è oggi per essa lo studio epidemiologico. L'obiettivo è un agire prudente e non affrettato, limitato nell'entità e mirato nella qualità degli interventi. Siamo comunque consapevoli -l'esperienza del danno subito ce lo dimostra- che interventi intensivi e pesanti non garantirebbero di per sé la sicurezza al sisma, e certamente danneggerebbero la delicata natura degli edifici antichi, assorbendo risorse che riteniamo debbano essere impiegate in modo più mirato.

1.2. L'evoluzione delle posizioni scientifiche, lo sviluppo degli strumenti legislativi e normativi-

Si può affermare che fino agli inizi degli anni '80 non esisteva una specifica disciplina del rafforzamento dei monumenti in funzione antisismica. Mentre il consolidamento statico poteva avvalersi degli studi e dell'opera, ad esempio, di Sisto Mastrodicasa (1), nel campo più specifico della riparazione o del rafforzamento in funzione antisismica si realizzavano nella maggior parte dei casi applicazioni a monumenti della tecnica sviluppata per le nuove costruzioni, concettualmente eterogenea ai modi e ai materiali costruttivi della costruzione antica, e perciò portata a piegare i monumenti alla propria logica ed incapace di adattarsi. La coscienza di un procedere del tutto inadeguato sotto molti punti di vista è maturata nel corso degli anni '70 e '80, anche a seguito degli interventi successivi ai terremoti del Friuli e dell'Irpinia.

Nei restauratori è maturata la consapevolezza di quanto fosse ormai insostenibile la scissione tra struttura e aspetto visibile, che portava a considerare indifferente un inserto strutturale nel corpo della fabbrica purchè nascosto alla vista. La grave invasività e distruttività propria dei modi di riparazione e consolidamento antisismico applicati al patrimonio architettonico nelle ricostruzioni del Friuli e dell'Irpinia ha favorito questa presa di coscienza.

D'altro canto, alcuni studiosi di Scienza della Costruzioni (tra i quali in particolare Di Pasquale, Benvenuto e Giuffrè) hanno maturato la consapevolezza che i fondamenti concettuali propri della Scienza delle Costruzioni dovessero essere considerati inapplicabili alle strutture tradizionali in muratura (vedi ad esempio la mancanza dei presupposti per l'applicazione della legge di Hook) e di conseguenza fossero necessari profondi ripensamenti tanto delle modellazioni numeriche che degli interventi su di essa basati. Il sostanziale vuoto normativo nel campo dei monumenti, riconosciuto dalla legge sismica generale n.64 del 1974, (2) ha avuto un punto di svolta con il D.M. 1986 (3).

Ampliando lo spazio aperto da tale decreto, le "Raccomandazioni..." elaborate nel 1986 dal Comitato per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio sismico, istituito nel 1984 dal Ministro dei BB.CC. di concerto con il Ministro della Protezione Civile, ed emanate come circolare (4), rappresentano una tappa importante nella maturazione di questa coscienza. Si è inteso con quel documento porre un freno alle applicazioni massicce ed invasive di interventi quali le iniezioni cementizie, l'applicazione di pareti armate, la sostituzione immotivata di solai e coperture lignee con strutture in cemento. È stato indicato il *miglioramento sismico*, in luogo dell'*adeguamento sismico*, come l'unica impostazione concettuale e normativa adatta e certamente compatibile per i monumenti. Nel contempo si è inteso aprire la strada alla comprensione e al rispetto del comportamento strutturale dell'edificio, ed alla adozione preferenziale di tecniche di consolidamento di accertata compatibilità, in particolare tradizionali (soprattutto tiranti

metallici), limitando l'applicazione indiscriminata di materiali e tecniche moderne. È stata poi sottolineata la carenza di una ricerca scientifica moderna in questo campo, e la necessità di avviarla con un programma di ampio respiro finalizzato alla protezione sismica del patrimonio monumentale.

Lo stesso Comitato Sismico ha poi elaborato le "Direttive..." (5), il cui testo conteneva un significativo commento. Un successivo aggiornamento ha dato luogo nel 1997 alle "Istruzioni generali per la redazione di progetti di restauro nei beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica", adottato nel 1997 anche dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con alcune modifiche, che sarà prossimamente recepito da un decreto interministeriale. Esso costituirà perciò la prima legge di regolamentazione degli interventi in funzione antisismica nel campo del patrimonio architettonico (6).

Da ricordare che nel 1996 il Ministero dei Lavori Pubblici ha aggiornato il decreto del 1986, emanando la relativa circolare esplicativa (7).

Di recente, la Regione Marche ha emanato le "Direttive tecniche" (8), che tengono conto dei riferimenti normativi citati; ad esse si farà costante riferimento.

1.3. Contributi dalla ricerca scientifica

Tra le attività di studio della vulnerabilità sismica avviate dal GNDT (9), si colloca una linea di ricerca sul danno subito nel terremoto del Friuli dagli edifici monumentali. È stato formato un archivio fotografico per documentare lo stato di ciascun monumento prima del terremoto, dopo la prima serie sismica e dopo le nuove scosse del settembre 1976. Le sequenze così raccolte, che in molti casi hanno permesso di documentare l'evoluzione del processo di danno, hanno anche consentito di studiare lo sviluppo cinematico dei processi di danneggiamento, ponendola in rapporto con le condizioni precedenti al sisma.

La ricerca è stata approfondita in particolare per le chiese, ed ha portato a considerare il danno sismico come risultante di due componenti vulnerabili proprie dell'edificio. La prima è legata alla conformazione propria della parte di manufatto (denominata convenzionalmente *macroelemento*) cui si associano di preferenza dati meccanismi generali di danno, e viene definita *vulnerabilità tipica*. La seconda si collega alle particolari modalità costruttive proprie di ciascun manufatto, come la presenza di discontinuità indotte da processi di costruzione e trasformazione, da dissesti progressivi, in sostanza ai fattori individuali che influenzano localmente l'evoluzione del meccanismo generale. Questa seconda componente è denominata *vulnerabilità specifica* (10).

È stata compiuta perciò una ricerca di tipo epidemiologico sulle patologie ricorrenti, mettendo in evidenza le correlazioni con i caratteri ai quali esse si associano con maggiore frequenza.

Spiegare il danno avvenuto anche attraverso i caratteri della costruzione che lo hanno influenzato o comunque consentito è perciò l'obiettivo di questa impostazione

che possiamo definire fenomenologica.

L'insieme degli *effetti di dissesto*, che denominiamo "danni", presente in ciascun edificio e posto in stretta relazione con i suoi caratteri, è considerato in questa impostazione un patrimonio prezioso e insostituibile. L'opera di riconoscimento, descrizione e interpretazione dei danni è necessaria per almeno due scopi.

Il primo, di carattere strategico e generale, è rivolto a proseguire la ricerca epidemiologica sui manufatti, per ampliare la base di dati che ha consentito di istituire correlazioni e rilevare le probabilità di insorgenza di un dato meccanismo di danno in manufatti dotati di determinati caratteri. Rilevare il danno in un dato edificio e paragonarlo con metodi opportuni ad altri danni analogamente rilevati in altri manufatti, costituisce perciò un contributo all'avanzamento della ricerca e allo sviluppo di una banca dati che, opportunamente organizzata, potrà diventare la *memoria esperta* cui fare concretamente riferimento nell'opera di prevenzione. Diventa inoltre la chiave per accedere alla memoria di danno già esistente, in quanto consente di ricercare le situazioni affini per caratteri e per danno, traendone indicazioni sulla possibile evoluzione dei fenomeni.

Il secondo scopo è direttamente funzionale alla comprensione e descrizione del *comportamento* già acquisito dall'edificio (11), a formarne la storia evolutiva del tutto individuale e complessa pur se riconducibile a schemi interpretativi generali e semplificati. Questa *anamnesi* (12) è considerata base fondamentale per la progettazione del miglioramento antisismico di un edificio. Si è infatti osservato in via generale che, se l'edificio non muta radicalmente assetto, il suo comportamento tende a riprodursi anche a grande distanza di tempo, recidivando danni anche antichi e evolvendo i meccanismi che li inducono.

In questa impostazione il danno già presente viene considerato un test al vero, una sperimentazione realizzata in condizioni irripetibili in laboratorio, *in vivo* e non *in vitro*, in quanto tiene conto:

- dell'insieme di particolarità storico-costruttive, di interazione con il suolo, di manutenzione, di configurazione strutturale proprie dell'edificio;

- delle sollecitazioni reali indotte dal terremoto in quel dato sito, se l'edificio è stato colpito da un terremoto di significativa potenza.

Il danno è perciò il risultato di una sperimentazione non standard ma assolutamente reale -niente modella la realtà meglio di quanto possa fare la realtà stessa- i cui esiti tuttavia possono essere interpretati solo attraverso una attenta investigazione delle condizioni e dei caratteri che li hanno influenzati.

Il problema si sposta perciò sulla nostra capacità di osservare, descrivere, interpretare la realtà, e di paragonare tra loro le diverse situazioni attraverso l'adozione di concetti e categorie di lettura in grado di fungere da tramite nei due sensi (dal particolare al generale e dal generale al particolare) tra singolo caso e popolazione di manufatti, senza che si verifichi ad ogni passaggio una perdita troppo rilevante di informazione e di precisione.

I concetti di "macroelemento" e di "meccanismo", ad esempio, sono funzionali a questo scopo, e diventano perciò strumenti di lavoro necessari almeno fino a quando non saranno messi a punto mezzi concettuali più raffinati.

Il saper ricondurre ad un meccanismo "ideale", ossia schematizzato attraverso un modello, un dato quadro di danno reale significa al tempo stesso disporre di uno strumento interpretativo/descrittivo del fenomeno ed acquisire consapevolezza del ruolo svolto dalle condizioni al contorno che hanno spinto il meccanismo a manifestarsi attraverso quella data configurazione di danno. Tutto questo contribuisce a rendere più fitto e circostanziato il tessuto di correlazioni tra fenomeni che investono la fabbrica nel suo insieme (schematizzabili in meccanismi di danno) e caratteri individuali (di costruzione e configurazione, di trasformazione, degrado e dissesto nel tempo) delle diverse parti della fabbrica.

1.4. Obiettivi e campo di applicazione del codice di pratica per la progettazione del miglioramento

Pur nel panorama di rinnovata definizione normativa, vi è una diffusa tendenza a dare per scontati o a delegare alla pratica professionale i contenuti e i modi di quello che costituisce il passaggio fondamentale per la efficacia degli interventi, ossia il progetto. Vi è anche, da parte di alcuni, il rifiuto di *scendere nel dettaglio*, quasi fosse limitativo per le scelte dei singoli operatori di fronte ai singoli casi reali. Appare di grande importanza, invece, formare strumenti di indirizzo e riferimento della progettazione -intesa come l'opera intellettuale per mezzo della quale si realizza l'elaborato tecnico-amministrativo denominato "progetto-, per meglio definirne i contenuti e gli approfondimenti necessari, fornendo al tempo stesso riferimenti su forme di redazione sperimentate che possono favorire la chiarezza degli elaborati.

L'elaborazione di un *codice di pratica* per la progettazione e la realizzazione degli interventi di miglioramento antisismico in edifici monumentali tende perciò a far fronte alla necessità, costantemente riscontrata, di disporre di uno strumento orientativo e divulgativo che si collochi a raccordo tra norme di legge, indirizzi scientifici e culturali e pratica professionale.

Il codice di pratica intende costituire riferimento alla progettazione del miglioramento per le classi più diffuse di manufatti di antica costruzione quali chiese piccole e medie, edifici civili inseriti nel tessuto urbano, ville o edifici isolati, escludendo quelli che per l'eccellenza dimensionale o tipologica o per la presenza di stati di crollo o di danno molto grave richiedono un approccio affatto particolare. I suoi contenuti dovranno essere riprecisati in rapporto alle singole caratteristiche culturali dell'area, per meglio tener conto delle tipologie presenti, dei materiali e dei modi costruttivi, ecc. Non si intende quindi proporre *la soluzione* dei problemi, quanto piuttosto un modo di riferimento con cui cercarla e metterla a fuoco in ciascun edificio tenendo conto di esperienze più generali.

Nè si intende attribuire un valore para-normativo ai

materiali e agli accorgimenti tecnici che verranno proposti, anche se riteniamo utile indicarli, talvolta in alternativa tra loro, spiegando nel contempo il percorso e le motivazioni che hanno spinto, in altre situazioni reali, ad adottarli: ciascun progettista, se deciderà di utilizzarli, dovrà farli propri adattandoli alle esigenze dell'edificio da restaurare, oppure potrà sostituirli con altre soluzioni opportunamente motivate.

E' esigenza di tutti che si producano progetti chiari, essenziali ed efficaci; che presentino una coerenza tra approfondimenti compiuti e scelte proposte; che documentino in futuro le decisioni assunte e gli interventi effettuati e, se possibile, diventino l'elemento iniziale su cui formare una *cartella clinica* dell'edificio durevole nel tempo (il "fascicolo del fabbricato"), da utilizzare anche successivamente per le verifiche del comportamento e per gli aggiornamenti suggeriti dall'avanzare delle conoscenze e delle capacità tecniche.

Questo non allo scopo di appesantire la progettazione con ulteriori adempimenti burocratici, ma per renderla capace di argomentare la necessità e l'efficacia degli interventi, per rendere comparabili e valutabili i diversi progetti in termini di soluzioni proposte e di congruità di costo, dimostrando la reale continuità con la fase di rilevamento dei danni. Ricordiamo che il progetto è lo strumento con cui si definisce l'entità e il tipo degli interventi, quindi il loro impatto sulla costruzione e il loro costo economico. E' necessario che le scelte assunte siano trasparenti e sempre verificabili, che vi sia una corrispondenza riconoscibile tra gli effetti causati dal sisma o prevedibili e le opere che si propone di realizzare. Tutti questi sono elementi necessari, anche se non sufficienti, a determinare *la qualità* dello strumento progettuale.

D'altro canto, va tenuto presente che il progetto di miglioramento ha di per sè una natura in prevalenza *persuasiva*, e solo in parte *dimostrativa*, come invece deve avere l'adeguamento, cui si chiede soprattutto di dimostrare con il calcolo che dopo l'intervento la fabbrica raggiungerà le prestazioni strutturali richieste per legge. Il progetto di miglioramento, infatti, deve essere in grado di convincere che le soluzioni proposte sono, *nella specifica situazione di quell'edificio*, efficaci a contrastare i danni sismici. Al progetto di miglioramento si chiede soprattutto di articolare e argomentare le soluzioni proposte in rapporto alla particolare natura dell'edificio.

Le argomentazioni a sostegno delle soluzioni progettuali e i motivi della scelta tra possibili alternative devono perciò apparire in chiaro nel progetto di miglioramento, essere ripercorribili a valle e valutabili da altre persone, in quanto rappresentano il fondamento tecnico del progetto. Al calcolo numerico è affidato un ruolo di dimensionamento e di verifica dell'entità del miglioramento apportato. Il calcolo perciò partecipa insieme agli altri argomenti a sostenere ed indirizzare le scelte, ma non mira a costituire, come tende ad avvenire nell'adeguamento, la parte preponderante del progetto.

La proposta che avanziamo è quella di formare un corpo di riferimenti tecnico-operativi e di argomentazioni, a valle delle "Istruzioni..." del Comitato Sismico e della "Raccomandazioni" della Regione Marche, che ne costituiranno l'indirizzo fondamentale. La formula del "codice di pratica" della progettazione, è concepita per fornire al progettista esemplificazioni pratiche e riferimenti metodologici -argomenti, appunto- da utilizzare nei vari passaggi analitici e decisionali, anche per contribuire a definire uno standard tecnico per la redazione e la successiva verifica e accettazione dei progetti.

La struttura proposta cerca di tener sempre presente che l'operatore progettista, cui è diretta, deve far propria anche l'attrezzatura concettuale necessaria ad utilizzare con autonomia critica gli strumenti offerti: l'adattamento per l'applicazione ai casi reali è l'attività più tipica della *progettazione*. Dovrà inoltre acquisire la mentalità che è propria e particolare di chi intenda realizzare il miglioramento. Per questi motivi ci si sofferma, anche problematicamente, sulla definizione di concetti e di categorie generali, considerandoli strumenti fondamentali per la concezione dell'intervento e per la costruzione del progetto.

I modi proposti di analisi, diagnosi e progettazione degli interventi si pongono in continuità metodologica e operativa con l'attività di schedatura degli edifici ecclesiastici danneggiati dal terremoto in base alla scheda GNDT, integrata con parti della scheda ICR.

I contenuti della scheda di ciascun edificio devono opportunamente essere acquisiti e controllati dal progettista, ed integrati con gli aspetti che nella scheda attuale non sono sviluppati, come lo stato di consistenza propria delle strutture e lo stato di manutenzione. Tuttavia la scheda, con le valutazioni e interpretazioni dei tecnici che l'hanno redatta, deve essere considerata una prima lista di controllo del progetto, un indice di problemi cui si dovrà dare puntualmente risposta.

Lo studio non può pretendere certo di esaurire la complessa problematica, ma vuol contribuire a formare uno stato dell'arte orientato sulle varie tematiche che concorrono a costruire il progetto di miglioramento entro l'impostazione propria del restauro architettonico. Va detto che queste tematiche sono usualmente trattate dagli specialisti in modo monografico, e questo non favorisce i collegamenti e le interazioni tra di esse, che risultano invece di grande importanza ai fini dell'applicazione pratica nel progetto.

Lo studio cercherà soprattutto di sviluppare questi collegamenti: tra restauro architettonico e miglioramento, ad esempio, tra riconoscimento delle vulnerabilità e interventi progettati per contrastarle, tra caratteri costruttivi delle parti dell'edificio e tecnologie di intervento ad essi adattate.

La struttura a capitoli che si intende proporre nello studio è tale da poter essere ulteriormente sviluppata e approfondita in modo settoriale: successivi documenti tecnici, anche autonomi, potranno focalizzare specifiche problematiche qui solo accennate (ad es. il conso-

lidamento delle volte, oppure l'intervento sulle strutture snelle) o dar conto di risultati di ricerche e sperimentazioni in corso nell'applicazione di tecniche.

(1) Vedi il noto testo di S. MASTRODICASA, *Dissesti statici delle strutture edilizie*, ed. Hoepli, Milano.

(2) La legge n. 64 del 2 febbraio 1974 affermava all'art. 16 - Edifici di speciale importanza artistica: "Per l'esecuzione di qualsiasi lavoro di riparazione in edifici o manufatti di carattere monumentale o aventi, comunque, interesse archeologico, storico o artistico, siano essi pubblici o di privata proprietà, restano ferme le disposizioni vigenti in materia". Tuttavia, nelle leggi di tutela non vi è alcuna disposizione specifica riguardo all'intervento antisismico, per cui la norma, nella sua ambiguità, consentiva sia interventi radicali e di grande impatto sul bene che la loro negazione.

(3) D.M. 24 gennaio 1986 del Ministero dei Lavori Pubblici.

(4) Circolare n. 1032 del 18 luglio 1986 del Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali recante: "Raccomandazioni relative agli interventi sul patrimonio monumentale a tipologia specialistica in zona sismica".

(5) Vedi la Circolare 1841 del 12 marzo 1991 del Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali recante "Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di miglioramento antisismico e manutenzione nei complessi architettonici di valore storico-artistico in zona sismica".

(6) Il testo delle "Istruzioni...", predisposto dal Comitato, è

stato approvato con integrazioni nel voto n.564 del 28/11/1997 dell'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

(7) D.M. 16 gennaio 1996 del Ministero dei Lavori Pubblici di concerto con il Ministro dell'Interno, recante "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" e Circolare n. 65 del 10 aprile 1997 del Ministero dei Lavori pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16/1/96".

(8) Vedi Deliberazione della G.R. n. 78 del 18/1/1999: Approvazione delle "direttive tecniche" per la progettazione e realizzazione degli interventi di ripristino, recupero e restauro, con miglioramento sismico, del patrimonio culturale danneggiato dalla crisi sismica

(9) Il GNDT, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, è un organo di ricerca del CNR costituito in accordo con il Dipartimento della Protezione Civile.

(10) Per la definizione di *vulnerabilità tipica* e *vulnerabilità specifica*, e più in generale per i risultati di ricerca legati all'analisi del danno, vedi il testo di F. DOGLIONI, A. MORETTI, V. PETRINI, *Le chiese e il terremoto*, ed. LINT, Trieste, 1994, cui si farà costante riferimento.

(11) Per la definizione di *comportamento*, vedi a pag. 16

(12) Si intende per *anamnesi* la ricostruzione dei trascorsi fisiologici e patologici dell'edificio nel tempo.

2. IL PROGETTO DI MIGLIORAMENTO ANTISISMICO NEL RESTAURO

- 2.1. Indirizzi e direttive dell'opera di restauro dei beni architettonici danneggiati nelle Marche: la scelta del miglioramento
- 2.2. Comportamento, danno, vulnerabilità tipica e specifica
- 2.3. Macroelementi e meccanismi di danno
- 2.4. La peculiarità progettuale del miglioramento
- 2.5. Altre componenti o condizioni del restauro strutturale: riparazione, consolidamento statico, manutenzione
- 2.6. Impostazione e valutazione degli interventi secondo i criteri del restauro architettonico

2.1. Indirizzi e direttive dell'opera di restauro dei beni architettonici danneggiati nelle Marche: la scelta del miglioramento

La legge 30 marzo 1998, n.61, indica gli obiettivi del "ripristino, recupero e restauro" come contenuto generale del piano degli interventi (art. 8). A sua volta il ripristino è associato in un altro articolo a "riparazione e miglioramento sismico" (art. 2 punto 3). Per "ripristino", anche se non disponiamo di una definizione normativa, possiamo intendere in questa sede "tutti quegli interventi necessari a riportare il bene verso una condizione di efficienza e completezza in cui si presume che l'edificio si trovasse prima del danneggiamento e del degrado, includendo perciò, a seconda dei danni subiti, le opere di riparazione, di risarcimento limitato o di ricostruzione estesa a intere parti".

Le Direttive emanate dalla Regione Marche precisano e integrano questo obiettivo. Infatti nella "Premessa", si afferma: "Gli interventi di ripristino, recupero e restauro ammissibili dovranno essere ricondotti esclusivamente alla tipologia di interventi di miglioramento sismico, definito al punto C.9.1.2. del D.M. 16/1/1996 del Ministero dei L.L.P.P., in misura compatibile con le esigenze di conservazione e tutela del bene."

Possiamo quindi affermare che alla restituzione di integrità fisica (*ripristino*), di efficienza funzionale (*recupero*), di conservazione e fruibilità del bene (*restauro*), i cui obiettivi in parte coincidono con quelli attribuiti al ripristino e al recupero), si vuole associare una attività di prevenzione dei danni futuri attraverso il *miglioramento sismico*.

L'obiettivo di rendere compatibile l'aumento della sicurezza con la conservazione dei monumenti ha come riferimento concettuale e pratico la categoria normativa del *miglioramento*.

La definizione è contenuta nel D.M. 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche (1), al punto C.9.1.2. Intervento di Miglioramento. "Si definisce intervento di miglioramento l'esecuzione di una o più opere riguardanti i singoli elementi strutturali dell'edificio con lo scopo di conseguire un maggior grado di sicurezza senza, peraltro, modificarne in maniera sostanziale il comportamento globale. E' fatto obbligo di eseguire interventi di miglioramento a chiunque intenda effettuare interventi locali volti a rin-

novare o sostituire elementi strutturali dell'edificio.

Tale tipologia di intervento si applica, in particolare, al caso degli edifici di carattere monumentale, di cui all'art. 16 della legge 2 febbraio 1974, n. 64, in quanto compatibile con le esigenze di tutela e di conservazione del bene culturale."

Come si può constatare, la nozione di miglioramento ha come cardine il *comportamento globale* della fabbrica, che non va sostanzialmente mutato.

Questo obiettivo può apparire contraddittorio: se il danno (che si è già verificato, o che è probabile data l'attuale vulnerabilità di un edificio) è la naturale conseguenza di un comportamento strutturale infausto, per contrastare il danno si dovrebbe tendere a mutarlo, non a conservarlo.

A questo ragionamento, apparentemente corretto e in certi casi inoppugnabile, si oppongono alcuni fattori.

In primo luogo, se l'architettura è costituita da una data struttura, da essa inseparabile, cui si associa un dato comportamento, un mutamento globale del comportamento richiede un radicale cambiamento della struttura, e quindi mina il rapporto struttura-architettura. Sotto il profilo concettuale la struttura è un modo di essere dell'architettura, e non accettiamo che ne venga separata. Dal punto di vista pratico, per mutare il comportamento sono in genere necessari interventi ad alta componente invasiva e distruttiva, che comprometterebbero la natura storica e l'autenticità del bene che invece si vuole conservare.

Ma, soprattutto, in questo ultimo decennio è maturata la consapevolezza che, inserendo presidi rivolti a mutare radicalmente il comportamento (ad es. strutture intelaiate in murature continue, pannelli in c.a. affiancati, ecc.) si determina un comportamento ibrido, difficilmente prevedibile e potenzialmente più sfavorevole di quello che si vuole evitare.

Di qui l'indirizzo a non correre questo rischio e a incrementare e valorizzare le prestazioni strutturali della fabbrica, sfruttandone sistematicamente le risorse di resistenza e accettandone senza rifiuti pregiudiziali il modo di essere strutturale.

Di conseguenza, il miglioramento tende a limitare il più possibile gli effetti di danno intervenendo sulle singole parti per reindirizzare il comportamento di insieme in modo più favorevole, ma ponendosi l'obiettivo e

il limite di non mutarlo globalmente.

Ne deriva la fondamentale importanza di saper interpretare attraverso i danni il comportamento passato per mettere a fuoco, insieme ad altre osservazioni, l'*identità strutturale* della fabbrica e per prevederne il comportamento futuro. Attraverso una analisi accurata dei danni e dei dissesti presenti, considerati perciò non solo come effetti da riparare, ma anche come manifestazioni fondamentali per la comprensione del comportamento, si individuano i punti critici ("vulnerabili") della struttura e si indirizzano gli interventi correttivi. L'impostazione proposta è basata sulle esperienze e su alcuni concetti di riferimento, sviluppati soprattutto nella ricerca GNDT (2).

Secondo questo studio, le costruzioni monumentali assumono al sisma comportamenti riconducibili ad un numero relativamente limitato di *meccanismi di danno*, correlati soprattutto alla forma della parte colpita.

Il meccanismo di danno diviene quindi lo strumento per descrivere il comportamento dell'edificio interpretando il danno che si è verificato.

A sua volta, il danno è il risultato e la dimostrazione di una forma di vulnerabilità intrinseca della parte danneggiata.

Natura e storia della fabbrica, vulnerabilità, danno e meccanismo, comportamento, sono perciò legati da uno stretto rapporto per la reciproca capacità di esplicarsi: come meglio si potrebbe descrivere il comportamento vulnerabile di una parte di manufatto, denominata *macroelemento* (3) se non descrivendo il danno che ne può conseguire e il processo cinematico attraverso il quale si sviluppa il meccanismo? All'opposto, come meglio descrivere la componente eziologica del danno insita nell'edificio, se non attraverso la qualificazione della vulnerabilità, fondata a sua volta sui caratteri architettonici e costruttivi dell'edificio?

2.2. Comportamento, danno, vulnerabilità tipica e specifica

Pur essendo la nozione di *comportamento* il punto di riferimento centrale del miglioramento antisismico secondo la definizione legislativa, non ne è affatto chiarito il significato.

Possiamo definire provvisoriamente il *comportamento* come il modo caratteristico di una costruzione di resistere, deformarsi ed eventualmente dissestarsi fino al crollo a fronte delle sollecitazioni indotte dai propri carichi o da azioni esterne.

Il comportamento attuale è perciò una manifestazione fondamentale dell'identità strutturale di una costruzione, ossia il modo con cui esso ha reagito e reagisce alle sollecitazioni cui è stato sottoposto e con cui, salvo mutamenti ed evoluzioni, continuerà a reagire anche in futuro. Il comportamento a sua volta deriva almeno in parte dal concetto strutturale insito nella costruzione (la vitruviana *ratio firmitatis*, la ragione della saldezza, il principio che assicura solidità e include in sé la previsione o aspettativa di un dato comportamento) ma è anche fortemente influenzato dall'insieme di evoluzioni, di origine antropica o naturale, che la fabbrica ha

subito nel tempo (modifiche, degrado con perdita di efficienza, dissesto che consuma risorse di resistenza). La disposizione delle funzioni resistenti implica una data aspettativa di comportamento strutturale, e forma quegli "schemi di risorse" (4) sui quali la fabbrica si regge, e dei quali è necessario tener conto.

Il concetto strutturale largamente prevalente nella costruzione muraria è volto ad assicurare resistenza ai carichi di gravità verticali, e ad eventuali spinte a componente orizzontale, indotte da volte non compensate con tiranti, da archi o altro. Raramente una struttura muraria è organizzata in modo da poter offrire resistenze rilevanti ad azioni diverse da quelle verticali. Se ne può dedurre che le costruzioni murarie sono intrinsecamente vulnerabili alle sollecitazioni orizzontali indotte dal terremoto, in quanto queste hanno di consueto una parte limitata nella previsione di comportamento che ha presieduto alla costruzione del manufatto.

In ogni caso, il danno è una manifestazione significativa del comportamento ed il suo studio costituisce il punto di passaggio fondamentale, anche al fine di istituire un rapporto con la storia costruttiva e la storia del dissesto. Oltre a dare una dimensione temporale al comportamento -il comportamento nel tempo- se ne mettono in luce le evoluzioni svavorevoli dimostrate dal danno, che costituiscono quindi un nucleo certo di forme di vulnerabilità.

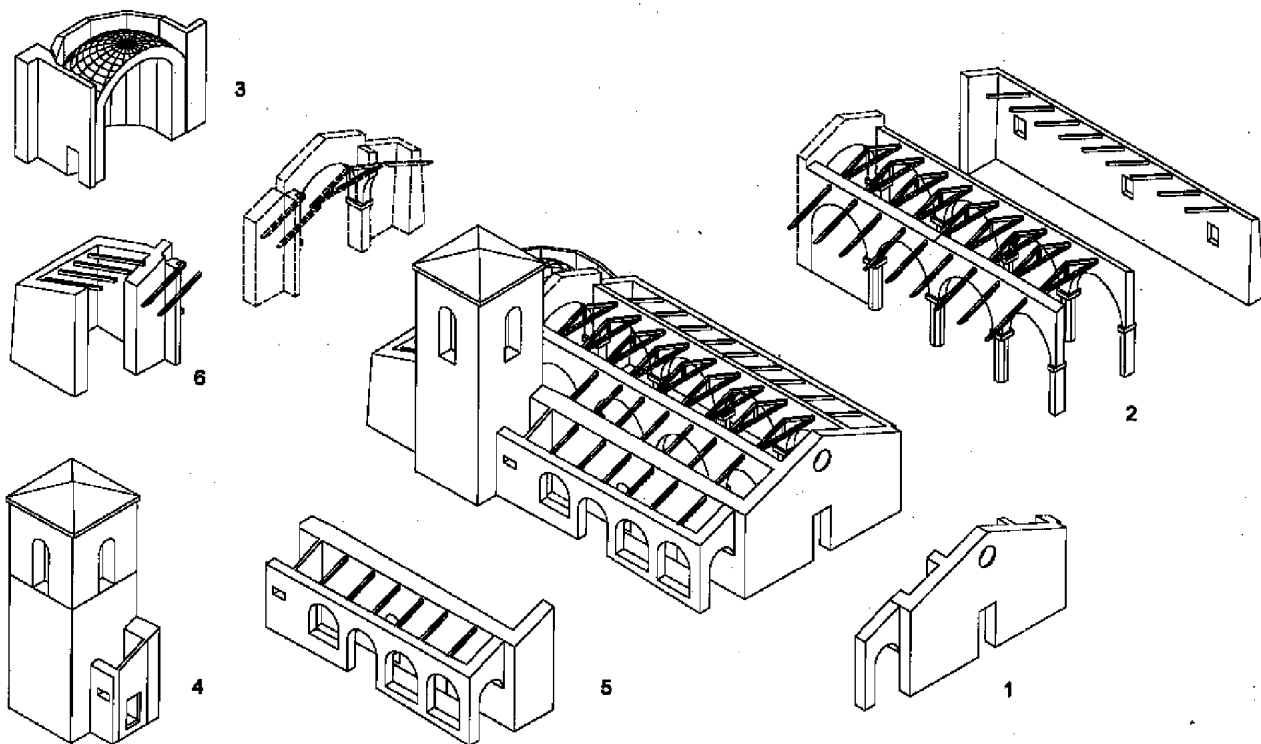
Si è constatato che, se l'edificio non muta configurazione e struttura, il suo comportamento tende a riprodursi anche a grande distanza di tempo al ripetersi delle sollecitazioni, recidivando i danni e i meccanismi che li generano. Si produce con il tempo un *danno cumulato*, dovuto a diversi terremoti o dissesti statici i cui effetti sono stati solo parzialmente riparati, che determina l'affaticamento della struttura, e la perdita della sua efficienza e capacità di risposta strutturale. Ristabilire questa efficienza perduta con opere che reintegrino le risorse consumate dall'edificio durante il suo comportamento resistente nel tempo è dunque uno degli obiettivi del progetto, e che potremmo definire come *riparazione* del danno cumulato, come *risarcimento* delle capacità strutturali o, in breve, come *ripri-stino strutturale*. Per realizzarlo, è necessario individuare sistematicamente nel corso della fase analitica tutte le forme di indebolimento che si sono prodotte.

Si definisce come *vulnerabilità* la predisposizione di un manufatto ad essere danneggiato in caso di sisma. La vulnerabilità è perciò una condizione attuale di potenziale degrado futuro, che si manifesterà quando l'edificio sarà colpito da terremoto.

Inoltre essa può essere descritta, nel suo insieme, come stima e qualificazione del danno atteso, che può essere così suddiviso:

- come indice dei *danni ulteriori probabili*, in quanto prosecuzione di meccanismi la cui presenza e avvenuta attivazione sia già stata riconosciuta attraverso l'interpretazione dei danni ad essi associati;

- come indice dei *danni possibili*, associando la memoria dei danni già verificati alla configurazione delle parti (vulnerabilità tipica) o a condizioni di debolezza locali (vulnerabilità specifica).



Suddivisione in macroelementi della chiesa di S. Maria Assunta a Mevale (Visso). Disegno degli allievi del Laboratorio di Restauro Architettonico, IUAV, 1999.



Le discontinuità dovute ai processi di costruzione e modificazione nel tempo costituiscono spesso forme di vulnerabilità specifica. Nelle foto, la lesione che si sviluppa nel campanile a vela (Visso) trae innesco da una antica angolata non ammortata. Il danno sismico in questo caso è sicuramente favorito e influenzato dalla discontinuità costruttiva presente.

Anche il danno pregresso, non efficacemente riparato, costituisce una forma di vulnerabilità specifica. In questo edificio a Visso le lesioni comparse sull'intonaco recente in prossimità della finestra angolare (vedi particolare in basso) si ricongiungono alle fratture antiche già presenti in architravi e cornici in pietra, ad indicare come il meccanismo tipico di danno -la rotazione dell'angolata-, innescato in precedenti terremoti, sia ora facilitato dal danno non riparato.



La vulnerabilità specifica è quella che dettaglia e indirizza localmente il comportamento generale, e che al tempo stesso ha funzioni di innesco di meccanismi connessi a vulnerabilità tipiche.

2.3. Macroelementi e meccanismi di danno

Si definisce *meccanismo* il modello di rappresentazione cinematica con cui si interpreta e si descrive il comportamento al sisma di una parte strutturale unitaria (denominata *macroelemento*) e il danno conseguente. Al meccanismo è affidato sia il ruolo di interpretazione dinamico-meccanica del danno accaduto che di previsione del danno ulteriore, in quanto il comportamento futuro è ipotizzabile come progressione del meccanismo, sia esso già attivato o meno, con il danno che a questa progressione è associato.

La suddivisione in macroelementi svolge una funzione convenzionale, utile alla descrizione e comprensione del fenomeno di danno. Perciò non deve essere oggetto di una rigida formalizzazione, in quanto del tutto interna e strumentale al processo di interpretazione. Nel quinto capitolo è riportata una sintesi esemplificata dei meccanismi riconducibili a vulnerabilità tipiche, riconosciuti in macroelementi che appartengono ad edifici religiosi e civili, e dei danni connessi a vulnerabilità specifiche.

Vi sono meccanismi tendenzialmente unidirezionali che, una volta attivati, tendono a indurre spostamenti progressivi, che si sommano allo spostamento precedente come ad esempio nel caso del ribaltamento fuori piano di una facciata. Altri meccanismi ciclici sono bidirezionali, come ad esempio quelli indotti da sollecitazioni a taglio alternate nelle due direzioni nel piano di una parete. Questi ultimi tendono a produrre comunque una somma di danni, ma spostamenti assoluti più limitati.

Tuttavia nel meccanismo a taglio, una volta che il pannello murario è giunto a rottura, possono insorgere altri comportamenti (meccanismi acquisiti). Ciascun meccanismo può essere descritto come complesso di azioni, di spostamenti e di danni indotti alla parte.

Si possono formare gerarchie di meccanismi:

- meccanismo generale di macroelemento, quando investe la parte nel suo insieme;
- meccanismo parziale di macroelemento, quando ne investe una parte significativa;
- meccanismo locale, quando associato a forme di vulnerabilità specifica di parti limitate;
- meccanismo composito (ad es. meccanismo generale associato a meccanismo locale, oppure meccanismi gemelli paralleli, con cerniera a quote diverse sulla facciata in corrispondenza delle cornici marcapiano)
- meccanismi simmetrici, quando investono in modo bilaterale il macroelemento;
- meccanismo associato o acquisito, meccanismo che si attiva localmente a seguito dell'avanzamento e sviluppo di un altro meccanismo generale.

In alcune condizioni specifiche è difficile riconoscere

un preciso meccanismo generale; ad esempio, quando la decoesione muraria consente la disgregazione minuta della muratura, impedendo quella netta separazione con spostamento reciproco di blocchi cui il concetto stesso di meccanismo tende a fare riferimento. Questa impossibilità di riconoscere i meccanismi pur in presenza di danni rilevanti ha sovente di per sé un significato diagnostico, in quanto può essere sintomo di una grave inconsistenza muraria e/o del prevalere di altre forme di vulnerabilità specifica.

E' necessario che si sappia valutare il differenziale di danno e vulnerabilità prodotto dal terremoto rispetto alla situazione iniziale, essa stessa valutabile come livello di danno e di vulnerabilità e come efficienza manutentiva.

2.4. La peculiarità progettuale del miglioramento

A valle della definizione normativa, si può così specificare il miglioramento nel restauro, utile a meglio definirne gli obiettivi e le modalità di realizzazione.

Un'opera sistemica di miglioramento si realizza individuando e contrastando tutte le forme di vulnerabilità, tipiche e specifiche, presenti nella fabbrica.

E' costituita da un insieme di interventi rivolto a coinvolgere e sfruttare nella reazione al sisma le risorse di resistenza offerte dalle diverse parti della costruzione. Devono soprattutto essere riorganizzati o potenziati i collegamenti resistenti a trazione, in modo da favorire l'interazione e il reciproco sostegno tra le parti della fabbrica; vanno contrastate in particolare le azioni inerziali fuori piano sulle pareti esterne attraverso il collegamento con le masse contrapposte, temporaneamente non interessate da tale azione. Il miglioramento si attua quindi attribuendo per quanto possibile alle parti esistenti funzioni strutturali temporanee e ulteriori rispetto a quelle già svolte, e coinvolgendole nella risposta sismica globale con accorgimenti costruttivi e connessioni efficaci e poco turbative.

Il miglioramento di una costruzione monumentale in muratura tende ad quindi integrare il suo comportamento, previsto nella concezione strutturale della costruzione muraria per prevalenti carichi statici verticali, senza mutarlo significativamente nelle normali condizioni di esercizio, ma introducendo presidi in grado di intervenire "a richiesta" per contrastare azioni dinamiche orizzontali, e soprattutto per inibire il progredire e il sommarsi degli spostamenti che aggravano il danno.

Si tratta quindi di "invischiare" gli spostamenti connessi al comportamento proprio di un edificio, rendendone le strutture più duttili, meno fragili, ed impedendo che la somma di spostamenti, dovuta al ripetersi ciclico delle azioni inerziali, porti al progressivo aggravamento del danno, piuttosto che tendere tout-court ad impedirlo introducendo elevate rigidità.

Con il miglioramento non si cerca perciò una sorta di invulnerabilità, ma una sistemica difesa.

2.5. Altre componenti o condizioni del restauro

strutturale: riparazione, consolidamento statico, manutenzione

Perché il miglioramento sia efficace e duraturo, è condizione preliminare che essa sia dotata di una configurazione strutturale che le consenta di reggere il peso proprio con adeguati margini di sicurezza, non soffra di dissesti statici rilevanti, non presenti danni non riparati, non si allontani marcatamente dalle regole del buon costruire, sia in sufficienti condizioni di efficienza manutentiva. Se la costruzione si trova in uno stato insoddisfacente sotto uno o più aspetti, all'opera di miglioramento devono necessariamente essere associati interventi in grado di riportarlo ad uno stato di efficienza media. Il miglioramento, che possiamo considerare una componente del restauro strutturale, in questi casi va associato alla *riparazione* (ripristino strutturale), al *consolidamento statico*, alla *manutenzione*.

L'opera di *riparazione* ha come finalità il risarcimento di effetti di dissesto (danni) presenti nella costruzione, in quanto essi determinano di per sé una forma di vulnerabilità, anche a prescindere dal persistere delle cause che li hanno provocati.

Gli effetti di dissesto costituiscono il risultato e la prova tangibile dell'avvenuto consumo di parte delle risorse di resistenza che l'edificio aveva nella fase precedente al danneggiamento; risorse che con la riparazione si intendono ricostituire, ma non necessariamente accrescere: quanto meno, ciò non fa parte del concetto di riparazione, che non richiede programmaticamente di aumentare la resistenza rispetto ad uno stato precedente assunto a riferimento.

L'opera di *consolidamento statico*, è rivolta ad aumentare l'efficienza e le capacità strutturali che si siano rivelate carenti, in modo che la costruzione sia in grado di sopportare senza danno i normali carichi statici di esercizio.

La riparazione, infatti, inibisce gli effetti sulla compagine strutturale di un danno che si è già verificato; tuttavia essa non interviene sulle cause che lo hanno provocato, compito che affidiamo al consolidamento. E' evidente che in molti casi le opere di riparazione e di consolidamento sono fortemente collegate e possono anche coincidere; tuttavia è importante che le due sfere, quella che riguarda gli effetti di danno e quella le cause che li hanno prodotti siano, almeno sotto il profilo concettuale, affrontati separatamente.

L'opera di *manutenzione* è rivolta soprattutto a mantenere in efficienza le protezioni contro gli agenti atmosferici o contro l'usura accentuata, impedendo così il decadimento anche strutturale dell'edificio. Infatti, ogni perdita di efficienza delle protezioni ha in tempi più o meno lunghi inevitabili ripercussioni sulla funzionalità strutturale dell'insieme.

Alla manutenzione è perciò affidato il compito di ristabilire condizioni di normale efficienza, ossia non troppo distanti da quelle di una fabbrica assiduamente curata, e di proteggerla per un certo tempo.

2.6. Impostazione e valutazione degli interventi secondo i criteri del restauro architettonico

Il progetto di miglioramento deve essere il risultato di una struttura valutativa dei fini e dei mezzi, quella propria del restauro, dalla quale attinge i propri criteri e requisiti di accettabilità. Se questo avviene positivamente, l'opera di miglioramento entra organicamente a far parte del progetto di restauro e ne costituisce una componente fondamentale.

Descriviamo alcuni criteri-obiettivo tratti dalla pubblicistica recente del restauro (5).

Tendenza al minimo intervento.

L'intervento deve essere quello strettamente necessario e sufficiente a raggiungere lo scopo. Un accorgimento in questa direzione può essere rappresentato dall'attribuzione di molteplici funzioni alla stessa opera (ad esempio gli impalcati irrigidenti in copertura, che fungono al tempo stesso da struttura di contrasto di più meccanismi e da consolidamento dell'orditura secondaria). L'intervento perciò deve essere mirato e motivato. Ad esempio, se si qualifica ciascuna opera, in base alle finalità e alle motivazioni per cui è proposta, con un aggettivo scelto tra **generico**, **tipico** e **specifico**, si mette in evidenza se l'intervento costituisce una precisa risposta terapeutica e il risultato di un percorso a fronte di una precisa diagnosi di carenza o di vulnerabilità, generale o locale, o se rappresenta una previsione indifferenziata, perciò non mirata e generica, una sorta di a-priori tecnico che conduce, ad esempio, alla sostituzione generalizzata degli intonaci o delle strutture lignee.

Ricerca della compatibilità.

La compatibilità può essere valutata sotto diversi aspetti. Vi è una **compatibilità meccanico-strutturale**, nel caso in cui l'intervento, non riscontrandone la necessità, non muti la concezione strutturale, ma cerchi di integrarla limitatamente alla capacità di risposta alle azioni rispetto alle quali l'edificio è vulnerabile. Se un intervento non muta il comportamento acquisito e prevedibile, e tende piuttosto ad impedire la somma dei suoi effetti, frenandone lo sviluppo, può essere considerato compatibile sotto questo aspetto. Tuttavia la tendenza a rimodulare il comportamento, anche modificandolo, diviene legittima quando il comportamento di una parte è gravemente dannoso all'insieme (come ad esempio nell'interazione tra campanile e chiesa contigua). Il problema della compatibilità si sposta allora ai modi e ai materiali con cui è realizzato l'intervento.

Vi è una **compatibilità fisico-chimica**, rivolta ad accertare che non si verifichino interazioni negative tra materiali di apporto e materiali già presenti nella fabbrica. Vedi ad esempio il caso di dilatazioni termiche o di variazioni igrometriche fortemente differenziate, di apporto di sali solubili nel sistema, di introduzione di parti con resistenze meccaniche troppo diverse dal contesto murario in cui sono inserite. La compatibilità fisico-chimica può essere associata alla durabilità dell'intervento, ossia al permanere nel tempo dei requisiti-

ti richiesti, senza che nell'interazione con l'esistente insorgano effetti secondari negativi tali da diventare essi stessi fonte di degrado o da compromettere l'efficacia strutturale dell'intervento.

Vi è infine una **compatibilità costruttiva** tra materiali di apporto e materiali della fabbrica, che spinge alla ricerca di forme di **affinità**, pur nella inevitabile diversità.

Si è sviluppato in questo campo il dibattito tra l'impiego di materiali e tecniche appartenenti alla tradizione costruttiva muraria e materiali e tecniche "moderne".

In realtà la questione va opportunamente articolata in base alla capacità di risolvere la varietà di casi e situazioni, e non giova affrontarla con spirito manicheo.

Ad esempio possiamo distinguere:

-impiego di materiali e tecniche di posa affini e tendenzialmente riproducibili rispetto alla tradizione costruttiva constatata nel manufatto o nell'area (ad esempio la sostituzione di elementi lignei degradati con altri simili per essenza, posizione, lavorazione, ecc);

-impiego di materiali tradizionali (legno, pietra, mattoni, ecc.) con tecniche parzialmente innovative rispetto alla tradizione, o con funzioni rinnovate (ad esempio impalcati irrigidenti diagonali formati da tavolato sovrapposto a solai o tetti);

-impiego di materiali e tecniche moderne posti in opera ad assolvere funzioni già previste nella fabbrica antica, ma venute meno per degrado degli elementi; vedi ad esempio il caso di cordoli-tirante metallici posti in sostituzione di elementi lignei posti in opera all'interno delle murature e poi degradati;

-impiego di materiali e tecniche moderne posti in opera con funzione di affiancamento di una struttura indebolita. Sovente si pone l'alternativa tra sostituire un elemento ligneo o lapideo non riparabile o conservarlo, affiancandogli una struttura che lo sollevi dalle funzioni strutturali. In questo secondo caso, è opportuno che la nuova struttura sia dichiarata come attuale, e perciò realizzata con materiali e configurazione autonomi. Questo tuttavia non deve spingere a soluzioni ostentate ed invadenti rispetto al contesto;

-applicazione di materiali e tecniche della tradizione moderna (cordoli, solette, strutture metalliche) inseriti ad integrare per singole funzioni mirate la struttura dell'edificio esistente. Diverso, e in linea di principio non compatibile, è il caso dell'applicazione di materiali e tecniche della tradizione moderna (strutture in c.a. o in metallo, strutture precomprese) secondo concetti strutturali estranei alla costruzione muraria (ad esempio la struttura intelaiata), a sostituire interamente la funzione strutturale dell'edificio esistente;

-applicazione di materiali e tecniche innovative mirate (fibre di carbonio, malte speciali, ecc.) non ancora diffusamente sperimentate nel processo applicativo e negli esiti, ma potenzialmente in grado di risolvere problemi sino ad oggi non risolti senza gravi impatti; vedi ad esempio il problema del consolidamento delle volte.

Reversibilità. Anche attorno a questo termine si è acceso un forte dibattito, tra chi sostiene dover essere

un requisito fondamentale degli interventi e chi ritiene trattarsi invece di un requisito impossibile da perseguire e comunque non significativo.

Appare in ogni caso opportuno parlare di aspirazione prudenziale alla reversibilità, come possibilità futura di rimuovere senza danni eccessivi per l'opera l'intervento oggi effettuato. In questo caso essa sarebbe limitata alla sostituibilità senza gravi danni indotti di un intervento di consolidamento, nel caso per varie ragioni esso dovesse dimostrarsi inefficiente o dannoso.

Se ne può derivare che, maggiori sono i rischi dell'insorgere di forme di incompatibilità (meccanica, fisico-chimica) tra elemento inserito e struttura preesistente, o le probabilità del verificarsi di una limitata durabilità del nuovo elemento, maggiore deve essere l'attenzione a consentirne la amovibilità futura, ricercando un affiancamento non invasivo e ancoraggi puntuali e "freddi".

Per contro, l'intervento eseguito con materiali e tecniche di cui sono maggiormente accertate la compatibilità e la durabilità, nonché l'affinità con i modi costruttivi della fabbrica antica, non necessariamente deve essere reversibile con facilità, anche in considerazione del fatto che questo non è un requisito proprio della tradizione costruttiva. Per questi materiali si deve perciò puntare sia al minimo intervento che alla riduzione degli impatti, attraverso accorgimenti e forme di controllo adeguate.

Rispetto dell'autenticità

Anche questo requisito è legato al significato che si attribuisce al termine "autenticità", in quanto tra gli studiosi del restauro vi è chi privilegia l'autenticità della configurazione architettonica e chi quella della materia costitutiva. Prudenzialmente, il rispetto dell'autenticità si attua limitando comunque al massimo le sostituzioni di materia e di superficie stratificata.

Conservazione della materia

Come è noto - e vedi quanto già detto a proposito del rispetto dell'autenticità - la materia costitutiva dell'opera è considerata nel suo insieme portatrice di testimonianze di cultura costruttiva e di segni del passaggio del tempo. La sua sostituzione fisica o la sua compromissione non sono considerate possibili senza produrre una drastica perdita di identità e di potenziale informativo dell'opera, e pertanto sono escluse in via di principio dall'opera di restauro.

Tuttavia, a fronte di rilevanti forme di degrado e di danno, che mettano in pericolo l'esistenza dell'opera e la sicurezza delle persone, è certamente lecito operare anche interventi di modificazione della materia, in base al principio del minor danno e del minimo intervento (vedi). Il superamento di questo principio generale - la conservazione della materia - è consentito nell'ambito di una impostazione etica dell'opera di restauro, in base alla quale diviene lecito usare mezzi di per sé illeciti quando si tratta di perseguire fini doverosi di ordine superiore.

Il problema perciò si sposta sulla capacità di dimostrare, nell'apparato del progetto, che gli interventi sosti-

tutivi sono effettivamente necessari per fini conservativi generali, che costituiscono il minimo intervento e producono impatti puntuali e comunque mirati sulla materia.

Va ricordato che la conservazione della materia, associata a limitate modifiche alle superfici esterne, consentirà anche in futuro di osservare i segni del danno come manifestazione del comportamento nel tempo, permettendo di ripetere il processo interpretativo-diagnostico. E' perciò un obiettivo che ha significato non solo come fine dell'opera di restauro, ma anche come mezzo per proseguire e verificare nel tempo l'efficacia dell'opera di miglioramento.

Controllo dell'impatto visivo

Per impatto visivo intendiamo le modifiche alla visibilità e alla percezione dell'opera conseguenti agli interventi e alle modifiche introdotte dal progetto.

Prevale la tendenza a ritenere che, se interventi affiancati e non invasivi consentono di conservare meglio la materia dell'opera, il loro impatto visivo è comunque più accettabile, ove non ostentato e opportunamente contenuto, rispetto ad interventi di radicale sostituzione e ricostruzione.

In questo vi è quindi un profondo mutamento rispetto ai primi decenni del dopoguerra, in cui si riteneva che l'opera strutturale, se completamente dissimulata nella costruzione, fosse del tutto legittima, anche a costo di forti impatti sulla materia della costruzione.

Riconoscibilità degli interventi.

La riconoscibilità degli interventi costituisce un requisito che la disciplina del restauro richiede a tutte le opere di apporto, siano esse integrazioni di lacune o presidi strutturali. Si attua attraverso opportune forme di distinguibilità che, a seconda delle posizioni concet-

tuali adottate, possono essere programmaticamente dotate di linguaggio figurativo autonomo rispetto all'opera, oppure semplicemente distinguibili attraverso i contatti tra preesistenti e aggiunte, e la diversità di costituzione materiale, anche se non visivamente accentuata (distinguibilità stratigrafica). Questo requisito richiesto dal restauro coincide almeno in parte con una necessità propria degli interventi di miglioramento antisismico, di raggiungere una almeno parziale visibilità per consentire la verificabilità nel tempo o quanto meno per facilitare il riconoscimento dell'esistenza del presidio stesso.

Nondimeno è necessaria comunque una esatta documentazione degli interventi eseguiti, necessaria a formare quella "cartella clinica" (o fascicolo del fabbricato) che permetta di valutare il comportamento nel tempo sia dei presidi introdotti che della fabbrica nel suo insieme.

Il requisito della distinguibilità diventa importante soprattutto per gli interventi di contrasto dei principali meccanismi in atto o attesi, o nel caso si attuino interventi parziali o a stralci.

Va detto che il più diffuso intervento di miglioramento, costituito dalla apposizione di tiranti metallici, è di per sé almeno in parte visibile e riconoscibile come attuale per tecnica esecutiva. Si dovrà tener conto di questo, cercando di non dissimulare interamente almeno i capochiave o le piastre esterne, lasciandole in parte visibili.

Ciò comporta anche che le opere di presidio temporaneo, per loro natura prevalentemente esterne, e le opere di intervento definitivo, che si tende a dissimulare maggiormente nella costruzione anche inserendole al suo interno, hanno maggiori punti di contatto e possono in certi casi coincidere.

(1) Il decreto è pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 5 febbraio 1996

(2) La ricerca ha portato ad osservare il comportamento sotto sisma di un numero elevato di chiese, comparando ed analizzando la situazione precedente al terremoto con la situazione successiva al primo e poi al secondo terremoto, per capire il rapporto tra la vulnerabilità propria di questi manufatti e il danno effettivamente subito. Lo scopo è quello di trarne considerazioni di carattere più generale sul rapporto tra vulnerabilità e danno, che siano applicabili ad indirizzare l'attività di prevenzione di edifici affini non danneggiati.

Si tenta quindi una analisi dell'esperienza di danno, per trarne insegnamenti il più possibile codificati e trasmissibili.

(3) "Per *macroelemento* si intende una parte costruttivamente riconoscibile e compiuta del manufatto, che può coincidere -ma non necessariamente coincide- con una parte identificabile anche sotto l'aspetto architettonico e funzionale (es. facciata, abside, cappelle); è di norma estesa almeno ad una intera parete o ad un orizzontamento, ma solitamente è formata da più pareti ed elementi orizzontali connessi tra loro a costituire una parte costruttivamente unitaria e, in alcuni casi, volumetricamente definita, pur se in genere collegata e non indipendente dal complesso della costruzione.

In realtà, il criterio-guida nella definizione del concetto di macroelemento e nella sua applicazione pratica per la suddivisione in parti della fabbrica è solo marginalmente ed in subordina di natura architettonica e strutturale, così come formulabile in base a suddivisioni classiche della fabbrica; infatti, il principio fondamentale adottato per la suddivisione in macroelementi -che, in sostanza, ne legittima l'applicazione in questa ricerca- costituisce già il risultato di una prima osservazione del comportamento sotto sisma degli edifici e del loro modo di discretizzarsi in parti macroscopiche.

Per *macroelemento* si intende la parte edilizia nell'ambito della quale è osservabile e compiutamente descrivibile un comportamento unitario e riconoscibile nei meccanismi di insieme a seguito delle azioni sismiche; è perciò una parte di costruzione definita come unitaria in base al comportamento osservato, e tale da consentire la descrizione dei fenomeni di danno con il minor grado di complessità, pur mantenendo unitaria la lettura del fenomeno che vi si verifica.

In una costruzione continua, qualsiasi suddivisione in parti è comunque di carattere convenzionale; in questo caso è particolarmente finalizzata alla descrizione e localizzazione dei

fenomeni di danno, alla osservazione e interpretazione dei meccanismi di dissesto, riconoscibili in particolare attraverso gli spostamenti relativi rispetto ai macroelementi contigui o gli spostamenti tra parti del macroelemento stesso.

Le interazioni tra i diversi macroelementi -interazioni che motivano la dimensione attribuita a ciascun macroelemento proprio in virtù del diverso comportamento- avvengono tendenzialmente al bordo di questi; bordo che non può essere definito da una netta linea di confine, ma semmai da un'area entro la quale con maggiore frequenza avvengono i danni e le discretizzazioni che sono conseguenza del diverso comportamento dei macroelementi. Quest'area è definita come *fascia o zona di sovrapposizione*; con questo termine si intende quella parte costruttiva al bordo del macroelemento considerato, appartenente in via principale ad un altro macroelemento, la cui descrizione è necessaria per comprendere l'insieme dei fenomeni propri del macroelemento esaminato.

Di conseguenza i fenomeni che si verificano nelle zone o fasce di sovrapposizione verranno descritti due volte, in ciascuno dei macroelementi interessati." A. DE COLLE, F. DOGLIONI, L. MAZZORANA, *La definizione e l'utilizzo del concetto di macroelemento*, in: *Le chiese e il terremoto*, cit.

(4) "Il concetto di limitare i lavori di rinforzo al minimo necessario porta ad utilizzare gli "schemi di risorsa" formati nella statica dell'edificio senza alterarli; trattasi di stati di equilibrio con cui la fabbrica si è spontaneamente difesa, ma che durano da secoli per il contrasto e la solidarietà delle strutture murarie; il turbarli e l'avviare un diverso sistema di azioni porta talvolta alla necessità di rifare tutto." G. GIOVANNONI, *Il restauro dei monumenti*, Roma, s.d., pag. 45. La citazione è tratta dal Commento alle "Direttive" del Comitato Sismico nella versione approvata il 14/7/1989, emanata come Circolare n. 1841 del 12 marzo 1991 del Ministero Beni Culturali e Ambientali, ad indicare l'ideale continuità concettuale della nozione di miglioramento rispetto a questo scritto di Giovannoni.

(5) Vedi in particolare G. CARBONARA, Teoria e metodi del restauro, in *Trattato di Restauro Architettonico*, diretto da G. Carbonara, vol. I, ed. UTET, Torino, 1996.

3. SCHEMA METODOLOGICO E PROCEDIMENTO DI PROGETTAZIONE DEL MIGLIORAMENTO

3.1. Sequenza e articolazione delle fasi di progettazione

3.2. Configurazione del progetto in rapporto al livello di danno e alla complessità del caso: semplificato/speditivo, standard, complesso

3.1. Sequenza e articolazione delle fasi di progettazione

Cerchiamo ora di delineare lo sviluppo complessivo della procedura di progettazione del miglioramento, ponendo in sequenza le diverse fasi in cui si articola, per poi svilupparle nei capitoli successivi.

Il procedimento di progettazione segue un asse centrale, costituito dall'edificio nella sua consistenza materica e nei suoi caratteri. E' con esso e con il suo comportamento noto o previsto che è necessario non perdere mai il contatto, dall'analisi fino al progetto, cercando di ridurre il rischio sempre presente di sostituirlo con modelli impropri o di allontanarsene nel corso del tragitto.

Attorno a questo asse centrale si sviluppa una struttura bilaterale, formata da due filoni tematici simmetrici rivolti l'uno alla ricerca e contrasto di fattori specifici di accentuazione locale, l'altro alla ricerca e contrasto di fattori tipici, estesi a parti strutturali di maggiore dimensione. Il primo investe le vulnerabilità specifiche, ossia i danni e i relativi interventi che sono legati alla caratterizzazione individuale e alla storia peculiare di ciascun edificio; il secondo riguarda le vulnerabilità tipiche, ossia i danni e gli interventi che sono legati alla configurazione e al comportamento strutturale complessivo dell'edificio.

Questa suddivisione può apparire drastica - come in effetti è - perchè sono evidenti le ampie zone di interazione tra fattori tipici e fattori specifici, che ne rendono impraticabile la completa separazione. Tuttavia essa rimarca la necessità prioritaria di saper riconoscere e controllare, sul piano generale, i fenomeni complessivi, modellabili nell'insieme e maggiormente riconducibili a tipi tra loro confrontabili, e, sul piano particolare proprio di ciascun edificio, quei caratteri ed elementi specifici che nella loro varietà influenzano anche marcatamente il comportamento locale e di insieme.

Il progetto si deve fondare perciò su una visione generale e su una attenzione particolare, intrecciando percorsi induttivi e deduttivi nei vari nuclei tematici.

Il procedimento di progettazione viene schematizzato con un grafico (vedi), per meglio chiarirne la struttura. Di seguito ne vengono elencati e descritti sinteticamente i contenuti e i prodotti, rinviando ai diversi capitoli del testo che li trattano più estesamente.

1 - Analisi diretta del manufatto

1.1 - Acquisizione e restituzione dei dati di configurazione geometrica (rilievo geometrico).

1.2 - Descrizione delle qualità costruttive e dei materiali costitutivi (rilievo descrittivo e materico), applica-

ta a strutture e a superfici.

1.3 - Studio della storia costruttiva attraverso le tracce fisiche (rilievo stratigrafico) e attraverso la documentazione storica (ricerca storica, rivolta anche a ricostruire la storia sismica dell'edificio).

1.4 - Rilievo e analisi dello stato di manutenzione e di degrado proprio.

1.5 - Rilievo e analisi dello stato fessurativo e deformativo (rilievo dello stato di dissesto attuale, con misura convenzionale del livello di danno). Distinguere per quanto possibile il danno sismico recente dal danno storico pregresso.

1.6 - Descrizione e localizzazione di eventuali interventi recenti con tecniche moderne o tradizionali.

1.7 - Elenco e descrizione dei beni di carattere storico-artistico fissi e mobili contenuti nell'edificio.

Questa parte tende a dare risposta, insieme al punto successivo, a quanto richiesto dal paragrafo 2- Analisi storico-critica dei manufatti, delle Direttive Tecniche emanate dalla Regione Marche.

Metodi, contenuti e modalità redazionali di questa prima parte sono sviluppati nel successivo capitolo IV.

2 - Diagnosi di vulnerabilità in forma di danno atteso

2.1 - Consultazione della memoria di danno relativa alle vulnerabilità specifiche, ricerca di casi affini, di correlazioni, ecc. (**asse:** Ricerca e contrasto di fattori specifici di vulnerabilità).

2.2 - Individuazione delle vulnerabilità specifiche presenti nell'edificio.

2.2.1 - Interpretazione del ruolo delle vulnerabilità specifiche nel danno attuale

2.2.2 - Descrizione dei danni probabili e possibili connessi a vulnerabilità specifiche.

2.3 - Consultazione della memoria di danno relativa alle vulnerabilità tipiche, ai meccanismi di danno dei macroelementi, alla ricerca di casi affini, ecc. (**asse:** Ricerca e contrasto di fattori tipici di vulnerabilità).

2.4 - Suddivisione dell'edificio in macroelementi e individuazione delle vulnerabilità tipiche ad essi correlate.

2.4.1 - Interpretazione dei meccanismi già attivati (con danno visibile).

2.4.2 - Individuazione e descrizione dei meccanismi probabili e possibili.

2.5 - Previsione del comportamento locale e globale e descrizione del danno futuro atteso (progetto di danno) in caso di sisma medio-forte, articolata in:

2.5.1 - Formazione di nuovo danno connesso a vulnerabilità specifiche esistenti;

2.5.2 - Avanzamento ulteriore del danno attuale legato a vulnerabilità specifica (danno specifico progrediente);

2.5.3 - Avanzamento ulteriore del danno attuale connesso a meccanismi già attivati (danno tipico progrediente);

2.5.4 - Formazione di nuovo danno connesso all'attivazione di nuovi meccanismi.

2.6 - Valutazioni sul comportamento al sisma di tecniche di riparazione e miglioramento in casi affini a quello considerato

Gli approfondimenti analitici e la diagnosi di vulnerabilità sono posti in stretta relazione. La vulnerabilità, descritta in forma di danno atteso per le diverse parti (macroelementi), è il risultato di un approccio prevalentemente fenomenologico (nei danni presenti si riconoscono i meccanismi già attivati, la cui evoluzione potrà produrre il danno futuro) cui si affianca un approccio fenomenologico-analogico: data la conformazione dell'edificio e delle sue parti, si riconosce nella memoria di danno (l'archivio degli edifici danneggiati da sisma e le correlazioni tra macroelementi e meccanismi) la tendenza all'attivazione di dati meccanismi di danno.

Si descrive perciò il danno atteso (progetto di danno). In base a questo e ad altri aspetti che concorrono a determinare l'efficienza strutturale della fabbrica (livello manutentivo, degrado proprio, consistenza strutturale, ecc.) si forma la successiva lista di controllo che costituisce il punto di riferimento cui deve dare risposta la progettazione degli interventi.

Il contenuto di questi punti è sviluppato in particolare nel capitolo V ed esemplificato in alcuni dei casi presentati.

3 - Lista di controllo degli obiettivi di progetto

3.1 - Formazione della lista di controllo con elenco sintetico:

- delle forme di vulnerabilità tipiche e specifiche descritte in forma di danno atteso, a partire dal livello di danno già raggiunto;
- delle carenze manutentive e delle forme di degrado proprio accertate o da accertare;
- di eventuali carenze strutturali tali, se non sanate, da pregiudicare anche il funzionamento statico;
- dei caratteri, delle superfici e delle parti cui dedicare particolare attenzione conservativa e comunque da non danneggiare nel corso dell'intervento.

3.2 - Eventuali prove sperimentali, accertamenti diagnostici in sito o in laboratorio, saggi mirati, ispezioni, necessari a completare il quadro diagnostico

La lista di controllo deve svolgere una duplice funzione. La prima è quella di verificare la sistematicità e completezza agli approfondimenti analitici, evitando che vengano dati per scontati e non valutati aspetti che possono avere un ruolo importante per la conoscenza dello stato e dei caratteri dell'edificio. A questo scopo

pone un elenco di argomenti cui dare risposta, per colaudare la parte analitica e spingere alle eventuali integrazioni necessarie.

La seconda funzione è quella di porre un elenco di obiettivi al progetto, rispetto ai quali misurare i mezzi (gli interventi) e valutare la sistematicità delle risposte. Per svolgere questa funzione, la lista viene redatta con campi affiancati in modo tale da consentire di indicare successivamente, a fronte di ciascun obiettivo ora individuato, gli interventi di progetto previsti per raggiungerlo.

In sostanza, la lista vuole costituire un'interfaccia tra parte analitica e parte operativa-previsionale della progettazione, per favorire la consequenzialità tra di esse e mantenere un chiaro rapporto tra fattori diagnostici e interventi previsti.

Il contenuto della lista di controllo è descritto nel VI capitolo, nelle Istruzioni alla Scheda di accompagnamento del progetto e nella Scheda stessa, oltre che in alcuni dei casi illustrati.

4 - Progettazione definitiva degli interventi

4.1 - Relazione descrittiva dell'impostazione data al progetto per raggiungere gli obiettivi inclusi nella lista di controllo e dei principali interventi di:

- riparazione strutturale degli effetti di danno;
 - miglioramento sismico;
 - manutenzione e conservazione, (complesso di interventi volti alla protezione dagli agenti atmosferici, ad arrestare il degrado materiale in atto e attenuarne gli effetti);
 - consolidamento statico (aumento della funzionalità strutturale in fase statica);
 - restauro propriamente detto (complesso di interventi conservativi, di risarcimento e integrazione applicato agli elementi architettonici, alle superfici, ai beni fissi e mobili, ecc. a fini di restituzione di decoro e di fruizione);
 - ricostruzione di parti eventualmente crollate;
- inoltre:
- formazione di dotazioni funzionali e tecnologiche (descrizione dei requisiti d'uso che si intendono ottenere in rapporto alla funzione svolta: ad es. accessibilità, dotazione impiantistica anche come adeguamento a normative di settore, protezione antiincendio, ecc.);
 - verifica degli impatti degli interventi previsti sull'identità storico-architettonica del manufatto; studio di accorgimenti per la riduzione degli impatti, protezione in corso d'opera da danni indotti dal cantiere alle parti fisse, ai beni mobili, ecc.

Il contenuto di questo punto costituisce la parte fondamentale della "Relazione programmatica", richiesta al punto 3 - Criteri di progettazione, delle Direttive Tecniche emanate dalla Regione Marche. In essa il progettista dichiara le finalità del progetto e i modi (le tecniche, gli interventi) con cui prevede di raggiungerle. E' perciò il documento più diretto e sintetico del progetto, che dovrebbe essere in grado di consentire a chi lo legge una chiara comprensione delle scelte com-

piute dal progettista.

Per quanto riguarda la verifica degli impatti, vedi quanto detto al capitolo II in merito ai requisiti di accettabilità degli interventi rispetto alla disciplina del restauro.

4.2 - Grafici di Progetto Definitivo, indicanti l'assetto complessivo degli interventi, le tecniche scelte, la localizzazione delle opere riferibili alle diverse categorie (vedi lista di controllo)

- interventi di riparazione del danno esistente e di miglioramento a contrasto di vulnerabilità specifiche
- interventi di miglioramento a contrasto di meccanismi attivati
- interventi di miglioramento a contrasto di meccanismi non attivati ma probabili
- Interventi di manutenzione
- Interventi conservativi atti ad arrestare il degrado proprio dei materiali
- Interventi di consolidamento statico, atti a consentire la funzionalità statica.
- Interventi di restauro propriamente detto
- Interventi di ricostruzione di parti eventualmente crollate;
- Formazione di dotazioni funzionali e tecnologiche

Si attribuisce al progetto definitivo, nel caso sia presentato separatamente dal progetto esecutivo, il ruolo di formare il quadro complessivo degli interventi, indicandone soprattutto l'articolazione e la strategia di insieme, i tracciati e gli impatti nel manufatto, le scelte tecniche, i materiali, ecc.

La Relazione ed i grafici del progetto definitivo, integrato con i rimandi all'elenco prezzi descrittivo delle singole operazioni e ai particolari costruttivi sviluppati, entreranno a far parte del progetto esecutivo.

La fase di progetto preliminare prevista dalla legge 109 viene omessa, come richiesto dalla legge 30 marzo 1998, n.61.

5 - Progettazione esecutiva

5.1 - Progettazione esecutiva degli interventi relativi ai nodi strutturali e alle parti di maggior rilevanza per l'opera di miglioramento (particolari costruttivi).

5.1.1 - Il nodo muro-tetto: contributi al contrasto di meccanismi

- Confinamento e consolidamento sommitale delle murature
- Connessioni tra muro e tetto
- Irrigidimento e solidarizzazione delle falde del tetto

5.1.2 - Il nodo muro-solaio: contributi al contrasto di meccanismi

- Consolidamento dell'appoggio e connessioni muro-solaio
- Irrigidimento di solai e tirantatura perimetrale

5.1.3 - Sistemi di tirantatura metallica o mista a contenimento di meccanismi

5.1.4 - Sistemi di consolidamento meccanico della muratura a fronte di vulnerabilità accentuate

5.1.5 - Il nodo muro di fondazione-terreno di appoggio

5.1.6- Le discontinuità murarie

- La riparazione delle lesioni
- Il risarcimento di vuoti
- La neutralizzazione strutturale delle discontinuità costruttive

5.1.7 - Elementi o parti di accentuata vulnerabilità

- Le angolate
- I cornicioni a sbalzo
- Gli elementi svettanti (comignoli, torrette, vele)
- Accorgimenti di varia natura

5.1.8 - Le volte

- Volte strutturali
- Volte strutturali leggere (a mattoni in foglio)

Nella sua fase conclusiva e di maggior dettaglio, la progettazione degli interventi deve mettere a fuoco i dettagli esecutivi in particolare nei nodi strutturali, ai quali è affidata la connessione-collaborazione delle strutture di modo che ciascuna possa portare il proprio contributo alla resistenza della fabbrica. Va ricordato che nei nodi strutturali (tra tetto e muro, tra muro e solaio, tra muro e muro, ecc.) va cercata la principale e più naturale possibilità di formare connessioni e di inserire presidi utili al contrasto dei meccanismi. La stessa possibilità di inserire tiranti o altri elementi a contrasto è favorita dalla presenza di muri di spina e comunque è legata alla possibilità pratica di evitare ingombri o impatti interni indesiderati o incompatibili. Inoltre, come è evidente, i diversi interventi devono formare nel progetto un insieme organico, senza interferenze reciproche ma, anzi, cercando di fare in modo che la medesima opera risponda a più finalità. Vedi a questo scopo, in particolare, gli interventi manutentivi sui tetti cui possono accompagnarsi finalità di miglioramento.

Questi aspetti vengono trattati nel capitolo relativo e in alcune delle esemplificazioni riportate.

5.2 - Redazione dei documenti economico-amministrativi coerenti con l'impostazione assunta e con le disponibilità economiche:

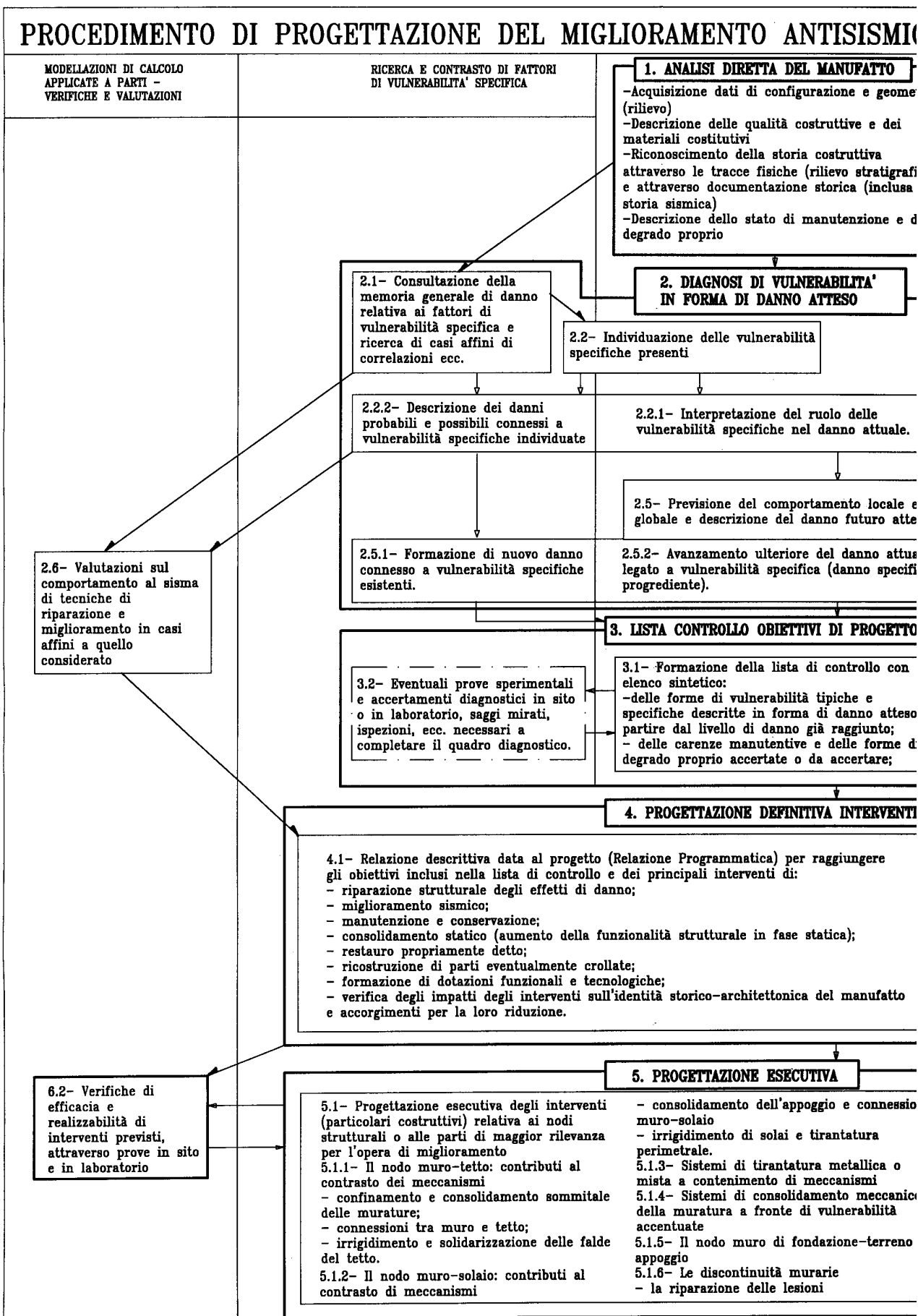
- elenco dei prezzi unitari;
- capitolato speciale di appalto;
- computo metrico estimativo;
- quadro economico di spesa;
- elenco dei prezzi di offerta (eventuale);
- analisi dei prezzi.

5.3 - Controllo del raggiungimento degli obiettivi elencati nella lista, eventuali priorità assunte in caso di limitazione delle risorse (vedi al precedente punto 3).

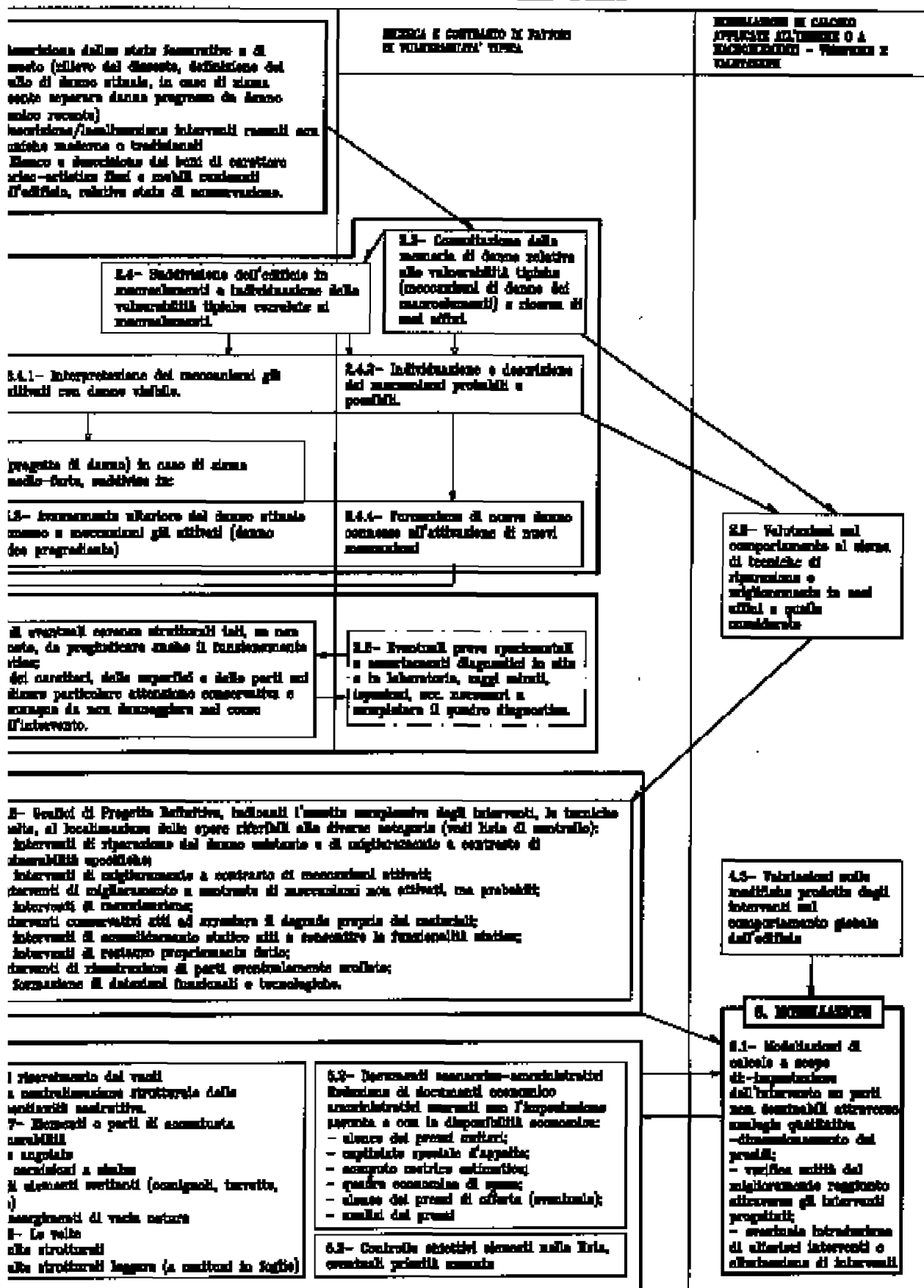
6 - Modellazioni

6.1 - Modellazioni di calcolo a scopo di:

- impostazione dell'intervento su parti non dominabili attraverso analogia qualitativa (es. campanili connessi alla chiesa, strutture di grande dimensione, ecc.);
- dimensionamento dei presidi locali e generali;
- verifica dell'entità del miglioramento raggiunto attraverso gli interventi progettati;
- eventuale introduzione di ulteriori interventi o eliminazione di interventi.



EDIFICI MONUMENTALI - SCHEMA DELLE FASI



6.2 - Verifiche di realizzabilità ed efficacia di interventi previsti, attraverso prove in sito o in laboratorio

Va tenuta presente la necessità di “evidenziare il beneficio acquisito in termini di maggiore sicurezza”, richiesta dalle Direttive Tecniche al paragrafo 3, oltre che dal D.M. 16 gennaio 1996 del Ministero dei Lavori Pubblici.

Va utilizzato in particolare il modello di calcolo semplificato realizzato dall'Unità Operativa GNDT dell'Università di Genova, responsabile prof. Sergio Lagomarsino, in base al contratto di ricerca Regione Marche.

3.2. La scelta della configurazione del progetto in rapporto al livello di danno e alla complessità del caso: semplificato/speditivo, standard, complesso

Lo schema di progettazione proposto si riferisce a situazioni di media complessità, ossia ad edifici con configurazione articolata ma non particolarmente complessa, con vulnerabilità tipiche e specifiche, livello di danno pari o superiore a 2, condizioni conservative e di manutenzione carenti.

Nel caso di manufatti semplici e di limitate dimensioni, con danno di livello pari o inferiore a 2 e limitato a pochi meccanismi, in buone condizioni di conservazione e di efficienza manutentiva, il progetto può essere

proposto in configurazione semplificata.

Si tratta in sostanza di formare un elaborato i cui contenuti siano limitati a quanto funzionale, mantenendo l'impostazione di metodo ma rinunciando alle parti evidentemente ridondanti.

All'opposto, nel caso di manufatti di grande dimensione o particolarmente complessi quanto a storia costruttiva e vulnerabilità, oppure con alto livello di danno, gli approfondimenti diagnostici, le modellazioni di calcolo e le prove sperimentali vanno commisurate al caso in esame. Vedi il caso presentato della chiesa di S. Nicolò a Carpi (cap. 10.2).

Non si intende proporre una unica configurazione normalizzata, ma delinearne alcune di riferimento, che siano nell'insieme idonee a rispondere in modo economico al diverso carattere degli edifici, alla severità del danno subito, alla specifica vulnerabilità, ecc.. A ciascuna di tali configurazioni devono essere attribuiti contenuti di approfondimento analitico e di sviluppo degli elaborati progettuali ritenuti idonei (necessari e sufficienti) a raggiungere gli scopi previsti nel segmento casistico al quale sono indirizzate.

Sulla base della scheda GNDT di rilevamento del danno già compilata e di altre valutazioni preliminari, è possibile una pre-diagnosi della natura e complessità dell'intervento richiesto dall'edificio.

4. IL RILIEVO DELL'EDIFICIO PER L'ANALISI DEL SUO COMPORTAMENTO STRUTTURALE NEL TEMPO

4.1. Requisiti richiesti al rilievo dalle "Direttive Tecniche della Regione Marche e dalle "Istruzioni" del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali

4.2. Le conoscenze necessarie al progetto di miglioramento nel restauro

4.3. Il rilievo metrico, architettonico-costruttivo e del degrado

4.4. Il rilievo del quadro fessurativo e deformativo

4.5. Rilevamento e documentazione fotografica

4.6. Ricerca storica e Relazione storico-critica

4.1. Requisiti richiesti al rilievo dalle "Direttive Tecniche" (Deliberazione G.R. n. 78 del 18/1/99) e dalle "Istruzioni" del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali

Il testo delle "Direttive Tecniche", approvato come Allegato A alla Deliberazione G.R. n. 78 del 18/1/99, al punto 2- Analisi storico critica dei manufatti, fissa gli obiettivi e i principali requisiti dell'attività conoscitiva e del rilievo in particolare.

"L'interesse prioritario del progettista deve essere rivolto allo svolgimento delle analisi necessarie per i "settori di indagine" indicati nell'"Allegato A1", e in particolare all'analisi storico-critica del bene architettonico che deve tendere alla sua conoscenza complessiva, ivi compresa la sua storia sismica.

La conoscenza deve consentire la comprensione dell'organismo inteso nella sua unità architettonica e strutturale originaria, fornendo altresì indicazioni sulle modifiche e trasformazioni e/o alterazioni avvenute in esso nel tempo con particolare riferimento a quelle dipendenti da eventi sismici storici.

Strumenti primari della conoscenza sono il rilievo e la diagnostica.

Il rilievo, consistente in elaborati grafici e fotografici, con relazione esplicativa, consiste in:

- analisi nel dettaglio delle modalità con cui le varie parti strutturali partecipano al comportamento di insieme dell'organismo, tenendo altresì conto dello stato di degrado presente;
- individuazione delle condizioni di collasso della struttura già realizzatesi o potenziali, nel piano o fuori del piano. Per quelle già realizzatesi distinguere quelle "storiche" da quelle dovute all'ultimo evento sismico;
- rilievo completo del quadro fessurativo ed individuazione dei meccanismi che lo hanno determinato;
- descrizione dei beni di carattere storico-artistico fissi e mobili contenuti nell'edificio, ed individuazione dei danni subiti o potenziali;
- rilievo fotografico di corredo.

Gli elaborati di rilievo devono fornire indicazioni sui seguenti punti:

- descrizione del comportamento di insieme della struttura considerata nella sua configurazione originaria e nell'eventuale configurazione storicamente modificata;

- storia delle destinazioni d'uso e "storia dei carichi" (accidentali e permanenti);

- storia sismica del manufatto.

Il rilievo, come sopra definito, riveste importanza notevole al fine di individuare utili correlazioni tra la lettura storica degli elementi costruttivi e le modificazioni intervenute rispetto all'apparato originario, ivi comprese quelle prodotte dagli eventi sismici verificatisi nell'area. In questo caso il progettista potrà rappresentare su un elaborato gli elementi interessati dalle vicende sismiche passate, elementi che costituiscono un riferimento utile per la individuazione del comportamento del manufatto sotto azione sismica, e le parti più deboli che, per essere state modificate, costituiscono elemento di discontinuità e disomogeneità rispetto all'insieme."(Segue).

Altre indicazioni sono contenute nell'allegato A1 alla già citata Delibera, costituite dalle "Istruzioni generali per la redazione di progetti di restauro nei beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica", del Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale del Rischio Sismico, istituito dal Ministero per i Beni Culturali e Ambientali.

In sintesi, lo scopo della parte analitica del progetto, della quale il rilievo è nucleo fondamentale, consiste nel costruire una adeguata cognizione del manufatto, che permetta di sviluppare la diagnosi dei dissesti in atto e delle forme di vulnerabilità presenti, vero e proprio elenco dei fattori da contrastare con l'intervento. In particolare vanno riconosciuti e descritti:

- i processi storici di costruzione, trasformazione, dissesto;
- la natura e il tipo delle strutture resistenti;
- i principali caratteri storico-architettonici e di superficie;
- i caratteri costruttivi delle parti e dell'insieme;
- lo stato di manutenzione e le forme di degrado presenti;
- il danno sismico storico e il danno sismico ultimo;
- la natura e il tipo dei meccanismi di danno attivati e l'entità del danno raggiunto;

Ribadiamo ancora che nell'impostazione data l'insieme degli effetti di dissesto (i "danni") costituisce un

patrimonio di conoscenza prezioso e insostituibile, estremamente utile allo studio del progetto di miglioramento antisismico dell'edificio danneggiato. Il danno è il risultato di una sperimentazione naturale al vero, che consente di risalire al comportamento dell'edificio.

Inoltre, il carattere recidivante del danno, come conseguenza di un comportamento sostanzialmente ripetuto nel tempo, con la frequente presenza di danni cumulati, ne fa una importante segnale del comportamento e del danno futuro.

Abbiamo già rimarcato come il concetto di comportamento strutturale sia centrale nella stessa definizione data in sede legislativa del miglioramento sismico, e come esso sia assunto al tempo stesso come una caratteristica da non mutare radicalmente e rispetto alla quale commisurare gli interventi previsti dal progetto. Ma il comportamento è associato alla conformazione della fabbrica e alle caratteristiche dei suoi elementi resistenti. Se sono mutati la conformazione o gli elementi resistenti il comportamento precedente non è legittimamente interpretabile se non associandolo alla configurazione che l'edificio aveva nel momento in cui ha subito il danno.

Per questo motivo il danno va inserito nella sequenza cronologica delle trasformazioni e il comportamento riferito all'assetto contemporaneo al danno. Per interpretare il comportamento di lungo periodo studiando i danni remoti bisogna conoscere la storia costruttiva della fabbrica. Se ne deduce che esiste un tratto di strada analitica del tutto comune tra progetto di restauro architettonico, fondato anche sulla storia della fabbrica, e studio del comportamento per il progetto di miglioramento.

Riconoscimento, misurazione e interpretazione dei danni come effetto di un dato comportamento, da un lato, e investigazione dei caratteri storico-costruttivi dall'altro, sono quindi i due orizzonti del rilievo che devono svilupparsi in parallelo per approfondire il progetto di restauro con finalità di miglioramento antisismico. Allo stato di danno, del quadro fessurativo e di dissesto, attribuiamo il significato di manifestazione del comportamento nel tempo a fronte di azioni statiche o dinamiche, in base al quale ipotizzare il probabile comportamento futuro.

In questa impostazione, i dati raccolti dal rilievo devono essere mirati in primo luogo al riconoscimento dei *meccanismi di danno già presenti e attivati*. Osservando la stratificazione del danno e delle opere di riparazione compiute in passato, ove riconoscibili, è possibile sia interpretare stati di danno turbati, sia la progressione temporale dei meccanismi e la presenza di danni recidivanti. Tutto questo è di grande utilità per formare una visione diacronica (storica) del comportamento. Va inoltre compiuta una descrizione del grado di efficienza manutentiva del manufatto e del degrado proprio presente, in quanto condizionanti l'efficienza e la durabilità strutturale dell'edificio.

4.2. Il rilievo per il progetto di miglioramento nel restauro

Intendiamo per "rilievo" il sistema informativo e documentario, risultante da misurazioni e da descrizioni di varia natura, dalla raccolta e prima codificazione di dati, da mirate osservazioni analitiche, la cui restituzione su supporto grafico o grafico-fotografico consente di descrivere, insieme alla geometria e all'assetto costruttivo della fabbrica, i segni rivelatori del suo comportamento nel tempo, per dedurne le forme di vulnerabilità attuali.

Il rilievo di un manufatto, per essere funzionale al progetto di miglioramento nel restauro, deve svolgere almeno tre funzioni.

La **prima funzione** consiste nel misurare, rappresentare e descrivere i dati di fatto fisici in base ai quali è possibile analizzare la costituzione propria e il comportamento passato dell'edificio, per individuare le forme di vulnerabilità tipiche e specifiche presenti.

Perciò dovranno essere descritti:

- la conformazione geometrica e le dimensioni della fabbrica;
 - i materiali e i caratteri architettonici e costruttivi delle parti dell'edificio;
 - le tracce del processo storico di costruzione e trasformazione, soprattutto quando comportano la presenza di discontinuità strutturali;
 - il livello di efficienza/inefficienza manutentiva;
 - la presenza di forme di degrado proprio, anche in conseguenza di carenze manutentive, soprattutto quando comportano la riduzione o la perdita di efficienza strutturale dell'elemento interessato;
 - gli effetti di dissesto statico e sismico ("danni"), ed il livello di danno raggiunto;
 - la natura, il tipo e la collocazione di interventi recenti, soprattutto se rivolti a consolidare l'edificio e a migliorarne il comportamento al sisma.
- Si tratta quindi di rilevare tutti quei dati sui quali si può fondare la diagnosi di vulnerabilità, facilitandola attraverso una disposizione ordinata e chiara.

La **seconda funzione**, in parte già assolta con i dati raccolti per la prima funzione, consiste in una più marcata caratterizzazione e attribuzione di significato storico-architettonico alle parti, alle superfici decorate e non, e in genere alla materia costruita come portatrice di valori e dati da trasmettere nell'opera di restauro, e comunque da danneggiare il meno possibile nell'intervento di miglioramento.

Infatti, se l'opera di miglioramento ha come fine principale la conservazione del manufatto di fronte a futuri eventi sismici, il rilievo deve contenere quegli elementi utili a valutare gli impatti degli interventi previsti per consentire di minimizzarne l'entità, riducendo il rischio che il fine (la conservazione dell'autenticità materiale *anche* di fronte al sisma) venga prevaricato dai mezzi impiegati (la componente distruttiva degli interventi di miglioramento).

Perciò nel rilievo dovranno essere indicate:

- le caratterizzazioni/qualificazioni delle diverse super-

fici presenti, decorate e non (affreschi, decorazioni, intonaci di vario tipo, murature a vista, pavimenti, ecc.);

- il significato dei diversi tipi di struttura, anche riconducibili ai processi di costruzione e trasformazione messi in luce da un pur speditivo rilievo stratigrafico;
- gli elementi di particolare rarità, di intrinseco significato formale e materiale, di valore documentario, ecc.;
- la presenza di contesti unitari o particolarmente significativi (ambienti interni, fronti o parti eccezionalmente conservate);

- la presenza di arredi mobili o fissi che potrebbero essere danneggiati nel corso dell'intervento.

La **terza funzione** è quella di produrre la base grafica del progetto, tale da consentire con chiarezza la descrizione e la localizzazione precisa in ciascuna parte della fabbrica dei diversi interventi previsti, anche per facilitarne una applicazione mirata, di per sè in grado di ridurre gli impatti. Il progetto, che si prevede perciò di redigere in sovrapposizione a tale base, solo mutando i simboli grafici applicati, deve poter diventare una sorta di rilievo degli interventi che *saranno eseguiti*. La sovrapposizione del progetto ad un efficace rilievo dello stato attuale è fatto molto importante soprattutto per localizzare le opere di riparazione e per contrastare le vulnerabilità specifiche, ma anche per indicare le parti e le superfici che *devono comunque* essere conservate nella loro autenticità materiale.

Si tratta comunque di raccogliere e coordinare una elevata quantità di informazioni tra loro eterogenee, che devono essere riportate su uno o più supporti, grafici, fotografici o a descrizione scritta. Questo comporta il rischio di accumulare dati ridondanti e che possono interferire tra loro, sviando o rendendo più complessa l'interpretazione dei fenomeni fondamentali. E' necessario quindi cercare un buon livello di funzionalità ed efficacia del rilievo, che sia compatibile con la sua economica realizzazione.

Ad esempio è opportuno:

- ridurre per quanto possibile la produzione separata di grafici dedicati a singole categorie di informazioni (es. rilievo metrico, rilievo descrittivo, rilievo dello stato di dissesto), fatto che di per sè appesantisce con una grande mole cartacea gli elaborati di progetto e rende più difficile l'interazione tra i dati consentita da una visione sinottica. Tuttavia i diversi tipi di dato, pur riportati se possibile su un unico supporto, devono essere conservati dal progettista anche su grafici o su supporti informatici separati, in modo tale da consentirne il richiamo o la rielaborazione tematica ove necessario;
- operare una ricerca e selezione mirata dei dati, amplificandone alcuni rispetto ad altri, in quanto maggiormente rilevanti ai fini dell'opera di miglioramento;
- effettuare sintesi descrittive e interpretative dei dati e fenomeni relativi ai vari segmenti tematici (es. stato di dissesto, processi di trasformazione, stato di manutenzione), in forma scritta e con l'ausilio di schemi semplificati, da riportare nella relazione del progetto.

Per raggiungere questi scopi (sinotticità delle informa-

zioni su grafici unitari, selezione e amplificazione dei dati maggiormente utili, presenza per i diversi segmenti tematici di sintesi descrittive e interpretative in forma scritta e attraverso schemi semplificati) si propone di utilizzare un lessico di riferimento per la descrizione dei fenomeni osservati e una grafia convenzionale codificata, con simboli tra loro compatibili e cumulabili, per ridurre il rischio di equivoci o perdite di chiarezza.

Esaminiamo quindi i vari contenuti richiesti al rilievo, le possibilità di sintesi e di amplificazione, le grafie realistiche o convenzionali e le varie forme descrittive. Proponiamo di articolare il complesso analitico che denominiamo "rilievo" in due segmenti tematici strettamente interrelati, rappresentati dal **rilievo metrico, architettonico-costruttivo e del degrado proprio (con valenza strutturale)** e dal **rilievo del quadro fessurativo e deformativo**. Ad essi fanno riferimento due distinte legende grafiche, utilizzabili congiuntamente nei medesimi elaborati.

4.3. Il rilievo metrico, architettonico-costruttivo e del degrado proprio (con valenza strutturale)

In primo luogo, è evidente la necessità di disporre di un rilievo geometrico (piante, prospetti e sezioni) in scala adeguata, che può essere indicata nella scala 1:100 per i grandi edifici e in 1:50 per gli edifici di media e piccola dimensione, e dotato di un sufficiente livello di precisione.

Tuttavia, non è necessario che la precisione sia costantemente elevata per tutta la fabbrica. Ai fini diagnostici, è invece importante disporre di un numero relativamente limitato di punti di controllo di più accentuata precisione metrica, rilevati nelle posizioni utili a svelare le geometrie di dissesto, non sempre percepibili ad occhio nudo, e a misurare l'entità e l'articolazione spaziale dei dissesti macroscopici (vedi quanto detto di seguito per il rilievo del quadro fessurativo e deformativo).

Nella scelta delle sezioni verticali o delle quote di sezione orizzontale per l'esecuzione delle piante, è opportuno dare preferenza a quelle che meglio descrivono il complesso strutturale, e che maggiormente si presteranno all'inserimento grafico e alla localizzazione degli interventi di progetto. Ad esempio, è necessario includere sempre la pianta delle orditure dei tetti, o la pianta con la vista estradossale di volte e sottotetti, anche non praticabili.

E' consigliabile perciò, prima di procedere alle operazioni di rilevamento, compiere una accurata ispezione, redigere alcuni eidotipi a schizzo anche schematici, e formare un programma del rilievo da realizzare, in particolare selezionando le sezioni più utili.

Per il **rilievo metrico**, è essenziale la presenza di una quota 0 di riferimento, oltre alle usuali quotature altimetriche e planimetriche.

Per il **rilievo dei caratteri architettonici e costrutti-**

vi, va operata la scelta tra la descrizione grafica tendenzialmente realistica e l'inserimento di fotografie piane in scala nel grafico, anche a campioni. La descrizione grafica è più rapida e funzionale nel caso di manufatti di semplice configurazione e prevalentemente intonacati; nel caso di tessiture murarie a vista o di apparati decorativi, quali affreschi, o di arredo, il fotopiano o fotomosaico in scala approssimata delle superfici murarie, oltre ad essere più rapidi, evitano i rischi connessi alla selezione dei segni nel disegno. L'esistenza di programmi di elaborazione fotografica con raddrizzamento anche da foto non metriche rende questa operazione di facile esecuzione.

I grafici al tratto o con parti a fotomosaico vanno completati l'applicazione di sigle indicative dei diversi tipi di elemento o di carattere costruttivo, riferite ad un abaco/elenco generale di tipi costruttivi, ed integrabile per gli elementi non contemplati.

Questa parte viene suddivisa in tre sezioni:

- la prima riguarda le **parti strutturali di antica costruzione** (murature, cornicioni, solai, tetti, tiranti, volte ecc.); gli elementi più significativi (ad es. paramenti e sezioni murarie ove osservabili, strutture di volte e di solai, nodi di appoggio delle orditure del tetto sulla muratura) devono essere sistematicamente documentati con fotografie e, ove possibile, con disegni di dettaglio che saranno utilizzati per i particolari costruttivi del progetto;

- la seconda riguarda le **superfici e gli elementi di finitura di antica costruzione**, o comunque di interesse storico-architettonico, (murature con trattamento a vista, intonaci, affreschi, pavimenti, ecc.), oltre agli arredi fissi e mobili di pregio;

- la terza descrive, per quanto riconoscibili, le **parti o gli interventi strutturali di recente inserimento**, nel caso in cui l'edificio sia stato oggetto di interventi operati con tecniche moderne in tempi recenti (cordoli in c.a., cappe in calcestruzzo su solai e tetti, solai in cemento o laterocemento, iniezioni, ecc.). Nel caso si disponga di notizie in merito ad interventi recenti (progetti, perizie, testimonianze dirette) ma non siano osservabili gli interventi, è opportuno descrivere attraverso note sui grafici quanto conosciuto, e riportare in relazione i dati.

Debbono essere indicate anche le aree sulle quali sono stati eseguiti saggi di accertamento, il cui tipo e risultati vanno descritti in relazione, analogamente ad eventuali sondaggi geognostici e/o saggi per l'accertamento della consistenza delle fondazioni.

Anche il **rilievo dei fenomeni di degrado e dei fattori che riducono l'efficienza strutturale** è diviso in tre sezioni:

- la prima segnala, attraverso una stratigrafia macroscopica, le **discontinuità costruttive** che costituiscono la conseguenza dei processi di costruzione e trasformazione, come angolate o spalle inglobate senza ammorsamento da riprese murarie, oppure discontinuità costruttive in nodo murario. Il complesso di trasformazioni compiute nel tempo ha lasciato nell'edificio un reticolo di eterogeneità costruttive, dovute al

variare dei materiali, delle tecniche e di continuità parziali, dovute all'imperfetto ammorsamento con le murature preesistenti. Date le ripercussioni strutturali di tali discontinuità, che spesso introducono vulnerabilità specifiche nel comportamento della costruzione, è necessario per quanto possibile individuarle e descriverle, per poterne neutralizzare nel progetto gli effetti di indebolimento;

- la seconda indica le **forme di degrado proprio degli elementi costruttivi**, limitandosi a quelle che riducono l'efficienza meccanica della struttura (as es. erosione profonda dei giunti, fratturazione diffusa della pietra). Va ricordato che il degrado strutturale, inteso come decadimento della funzionalità meccanica, si compone, oltre che degli effetti di dissesto, anche degli effetti del degrado proprio dei materiali costitutivi, come ad esempio l'immarrimento della testa di una capriata, la ridotta funzionalità strutturale della muratura a seguito della perdita di legante tra i giunti, ecc. A volte, degrado materiale proprio e degrado strutturale si amplificano concatenandosi, formando processi articolati ma ben riconoscibili. Si escludono perciò in questa sede i fenomeni di degrado limitati alla superficie (ad esempio la presenza di croste nere o depositi), oggetto di specifici approfondimenti conservativi;

- la terza richiama sommariamente le **condizioni manutentive degli elementi di protezione** quali l'efficienza del manto di copertura, di gronde e pluviali, dei sistemi di raccolta delle acque al suolo. Gli aspetti più importanti da segnalare sono quelli che hanno già avuto o potranno avere in futuro un ruolo scatenante nel causare o favorire la perdita di efficienza strutturale.

Si pone attenzione soprattutto alla protezione dalle acque meteoriche e al loro allontanamento dalla zona fondale, accertando perciò la tenuta di tetti, di manti di copertura, di converse, grondaie e pluviali con relative canalizzazioni a terra, alla permeabilità all'acqua battente dei paramenti e rivestimenti esterni.

4.4. Il rilievo del quadro fessurativo e deformativo.

Il rilievo del quadro fessurativo e deformativo osserva e registra le varie forme di degrado strutturale che l'edificio ha subito nel tempo. In esso confluiscono perciò sia gli effetti di dissesti statici, esauriti o in atto, sia i danni connessi a dissesti di origine dinamica causati da terremoti avvenuti in antico o dall'ultima recente crisi sismica.

Non è sempre facile distinguere il complesso causale di un danno, in quanto spesso si sommano o interagiscono diversi fattori; tuttavia al rilievo si chiede non di interpretare la causa del danno, bensì di raccogliere e disporre tutte le informazioni che possono consentirne e facilitarne la diagnosi. Va tenuto comunque presente che ogni danno esistente costituisce un allontanamento dall'efficienza strutturale e induce forme di vulnerabilità, e che pertanto anche gli effetti dei dissesti di origine statica dovranno essere descritti, diagnosticati e riparati, così come si dovrà intervenire per sanare il degrado proprio di alcuni componenti.

Per operarne il riconoscimento e la descrizione possiamo suddividere gli effetti di dissesto (che nel loro

insieme concorrono a determinare il *degrado struttura - le o danno*) in due principali manifestazioni, in genere associate tra loro anche se non sempre riconoscibili simultaneamente:

- **lesioni fisiche legate a degrado strutturale;**
- **modificazioni della geometria**, ossia mutamenti parziali dell'assetto geometrico che la costruzione aveva precedentemente al danno.

Ai fini della diagnosi, è necessario avere a disposizione contemporaneamente entrambe i tipi di dato, in quanto l'associazione tra modificazioni della geometria e lesioni fisiche porta in genere a restringere le possibili interpretazioni più di quanto avvenga analizzandoli separatamente.

Vi è una diffusa tendenza ad identificare e descrivere il danno attraverso le sole fratture e, dove esistono, i crolli. In realtà, per la descrizione del danno come fenomeno complesso e per costituire la base analitica utile alla sua interpretazione, intesa come "lettura strutturale", è necessario riconoscere contestualmente e misurare con un adeguato livello di precisione gli spostamenti e le deformazioni. Non disponendo, in genere, di rilievi di sufficiente precisione precedenti al danno, rispetto ai quali dedurre il differenziale, gli spostamenti possono essere stimati come deviazione dalla regolarità geometrica prevedibile. Questo apre delicati aspetti concettuali e di metodo. Il problema è ancora più marcato per alcuni tipi di deformazione (ad esempio deformazioni plastiche nel piano della muratura), la cui stessa presenza molto spesso sfugge in quanto non danno luogo a fessurazioni visibili, e viene dedotta in fase di interpretazione meccanica del fenomeno come condizione complementare ai danni osservati.

Il lessico relativo ai fenomeni di degrado strutturale viene articolato in rapporto al tipo di materiale su cui si verifica. Ad esempio, viene definito *slittamento* lo spostamento a valle dei i coppi del tetto e *scorrimento* lo spostamento relativo tra due conci in pietra, che determina nel giunto un particolare tipo di lesione chiusa. La deformazione può riguardare in modo riconoscibile e macroscopico un elemento ligneo, una lastra in pietra degradata oppure, in modo più difficilmente avvertibile, una muratura. Si è scelto di raggruppare nella simbologia grafica i fenomeni affini, anche se diversamente denominati e di diversa portata strutturale, dove, data la diversità dei materiali in cui si verificano, non sono possibili equivoci. Per i fenomeni di degrado e per quanto compatibile si è fatto riferimento alla Raccomandazione NORMAL 1/88, *Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: Lessico*, CNR e ICR.

Il rilievo degli effetti di dissesto sulla materia della costruzione (danni fisici) consiste in una descrizione e localizzazione dei diversi fenomeni, associati per affinità e per semplificazione grafica in sei gruppi, e nella successiva misura dell'entità del fenomeno e di alcuni altri tratti caratteristici funzionali alla fase diagnostica. I gruppi di fenomeni sono:

- **fessurazioni, fratture e lesioni marcate di vario**

tipo: perdite visibili di continuità della struttura muraria, che si manifestano attraverso il formarsi di separazioni macroscopiche tra parti (1). Sono usualmente denominate lesioni. Se il fenomeno interessa elementi unitari in pietra o cotto, si denomina **frattura**;

- **fratturazioni concentrate** (in elementi in pietra o cotto, con presenza o meno di scagliature), **decoesioni marcate** e localizzate con o senza espulsione di parti (in muratura), **corrugamenti e distacchi di intonaco**: si tratta di effetti riconducibili a schiacciamento in zone di cerniera, a martellamento tra corpi, a punzonamento/schiacciamento della muratura nella zona di appoggio di travi o capriate, ecc.;

- **decoesione diffusa di muratura** (perdita di adesione tra malta di allettamento e supporti in pietra o mattoni), **cavillature diffuse e lesioni ravvicinate** non descrivibili graficamente, **sconnessione di impalcato in cotto** di tetto o solaio o di pavimento, con perdita di legante tra i giunti, deformazioni, ecc.;

- **sfilamento** (di elemento ligneo dalla muratura di appoggio), **slittamento** (di coppi sul tetto, di elementi litici appoggiati), **scorrimento** (tra elementi in pietra o muratura, ove si manifesta come traslazione relativa rispetto ad un giunto in cui si forma una lesione chiusa);

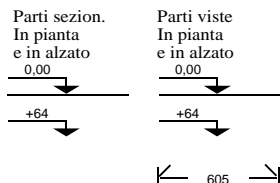
- **rottura** (perdita di continuità di singoli elementi, come tiranti in metallo, elementi in legno), **collasso** con deformazione grave e permanente di capochiave in metallo, di elementi in legno, ecc. ;

- **crolli di parti** (perdite macroscopiche di materia della costruzione, con caduta di parti strutturalmente rilevanti), **caduta di elementi** da cornici, **espulsioni** di conci da paramenti murari, ecc. In caso di crollo di notevole entità, è opportuno, oltre a segnalare il profilo di crollo, inserire la descrizione virtuale della parte crollata, desumendola da rilievi e da documentazione fotografica.

Una parte dei danni va descritta sui grafici in modo realistico (fessurazioni, fratture e lesioni, crolli), in quanto il disegno del loro tracciato riveste di per sé importanza diagnostica; gli altri danni sono descritti con simboli convenzionali, in quanto è sufficiente il riconoscimento del fenomeno e la sua localizzazione. E' opportuno comunque operare una documentazione fotografica di dettaglio dei fenomeni più significativi (vedi oltre).

Oltre che localizzati e descritti realisticamente, i tracciati di lesione vanno misurati e caratterizzati. L'entità e il verso di spostamento relativo dei due cigli in diversi punti della lesione costituiscono un tratto necessario alla descrizione del fenomeno, molto importante per l'interpretazione dei meccanismi di dissesto che l'hanno prodotta. La caratterizzazione va riportata sui fotopiani delle superfici o sui grafici di insieme e, a monografia, sulle foto dei singoli tratti esaminati.

Inoltre, rispetto ad una terminologia diffusa, non è rilevante tanto il fatto che una lesione sia "passante" o meno, quanto che sia riscontrabile su entrambe le facce, con analoga o diversa configurazione, in posizione speculare o diversa, ecc.; oppure che non sia



RILIEVO METRICO, ARCHITETTONICO- COSTRUTTIVO E DEL DEGRADO

RILIEVO METRICO

Quota 0 relativa e linea orizzontale di riferimento in sezione e prospetto
 Quote altimetriche rispetto a quota 0
 Quote planimetriche

RILIEVO DEI CARATTERI ARCHITETTONICI E COSTRUTTIVI

Inserire nel disegno, anche a campione, descrizione realistica grafica o fotografica, di ciascun elemento caratterizzante. Formare elenchi o abachi dei diversi tipi e caratteri presenti nella costruzione con relative sigle di riferimento da riportare

Parti strutturali di antica costruzione

- A** architravi (in pietra, in legno, in mattone, ecc.)
 - C** cornicioni (in pietra, in legno, in cotto, ecc.)
 - M** murature (es. con paramento a corsi irregolari di pietra sbalzata, ecc.)
 - S** solai (es. in legno biordito con travi principali e secondarie, impalcato in pianelle (indicare a tratteggio in pianta la **proiezione delle travi principali del soffitto superiore**))
 - T** tetti (es. a capriate, terzere, travetti e pianelle) indicare proiezione in pianta degli elementi principali
 - TI** tiranti metallici (indicare sezioni e tracciato) es. in ferro forgiato, collegati a elementi lignei
 - V** volte strutturali (es. a botte con mattoni ad una testa)
 - VNS** Volte non strutturali o controsoffitti (es. volta in canna intonacata su centine lignee estradoassali)
 ... Altro (descrivere)
- Parti strutturali moderne** (con sigla **M**) (vedi relazione- da utilizzare nel caso l'edificio sia stato oggetto di interventi recenti di consolidamento con tecniche moderne)
- CO-M** Cordoli in c.a.- Indicare sezione e tipo: 1 a tutto spessore - 2 a spessore parziale - 3 in aderenza

- CA-M** Cappe in calcestruzzo su solai o tetti -indicare spessore, se misurabile
 - SO-M** 1, Solai in cemento- 2, in laterocemento - 3 in acciaio e tavelloni - altro...
 - INI-M** Iniezioni di consolidamento nella muratura
 - PE-M** Perforazioni armate
 - TI-M** (Tiranti metallici- indicare sezioni e tracciato) es. in acciaio tondo con collegamenti a vite, in trefoli di acciaio armonico
 Altro(descrivere)
- Superfici e elementi di finitura:**
- MV** (muratura a vista)
 - I** (intonaco)
 - A F** (affreschi)
 - P** (pavimenti)
 - AF** (arredi fissi)
 - AM** (arredi mobili)
 - ...Altro (descrivere)

RILIEVO DEI FENOMENI DI DEGRADO E ALTRI FATTORI CHE RIDUCONO L'EFFICIENZA STRUTTURALE

	Discontinuità costruttive: Angolate o spalle con riprese costruttive accostate senza ammassamento		Degrado generalizzato di elemento ligneo (attacchi biologici, immarcimenti.)
	Discontinuità costruttiva in nodo murario (muro accostato senza morse)		Degrado della struttura minuta e/o dell'impalcato
	Ripresa costruttiva con ammassamento in rottura		Altro (descrivere)
	Ripresa costruttiva dovuta a sovrarelevazione		Carenti condizioni manutentive: Manto di copertura con perdite d'acqua osservabili
	Presenza di canna fumaria		Converse, gronde e pluviali con perdite
	Altro (descrivere)		Stato sistema di raccolta acque al suolo (descrivere)
	Degrado proprio degli elementi strutturali: Degrado di elementi litici o laterizi (specificare tipo:disgregazione, distacco, erosione, esfoliazione, fratturazione, polverizzazione, scagliatura)		Rivestimenti esterni (efficienza intonaci-descrivere)
	Perdita di legante tra i giunti		Presenza di vegetazione
	Inflessione di elementi lignei		Aree in cui sono stati eseguiti sondaggi di accertamento, punti di prova, prelievi, accertamenti (specificare quali)
	Immarcimento di teste di elementi lignei		Localizzazione sondaggi e prove geognostiche e/o per l'accertamento della natura delle fondazioni (specificare tipo prove).

Parti sezion.
In pianta
e in alzatoParti viste
In pianta
e in alzato

Parti sezion. Parti viste **RILIEVO DEL QUADRO FESSURATIVO E DEFORMATIVO**
DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI DEL DISSESTO SULLA MATERIA DELLA COSTRUZIONE
(DANNI FISICI)

Fessurazioni, fratture e lesioni di vario tipo: inserire nei grafici (sulle superfici viste) i tracciati reali, con segno tendenzialmente proporzionato all'entità della lesione (es. tratto 0,15 ampiezza fino a 3 mm, 0,3 da 3 mm a 1 cm., 0,5 da 1 cm. a 3 cm., doppio tratto oltre 3 cm.). Nelle parti sezionate in pianta e in sezione vert. segnare il punto di incidenza della lesione su ciascuna delle due superfici murarie.

Proiezione in pianta di lesioni su volte o archi soprastanti

Fratturazioni concentrate, decoesioni localizzate con o senza espulsione di parti, corrugamenti di intonaco (in genere riconducibili a fenomeni di schiacciamento, martellamento, punzonamento di travi all'appoggio, ecc.)

Decoesione diffusa di muratura (perdita di adesione tra malta e supporti), cavillature diffuse e lesioni ravvicinate non descrivibili graficamente, sconnessione di impalcati in cotto

Sfilamento (di elemento ligneo dalla sede nella muratura), slittamento o scorrimento con giunto chiuso (tra elementi in pietra o blocchi in muratura) - in mm. la dislocazione

Rottura di tiranti in metallo o in legno, di travi in legno, deformazione grave di capochiave

Crolli di parti e/o caduta di elementi da paramenti (segnare bordo di crollo e ricostruzione grafica della parte crollata, in base a rilievi, documentazione fotografica, ecc.)

Elementi descrittivi e di misura locale:

Rilevamento locale dell'ampiezza della lesione e vettore di spostamento relativo tra i cigli di lesione (tratto che unisce i punti complementari di distacco dei due cigli)

Idem, con dislocazione fuori dal piano del muro dei cigli di lesione (la parte inferiore aggetta verso l'esterno)

Configurazione complessiva del ramo di lesione:

-a cigli paralleli, con vettore ortogonale ad essi (simbolo: rettangolo)

-a cigli paralleli, con vettore non ortogonale (simbolo: rombo)

-a cigli che si divaricano partendo dall'apice della lesione (simbolo: triangolo)

-a cigli che si divaricano partendo già separati (simbolo: trapezio)

Variazione di piano della muratura in corrispondenza di lesioni (indica probabile cerniera)

DESCRIZIONE E MISURA DEGLI SPOSTAMENTI RICONDUCIBILI AL DISSESTO (MODIFICAZIONI GEOMETRICHE)

Rilievo dello scostamento dalla verticalità (fuori/entro piombo) o dalla orizzontalità (spanciamenti), con misura in mm. dello scostamento dei punti rilevato dalla linea verticale o orizzontale di riferimento ed enfattizzazione (x5 o x10) della scala dello scostamento.

La spezzata ottenuta dalla congiunzione dei punti rilevati può essere ruotata di 90° per rendere apprezzabili in prospetto gli spostamenti fuori piano. N.B. Le linee di sezione devono intercettare fuori piombo, spanciamenti, deformazioni e altro.

Riporto sulla pianta del piano terra della proiezione verticale di punti rilevati a quota superiore (es. angolate, murature non a piombo, pilastri, ecc.), misura in mm. dello scostamento rispetto al punto corrispondente a terra, con scala enfattizzata x 10

Romboidalizzazione di aperture, deformazione di archi e volte (a tratteggio configurazione geometrica di riferimento)

Perdita di verticalità di capriate (accatastamento)-entità dell'inclinazione tra sommità e catena

Componenti vettoriali riconoscibili dello spostamento di masse murarie

Rotazione nel piano (P) o fuori piano (F.P.) o mista (angolare- m) (indicare con C grande cerchiato il o i punti di cerniera)

Traslazione orizzontale (T.O.) (connessa a slittamenti in elevato o in fondazione)

Traslazione verticale (T.V) o sub-verticale (T.SV) (connesse a cedimento di fondazione)

ricontrabile su entrambe le facce, cosa che potrebbe indicare, ad esempio, la formazione di una cerniera aperta su un lato e chiusa sull'altro.

Una operazione complementare e necessaria è costituita dalla **descrizione e misura degli spostamenti riconducibili al dissesto (modificazioni geometriche)**.

Come si è detto, l'obiettivo della elevata precisione metrica non deve essere necessariamente esteso a tutta la fabbrica e a ciascuna sua parte. È essenziale invece che esistano punti o linee di controllo per la misura degli spostamenti, di più marcata affidabilità, mirati sia a svelare e descrivere esattamente geometrie di dissesto non apprezzabili ad occhio nudo, sia a rilevare l'entità e l'articolazione di dissesti anche macroscopici. Si possono utilizzare accorgimenti per enfatizzare il dato, rendendolo maggiormente leggibile: ad esempio, la deviazione dal piano verticale o orizzontale di una muratura viene esaltata se le deformate, ottenute collegando i punti misurati strumentalmente, sono accentuate aumentando di dieci volte la scala della deviazione dal piano rispetto a quella del rilievo di base, e ponendo a riferimento della deformazione così accentuata la linea orizzontale o verticale del tracciato assunto come "regolare", oltre alla quota reale della deviazione.

Porre a confronto, ad esempio, la deformata di una volta o l'assetto verticale dei due piani murari in corrispondenza di un'angolata, con il tracciato che ci si potrebbe attendere come regolare (un arco a raggio costante, un piano verticale), permette di apprezzare fenomeni anche poco percettibili, fornendo un importante ausilio grafico alla comprensione dei fenomeni.

4.5. Rilevamento e documentazione fotografica

La documentazione fotografica deve descrivere in modo esaustivo lo stato visibile e le condizioni attuali dell'edificio, in modo tale da costituire un documento efficace sullo stato che verrà modificato dall'intervento. Oltre alle foto di insieme e di contesto, che devono consentire di comprendere l'inserimento ambientale dell'edificio, le riprese generali devono interessare tutti i fronti, i principali ambienti interni, incluse le zone ordinariamente meno accessibili, come i sottotetti e gli scantinati. Devono poi essere effettuate riprese di dettaglio mirate a descrivere i quadri fessurativi e le varie manifestazioni di dissesto, gli effetti di degrado o mancata manutenzione, i principali elementi costruttivi, architettonici o decorativi. La documentazione fotografica deve perciò essere il risultato di una sistematica campagna di rilevamento fotografico, opportunamente preordinata e costituita da un numero di riprese adeguato alla complessità dell'oggetto.

Le stampe delle diverse foto, ciascuna delle quali data, numerata e con didascalia illustrativa, vanno ordinate su un fascicolo. Una planimetria schematica riporterà i punti di ripresa delle foto con il numero relativo, in modo da facilitare il riconoscimento della parte rappresentata. Quando si fotografano elementi di dettaglio o parti di cui può essere difficile la localizzazione a

posteriori, è opportuno predisporre una lavagna in cui sono riportate le indicazioni opportune e fotografarla insieme alla parte interessata.

Nel caso le condizioni lo consentano e ne rendano opportuno l'utilizzo, possono essere realizzati fotopiani, possibilmente in scala, o fotomosaici con trattamento informatico delle immagini per raddrizzare i singoli fotogrammi e unirli tra loro. Il fotopiano può sostituire in tutto o in parte la restituzione grafica degli alzati, soprattutto per rilevare superfici con ornati plastici o pittorici molto articolati, murature a vista fortemente caratterizzate nella tessitura o con quadri fessurativi particolarmente complessi, la cui restituzione grafica comporterebbe una inevitabile selezione e semplificazione. Alle foto così trattate possono essere sovrapposte le quote metriche di riferimento e le annotazioni dei dati relativi al quadro fessurativo e di dissesto operate con la grafia convenzionale proposta.

4.6. Ricerca storica e Relazione storico-architettonica

Alla **ricerca storica** si richiede, fondandosi su documenti opportunamente ricercati e letti, di interpretare il processo di costruzione e modifica nel tempo dell'edificio, delineando le diverse fasi costruttive, i caratteri e gli elementi di contesto -quali la proprietà, la committenza, l'uso- utili a comprendere il permanere o il mutare dell'assetto della fabbrica, gli eventi anche traumatici che possono averla interessata, quali incendi, crolli o altri fatti. Una particolare attenzione va posta alla cronologia sismica e alla ricostruzione degli eventuali trascorsi di danno riconducibili ad eventi sismici del passato.

La relazione deve fondarsi sui diversi tipi di fonte utile, che vanno per quanto possibile riportati in modo testuale o riprodotti, citando sempre il riferimento bibliografico e/o archivistico dei documenti via via utilizzati.

Tra i diversi tipi di fonte possiamo citare:

- fonti archivistiche costituite, ad esempio, da atti notari, testamenti, contratti per lavori, visite pastorali;
- documenti grafici quali catasti, disegni di progetti, atti di commissioni d'ornato;
- iconografie di varia natura, quali rappresentazioni pittoriche o a stampa che includono l'edificio, disegni o schizzi;
- documenti fotografici d'epoca;
- fonti bibliografiche edite, tra i quali gli eventuali testi specifici che trattano in modo monografico dell'edificio o del suo autore, e i testi di carattere generale, che trattano la storia locale, le guide o altro;
- testimonianze dirette.

La ricerca delle fonti storiche si presenta in genere ardua e il più delle volte dà luogo a risultati frammentari, soprattutto se condotta in un arco di tempo non adeguato. Inoltre richiede una specifica preparazione, e per questo è opportuno sia condotta da specialista, che collabori con il progettista non solo nella fase di ricerca e lettura testuale, ma anche in quella interpretativa, valutando il grado di attendibilità e la capacità docu-

mentaria delle fonti rinvenute.

Nonostante queste difficoltà, la ricerca storica è di grande importanza: spesso elementi anche frammentari, se trovano punti di riscontro chiari con la fabbrica reale, diventano caposaldi interpretativi che permettono di ampliare, ad esempio, i risultati della lettura diretta della fabbrica.

Va chiarito il ruolo che attribuiamo alla ricerca storica ed ai suoi risultati nel progetto di miglioramento nel restauro. Non si tratta più di ricercare nei documenti assetti architettonici perduti per ripristinarli, come presente in una concezione del restauro da tempo superata, quanto di ricostruire il processo evolutivo della fabbrica in quanto elemento fondamentale per una *anamnesi* del suo comportamento strutturale nel tempo (2). Ad esempio non si può pretendere di interpretare un danno verificatosi in antico se non si conosce l'assetto della costruzione al momento del dissesto; non si possono individuare pienamente le discontinuità costruttive, che danno luogo a vulnerabilità specifiche, se non si riconoscono le fasi costruttive che le hanno determinate. Anche se di rado la ricerca storica dà risposte esaustive a questo scopo *pratico*, tuttavia le connessioni che si possono istituire con l'analisi architettonico-costruttiva dell'edificio, soprattutto se condotta con strumenti stratigrafici (3), permettono di integrare tra loro diversi tipi di fonte ciascuno dei quali frammentario. L'obiettivo è giungere ad una interpretazione dei processi fondata sia sulle fonti scritte, sia su quella che oggi viene considerata la principale fonte materiale, l'edificio stesso, documento che reca sedimentata la propria storia.

A seconda della rilevanza del manufatto e delle sue necessità, del tipo e dell'entità delle fonti disponibili, dell'impegno nella ricerca sulle fonti scritte, verranno prodotti due distinti elaborati - la Ricerca Storica e la Relazione Storico-Architettonica, che riprenderà gli esiti della ricerca storica mettendoli a confronto con l'osservazione diretta della fabbrica- oppure un unico elaborato, denominato Relazione Storico-Architettonica.

La **Relazione Storico-Architettonica** può essere

costituita da due parti.

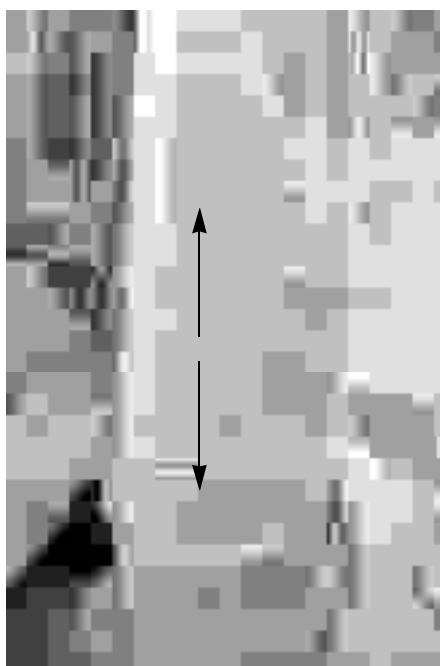
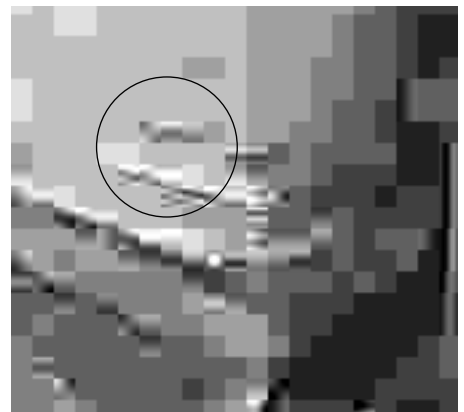
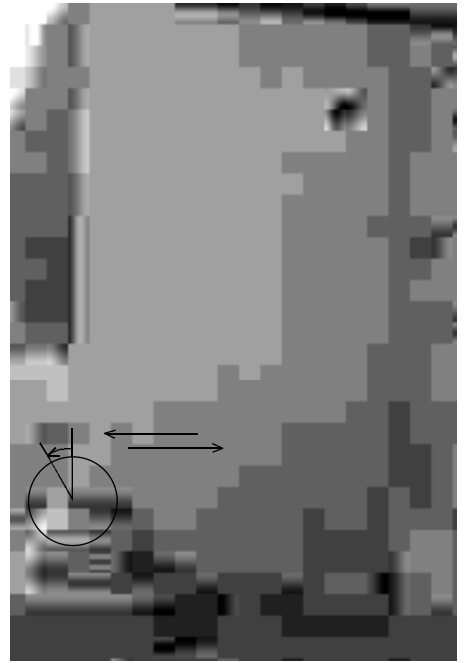
La **prima**, formata dalla collazione degli esiti della ricerca storica e dell'osservazione diretta con metodiche stratigrafico-costruttive, tende a formare una ricostruzione evolutiva della fabbrica, descrivendo il processo di formazione e trasformazione, anche suddiviso in fasi. Essendo una interpretazione fondata su diversi tipi di fonte e raggiungendo gradi di certezza variabili, deve costantemente richiamare le fonti e gli elementi a supporto, e dichiarare le incertezze interpretative e le ipotesi subordinate.

La **seconda** consiste in una lettura e una descrizione all'oggi dei principali caratteri presenti e riconoscibili, quali l'impianto architettonico di insieme o delle parti, l'assetto tipologico, gli elementi costruttivi e i caratteri di cultura materiale considerati singolarmente o collegati in ambienti, quali murature, solai, strutture di copertura, intonaci e coloriture, decorazioni, pavimenti, elementi architettonici quali camini o altro.

(1) In generale, se nel quadro fessurativo è presente un numero limitato di fratture marcate, che corrispondono a separazioni e spostamenti *a blocco rigido* di parti murarie, più netta e univoca è l'identificazione dei meccanismi di dissesto. Per contro, al prevalere di fenomeni di deformazione associati a decoesioni diffuse e lesioni ravvicinate di limitata ampiezza, l'interpretazione del danno attraverso i meccanismi diviene più problematica e di minore efficacia. Tuttavia anche questa maggiore difficoltà interpretativa costituisce un importante elemento diagnostico, in quanto frequentemente associato ad una diffusa decoesione muraria, fatto che implica la necessità di intervenire non solo sui meccanismi di insieme della fabbrica ma anche a migliorare le caratteristiche intrinseche della struttura muraria.

(2) Questa funzione della storia è sostenuta in diversi scritti da Paolo Marconi.

(3) Su questo argomento vedi in particolare F. DOGLIONI, *Stratigrafia e Restauro- Tra conoscenza e conservazione dell'architettura*, ed LINT, Trieste, 1997

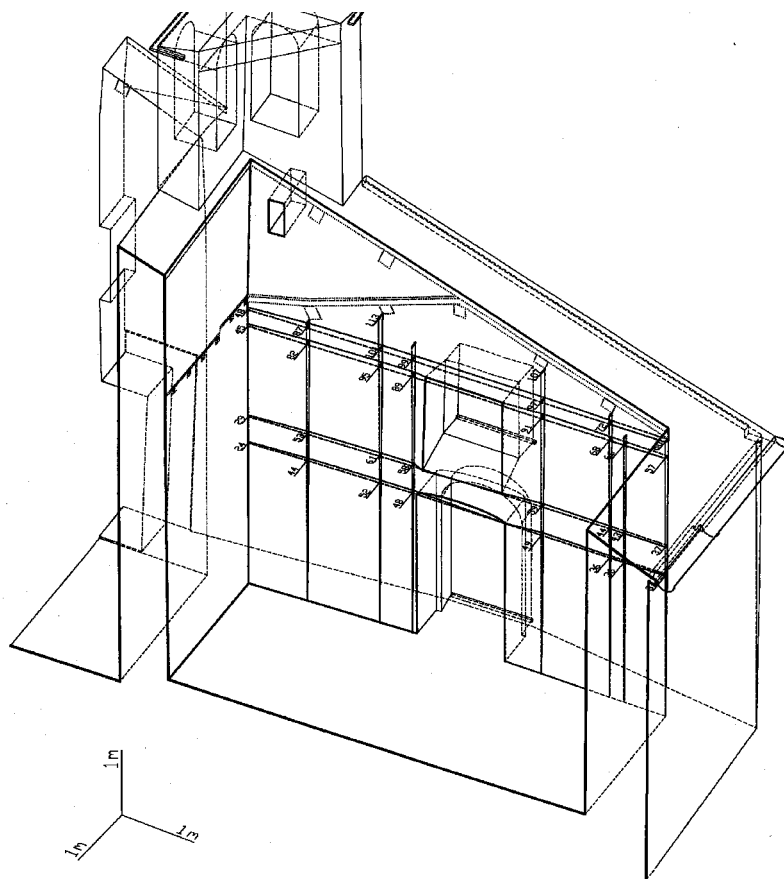
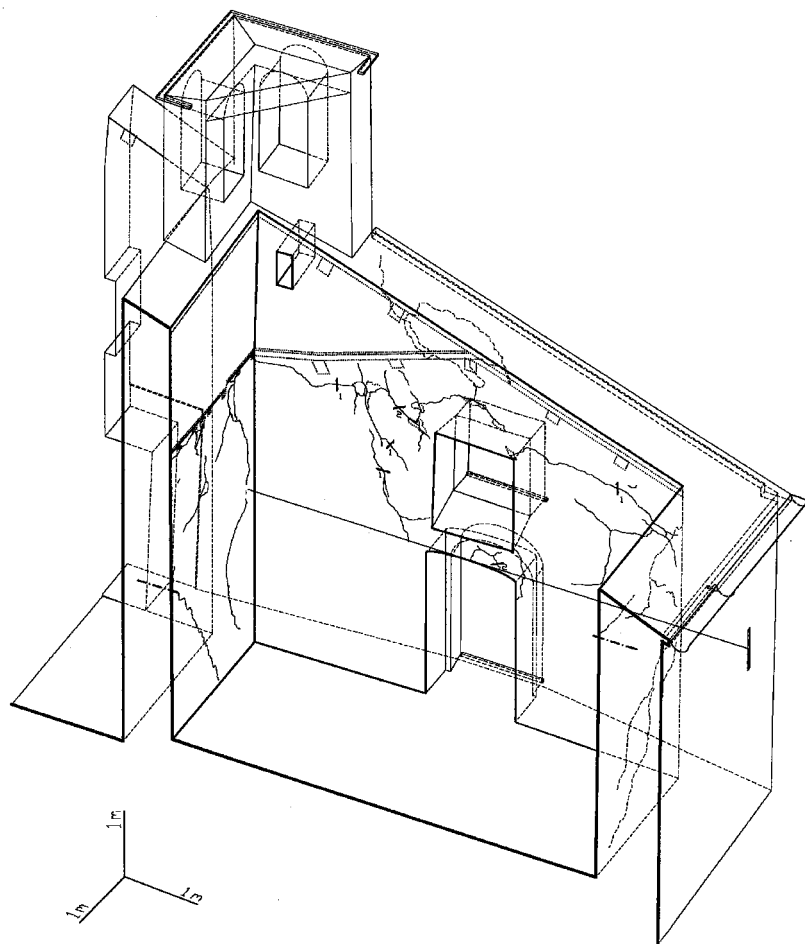


Nella pagina a fianco: foto di insieme e di dettaglio della facciata della Chiesa di S. Maria Assunta a Mevale (Visso).

Il rilievo del quadro fessurativo e deformativo deve saper cogliere, anche ricercandoli in modo mirato, i fenomeni utili a comprendere il comportamento meccanico dell'edificio. Spesso effetti di danno anche diversi -dei quali si riconosca la concatenazione- permettono di individuare in modo chiaro un medesimo meccanismo.

La facciata della chiesa di S. Maria Assunta a Mevale (Visso - foto in alto a sinistra) presenta sui fianchi una lesione inclinata che indica una lieve traslazione con rotazione verso l'esterno (foto in alto a destra). Su alcune cornici alla base della facciata si osservano fratturazioni e scagliature dovute con evidenza a schiacciamento (foto a destra in centro e in basso). Sul semipilastro interno alla facciata vi è una lesione che tende ad aprirsi verso l'interno della chiesa (foto in basso a sinistra). I diversi danni possono essere considerati effetti di un unico meccanismo di ribaltamento della facciata, con cerniera alla base che tende a concentrare i carichi nel punto di rotazione (con conseguente compressione concentrata) e a formare una lesione aperta a V dalla trazione sul lato interno. In questo particolare caso, il quadro deformativo può rivelarsi ingannevole: la facciata risulta pressochè a piombo anzichè fuori piombo, come sarebbe lecito aspettarsi, probabilmente perchè costruita in entro-piombo in funzione antisismica, come più marcatamente la parte absidale della chiesa. Il dissesto potrebbe perciò aver assorbito l'entro piombo, riportando in verticale la facciata.

Altre lesioni connesse allo stesso meccanismo si trovano sulla prima campata degli archi posti tra la navata centrale e le navate laterali.



A destra: Quadro fessurativo e quadro deformativo, con linee di controllo verticali e orizzontali, rappresentati in assonometria. Chiesa di S. Savino a Liceto di Sassoferrato. Disegno di Pietro Regazzo.

Lungo la parete laterale e la facciata sono presenti numerose lesioni che sono state analizzate con fotografie "macro". L'analisi dei bordi delle fessurazioni ha portato alla determinazione degli assi di spostamento delle stesse.

Descrizione F-06d

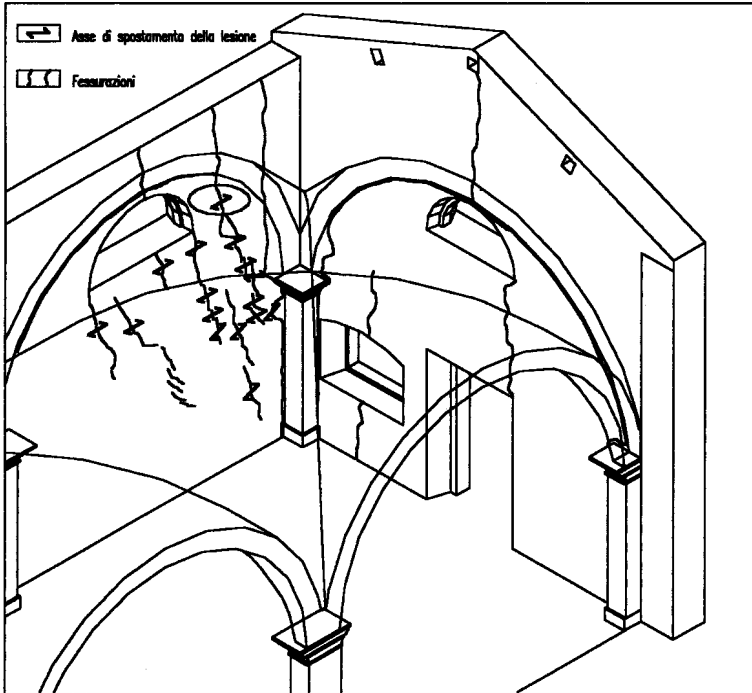
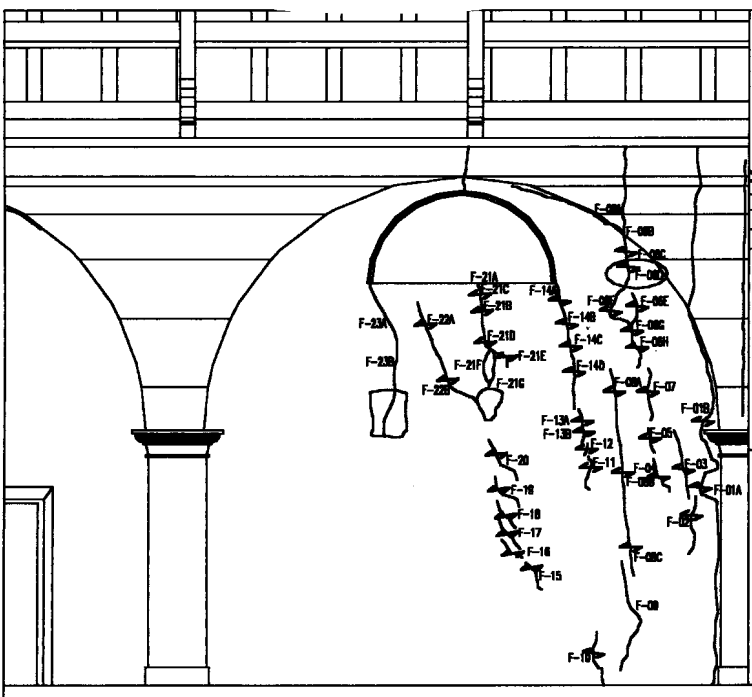


Immagine fotografica

n-Sn numero fessura - numero scheda



Scansione con indicato l'asse di spostamento

Studio del quadro fessurativo della chiesa di S. Bartolomeo a Trento, con riprese di tratti di lesione e frecce indicanti i vettori di spostamento ottenuti congiungendo i cigli di lesione. Elaborazione di Marco Baldi e Nicola Predelli.

5. LA DIAGNOSI DI VULNERABILITA' E IL PROGETTO DI DANNO

5.1. La diagnosi di vulnerabilità sismico-strutturale e di danno ulteriore atteso (progetto di danno) in base alla casistica di danno

5.2. Vulnerabilità tipica e meccanismi di danno delle chiese (*Alberto Moretti*)

5.3. Vulnerabilità tipica e meccanismi di danno degli edifici in aggregato (*Gianluca Canofeni*)

5.4. Forme di vulnerabilità specifica (*Floriana Marino*)

5.1. La diagnosi di vulnerabilità sismico-strutturale e di danno ulteriore atteso (progetto di danno) in base alla casistica di danno

Posto che ciascun danno avvenuto in un edificio antico è comunque diverso da qualsiasi altro danno in un altro edificio -non fosse altro perchè non esistono due edifici antichi identici, due muri identici, ecc.- possiamo sviluppare il nostro sforzo di studio delle modalità di danno in due direzioni.

La prima tende a cogliere i tratti comuni esistenti tra i diversi danni, formando schematizzazioni e semplificazioni volte a mettere in luce i tratti fondamentali del fenomeno e a formare classi di fenomeni affini; è la ricerca delle vulnerabilità tipiche e dei meccanismi di danno estesi a parti (macroelementi). Vedi di seguito gli studi di A. Moretti sulle chiese e di G. Canofeni sugli edifici urbani.

La seconda indaga i motivi della differenza, ossia della particolare evoluzione che ha avuto il fenomeno in quel dato caso, riconducibili a tecnica e storia costruttiva, alla storia di danno e di degrado; è la ricerca delle vulnerabilità specifiche e dei fattori che le influenzano. Vedi in particolare il contributo di F. Marino.

Nell'ultimo decennio si sono formate alcune banche dati dei danni avvenuti al patrimonio monumentale e ai sistemi interpretativi. Vedi gli studi contenuti in "Dopo la Polvere", relativi al terremoto dell'Irpinia del 1980 (1), la ricerca CNR-GNDT che ha prodotto il volume "Le chiese e il terremoto" (2), dopo gli eventi sismici del 1976 in Friuli, le documentazioni successive al terremoto emiliano del 1987 (3) fino ai più recenti studi sul terremoto umbro-marchigiano del 1997.

Ponendo a confronto i danni che si sono verificati nelle diverse realtà emerge un panorama di analogie e di differenze.

I meccanismi tipici riconosciuti tendono a riprodursi nelle diverse situazioni, variando però anche notevolmente al mutare delle configurazioni architettoniche prevalenti nelle distinte realtà culturali. Ad esempio, la maggiore presenza di ampie cornici marcapiano e sul

timpano, riscontrata in Emilia e nelle Marche e rara in Friuli, condiziona le linee di cerniera dei meccanismi di facciata nelle chiese.

Analogamente, il variare delle tradizioni costruttive e dei materiali impiegati influenza le evoluzioni del danno e le vulnerabilità specifiche. Perciò, le trasposizioni da regione a regione sono possibili e utili, ma vanno operate con accortezza, verificando il tessuto di analogie e differenze esistenti.

Per le finalità del "codice di pratica" gli studi che si propongono di seguito sul danno sismico, inevitabilmente sintetici, integrano la casistica di danno già esistente con i fenomeni constatati nel terremoto umbro-marchigiano. Va detto che questi studi richiederebbero un tempo maggiore e significativi investimenti di ricerca per poter produrre elaborazioni compiute. Ad esempio, il passaggio dall'osservazione di singoli casi, spesso chiari ed istruttivi per la comprensione dei fenomeni, ad una vera ricerca epidemiologica (in quanti edifici che presentavano quelle condizioni di partenza si è sviluppato quel dato danno) comporta una sistematica analisi di un numero elevato di casi anche privi di danno, anziché di pochi casi patologicamente eclatanti.

Il **progetto di danno** consiste perciò:

1 - Esaminando il quadro fessurativo e deformativo anche alla luce della casistica disponibile, riconosciamo l'avvenuta attivazione di dati meccanismi di danno. I modi della prevedibile evoluzione costituiscono il primo elemento del progetto di danno.

2 - Istituito analogie tra macroelementi presenti nella costruzione esaminata e macroelementi affini danneggiati inclusi nella casistica possiamo ritenere probabile o possibile l'attivarsi di dati meccanismi. Il danno connesso alla loro attivazione e sviluppo costituisce il secondo elemento.

3 - I danni connessi alle forme di vulnerabilità specifica riconosciute nell'edificio, già innescati o che si potranno innescare, costituiscono l'ultima parte del progetto di danno.

5.2. VULNERABILITÀ TIPICA E MECCANISMI DI DANNO DELLE CHIESE

Alberto Moretti

Le forme di vulnerabilità tipica sono riferibili alla predisposizione della chiesa a sviluppare determinati meccanismi di danno che coinvolgono intere parti di essa (macroelementi) le cui caratteristiche tipologiche, geometriche e costruttive condizionano l'attivazione o l'inibizione dei vari meccanismi possibili.

Nelle pagine seguenti è riportato dapprima un abaco generale dei meccanismi di danno delle chiese raggruppati per macroelementi e successivamente le tabelle corredate da esempi fotografici in cui i meccanismi vengono commentati singolarmente. Nei commenti si è cercato di mettere in luce, laddove possibile, quali siano i fattori che rendono maggiormente vulnerabile un macroelemento nei confronti di un determinato meccanismo o viceversa, quali contribuiscano a conferire alla struttura una maggiore resistenza alle azioni sismiche.

Gli schemi interpretativi dei possibili cinematismi di collasso sono rappresentati mediante rotazioni o traslazioni di corpi rigidi anche se nella realtà le deformazioni non sono sempre concentrate in corrispondenza di singole lesioni ma, specialmente per murature di scarsa qualità, su ampie zone con formazione di fasci di lesioni. In questi casi il riconoscimento dei meccanismi attivati può trovare conferma dall'osservazione di eventuali perdite di verticalità o di allineamento e, in generale, dagli stati deformativi che devono essere congruenti con i cinematismi di riferimento.

I macroelementi delle chiese presi in considerazione in questo studio sono la facciata, la parte laterale, l'arco trasversale e l'abside che sono i più frequenti e quelli per i quali la casistica disponibile, derivante dallo studio degli effetti reali del sisma (Friuli 1976, l'Irpinia 1980, Umbria-Marche 1997) rende corretto un approccio metodologico che si fonda sulla possibilità di prevedere il comportamento sismico futuro di un manufatto per analogia con il comportamento effettivo riscontrato in casi analoghi.

Esulano dalla trattazione di questa parte le chiese con tipologie poco ricorrenti o di particolare complessità architettonica e/o strutturale e, ancora, i macroelementi per i quali lo studio dei meccanismi di danno delle caratteristiche vulnerabili deve essere maggiormente approfondita come per i campanili. Per la trattazione di questi aspetti specifici si rimanda a studi specialistici del settore.

Le volte e le coperture non sono state prese in considerazione come macroelementi propri ma come strutture che subiscono danni dall'attivazione di meccanismi delle parti sottostanti pur svolgendo un ruolo essenziale nel determinarne il comportamento sismico. La **facciata**, è il macroelemento per il quale l'interpretazione dei meccanismi è più agevole in quanto la casistica di comportamento disponibile è più estesa e le tipologie ricorrenti si prestano alle schematizzazioni necessarie per questo tipo di trattazione.

Le parti strutturali che determinano le condizioni al

contorno, le fasce di sovrapposizione, sono costituite da porzioni di parete laterale che generalmente possono essere limitate a una larghezza pari a metà dell'altezza di facciata, oltre alla copertura e, se presenti, alle volte dell'aula.

L'evoluzione dei meccanismi di facciata è condizionata in misura significativa dalla presenza, dimensione e disposizione delle aperture (finestre, rosoni ecc.), dalle spinte delle coperture non controventate e delle volte nonché da fenomeni di interazione dinamica con altri macroelementi come i campanili adiacenti alla facciata. Le cornici e le lesene, se ben connesse alle murature, aumentano l'inerzia della parete e sono in grado di contrastare l'insorgenza dei meccanismi fuori piano che coinvolgono le parti interne del macroelemento mentre altri presidi quali le catene longitudinali sono in grado di contrastare anche i meccanismi che coinvolgono le fasce di sovrapposizione come nel caso del ribaltamento con lesioni nella parte laterale.

Per le **pareti laterali** una classificazione tipologica è poco agevole in quanto per questo macroelemento, oltre alla variabilità insita nei caratteri tipologici propri, si aggiunge quella derivante dalle possibili connessioni con gli altri corpi di fabbrica quali le cappelle, le sagrestie e gli agglomerati urbani che determinano situazioni difficilmente codificabili a priori.

Questo macroelemento ha delle interazioni particolarmente significative con la copertura in quanto è sulla parete laterale che l'orditura principale trasferisce i carichi. E' quindi su questi macroelementi che in fase sismica si concentrano puntualmente le forze generate dal tetto che rappresentano una concausa estremamente significativa per attivare o aggravare i meccanismi della parete laterale. Per contro una copertura efficacemente solidarizzata alle murature perimetrali e in grado di trasferire le azioni sismiche può far sì che le due pareti laterali opposte fungano mutuamente l'una da contrasto per i meccanismi fuori piano dell'altra.

Le pareti centrali delle chiese a tre navate, anche se dotate di molte aperture, non risentono significativamente dell'azione fuori piano a causa del contrasto offerto dalle navate laterali.

Gli **archi trasversali** dell'aula, generalmente a tutto sesto o a sesto acuto, sono collegati alle pareti laterali e fungono da sostegno per la copertura. Fra questi va considerato anche l'arcone trionfale che, pur sviluppando analoghi meccanismi, ha diverse condizioni al contorno determinate dal contatto con l'abside e differisce generalmente dai primi per i diversi rapporti fra le dimensioni del foro rispetto al pannello murario tanto che in alcuni casi il funzionamento ad arco della struttura può venir meno.

Per gli archi trasversali si sono considerati solamente i meccanismi nel piano in quanto per gli spostamenti nella direzione perpendicolare i piedritti sono vincolati alla parete laterale e la parte sommitale è generalmente collegata alla copertura, condizioni queste in grado di contrastare i meccanismi fuori piano.

Negli schemi di meccanismo sono stati rappresentati esempi in cui le spalle dell'arco, generalmente snelle, subiscono delle rotazioni alla base ma se i piedritti

sono tozzi - come nel caso degli archi trionfali - questi possono subire rotture a taglio; resta comunque invariato l'effetto di spostamento dell'appoggio dell'arco. La dimensione del piedritto risulta significativa anche per gli effetti che l'arco genera sulla parete laterale: se i piedritti hanno dimensioni considerevoli svolgono un'azione di irrigidimento assorbendo una buona parte delle azioni sismiche in direzione trasversale; se invece il piedritto è snello e non incatenato esercita una spinta con componente orizzontale che grava direttamente sulla parete laterale.

L'**abside** è un macroelemento tridimensionale costituito, a seconda dei casi o da un parete curva o da un insieme di pannelli murari a pianta rettangolare o poligonale. Generalmente la copertura è realizzata con puntoni che esercitano delle spinte verso l'esterno dell'abside lungo il perimetro o in corrispondenza delle angolate delle absidi poligonali che favoriscono i meccanismi propri dell'abside. Altri fattori vulnerabili sono rappresentati dalla presenza di aperture che indeboliscono la struttura o di volte che esercitano delle spinte ad un'altezza intermedia della parete che non vengono quindi contrastate dalla presenza di elementi strutturali come i cordoli più efficaci nei confronti della copertura.

In alcuni casi la zona del presbiterio, che divide l'aula dal catino absidale, ha un'estensione tale da potersi considerare un macroelemento autonomo nel quale si attivano prevalentemente meccanismi di taglio nelle due pareti laterali.

Fonti delle illustrazioni fotografiche

Foto 2, 9, 10, 17, 20, 21, 23, 25, 27, 28: Alberto Moretti - Archivio Coop. Arx - Venzone (UD)

Foto 4, 13, 22: Floriana Marino - Archivio Coop. Arx - Venzone (UD)




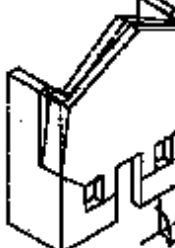
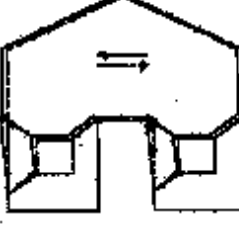

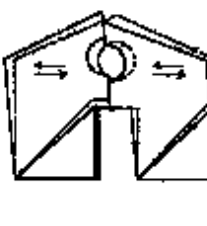
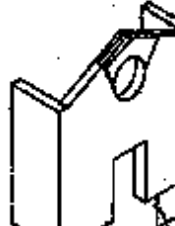




Foto 24: Pietro Regazzo

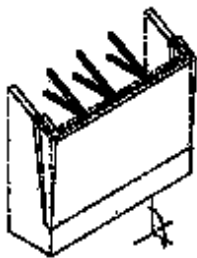
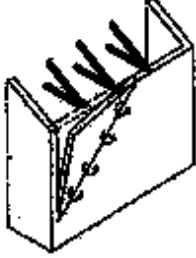
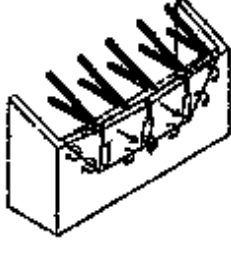
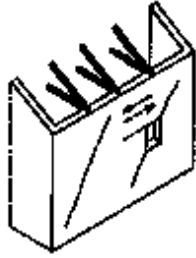
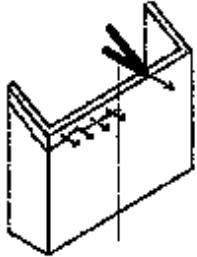
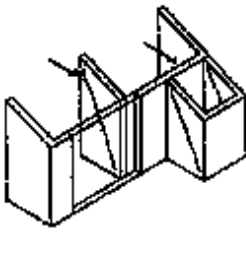
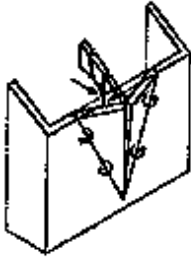
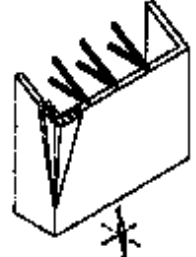
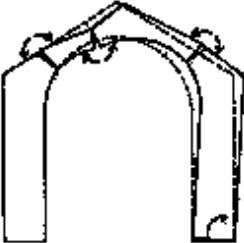
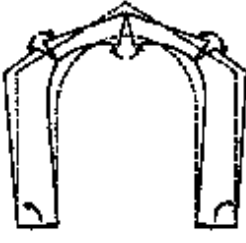

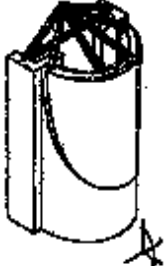

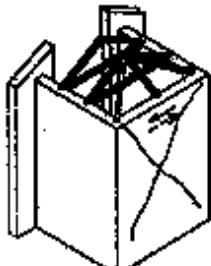
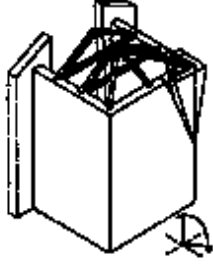
Foto 1, 8: G. Proietti, 1994, 'Dopo la Polvere, rilevazione degli interventi di recupero del patrimonio storico-artistico danneggiato dal terremoto del 1980-1981', Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.

Foto 7, 11, 14, 26: Commissario Delegato per i Beni Culturali - Ufficio del Vice Commissario per la Regione Umbria, 1998, 'Danno sismico e vulnerabilità delle chiese dell'Umbria', CD-ROM a cura del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (CNR) - Unità di Ricerca di Genova.

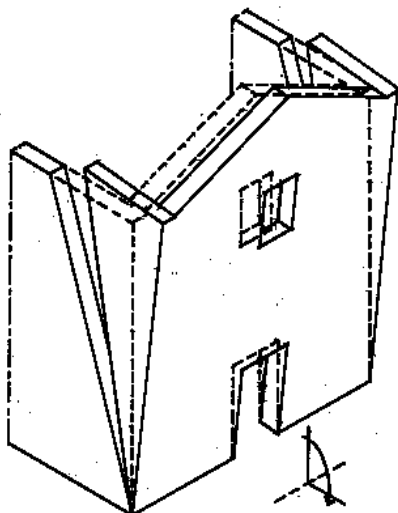
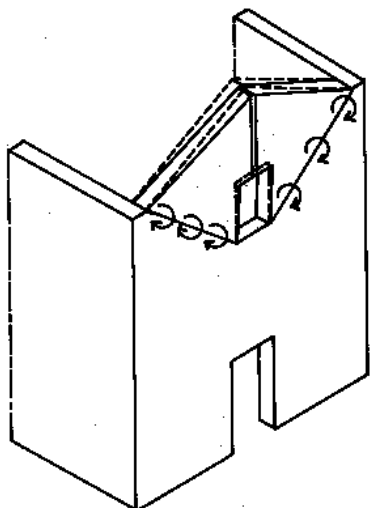
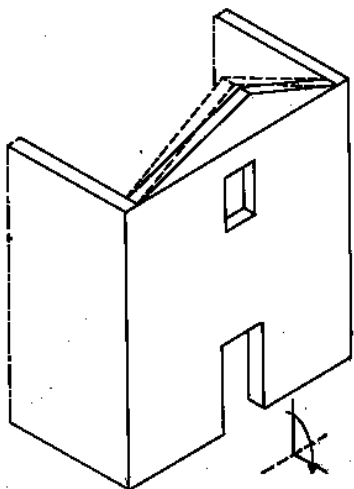
Foto 3, 5, 6, 15, 16, 18, 19, 29: F. Doglioni, A. Moretti, V. Petrini 1994 - 'Le Chiese e il terremoto' - Ed. Lint Trieste. pp. 91-259

ABACO DEI MECCANISMI

				
	MECCANISMO 1: Rotazione fuori piano del impiano intorno a un asse orizzontale.	MECCANISMO 2: Rotazione fuori piano a seguito di formazione di cerniere cilindriche con assi obliqui.	MECCANISMO 3: Ribaltamento della facciata con formazione di cerniera cilindrica alla base	MECCANISMO 4: Rotazione fuori piano con formazione di cerniera cilindrica orizzontale nella fascia bassa.
FACCIATA				
	MECCANISMO 5a: Rotture a taglio della facciata	MECCANISMO 5b: Rotture a taglio della facciata	MECCANISMO 5c: Rotture a taglio della facciata	MECCANISMO 6: Formazione di articolazione della parte sommitale della facciata
				
	MECCANISMO 7: Spezzamento estremo di parte terminale della parete di navata	MECCANISMO 8: Espulsione dell'angolo	MECCANISMO 9: Interazione con la torre campanaria	MECCANISMO 10: Traslazione nel piano della facciata

PARETE LATERALE				
	MECCANISMO 1: Rotazione fuori piano della parete laterale con formazione di cornici cilindriche orizzontali alla base	MECCANISMO 2: Spostamento fuori piano di parete laterale vincolata efficacemente su due lati	MECCANISMO 3: Spostamento fuori piano di parete libera in simmetria e vincolata su tre lati	MECCANISMO 4: Rottura a taglio in deformazioni nel piano della parete laterale
				
	MECCANISMO 5: Scorrimenti fra copertura e pareti laterali	MECCANISMO 6: Rottura a taglio dei sarti trasversali della parete laterale	MECCANISMO 7: Spinta localizzata di arco trasversale	MECCANISMO 8: Espulsione dell'angolata
ARCO TRASVERSALE				
	MECCANISMO 1: Rotazione monolaterale nel piano di una spalla	MECCANISMO 2: Rotazione bilaterale simmetrica nel piano delle spalle	MECCANISMO 3: Rotazione concorde nel piano delle spalle	
ABSIDE				
	MECCANISMO 1: Traslazione o rototraslazione della parte superiore dell'abside con distacco lungo un piano inclinato	MECCANISMO 2: Rotazione o rototraslazione fuori piano della angolata o di fasce verticali	MECCANISMO 3: Meccanismo di rottura per taglio nel piano	MECCANISMO 4: Espulsione dell'angolata

MACROELEMENTO FACCIATA



MECCANISMO 1:

Rotazione fuori piano del timpano intorno ad un asse orizzontale.

Il meccanismo si presenta prevalentemente nei casi in cui il timpano è realizzato in discontinuità con il corpo della facciata o di spessore ridotto rispetto a quest'ultimo.

La copertura non controventata, può esercitare sul timpano delle spinte localizzate determinanti per l'attivazione del meccanismo.

MECCANISMO 2:

Rotazione fuori piano a seguito di formazione di cerniere cilindriche con assi obliqui.

L'insorgenza del meccanismo è determinata dalla presenza di una foratura presente o tamponata nella parte centrale della facciata. Le lesioni tipiche che ne evidenziano l'attivazione sono simmetriche rispetto all'asse centrale della facciata e l'andamento è tale da unire i punti sommitali dei bordi del macroelemento con la parte bassa della foratura.

Nella progressione del cinematismo si possono formare cerniere oblique secondarie che coinvolgono anche la parte compresa fra il foro centrale e il portale.

MECCANISMO 3:

Ribaltamento della facciata con formazione di cerniera cilindrica alla base

La formazione del meccanismo presuppone lo scollegamento della facciata dalla copertura e dal corpo dall'aula che può manifestarsi o con la rottura delle murature nella fascia di sovrapposizione con le pareti laterali o con il distacco lungo lo spigolo verticale provocato da un ammorsamento inefficace e/o della presenza di discontinuità fra le parti. L'andamento delle lesioni caratteristiche, che nel primo caso sono inclinate e nel secondo pressoché verticali, può venire condizionato in modo significativo dalla presenza di forature in corrispondenza delle fasce di sovrapposizione o da presidi per l'ancoraggio della facciata che interessano solo una fascia limitata di parete laterale.

Foto 1

Angri (SA) – Chiesa di S. Maria del Carmine –1980

Meccanismo di ribaltamento del timpano lungo un asse orizzontale.

La formazione di una cerniera orizzontale netta ben individuata dal profilo di crollo, lascia supporre che la principale causa di innesco del meccanismo sia costituita dall'esistenza di una discontinuità nello spessore e/o nel materiale delle murature della facciata rispetto al timpano.

La mancanza di collegamento fra timpano e copertura costituisce un'ulteriore condizione sfavorevole per il ribaltamento della parte alta di facciata.



Foto 2

Nocera Umbra (PG) – Chiesa di S. Stefano a Le Moline –1997

Rotazione fuori piano a seguito di formazione di cerniere cilindriche con assi obliqui.

In seguito al sisma del 26.9.97 la parte crollata era quella compresa fra la sommità e un foro rettangolare che era presente nella parte centrale della facciata.

In questa fotografia, scattata dopo nove mesi dall'evento principale, si nota come il profilo superstite converge verso il portale evidenziando le linee di cerniera corrispondenti all'ulteriore avanzamento del meccanismo che coinvolge, anche se con minore entità, la parte muraria compresa fra foro e portale.



A sinistra, foto 3

Gemona del Friuli (UD) – Chiesa di S. Maria del Fossale - 1976

A destra, foto 4

Serravalle di Chienti (MC) – Abbazia di S. Salvatore ad Acquapagana – 1997

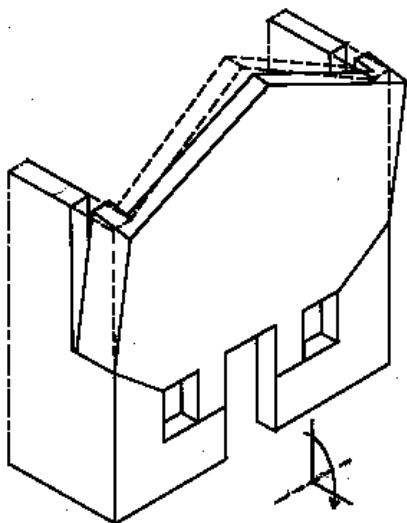
Meccanismo di ribaltamento della facciata.

L'attivazione di questo meccanismo si verifica qualora il punto debole del macroelemento sia quello costituito dai vincoli al contorno che non riescono a contrastare l'azione fuori piano.

Si può notare la scarsa consistenza della muratura della parete laterale in rapporto a quella della facciata: quest'ultima ha avuto un comportamento rigido rispetto alle azioni fuori piano ed il vincolo, costituito dalle pareti laterali dell'aula, non ha garantito una resistenza sufficiente.



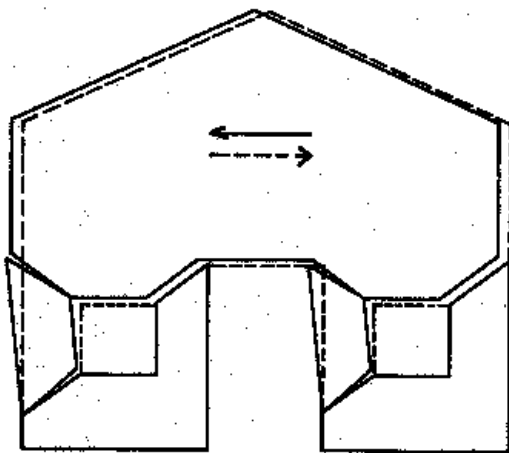
MACROELEMENTO FACCIATA



MECCANISMO 4:

Rotazione fuori piano con formazione di cerniera cilindrica orizzontale nella fascia bassa.

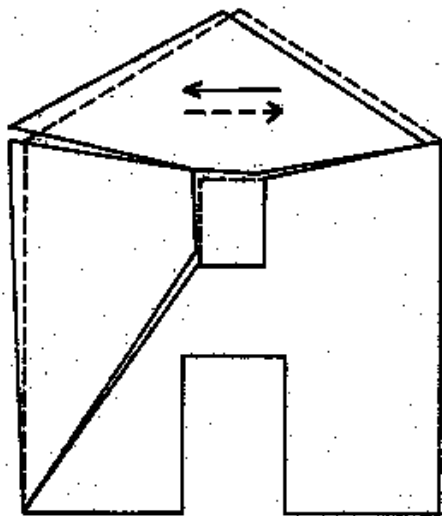
L'indebolimento della sezione muraria nella fascia bassa della facciata per la presenza di aperture ravvicinate costituisce una sezione preferenziale per la formazione della cerniera di rotazione. Un fattore che influenza negativamente l'evoluzione del meccanismo è rappresentato dall'altezza del pannello murario superiore in rapporto alle sezioni resistenti fra i fori. Come nel caso del meccanismo 3 c'è il coinvolgimento delle fasce di sovrapposizione con le pareti laterali che vengono lesionate.



MECCANISMO 5a:

Rottura a taglio della facciata

Rottura a taglio nella fascia bassa della facciata che è indebolita dalla presenza di diverse aperture. La tipologia che determina il meccanismo è la stessa del meccanismo 4 con la differenza che in questo caso l'attivazione del meccanismo fuori piano è inibita dalla presenza di qualche presidio (cordoli efficaci, tiranti, elemento di connessione con la copertura ecc..).



MECCANISMO 5b:

Rottura a taglio della facciata

Rottura a taglio innescato da un'apertura nella parte alta che determina la formazione di due alte fasce murarie. La parte alta costituita dal timpano fino al foro si muove rigidamente nel proprio piano. In questo caso il cinematismo verso l'esterno è generalmente impedito dalla presenza di una cornice nel timpano con caratteristiche costruttive tali da assolvere ad una funzione di irrigidimento anche per gli spostamenti nel piano della facciata.

Foto 5 e 6
Osoppo (UD) – 1976

Rotazione fuori piano con formazione di cerniera cilindrica ad asse orizzontale nella fascia bassa.

Vista frontale e laterale della facciata: la parte di muratura sopra ai fori è trattenuta da una sezione ridotta di muratura appartenente alla parte laterale nella quale si concentrano gli sforzi che generano le lesioni.



Foto 7
Cerreto di Spoleto (PG) Chiesa di S. Maria delle Grazie a Tripunzo 1997

Meccanismo di rottura a taglio

Il meccanismo coinvolge la fascia bassa di muratura interrotta da tre aperture. La disposizione delle forature nella parte bassa sarebbe tale da innescare l'attivazione del meccanismo di ribaltamento fuori piano (meccanismo 4 – v. foto 5) ma in questo caso, oltre alla ridotta altezza della facciata entrano in gioco la coppia di tiranti longitudinali che contrastano le azioni fuori piano.



Foto 8
Atella (PZ) – Chiesa del Cimitero – 1980

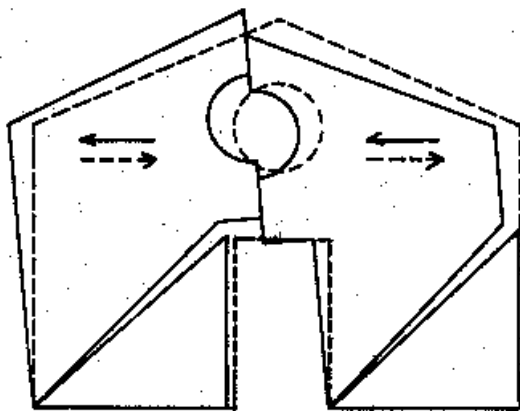
Meccanismo di rottura a taglio

Lo sviluppo di questo meccanismo è condizionato dalla presenza di un timpano rigido che impedisce i meccanismi fuori piano all'interno del macroelemento nonostante la presenza di una apertura tamponata al centro.

Le azioni sismiche nel piano sono scaricate sugli elementi resistenti costituiti dalle fasce verticali ai lati che si lesionano.



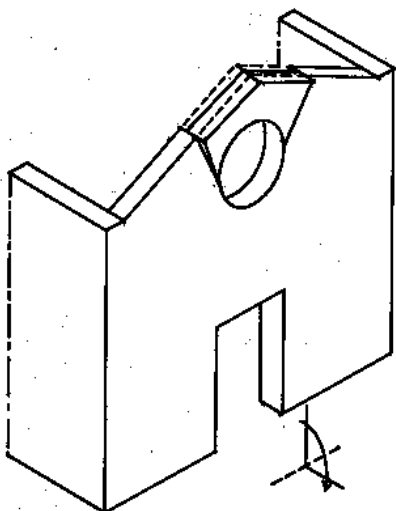
MACROELEMENTO FACCIATA



MECCANISMO 5c:

Rottura a taglio della facciata

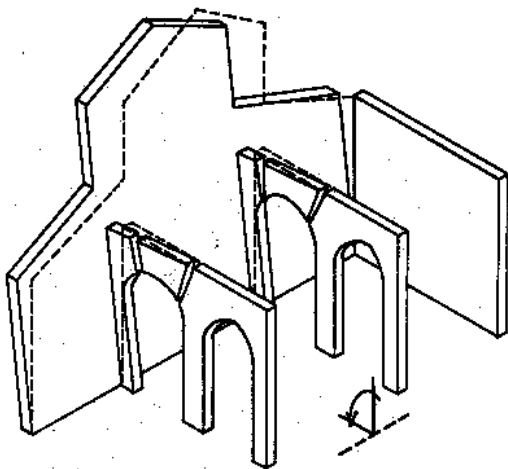
Rottura a taglio nelle fasce murarie laterali non collegate fra loro per effetto delle aperture in asse. Il comportamento delle fasce laterali tozze è simile a quello di due setti murari indipendenti.



MECCANISMO 6:

Formazione di articolazione della parte sommitale della facciata

La caratteristica tipologica che determina l'insorgenza del meccanismo è la presenza di un foro nella parte sommitale del timpano. La parte di muratura che funge da architrave è di dimensioni ridotte e non consente un efficace collegamento fra le fasce di muratura laterali alte che hanno spostamenti indipendenti in fase sismica. L'architrave si sconnette ai lati e subisce una rotazione verso l'esterno anche per effetto della spinta localizzata della trave di colmo.



MECCANISMO 7:

Spostamento esterno di parte terminale della parete di navata

E' un meccanismo proprio delle chiese a tre navate con la presenza di un colonnato che separa l'aula dalle navate e si verifica per la rotazione verso l'esterno del piedritto dell'arcata in prossimità della facciata. L'insorgenza del meccanismo può comportare la lesione in chiave all'arco oppure la deformazione della ghiera. Si verifica sia nella parte terminale verso la facciata sia in quella verso la zona absidale in presenza del transetto. Il fenomeno è determinato dalle spinte non contrastate degli archi estremi della parete di navata.

Foto 9, 10, 11

Serravalle di Chienti – Abbazia di S. Salvatore ad Acquapagana (MC) – 1997

Foto 9

Meccanismo di rottura a taglio

Il macroelemento della chiesa è interessato da un meccanismo di taglio in virtù della presenza di fasce laterali tozze.

Le principali lesioni con andamento obliquo sono ben visibili nella parte alta e in quella centrale.

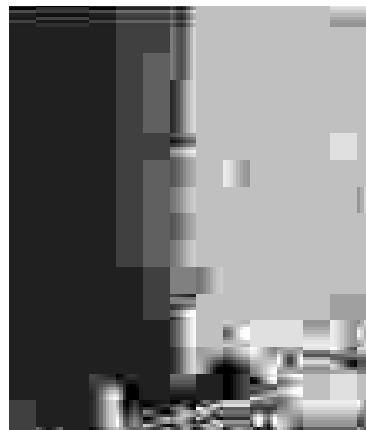
La facciata ha inoltre subito uno scorrimento orizzontale nel proprio piano dell'ordine di circa un centimetro misurabile alla base che testimonia l'entità dell'azione sismica subita dalla fabbrica (v. foto 11)



A sinistra, foto 10

Meccanismo di articolazione della parte sommitale della facciata.

La parte muraria soprastante l'ampio rosone è di esiguo spessore e non è in grado di collegare efficacemente fra loro la fasce murarie laterali. In fase sismica queste ultime si muovono in modo indipendente e la parte muraria sopra il rosone subisce gravi lesioni. Si nota il nucleo in calcestruzzo all'estremità della trave di colmo che può aver svolto un'azione di martellamento nei confronti della parte sommitale.



A destra, foto 11

Dettaglio della base della facciata sul bordo sinistro

Foto 12: Sellano (PG)

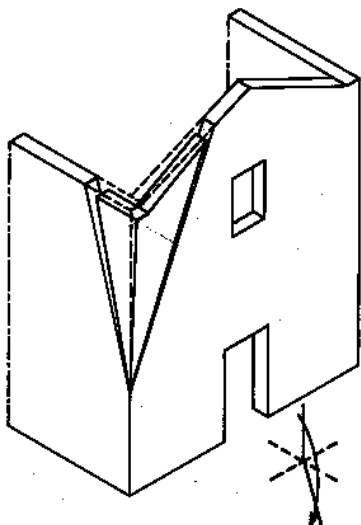
Chiesa di S.Maria Assunta– 1997

Spostamento esterno di parte terminale della parete di navata

Il meccanismo, tipico delle chiese a tre navate, coinvolge la facciata e le pareti laterali della navata centrale. In questa immagine si nota il distacco della facciata, la discretizzazione del blocco murario fra quest'ultima e la prima colonna della navata e la formazione di una cerniera nella ghiera dell'arco.



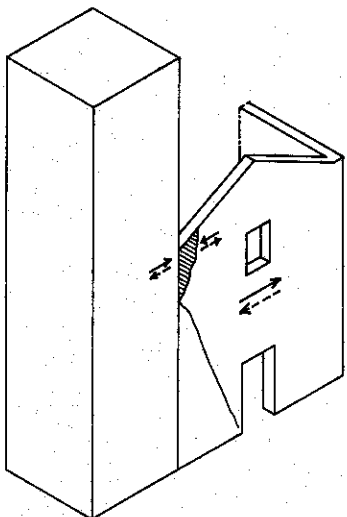
MACROELEMENTO FACCIATA



MECCANISMO 8:

Espulsione dell'angolata

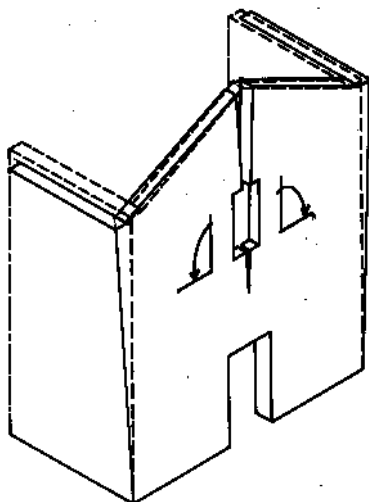
E' un meccanismo localizzato nella fascia di collegamento fra due pareti contigue ed è originato dalla forza esercitata nelle due direzioni ortogonali dall'azione sismica. L'insorgenza del meccanismo è favorita dalla presenza di bordonali in copertura e di volte a crociera che esercitano una forza con componente orizzontale nella direzione diagonale anche in fase statica.



MECCANISMO 9:

Interazione con la torre campanaria

E' un meccanismo specifico delle tipologie di facciata che si trovano a contatto con la torre campanaria. I due corpi accostati hanno diversi periodi propri di vibrazione che determinano forti sollecitazioni nelle murature al contatto. Le lesioni tipiche sono costituite da una zona disgregata di materiale dovuta al martellamento e/o da una lesione inclinata che rivela la formazione di una biella compressa nel pannello murario di facciata adiacente al campanile. Il prevalere di una lesione tipica rispetto all'altra è determinato dalle modalità costruttive del collegamento (addossamento, continuità costruttiva, ecc...).



MECCANISMO 10:

Traslazione nel piano della facciata

Si forma una linea di rottura con andamento pressoché verticale e in posizione centrale. L'azione principale è generata dallo spostamento fuori piano delle pareti laterali; la discontinuità dovuta alla presenza di diverse forature in linea è un fattore che favorisce l'attivazione del meccanismo così come la presenza di terreni soffici che possono provocare cedimenti fondazionali delle pareti laterali.

Foto 13

Pievebovigliana (MC) – Chiesa di S. Vito Martire – 1997

Meccanismo di espulsione dell'angolata

Il meccanismo interessa il lato opposto a quello del campanile.

Si notano sui due lati delle pareti ortogonali i fori che innescano le lesioni tipiche: queste ultime sono poco evidenti e indicano un basso livello di attivazione del meccanismo.

Sotto: schema assonometrico dell'angolata



Foto 14

Sellano (PG) – Chiesa di S. Antonio a Forfi – 1997

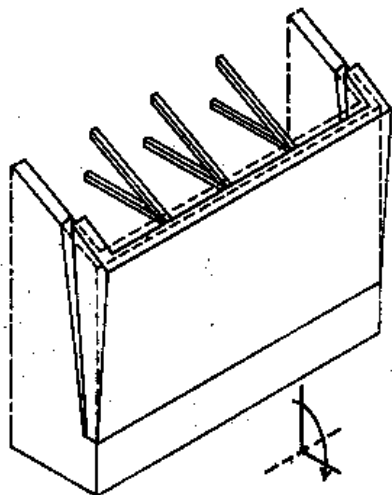
Foto 15

Castelnovo del Friuli (PN)
Chiesa di Madonna del Zucco -1976*Interazione con la torre campanaria*

In entrambi i casi riportati, si osserva la formazione di una biella compressa nel pannello murario di facciata adiacente al campanile e la formazione di una zona di disgregazione della muratura nel punto più alto del contatto fra i due macroelementi. In queste zone gli spostamenti relativi sono di maggiore entità e l'azione di martellamento risulta più consistente.



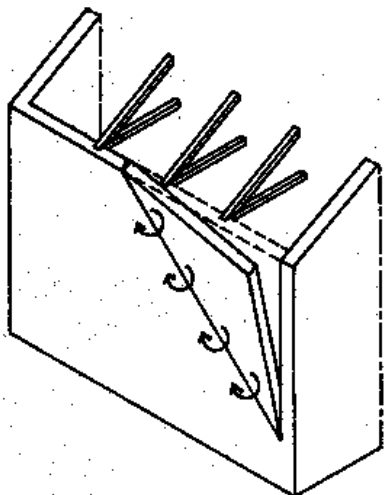
MACROELEMENTO PARETE LATERALE



MECCANISMO 1:

Rotazione fuori piano della parete laterale con formazione di cerniera cilindrica orizzontale alla base

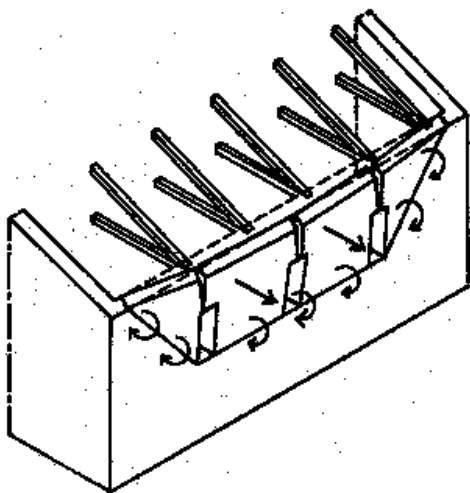
Il meccanismo si sviluppa in modo analogo a quello del ribaltamento di facciata: la parete si comporta come una mensola incastrata alla base con la formazione lesioni in corrispondenza delle fasce di sovrapposizione laterali con andamento inclinato e/o verticale nel caso di discontinuità fra le parti. La sua attivazione è fortemente influenzata dalla eventuale presenza nell'aula di una volta che esercita una spinta orizzontale sull'intera lunghezza della parete.



MECCANISMO 2:

Spostamento fuori piano di parete laterale vincolata efficacemente su due lati

Il meccanismo insorge in seguito alla perdita di vincolo d'estremità – generalmente quello verso la facciata – successivo al crollo dell'angolata o per il distacco della facciata. Il cinematismo prevede la formazione di una cerniera cilindrica obliqua con spostamenti massimi sul bordo libero.



MECCANISMO 3:

Spostamento fuori piano di parete laterale libera in sommità e vincolata su tre lati

La parete laterale ha un comportamento simile a una piastra vincolata su tre lati. Il meccanismo prevede la formazione alle estremità laterali di cerniere cilindriche oblique convergenti ai bordi e la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale nella parte centrale. L'insorgenza del meccanismo è fortemente condizionata dalla presenza di forature che comportano una maggiore deformabilità della parete.

Foto 16
Venzone (UD) – Chiesa di S. Chiara – 1976

Rotazione fuori piano con formazione di cerniera cilindrica orizzontale alla base

La parete laterale non è ammassata alla facciata e alla parete dell'arcone trionfale: il comportamento è prossimo a quello di una mensola incastrata alla base



Foto 17
Bovec (SLO) – 1998

Il meccanismo si ripete in questo caso con il lesionamento della fascia di sovrapposizione: l'attivazione del meccanismo è favorita da una parziale mancanza di ammassamento nella parte alta della parete ortogonale.



Foto 18 - Venzone (UD) – Chiesa di S. Lucia – 1976
Spostamento fuori piano di parete con vincolo efficace su due lati
L'andamento del profilo di crollo e il margine della muratura superstite indicano la formazione di una cerniera cilindrica obliqua con rotazione verso l'esterno.

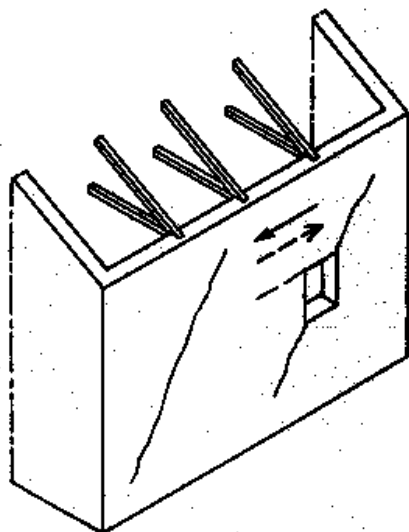
Foto 19
Forgaria nel Friuli (UD) – Chiesa di S. Giuliana – 1976

Spostamento fuori piano di parete libera in sommità e vincolata su tre lati

Si tratta della parete laterale di una chiesa a tre navate. Oltre alle lesioni principali – diagonale e orizzontale a metà del pannello – sono visibili anche delle lesioni secondarie verticali nella cornice che denunciano la curvatura verso l'esterno del bordo libero.



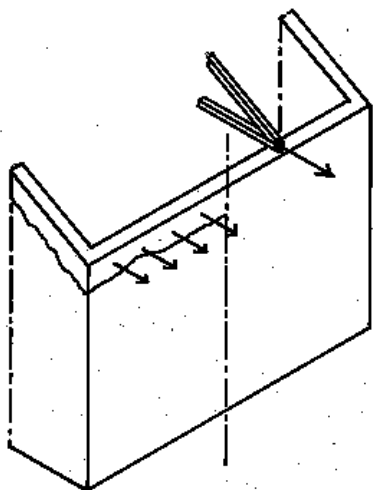
MACROELEMENTO PARETE LATERALE



MECCANISMO 4:

Rottura a taglio e deformazioni nel piano della parete laterale

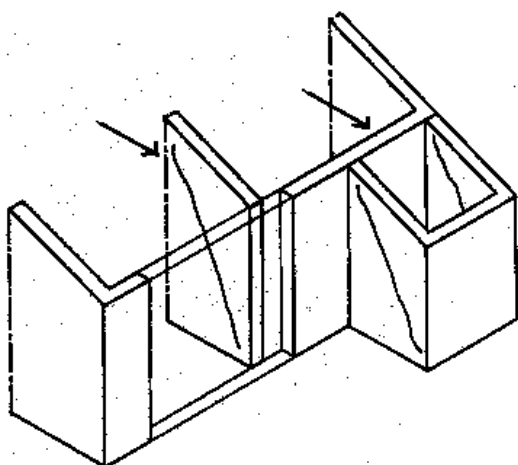
Il meccanismo è di rottura a taglio per azioni nel piano della parete con la comparsa di lesioni ad andamento obliquo o incrociato. Si può manifestare anche con scorrimenti lungo superfici di discontinuità, interfacce di accrescimento della fabbrica o superfici a minore resistenza allo scorrimento orizzontale dovuta a scarsa qualità del legante della muratura.



MECCANISMO 5:

Scorrimenti fra copertura e pareti laterali

Il meccanismo consiste nello scorrimento localizzato in corrispondenza dell'interfaccia fra la copertura e le murature della parete laterale. Si verifica se la copertura è stata semplicemente appoggiata alla sommità del muro oppure se in copertura è stato realizzato un intervento di cordolatura scarsamente ammorsato alle murature sottostanti. Se l'intervento ha comportato un aumento di carico (come nella realizzazione di cappe in calcestruzzo) o se la qualità della muratura nella parte sommitale non è in grado di trasferire gli sforzi trasmessi dalla copertura, il meccanismo si manifesta con la disgregazione della parte muraria al di sotto della copertura.



MECCANISMO 6:

Rottura a taglio dei setti trasversali della parete laterale

Nelle pareti laterali con cappelle interne o esterne al perimetro dell'aula, l'azione sismica perpendicolare al piano è assorbita prevalentemente dalle murature delle cappelle disposte secondo questa direzione: ciò si verifica per la grande differenza che c'è fra la rigidità dei setti murari nel piano e fuori piano. Se l'azione è significativa si verifica la rottura di questi setti che possono essere costituiti dalle pareti di una cappella isolata, dalle pareti trasversali di una navata laterale con cappelle continue o dai contrafforti

Foto 20
Serravalle di Chienti (MC) – Chiesa di
Madonna del Piano – 1997

Deformazioni nel piano

Nella porzione di parete laterale destra della chiesa - compresa fra la facciata e l'arco trasversale - si è attivato un meccanismo di rottura a taglio mentre la restante parte è interessata pesantemente anche da altri fenomeni indotti dal crollo di una parte della copertura.



Foto 21
Serravalle di Chienti (MC) – Chiesa di
Madonna del Piano – 1997

Scorrimento fra copertura e pareti

La copertura della chiesa è irrigidita da una cappa in calcestruzzo e da una cordolatura di coronamento di spessore esiguo lungo le murature. In fase sismica fra copertura e pareti si verificano degli scorrimenti a causa della mancanza di connessioni adeguate; gli spostamenti relativi sono però contenuti grazie all'azione svolta dai capocriave esterni delle capriate.



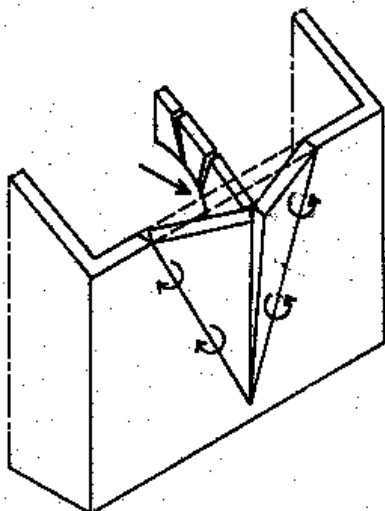
Foto 22
Rivello (PZ) – Chiesa di S. Maria del
Poggio – 1998

*Rottura a taglio dei setti trasversali della
parete laterale*

I setti trasversali alla navata laterale assorbono una parte considerevole delle azioni sismiche ed in particolare di quelle trasmesse dalle volte. Con il sisma del 1998 il meccanismo, già attivato in misura significativa nel 1980, ha subito una ulteriore progressione.



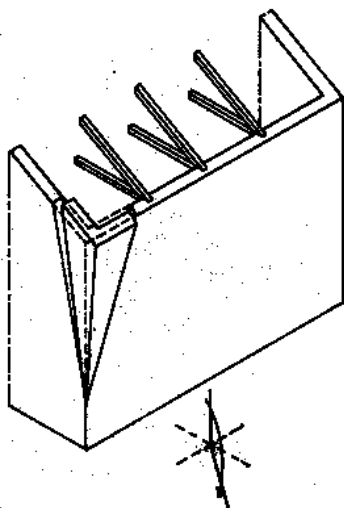
MACROELEMENTO PARETE LATERALE



MECCANISMO 7:

Spinta localizzata di arco trasversale

Gli archi trasversali all'aula esercitano – se non opportunamente incatenati – delle spinte con componente orizzontale anche in condizioni statiche. In fase sismica, la componente orizzontale viene amplificata e, se il piedritto non ha dimensioni adeguate, la spinta generata può gravare in modo localizzato sulla porzione di parete laterale adiacente all'arco. La presenza di un sistema di archi trasversali, fa sì che la spinta non abbia un carattere localizzato ma sia una condizione in grado di innescare uno dei meccanismi di spostamento fuori piano dell'intera parete precedentemente descritti.



MECCANISMO 8:

Espulsione dell'angolata

E' lo stesso meccanismo descritto per la facciata che si può verificare anche all'intersezione con l'arcone trionfale: è localizzato nella fascia di collegamento fra due pareti contigue ed è originato dalla forza esercitata nelle due direzioni ortogonali dall'azione sismica. L'insorgenza del meccanismo è favorita dalla presenza di bordonali in copertura e di volte a crociera che esercitano una forza con componente orizzontale nella direzione diagonale anche in fase statica.

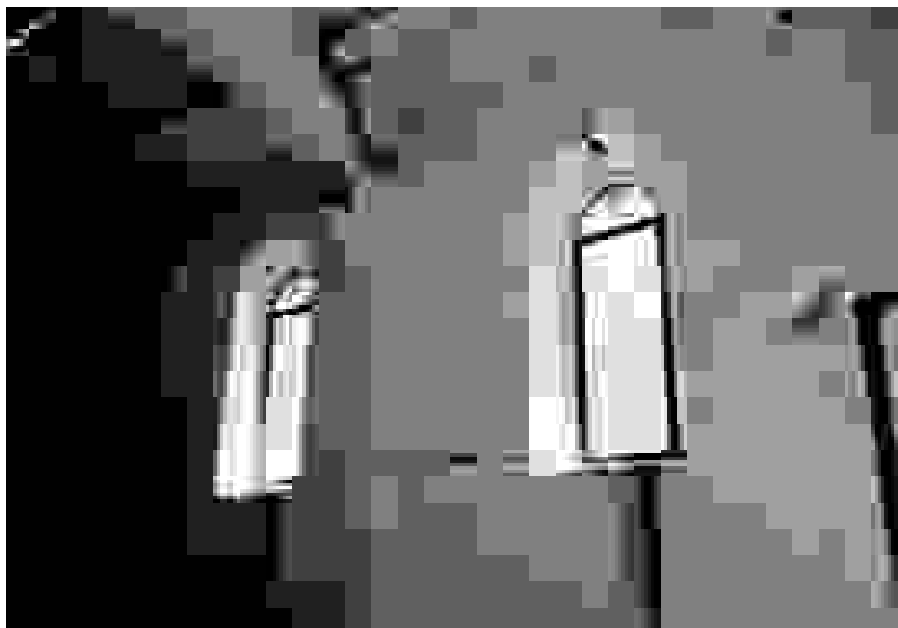


Foto 23
Valtopina (PG) – Chiesa di S. Maria della Presentazione a Poggio – 1997

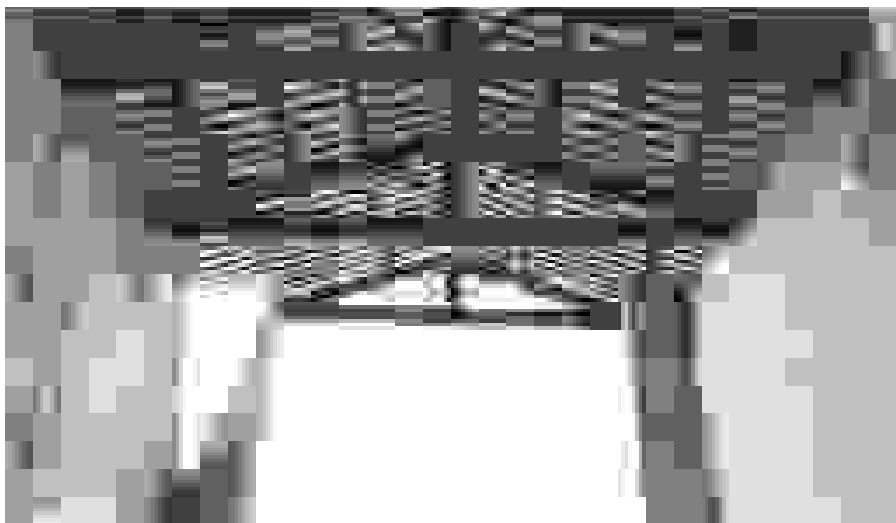
Spinta localizzata di arco trasversale

E' evidente l'effetto della spinta dell'arco non incatenato: il piedritto, assieme alla parete muraria fra le due finestre viene inflesso verso l'esterno nella sezione di minore resistenza. Le caratteristiche geometriche e di distribuzione dei fori sono tali da generare un meccanismo composto per la presenza anche del meccanismo 3 (spostamento di parete vincolata su tre lati) per il quale la spinta dell'arco rappresenta una causa scatenante.

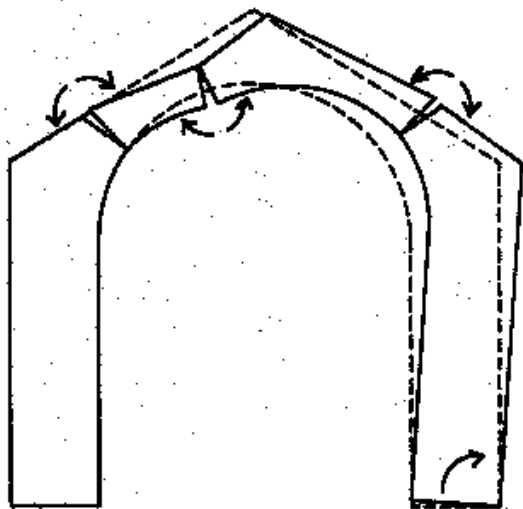
Foto 24
Pievotorina (MC) – Abbazia di S. Michele Arcangelo – 1997

Espulsione dell'angolata

Nell'immagine scattata verso l'abside che è crollata, si osserva la completa attivazione del meccanismo. La spalla, nonostante la snellezza, non crolla completamente grazie alla qualità dell'angolata in pietra che sostiene la capriata.



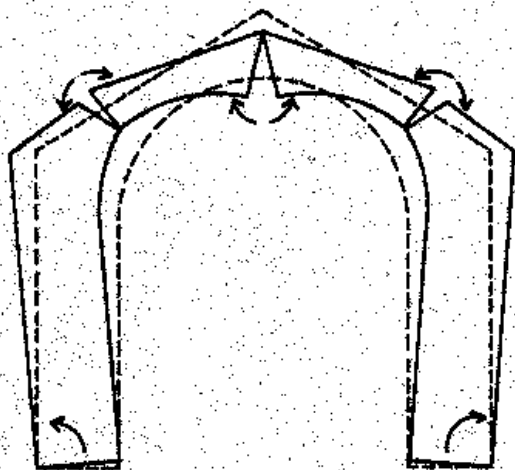
MACROELEMENTO ARCO TRASVERSALE



MECCANISMO 1:

Rotazione monolaterale nel piano di una spalla

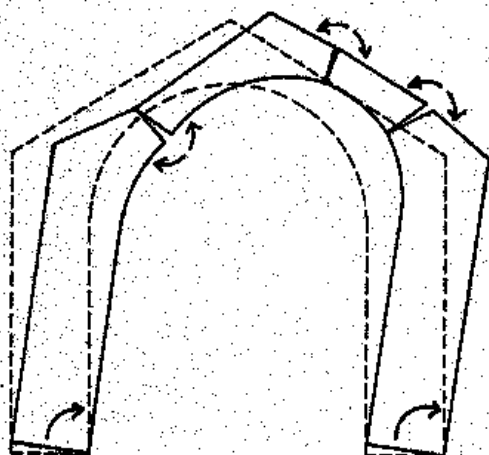
La rototraslazione verso l'esterno di uno dei due piedritti comporta la modifica della geometria dell'arco con la formazione di cerniere in cui si concentrano le rotazioni. Le modalità con cui si manifestano le rotazioni dipendono sia dall'altezza della parte muraria alta sia dal materiale costituente la ghiera che influisce sulla capacità dell'arco di subire delle deformazioni continue – come nel caso degli archi in mattoni – o di avere un'articolazione in blocchi rigidi. Le cerniere tendono a formarsi nei punti di minore sezione resistente dell'arco - quali ad esempio gli intagli nella muratura per il posizionamento dell'orditura della copertura - con la conseguente diversità di comportamento fra le varie tipologie d'arco



MECCANISMO 2:

Rotazione bilaterale simmetrica nel piano delle spalle

Il meccanismo è simmetrico e prevede che entrambi i piedritti subiscano una rotazione verso l'esterno. Questo è un meccanismo di collasso tipico per l'arco anche in condizioni statiche per cui è possibile una sua attivazione anche per effetto dei soli carichi verticali; in fase sismica il macroelemento tende a progredire secondo un cinematiso predefinito.



MECCANISMO 3:

Rotazione concorde nel piano delle spalle

Si può verificare in situazioni nelle quali i piedritti sono snelli e le pareti laterali offrono scarsa resistenza. Il cinematiso che si genera prevede la deformazione della ghiera ma non l'allontanamento significativo delle imposte dell'arco per cui, l'eventuale presenza di una catena non risulta particolarmente efficace nel contrastare l'attivazione del meccanismo.

Foto 25
Valtopina (PG) – Chiesa di S. Maria della
Presentazione a Poggio – 1997

Rotazione monolaterale di una spalla

Lo spessore esiguo dell'arco rende evidenti i punti di cerniera. Sul lato destro si è verificata la rotazione della spalla (v. anche foto 23) mentre il lato sinistro non ha subito rotazioni in quanto parte di un complesso edilizio adiacente.



Foto 26
Foligno (PG) – Chiesa di S. Salvatore –
1997

Rotazione bilaterale delle spalle

Il materiale costituente l'arco consente delle deformazioni continue nella curvatura ma in alcuni punti le rotazioni sono particolarmente evidenti e sono ben visibili le parti in trazione e compressione

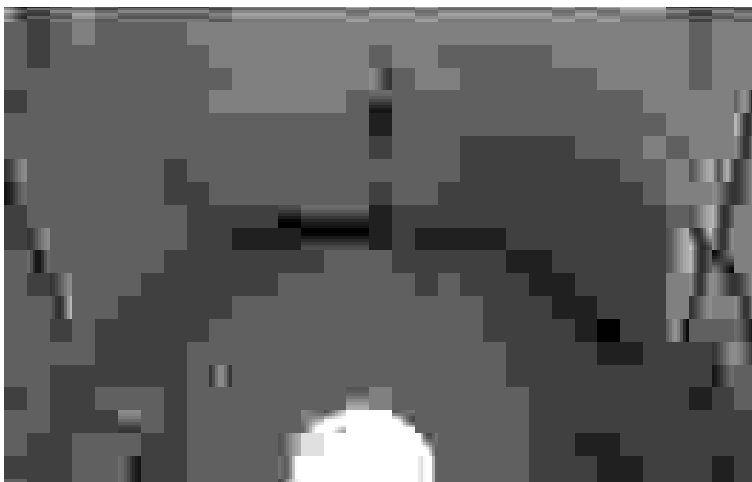
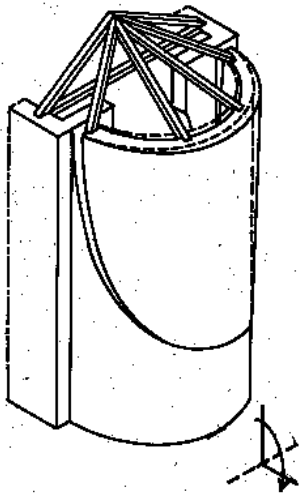


Foto 27
Visso (MC) – Chiesa di S. Michele
Arcangelo di Rasenna (al Cimitero) – 1997

La volta a botte continua lungo tutta l'aula ha comportamenti simili a quelli di un arco: in questo caso la parete laterale di destra, lunga e non ammorsata alle pareti della zona absidale e sulla quale ha gravato la spinta considerevole della volta, è ruotata verso l'esterno provocando il crollo completo della copertura.



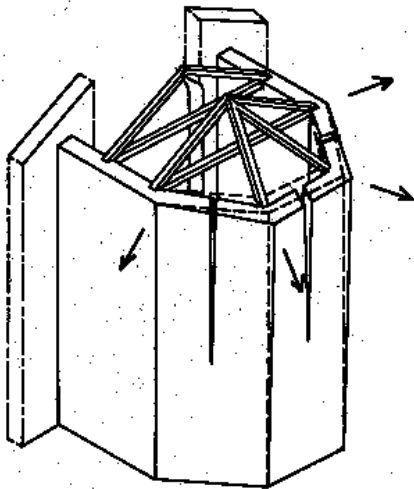
MACROELEMENTO ABSIDE



MECCANISMO 1:

Traslazione o rototraslazione della parte superiore dell'abside con distacco lungo un piano inclinato

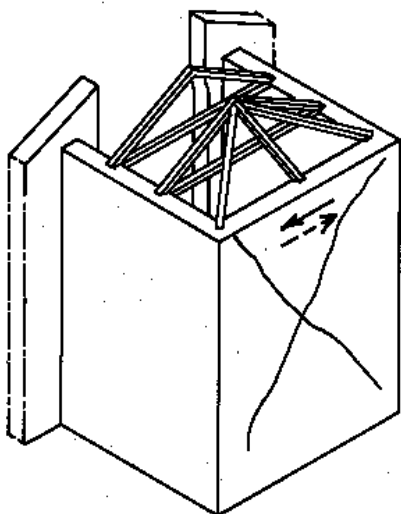
Il meccanismo si sviluppa con il distacco della parte alta dell'abside – generalmente circolare – e la formazione di lesioni inclinate a chiudere verso il basso. Le coperture, nella gran parte dei casi, esercitano delle spinte non compensate sui bordi dell'abside che favoriscono l'attivazione del meccanismo.



MECCANISMO 2:

Rotazione o rototraslazione fuori piano delle angolate o di fasce verticali

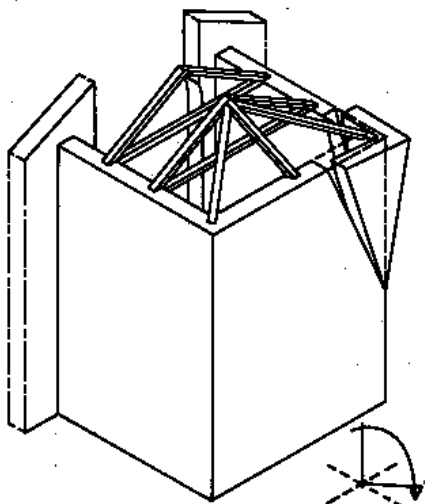
Il meccanismo si osserva prevalentemente nelle absidi circolari o poligonali e l'attivazione è favorita dalle spinte generate dalle travi della copertura, dalla presenza di eventuali volte interne e alla riduzione della sezione dei pannelli murari costituenti l'abside dovuta alla presenza di fori.



MECCANISMO 3:

Meccanismo di rottura per taglio nel piano.

Il meccanismo è prevalente nelle absidi rettangolari e può interessare anche il presbiterio; in alcuni casi, particolarmente di absidi poligonali, si possono osservare delle lesioni inclinate che suggeriscono la comparsa di azioni torsionali nel macroelemento.

**MECCANISMO 4:****Espulsione dell'angolata**

Il meccanismo si manifesta con le stesse modalità descritte per la facciata e la parete laterale anche se per le absidi la tipologia di copertura con le travi diagonali spingenti è più frequente rispetto agli altri macroelementi.

Foto 28
Montecavallo (MC) - Chiesa di S. Maria Assunta - 1997

Rototraslazione della parte superiore con distacco lungo un piano inclinato.

Nella parte alta dell'abside si nota un tratto di lesione verticale al collegamento con il presbiterio, segno di una scadente connessione fra le parti; nella parte sottostante la lesione assume l'andamento tipico lungo un piano inclinato che caratterizza questo meccanismo



Foto 29
Moggio Udinese (UD) - Chiesa di S. Spirito - 1976

Rototraslazione fuori piano delle angolate

I puntoni della copertura hanno esercitato una spinta localizzata alla sommità delle angolate fra i pannelli dell'abside poligonale. I blocchi murari che si formano in seguito alle lesioni, innescate dalle aperture disposte al centro dei pannelli, non hanno elementi di contrasto e tendono a ruotare ulteriormente verso l'esterno.



5.3. VULNERABILITÀ TIPICA E MECCANISMI DI DANNO DEGLI EDIFICI IN AGGREGATO

Gianluca Canofeni

Il comportamento sismico degli edifici in aggregato

Come noto, dal punto di vista sismico, la problematica più grave che affligge le costruzioni in muratura storiche è ravvisabile nella carenza di connessioni efficaci fra le parti costituenti la costruzione. Raramente si riscontra un comportamento d'insieme cosiddetto "scatolare" che permette una efficace distribuzione degli sforzi fra gli elementi strutturali più resistenti. I nodi critici riguardano essenzialmente i collegamenti fra pareti (ortogonali o complanari), fra copertura e parete muraria e fra solaio e parete muraria.

In letteratura si distinguono comunemente due modi fondamentali di collasso di una parete in muratura sottoposta ad azione sismica.

Il *primo modo* prevede il ribaltamento del muro fuori del proprio piano ed è dovuto alla componente dell'azione sismica ortogonale alla parete. Il collasso non dipende dalla resistenza della muratura ma, unicamente, da questioni di equilibrio fortemente influenzate dalle condizioni di ammortatura e dalla presenza di elementi spingenti (coperture, volte). In mancanza di trattenimenti efficaci (catene, cordoli) il muro oppone una scarsa resistenza al ribaltamento che può avvenire anche in presenza di forze relativamente modeste.

Il *secondo modo* di collasso consiste nella rottura della muratura nel proprio piano (rottura "a taglio") dovuta alle azioni parallele al piano della parete. Questo meccanismo, dipendente direttamente dalla resistenza meccanica del muro, seppur frequente è raramente responsabile del collasso completo dell'edificio. La "duttilità" delle murature, infatti, consente alle porzioni murarie danneggiate a taglio di assolvere comunque alla loro funzione portante anche in presenza di estese lesioni prodotte da forze sismiche significative.

Da quanto detto emerge che le modalità di danneggiamento più pericolose, che portano frequentemente al collasso globale dell'edificio, sono dovute a meccanismi di ribaltamento delle pareti fuori piano (primo modo) in assenza di vincoli che contrastino le azioni orizzontali generate dal sisma.

L'osservazione ripetuta dei danni subiti da edifici in muratura in occasione di terremoti del passato conferma con immediata evidenza quanto detto; si notano frequentemente distacchi di pareti, vistose rotazioni verso l'esterno e muri strapiombanti o crollati per perdita di stabilità.

Il problema delle connessioni fra le murature è ancora più evidente nel caso degli *aggregati urbani* che si formano per accrescimenti successivi di edifici. In tal caso, infatti, le modalità stesse di costruzione portano ad avere pareti non collegate semplicemente perchè costruite in epoche successive senza ammortamenti. Si è dunque in presenza di un comportamento meccanico condizionato da fattori tipologico-costruttivi.

A seconda delle modalità di accrescimento nel tempo

dell'aggregato, che tende ad una progressiva saturazione degli spazi liberi, si possono avere cellule *originarie*, di *accrescimento* e di *intasamento*. La cellula originaria è l'unica che presenta tutte le murature perimetrali costruite contemporaneamente e, quindi, generalmente ben collegate. Le costruzioni successive si addossano a quelle esistenti sfruttando il muro in comune già realizzato; la nuova parete è costruita in aderenza, semplicemente accostata, ed in tal modo si creano linee preferenziali di rottura lungo le quali non si ha alcun trattenimento nei confronti delle azioni orizzontali.

Le cellule di accrescimento, in posizione angolare o interclusa, presentano generalmente pareti esterne libere ad una estremità e collegate all'altra.

La situazione limite, in termini di mancanza di ammortamento, si ha nel caso di una cellula di intasamento realizzata andando a colmare lo spazio fra due edifici esistenti e la cui parete esterna si configura, in queste condizioni, come un muro isolato non vincolato alle estremità.

Inoltre è necessario tenere presente l'elevata snellezza che presentano queste pareti, dovuta alla loro altezza in rapporto allo spessore, e la circostanza che spesso sono gravate alla sommità da coperture spingenti.

Tutti questi fattori, uniti alla mancanza di trattenimenti efficaci (i solai raramente sono in grado di svolgere una azione di collegamento significativa), pongono il muro in una condizione di stabilità estremamente precaria nei confronti dell'azione sismica.

Le modalità con cui si manifestano i meccanismi di collasso sono funzione oltre che delle connessioni anche della posizione delle aperture sulle pareti esterne. Gli allineamenti, orizzontali e verticali, delle bucaure costituiscono spesso linee preferenziali per la formazione di cerniere cilindriche attorno alle quali avviene la rotazione delle porzioni murarie in cui si discretizza la parete al verificarsi del sisma.

Allo stesso modo alcuni elementi funzionali, quali ad esempio le canne fumarie o i cavedi per gli impianti, costituiscono punti critici ove frequentemente si localizzano le lesioni da distacco fra porzioni murarie.

Infine, una caratteristica propria degli edifici in aggregato urbano è la continua trasformazione che le strutture subiscono al mutare delle esigenze abitative degli occupanti. Questa circostanza, poco risentita dagli edifici monumentali in quanto soggetti a vincolo conservativo, ha significativa influenza sul comportamento meccanico. Si pensi ad esempio alle variazioni nella trasmissione degli sforzi indotte dall'apertura o chiusura di vani nelle pareti perimetrali ed esterne, oppure agli incrementi di carico dovuti alle superfetazioni od ancora agli effetti del martellamento indotti da corpi addossati.

Abaco dei meccanismi di collasso e schede di dettaglio

L'abaco dei meccanismi di collasso è strutturato secondo una suddivisione principale in *macroelementi*: pare-

te esterna, parete di testata, parete di spina, angolata libera, corpi secondari addossati. All'interno della suddivisione in macroelementi sono stati poi distinti i *meccanismi di collasso* osservati e documentati in casi di danneggiamento reale.

Va immediatamente precisato che la casistica è tutt'altro che esaurita; si sono rappresentati quei meccanismi meglio documentati e di più chiara interpretazione con il proposito di proseguire nell'indagine per individuare altri meccanismi anche introducendo, se necessario, nuovi macroelementi.

Ogni meccanismo è successivamente analizzato attraverso la descrizione, la rappresentazione dello *stato di danno* e dello *schema di meccanismo* e la documentazione fotografica.

Nella descrizione vengono evidenziate genericamente le caratteristiche del meccanismo e gli elementi che lo favoriscono (*vulnerabilità tipiche*). Le osservazioni a commento delle fotografie, invece, descrivono fatti particolari (*vulnerabilità specifiche*) che è possibile notare nell'immagine e che, quindi, si riferiscono a quel particolare caso.

Una osservazione che merita di essere segnalata riguarda le variazioni nelle modalità di innesco e progressione di uno stesso meccanismo al variare di fattori specifici; si menzionano, ad esempio, i casi da 1.1 a 1.5 che pur riferendosi al medesimo meccanismo, il *ribaltamento della parete esterna*, descrivono modalità diverse determinate da particolari condizioni presenti nell'edificio (ammorsature, cordoli, aperture, ecc.).

Le immagini fotografiche utilizzate per la documentazione dei meccanismi descritti nelle schede di dettaglio si riferiscono ai terremoti del Friuli (1976) e Umbria-Marche (1997). La scelta si è basata sul desiderio di verificare come pur in presenza di eventi sostanzialmente diversi, sia per zona sismo-genetica che per severità dell'azione sismica, è possibile riconoscere una tipicità nel danneggiamento degli edifici. Anche le diverse caratteristiche costruttive, variabili da regione a regione, non modificano sostanzialmente i meccanismi nel loro innesco ma, semmai, li connotano con alcune singolarità di comportamento.

Conclusioni

Il possibile riconoscimento di una tipicità nelle forme di danneggiamento per gli edifici in aggregato costituisce un risultato, peraltro già riscontrato nella tipologia chiese (cfr. F.Dogliani, A.Moretti e V.Petrini, *Le Chiese e il terremoto, 1994*), particolarmente interessante in vista della codifica degli interventi di miglioramento sismico.

L'anello di congiunzione fra l'analisi del danneggiamento e la corretta scelta degli interventi è costituito dal *progetto di danno*, ossia dalla capacità di prevedere, a partire dalle caratteristiche costruttive, tipologiche e di conservazione – o più in breve dalle *vulnerabilità tipiche e specifiche* – quali meccanismi di collasso si attiveranno in caso di sisma. Gli interventi necessari saranno quelli atti a contrastare l'innesco di quei meccanismi.

In quest'ottica è possibile ravvisare l'utilità dell'*abaco* che, costruito sulle esperienze dei passati terremoti, fornisce, per analogia con le situazioni in cui è necessario intervenire, informazioni qualitative sul possibile danneggiamento.

Fonti delle illustrazioni fotografiche

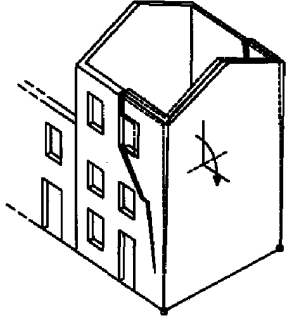
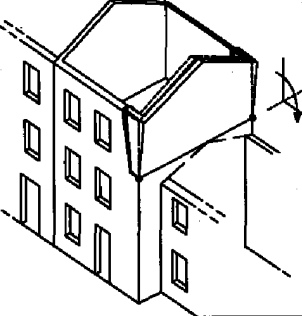
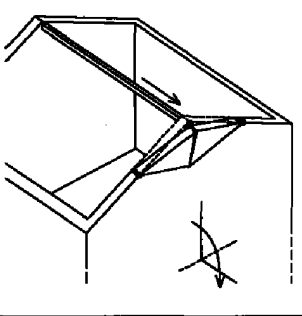
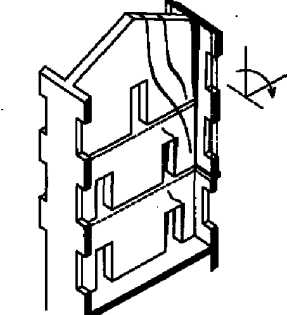
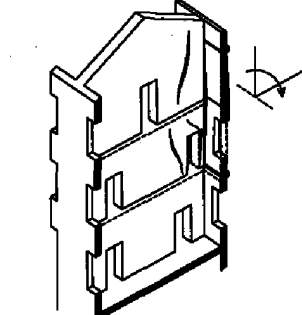
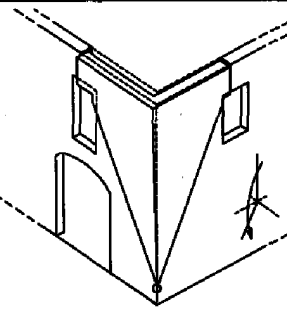
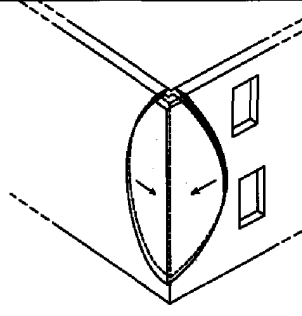
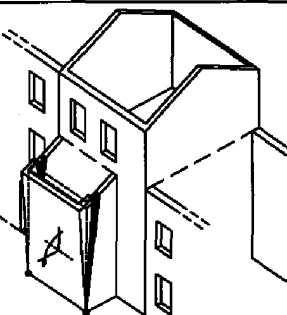
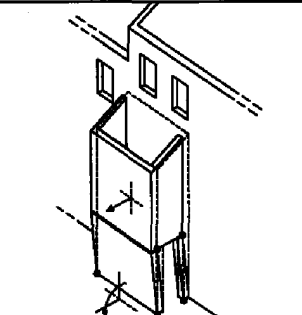
Le foto a corredo sono di Gianluca Canofeni – Archivio Coop. Arx - Venzone (UD) ad eccezione di:

Foto 1,5: L. Briseghella, L. Cappellari, B. Dall'Aglio et al. (1976) – 'Earthquake in Friuli (Italy) – 1976. Damage to historical monuments and other buildings of artistic interest', Bollettino di Geofisica, vol.XIX, n.72, parte 2, dicembre (numero speciale:Atti del Convegno Internazionale sul terremoto del Friuli), pp. 1203-1452.

Foto 3,8,16 (Venzone 1976):Archivio fotografico del Centro Storico di Venzone.

ABACO DEI MECCANISMI

PARETE ESTERNA			
	MECCANISMO: 1.1 Ribaltamento fuori piano verso l'esterno - rotazione per tutta l'estensione	MECCANISMO: 1.2 Ribaltamento fuori piano verso l'esterno - rotazione parziale (zona centrale)	MECCANISMO: 1.3 Ribaltamento fuori piano verso l'esterno - rotazione parziale (zona alta)
	MECCANISMO: 1.4 Ribaltamento fuori piano verso l'esterno con interessamento dell'angolata	MECCANISMO: 1.5 Ribaltamento fuori piano verso l'esterno in presenza di vincolo alla sommità	MECCANISMO: 1.6 Ribaltamento fuori piano dovuto alle spinte localizzate della copertura (martellamento)
	MECCANISMO: 1.7 Deformazione angolare nel piano (lesionamento a taglio)	MECCANISMO: 1.8 Lesioni nel piano per discontinuità altimetrica (martellamento)	

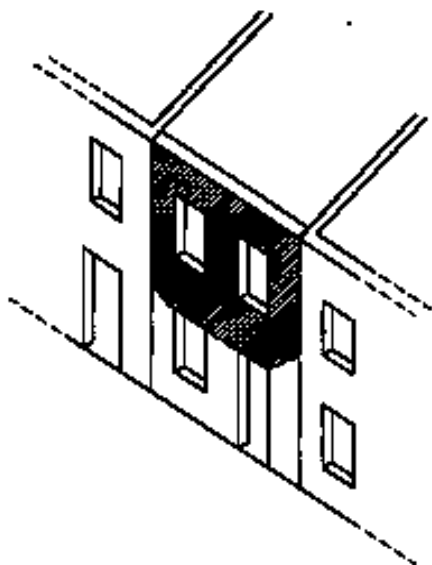
PARETE DI TESTATA			
	MECCANISMO: 2.1 Rotazione globale fuori piano verso l'esterno	MECCANISMO: 2.2 Rotazione parziale fuori piano verso l'esterno	MECCANISMO: 2.3 Sfondamento del timpano
			
PARETE DI SPINA	MECCANISMO: 3.1 Lesioni nel piano della parete		
			
ANGOLATA LIBERA	MECCANISMO: 4.1 Rotazione verso l'esterno	MECCANISMO: 4.2 Espulsione con formazione di "effetto arco"	
			
CORPI SECONDARI ADDOSSATI	MECCANISMO: 5.1 Rotazione fuori piano verso l'esterno della parete di fondo	MECCANISMO: 5.2 Traslazione orizzontale globale	

1. MACROELEMENTO: PARETE ESTERNA

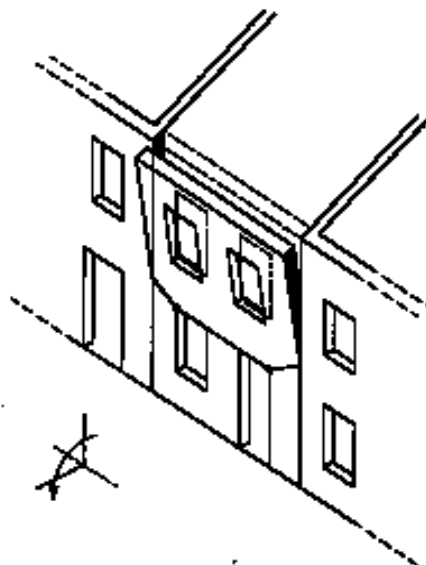
1.1. Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno - rotazione per tutta l'estensione*

Il meccanismo è fortemente condizionato dalle condizioni di ammassamento alle estremità. Se, ad esempio, per ragioni costruttive la parete è stata realizzata successivamente rispetto agli edifici contermini, senza alcun ammassamento, si avrà un ribaltamento globale che interessa tutta l'estensione della parete. Il meccanismo è favorito da una copertura spingente.

STATO DI DANNO



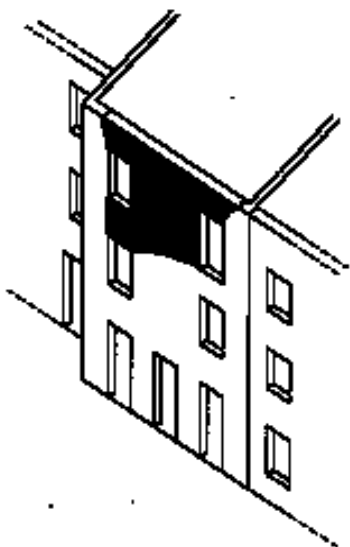
SCHEMA DI MECCANISMO



1.2. Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno - rotazione parziale (zona centrale)*

Il meccanismo è una variante di quello di ribaltamento globale (cfr. 1.1) in presenza di un buon ammassamento alle pareti ortogonali e di aperture vicine alle estremità. Può interessare uno o più piani in relazione alla qualità del collegamento della parete ai solai intermedi. Il meccanismo è favorito da una copertura spingente.

STATO DI DANNO



SCHEMA DI MECCANISMO

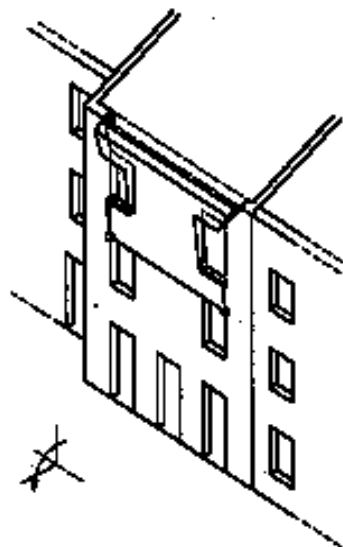


Foto 1: Gemona (UD) – 1976

Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno – rotazione per tutta l'estensione*

Le linee di distacco quasi perfettamente verticali indicano un grado di ammassamento scadente fra la parte crollata e le zone limitrofe. E' anche visibile un muro trasversale di spina che presenta, anch'esso, un distacco netto dalla parete esterna crollata. La rotazione verso l'esterno è avvenuta intorno ad una cerniera cilindrica localizzata in corrispondenza della sommità delle aperture del piano terra.



Foto 2: Fraz. di Serravalle (MC) – 1997

Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno – rotazione per tutta l'estensione*

L'immagine si riferisce ad un edificio di accrescimento che è sorto in aderenza ad uno preesistente. Sulla destra, infatti, si nota una linea di distacco netta lungo la quale si riconoscono i conci angolari della cellula originaria rimasta integra. La muratura più recente, ora crollata, era stata realizzata in semplice aderenza. Le modalità di danneggiamento della parete di spina sulla sinistra dell'immagine indicano un buon grado di ammassamento con la parete esterna crollata e, quindi, una probabile realizzazione unitaria delle due porzioni murarie.



Foto 3: Venzone (UD) – 1976

Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno – rotazione parziale (zona centrale)*

La porzione muraria crollata è localizzata nella zona centrale tra due file di aperture che, in presenza di un buon ammassamento alle pareti ortogonali, hanno costituito linee preferenziali di rottura. Si noti la dimensione esigua dei pannelli murari in corrispondenza dei parapetti che ha sicuramente favorito l'innesco del meccanismo. E', inoltre, ben visibile un puntone, che in seguito al crollo ha perso l'appoggio, la cui spinta ha sicuramente contribuito al danneggiamento.

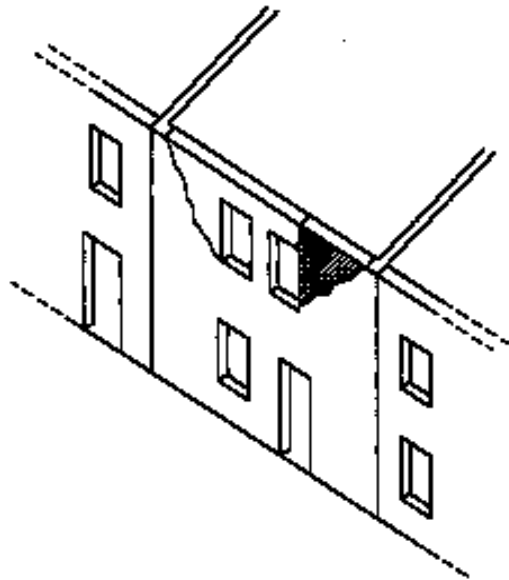


1.3. Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno - rotazione parziale (zona alta)*

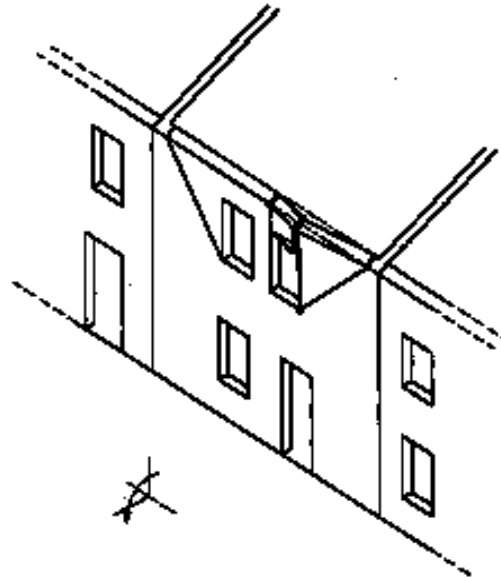
Il meccanismo è una variante di quello di ribaltamento globale (cfr. 1.1) in presenza di un buon ammassamento alle pareti ortogonali e di aperture lontane dalle estremità. L'estensione della porzione muraria soggetta a rotazione è condizionata dalla posizione delle aperture.

Il meccanismo è favorito dalla presenza di una copertura spingente.

STATO DI DANNO



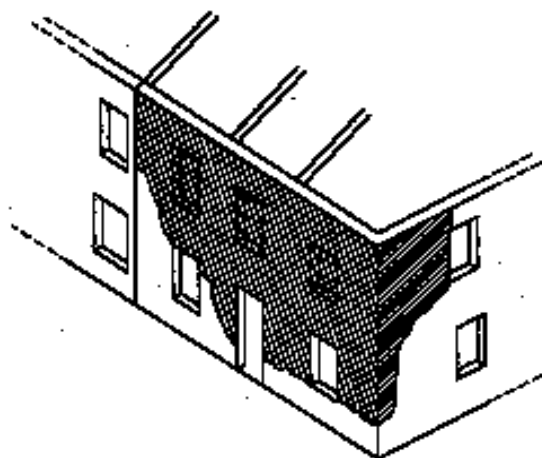
SCHEMA DI MECCANISMO



1.4. Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno con interessamento dell'angolata*

Il meccanismo è una variante di quello di ribaltamento globale (cfr. 1.1) nel caso di edifici di estremità. La presenza di un buon ammassamento tra la parete esterna e la parete di estremità ortogonale fa sì che nella rotazione sia coinvolta l'angolata. Il meccanismo è favorito dall'assenza di collegamento efficace della parete esterna sia ai solai intermedi che alle pareti ortogonali interne e dalla presenza di una copertura spingente.

STATO DI DANNO



SCHEMA DI MECCANISMO

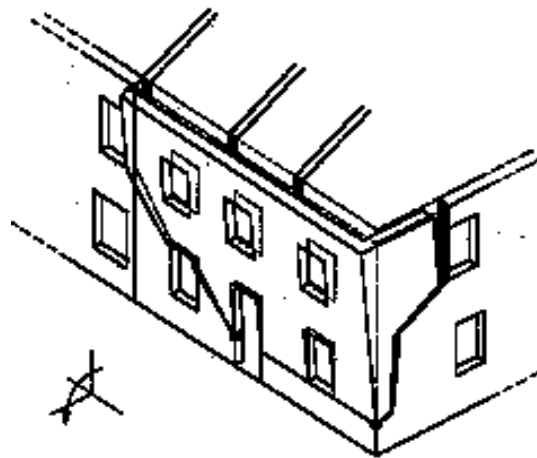




Foto 4: Casale (PG) – 1997

Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno - rotazione parziale (zona alta)*

La presenza del cordolo in calcestruzzo alla sommità della parete ha evitato il crollo della copertura ma non quello della porzione muraria sottostante in quanto non sufficientemente ancorato ad essa. Si noti la simmetria nell'andamento delle lesioni ai lati delle aperture.

Foto 5: Gemona (UD) – 1976

Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno con interessamento dell'angolata*

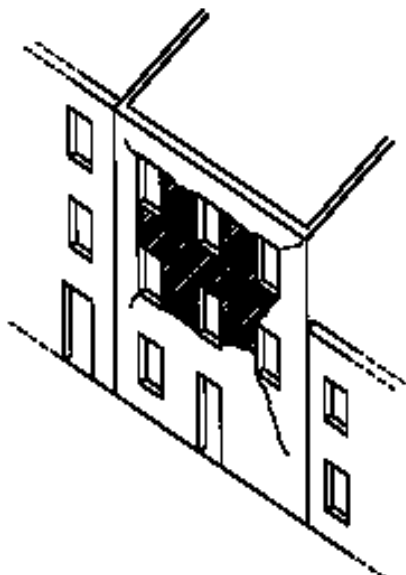
Si notano tutte le circostanze che favoriscono il meccanismo: non vi è alcun ammortamento fra la parete esterna e quelle ortogonali, come testimoniano le linee di distacco nette, nessun collegamento con i solai, che non sono stati interessati dal crollo, mentre sono chiaramente visibili i puntoni della copertura evidentemente spingenti.



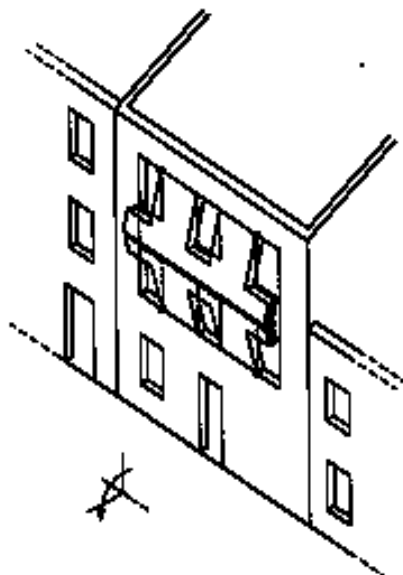
1.5. Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno in presenza di vincolo alla sommità*

Il meccanismo è una variante di quello di ribaltamento globale (cfr. 1.1) in presenza di un trattenimento alla sommità (vincolo) quale, ad esempio, un cordolo di notevoli dimensioni. Il meccanismo è favorito dall'assenza di collegamento efficace della parete ai solai intermedi e dalla qualità scadente della muratura che la rende instabile (muratura a sacco con paramenti non collegati).

STATO DI DANNO



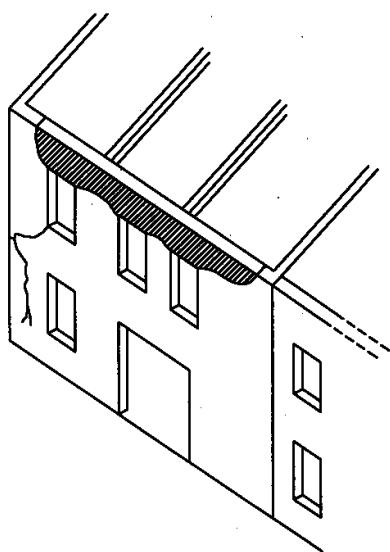
SCHEMA DI MECCANISMO



1.6. Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano dovuto alle spinte localizzate della copertura (martellamento)*

Il meccanismo è dovuto all'azione di spinta fuori piano degli elementi della grossa orditura del tetto (puntoni). Il martellamento ciclico determina il lesionamento o, al limite, il crollo della parte alta della parete che ruota verso l'esterno. In presenza di una fila di aperture vicine alla sommità della parete la cerniera, intorno alla quale avviene la rotazione, si posiziona in corrispondenza del filo superiore delle aperture stesse. Il meccanismo è favorito da una copertura spingente.

STATO DI DANNO



SCHEMA DI MECCANISMO

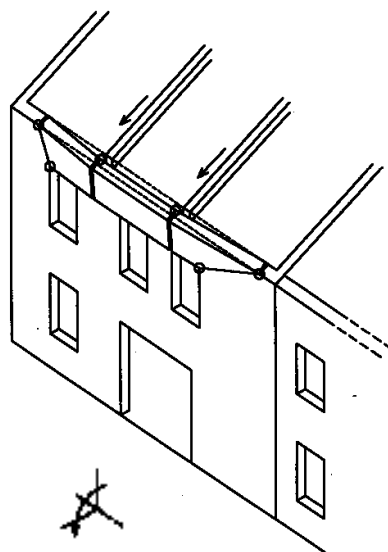


Foto 6: Sellano (PG) – 1997

Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano verso l'esterno in presenza di vincolo alla sommità*

Le modalità di crollo evidenziano la totale mancanza di collegamento fra il solaio intermedio e la parete esterna. Gli architravi in calcestruzzo visibili lungo la linea di rottura superiore indicano che il distacco è avvenuto in corrispondenza dell'allineamento delle aperture.



Foto 7: S.Martino (MC) – 1997

Meccanismo: *Ribaltamento fuori piano dovuto alle spinte localizzate della copertura (martellamento)*

Ad una osservazione attenta della sommità della parete si notano le teste di almeno due puntoni responsabili dell'azione che ha provocato il crollo della porzione muraria.

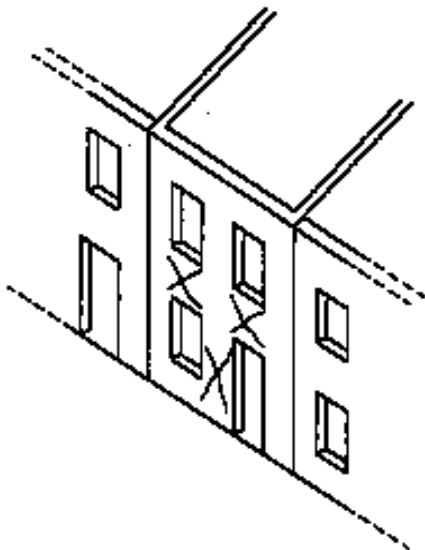
I puntoni appaiono appoggiati sul paramento interno della parete che non è stato investito dal crollo; se ciò fosse avvenuto, questo avrebbe coinvolto anche la copertura.



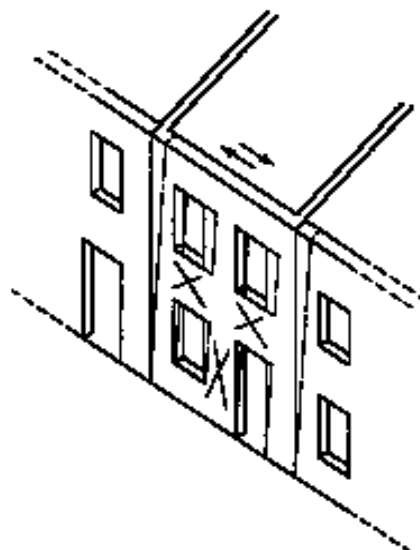
1.7. Meccanismo: *Deformazione angolare nel piano (lesionamento a taglio)*

Il meccanismo è dovuto all'azione nel piano della parete che produce la rottura a taglio. Si manifesta con le caratteristiche lesioni ad andamento obliquo od incrociato. Le lesioni possono interessare i pannelli murari fra le aperture di uno stesso piano o le porzioni murarie fra le aperture di piani differenti. In presenza di una muratura di buona qualità le lesioni appaiono più nette ed individuabili.

STATO DI DANNO



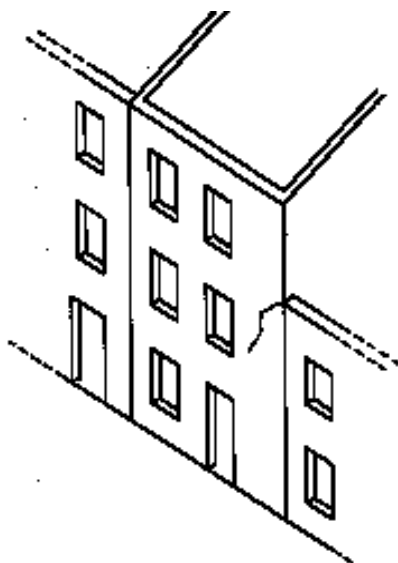
SCHEMA DI MECCANISMO



1.8. Meccanismo: *Lesioni nel piano per discontinuità altimetrica (martellamento)*

Il meccanismo si manifesta in presenza di una discontinuità altimetrica fra pareti sullo stesso piano ma di differente altezza. Nel punto di contatto fra la sommità della parete più bassa e la parete contigua si ha un fenomeno di martellamento che produce lesioni con andamento inclinato (taglio). In presenza di aperture vicine al punto di contatto, la lesione "attraversa" diagonalmente il foro.

STATO DI DANNO



SCHEMA DI MECCANISMO

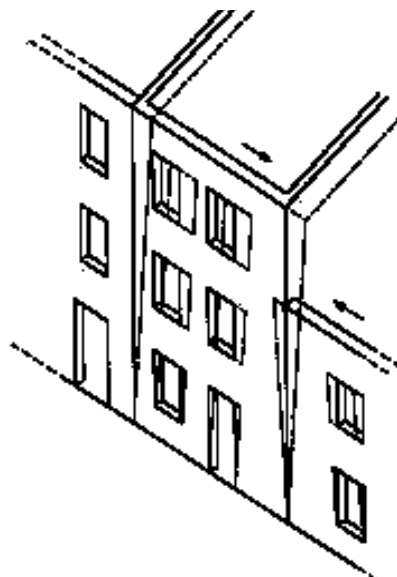




Foto 8: Venzone (UD) – 1976



Foto 9: Costa (MC) - 1997

Meccanismo: *Deformazione angolare nel piano (lesionamento a taglio)*

In entrambe le immagini sono visibili lesioni oblique molto evidenti che nella foto 9 presentano tutte un andamento secondo la medesima inclinazione denunciando un probabile effetto di martellamento dell'edificio contiguo.



Foto 10: Pievetorina (MC) – 1997



Foto 11: Casale (PG) – 1997

Meccanismo: *Lesioni nel piano per discontinuità altimetrica (martellamento)*

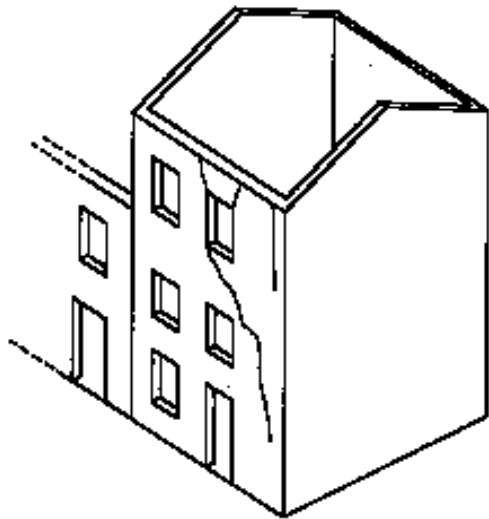
Le immagini riportano fenomeni di martellamento di diversa entità. I fenomeni di *martellamento* sono tanto più pericolosi quanto più sono differenti le rigidezze degli edifici contigui.

2. MACROELEMENTO: PARETE DI TESTATA

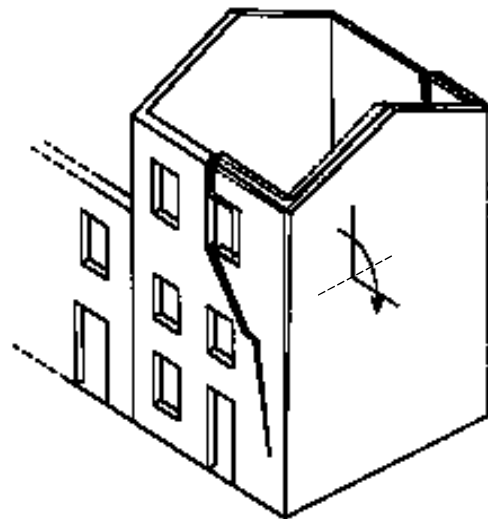
2.1. Meccanismo: *Rotazione globale fuori piano verso l'esterno*

Le modalità di formazione del meccanismo sono legate alle condizioni di ammassamento fra la parete di testata e quelle ortogonali. In presenza di un collegamento scadente la lesione principale di distacco, che compare sulla parete laterale, ha andamento pressochè verticale ed è molto prossima all'angolo. Se, invece, si ha un buon collegamento la lesione è inclinata e coinvolge una cospicua parte della parete laterale. La vicinanza di aperture all'angolata fa sì che l'andamento della lesione di distacco le coinvolga in quanto punti di debolezza intrinseca.

STATO DI DANNO



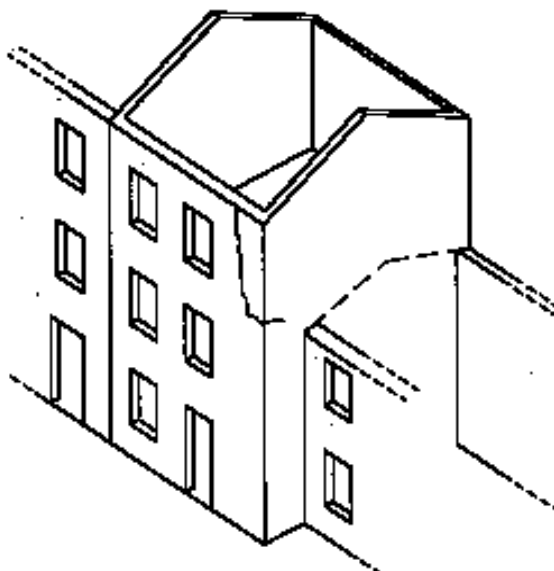
SCHEMA DI MECCANISMO



2.2. Meccanismo: *Rotazione parziale fuori piano verso l'esterno*

Il meccanismo è analogo a quello di rotazione globale (cfr. 2.1) e ne costituisce una variante nel caso in cui vi sia un corpo addossato di altezza inferiore. In tal caso la cerniera cilindrica, attorno alla quale si verifica la rotazione, si posiziona nella parte alta della parete di testata ad una quota immediatamente superiore all'altezza massima del corpo addossato.

STATO DI DANNO



SCHEMA DI MECCANISMO

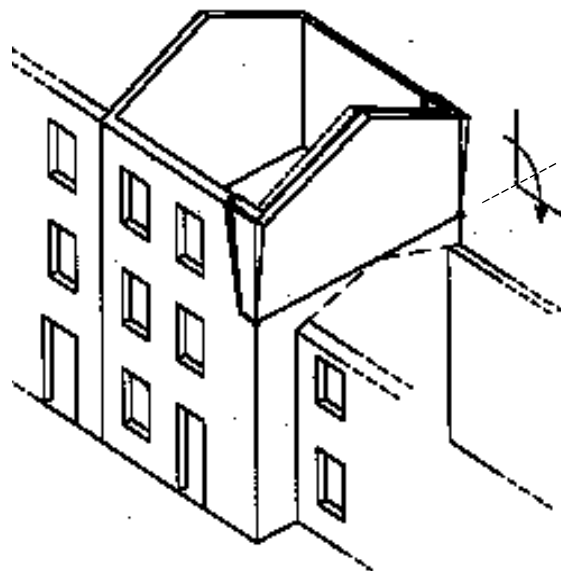


Foto 12: Costa (MC) – 1997

Meccanismo: *Rotazione globale fuori piano verso l'esterno*

L'andamento inclinato dell'ampia lesione dovuta al meccanismo principale di rotazione denota un buon grado di ammorsamento in corrispondenza dell'angolo. La lesione investe la finestra del piano superiore e si ha un fenomeno locale di rottura dell'architrave con conseguente uscita dal piano.

Un meccanismo secondario di rotazione è denunciato dalla lesione verticale prossima allo spigolo.



Foto 13: Dignano (MC) – 1997

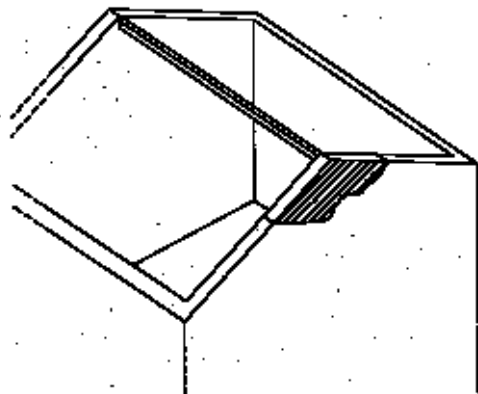
Meccanismo: *Rotazione parziale fuori piano verso l'esterno*

Nell'immagine si nota come la linea di cerniera sia posizionata esattamente alla quota del colmo dell'edificio addossato. La lesione, che denuncia l'innesco del meccanismo, ha un andamento pressoché verticale che indica un grado di ammorsamento piuttosto scadente fra parete laterale e parete di testata.

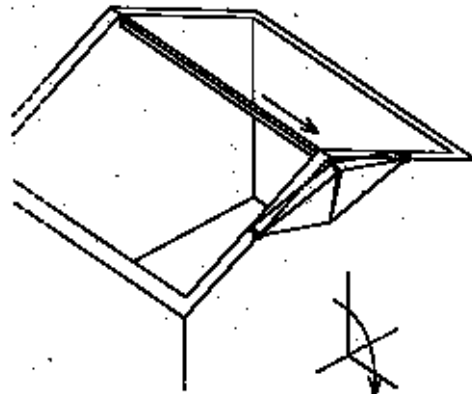
2.3. Meccanismo: *Sfondamento del timpano*

Il meccanismo è provocato dall'azione ciclica di martellamento della trave di colmo che provoca lo sfondamento del timpano con conseguente rottura e rotazione della porzione muraria più elevata. Una condizione che favorisce l'innescarsi del meccanismo è la presenza di una trave di notevoli dimensioni che, in fase sismica, trasmette una elevata spinta alla parete.

STATO DI DANNO



SCHEMA DI MECCANISMO

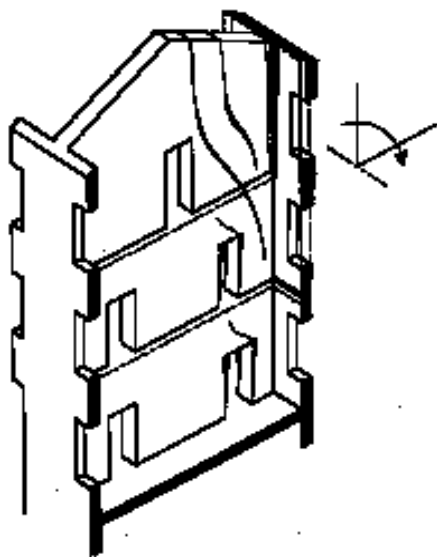


3. MACROELEMENTO: PARETE DI SPINA

3.1. Meccanismo: *Lesioni nel piano della parete*

I meccanismi più frequenti che investono le pareti di spina sono dovuti principalmente a rotazioni delle pareti esterne. Lo schema di meccanismo 1 descrive il caso di rotazione completa della parete esterna mentre lo schema di meccanismo 2 si riferisce al caso di uscita dal piano di una porzione intermedia della parete esterna. In entrambi i casi si ha una deformazione rombica delle aperture presenti sul muro di spina.

SCHEMA DI MECCANISMO 1



SCHEMA DI MECCANISMO 2

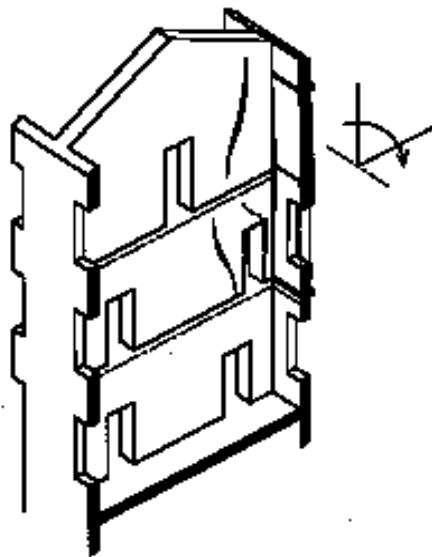




Foto 14: Corgneto (MC) – 1997
Meccanismo: *Sfondamento del timpano*

Nella fotografia si nota chiaramente la testa della trave di colmo responsabile dell'innesco del meccanismo che ha portato al crollo della porzione muraria alla sommità della parete.



Foto 15: Costa (MC) – 1997
Meccanismo: *Lesioni nel piano della parete*



Foto 16: Venzone (UD) – 1976

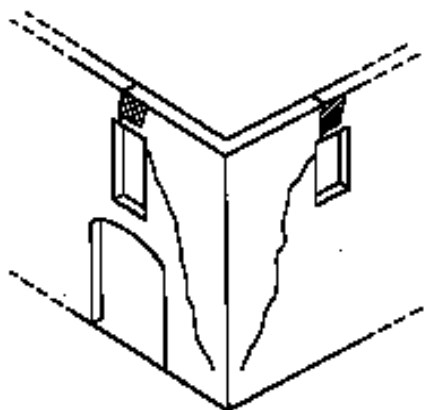
La foto 16 mostra lesioni di notevole entità che percorrono la parete per tutta l'altezza; ciò è dovuto essenzialmente alla mancanza di solai rigidi con cordoli che, se presenti, possono confinare il danno ai singoli piani.
Nel caso della foto 15 è visibile un indebolimento locale costituito dalla canna fumaria.

4. MACROELEMENTO: ANGOLATA LIBERA

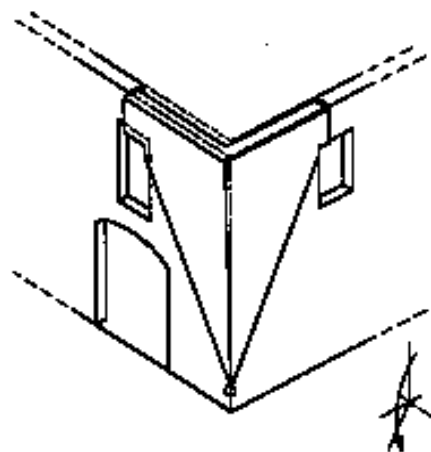
4.1. Meccanismo: *Rotazione verso l'esterno*

Il meccanismo è provocato dall'azione combinata delle forze agenti sui pannelli murari ortogonali formanti l'angolata. Il blocco ruota verso l'esterno con formazione di una cerniera nella parte bassa. Va notato che il macroelemento "angolata libera" può essere considerata come *zona di sovrapposizione* dei macroelementi "parete laterale" e "parete di testata". Il meccanismo è favorito dalla presenza di un puntone spingente che poggia sull'angolata.

STATO DI DANNO



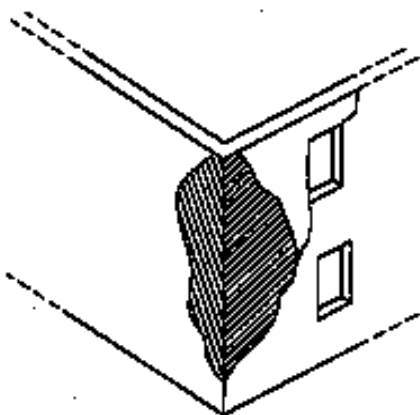
SCHEMA DI MECCANISMO



4.2. Meccanismo: *Espulsione con formazione di "effetto arco"*

Il meccanismo è un'evoluzione della rotazione verso l'esterno (cfr. 4.1) in presenza di un trattenimento (vincolo) alla sommità dell'angolata. Il vincolo può essere costituito da un cordolo o da una catena.

STATO DI DANNO



SCHEMA DI MECCANISMO

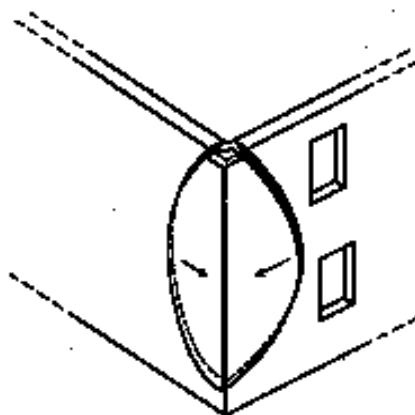


Foto 17: Corignano (MC) – 1997
 Meccanismo: *Rotazione verso l'esterno*

La presenza di una muratura di buona qualità in corrispondenza dell'angolata fa sì che la porzione muraria coinvolta nella rotazione sia di rilevanti dimensioni. La copertura con schema a padiglione presenta, in corrispondenza dello spigolo, un puntone spingente.



Foto 18: Verchiano (PG) – 1997
 Meccanismo: *Espulsione con formazione di "effetto arco"*

Le immagini mostrano differenti livelli di danneggiamento. In entrambi i casi è ben visibile la presenza di un cordolo di sommità in calcestruzzo. Nella foto 19 si nota come la formazione dell'*arco di rottura* interessi l'apertura superiore che rappresenta un punto di debolezza. Lo stesso edificio appare realizzato con una muratura di scarsa resistenza a doppio paramento e con una coesione interna praticamente nulla (il cumulo di macerie risulta formato da singoli elementi lapidei senza la presenza di grandi blocchi)



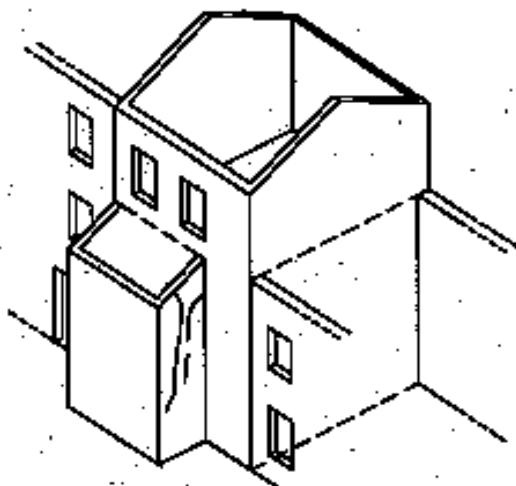
Foto 19: Sellano (PG) – 1997

5. MACROELEMENTO: CORPI SECONDARI ADDOSSATI

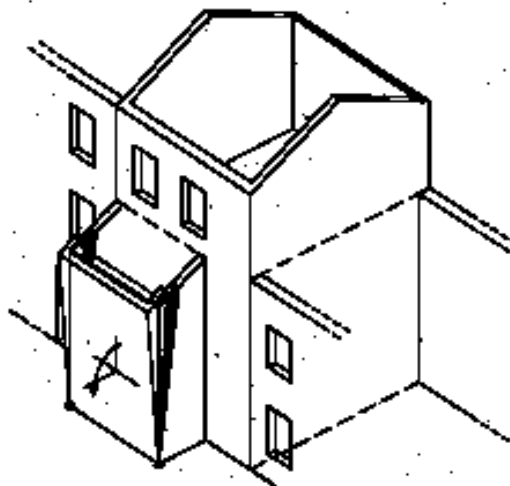
5.1. Meccanismo: *Rotazione fuori piano verso l'esterno della parete di fondo*

Lo sviluppo del meccanismo e la posizione delle lesioni, con andamento verticale o inclinato, dipendono dalle condizioni di collegamento delle pareti del corpo addossato. Al variare del grado di ammassamento fra la parete di fondo e quelle ortogonali varia l'entità della porzione di muratura coinvolta nel meccanismo. La rotazione avviene attorno a una cerniera cilindrica posizionata in corrispondenza dello spigolo esterno inferiore della parete di fondo.

STATO DI DANNO



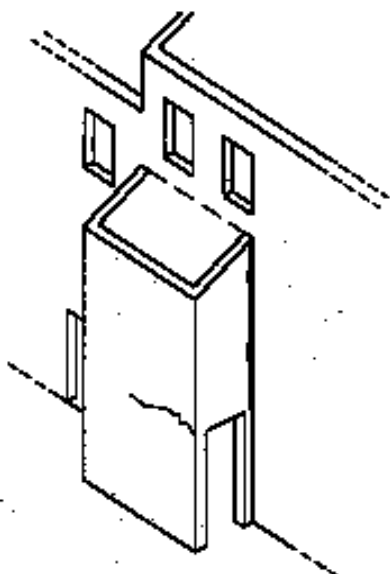
SCHEMA DI MECCANISMO



5.2. Meccanismo: *Traslazione orizzontale globale*

Il meccanismo si può verificare in presenza di corpi addossati che insistono su piedritti o pareti libere di ruotare fuori piano. In questo caso si sviluppa una sorta di "meccanismo di piano" dovuto alla rotazione verso l'esterno dei piedritti o della parete che ha come conseguenza una traslazione orizzontale globale di tutto il corpo addossato verso l'esterno. Il meccanismo è favorito sia dall'azione dell'edificio principale che "martella" il volume del corpo aggiunto sia dall'eventuale cattivo ammassamento fra le murature che causa un netto distacco del volume.

STATO DI DANNO



SCHEMA DI MECCANISMO

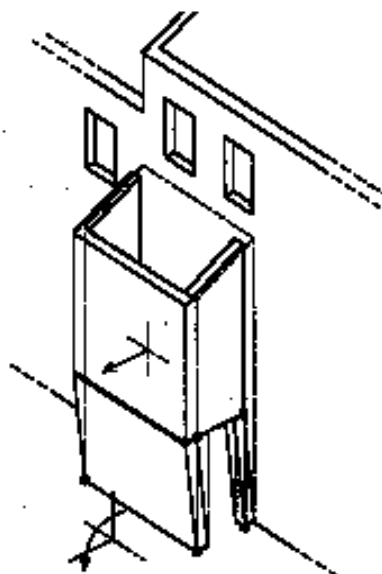


Foto 20: Borgo (MC) – 1997

Meccanismo: *Rotazione fuori piano verso l'esterno della parete di fondo*

L'innesco della rotazione della parete di fondo è denotato dal complesso di lesioni, con andamento verticale ed inclinato, visibili sulla parete laterale. La comparsa di un simile quadro fessurativo e non di una lesione netta indica una qualità muraria piuttosto scadente.



Foto 21: Sellano (PG) – 1997

Meccanismo: *Traslazione orizzontale globale*

Nel caso dell'edificio rappresentato in fotografia si nota come i caratteri decorativi tendono a favorire l'evolversi del meccanismo. Le cornici lapidee, infatti, presenti sia al piano inferiore che a quello superiore non consentono un ammortamento efficace delle murature.

5.4. FORME DI VULNERABILITÀ SPECIFICA

Floriana Marino

Lo studio delle forme di vulnerabilità specifica presenti nella fabbrica implica l'osservazione e la ricerca di quei fattori che rappresentano condizioni di "debolezza" locale che possono influenzare il processo di danno, favorendolo o inibendolo oppure indirizzandolo verso particolari modalità di danno. Al tempo stesso possono rappresentare, nel comportamento globale, fattori che hanno funzione di innesco di determinati meccanismi di collasso. Si tratta di osservare in maniera mirata e puntuale gli aspetti costruttivo-strutturali e la consistenza propria dei macroelementi. Si fa riferimento a caratteri che possiamo dire essere propri, "individuali", di ciascun macroelemento e riguardano i modi in cui l'edificio è stato costruito, le modificazioni e trasformazioni subite nel tempo, il danneggiamento e le opere di riparazione avvenute. Fra questi, il tipo e la qualità muraria la presenza di eterogeneità costruttive che determinano, il più delle volte, discontinuità murarie non efficacemente ammorsate e non sempre leggibili.

Ad esempio, la connessione muro-copertura risulta un nodo strutturale delicato ma di per sé non rappresenta una vulnerabilità. Sono le condizioni specifiche agli appoggi degli elementi lignei di copertura a determinare eventualmente debolezze locali della struttura. Questa, se non adeguatamente vincolata alle murature d'ambito, perdendo la sua funzione di solidarizzazione tra murature opposte, può innescare, in fase sismica, spinte locali con danneggiamento della muratura stessa anche con crolli parziali o diffusi. Oppure, una muratura realizzata a due paramenti non collegati o non efficacemente connessi tra loro, in fase sismica, tende ad un comportamento del tutto indipendente dei due paramenti.

Si propone una suddivisione per gruppi tematici delle forme di vulnerabilità specifiche per una osservazione sistematica ed un percorso critico di lettura del manufatto. All'interno della suddivisione tematica, inoltre, sono state individuate delle categorie che rappresentano le principali condizioni di vulnerabilità con una esemplificazione grafica di riferimento e un corredo di documentazione fotografica. Per ogni categoria riconosciuta si è fatta una descrizione dei caratteri e dei possibili effetti di danno indotto dal sisma.

La casistica è tutt'altro che esaustiva, ma rappresenta il campione più ricorrente e significativo di situazioni che riguardano sia le chiese sia gli edifici, formando così un abaco di riferimento.

Nel primo gruppo tematico si sono osservate le *modalità costruttive iniziali*, in relazione alle condizioni nelle quali il manufatto è stato realizzato. Ci si riferisce ai caratteri e ai modi del costruire ossia alla qualità

dei supporti e leganti e alla loro adesione e/o coesione muraria ma anche ai caratteri geometrico-dimensionali della muratura (sezioni inadeguate per posizionamento dei paramenti, per esiguo spessore, ecc.), ad una configurazione formale strutturalmente inadeguata (vele campanarie, pilastri/colonne particolarmente snelle, ecc.). Si fa riferimento, inoltre, ad angolate non efficacemente connesse alla muratura o che assolvono solo ad una funzione formale, a coperture spingenti o con appoggi non adeguatamente vincolati che rappresentano parti strutturali della fabbrica già sollecitate in fase statica che con le componenti aggiuntive del sisma possono entrare in crisi.

Il secondo gruppo tematico riguarda il ruolo dei *processi di trasformazione edilizie* che la fabbrica ha subito nel tempo, determinano la perdita di omogeneità e continuità costruttiva iniziale. Si fa riferimento ad ampliamenti planimetrici, sopraelevazioni, chiusura e apertura di nuovi fori che possono indurre a particolari situazioni come, ad esempio, angolate o spalle inglobate senza adeguate ammorsature, sottrazioni di elementi costruttivi o soluzioni strutturali rischiose che possono comportare anche la modifica dello schema strutturale della fabbrica. Eterogeneità e discontinuità costruttive, quali riprese murarie non sufficientemente connesse, semplici accostamenti murari, inefficaci ammorsature, generano vulnerabilità specifiche nel comportamento della costruzione al sisma in quanto determinano risposte differenziate in relazione alle diverse caratteristiche dei materiali.

Il terzo gruppo ha preso in esame le *carenze di connessioni strutturali e il ruolo degli elementi di presidio esistenti* nella fabbrica.

Alla connessione strutturale muro-copertura e muro-solaio viene attribuita la funzione di solidarizzazione tra murature che se non efficacemente eseguite generano condizioni di vulnerabilità. Anche la connessione muro-muro può rappresentare un indebolimento nello schema strutturale della fabbrica quando costituisce una forma di discontinuità costruttiva.

I sistemi di collegamento (tiranti, contrafforti) inadeguati o danneggiati già presenti nella fabbrica non assolvendo la loro funzione costituiscono particolari forme di vulnerabilità specifica.

Il quarto gruppo individuato affronta il tema delle forme di *degrado strutturale e debito manutentivo*, in termini di perdita di efficienza strutturale dei vari componenti della fabbrica. Si tratta di forme di degrado proprio dei materiali e degli elementi costitutivi (nella muratura, l'erosione profonda dei giunti o la perdita consistente di materiale dei supporti; negli elementi lignei di copertura, il decadimento fisico con perdita della consistenza) riconducibili alla riduzione della funzionalità meccanica della struttura. Tale tipo di degrado strutturale è, inoltre, legato alle condizioni manutentive della fabbrica; in particolare si fa riferi-

mento all'efficienza del manto di copertura e ai sistemi di raccolta delle acque nonché alla permeabilità all'acqua battente dei paramenti esterni. Il degrado strutturale comporta una riduzione di efficienza e resistenza della struttura, costituendo una specifica forma di vulnerabilità che, in fase sismica, condiziona i meccanismi di danno.

Il quinto gruppo tematico riguarda i *dissesti progressi non efficacemente riparati* sia di natura statica sia sismica. Questi rappresentano fattori di vulnerabilità che la fabbrica conserva nel tempo, se non adeguatamente ripresi e/o riparati, *cicatrici* non sempre visibili che costituiscono comunque traccati privilegiati dove il danno tende a recidivare.

Questa sezione tematica, insieme alla successiva, non viene trattata nel presente studio, ma viene riportata semplicemente nello schema complessivo delle suddivisioni tematiche.

Il sesto e ultimo gruppo richiama il comportamento *degli interventi strutturali recenti* che la fabbrica ha subito.

Si tratta di una lettura critica del comportamento al sisma della fabbrica in relazione agli interventi che sono stati eseguiti nel tempo. Tale conoscenza – da impostare in base a studi specifici – diventa fertile occasione di riflessione per indirizzare le future scelte di interventi di miglioramento sismico.

Viene riportato di seguito lo schema della suddivisione per gruppi tematici che vuole essere un possibile tentativo di formare un abaco di riferimento delle forme di vulnerabilità specifiche presenti nella fabbrica. Sono riportate, inoltre, in maniera semplificata le relative categorie delle principali situazioni riconosciute, con una descrizione sintetica ancorché approssimata che rimanda alla trattazione successiva.

Fonti delle illustrazioni fotografiche

Foto: 1, 4, 6, 9, 11, 16, 17 Alberto Moretti - Archivio Coop. Arx - Venzone (UD)

Foto: 5, 10, 14, 20, 22, 24 Floriana Marino - Archivio Coop. Arx - Venzone (UD)

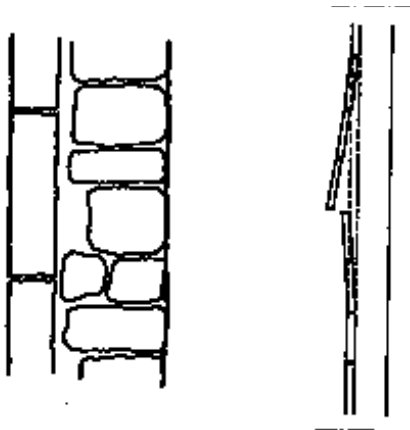
Foto: 2, 3, 7, 8, 18, 21, 23, 25, 26, 27: Pietro Regazzo

Foto: 12, 13, 15, 19, da: Commissario Delegato per i Beni Culturali - Ufficio del Vice Commissario per la Regione Umbria, 1998, 'Danno sismico e vulnerabilità delle chiese dell'Umbria', CD-ROM

**SUDDIVISIONE PER GRUPPI TEMATICI DELLE FORME DI
VULNERABILITA' SPECIFICHE RICONDUCIBILI A:**

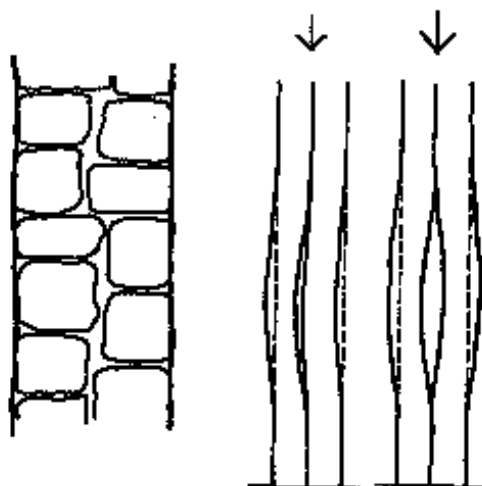
1	Modalità costruttive iniziali	Materiali e tecniche costruttive	- qualità dei supporti e leganti - adesione e/o coesione muraria
		Caratteri geometrici / dimensioni della muratura	- riferiti alla sezione muraria: posizionamento del paramento - riferiti all'elemento architetto-strutturale: snellezza
		Elementi che riducono la sezione muraria	- presenza di carni murarie - interruzione dovuta a condotti impiantistici - gronde / pluviali in sezione muraria
		Elementi strutturali con sezione inadeguata	- snellezza - esiguo spessore - elementi svoltanti
		Particolare distribuzione dei fori	- aperture sfalsate - aperture in prossimità di angolate
		Mancanza di connessione di elementi litici	- ancoraggi inadeguati - mancanza di adesione
2	Processi di trasformazione edilizia	Ampliamento	- non armonizzato - discontinuo
		Sopraelevazione	- eterogeneo per materiale
		Chiusura /apertura di fori	
		Bottrazioni di elementi o parti murarie	- demolizione di setti - aperture grandi fori
		Soluzioni strutturali inadeguate o rischiose	- muri in falco - pilastri su volta
3	Carenze di connessioni strutturali e ruolo degli elementi di presidio esistenti	Connessione muro-muro	- discontinuità in nodo murario
		Connessione muro-copertura	- spinta localizzata non compensata - assenza o scarsa efficacia di collegamenti
		Connessione muro-soffitto	
		Sistemi di collegamento inadeguati o danneggiati	- tiranti mancanti o inefficaci - contrafforti inadeguati
4	Degradamento strutturale e debito manutentivo	Degradamento della muratura	- perdita di legante tra i giunti - decoesione muraria - presenza di acqua - degrado degli elementi litici
		Degradamento degli elementi lignei di copertura	- inaridimento delle teste - degrado strut. murate e/o dell'impalcato - degrado generalizzato - inflessione degli elementi
		Mancata manutenzione della muratura e degli intonaci	- stato del paramento a vista - efficienza degli intonaci
		Mancata manutenzione della copertura	- stato del manico di copertura - gronde e pluviali non efficienti
5	Difetti pregressi non sufficientemente riparati	Statici	- lesionamento - deformazioni / fuori piombo
		Statici	- lesionamento - deformazioni / fuori piombo
6	Interventi strutturali recenti	Eseguiti con tecniche "moderne"	- cordoli in c.a. con sezione inadeguata e/o con distacchi della muratura, ... - iniezioni non distribuite e disomogenee - intonaco armato non adeguatamente connesso alla muratura

1. VULNERABILITÀ SPECIFICHE DOVUTE A: MODALITÀ COSTRUTTIVE INIZIALI



1.1. Muratura a paramento esterno in pietra squadrata (funzione di rivestimento) e quello interno in pietra sbozzata e/o semisbozzata collegati da nucleo murario scarsamente efficace

Muratura realizzata a due paramenti: quello esterno in pietra squadrata a corsi regolari posta con funzione di rivestimento; il paramento interno, invece, realizzato in pietra sbozzata e/o semisbozzata di varia pezzatura a corsi prevalentemente orizzontali di varia altezza. Essendo l'adesione tra le due superfici prevalentemente affidata al nucleo murario, qualora questi si riveli scarsamente coerente, sotto l'azione sismica, si produce uno scorrimento e/o distacco dei conci squadrati con formazione di lesioni anche marcate lungo i giunti. Per effetto della discontinuità nel paramento interno si sviluppa un danno con formazione di lesioni anche non corrispondenti con quelle esterne.



1.2. Muratura con entrambi i paramenti in pietra sbozzata e/o semisbozzata collegati da nucleo murario scarsamente efficace

Muratura realizzata a due paramenti tra loro non collegati o scarsamente connessi. Tali paramenti sono costituiti da pietra sbozzata o semisbozzata con un nucleo murario costituito da materiale incoerente e/o con presenza di vuoti.

In caso di sisma la muratura tende a produrre un comportamento indipendente tra i due paramenti: per azione fuori piano può avvenire lo sgranamento del paramento esterno, anche con crolli parziali, mentre quello interno è generalmente trattenuto dal sistema degli orizzontamenti; per azione nel piano si assiste a fenomeni di instabilizzazione dei paramenti stessi, dovuti ad un effetto di carico di punta, con deformazioni tali da portare al crollo.



1.3. Muratura costituita da pietrame di varia pezzatura per tutto lo spessore con scarsa coesione muraria

Muratura realizzata senza apparecchiatura regolare con impiego di pietrame prevalentemente informe e di varie dimensioni, dove non è riconoscibile un nucleo murario. L'eterogeneità per forma e dimensione dei supporti rende poco efficace la coesione muraria e insufficiente l'ingranamento fra i supporti sia nel piano che in tutta la sezione.

Tende, sotto l'azione del sisma, a discretizzarsi in piccoli blocchi, con formazione di fasci di lesioni diffuse che riducono la muratura in condizioni di equilibrio precario.



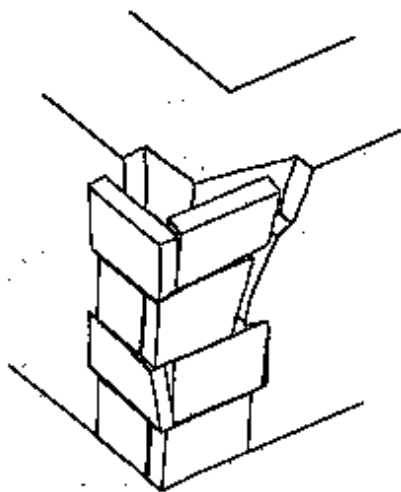
Foto 1
Nocera Umbra (PG) - 1997

L'esempio evidenzia un'apparecchiatura muraria costituita da un paramento di rivestimento scarsamente collegato. Il nucleo murario interno è in muratura di pietrame mentre il paramento esterno è, in questo, caso costituito da mattoni e tavelle. Si verifica il distacco del paramento con estesi crolli di parti.



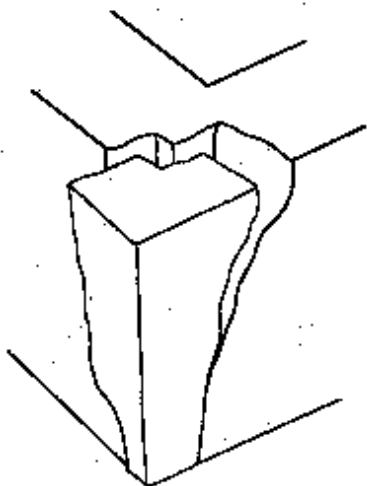
Foto 2
Pievebovigliana (MC) – Chiesa di S. Pietro a Frontillo - 1997

La sezione muraria, resa evidente dal crollo, mostra come nell'apparecchiatura muraria composta da paramenti non collegati o scarsamente connessi questi tendano a separarsi comportandosi in maniera autonoma. La muratura è costituita da pietra sbozzata e semisbozzata e malta di allettamento; i paramenti separandosi possono subire notevoli deformazioni, come in questo caso.



1.4. Angolata in conci di pietra di rivestimento

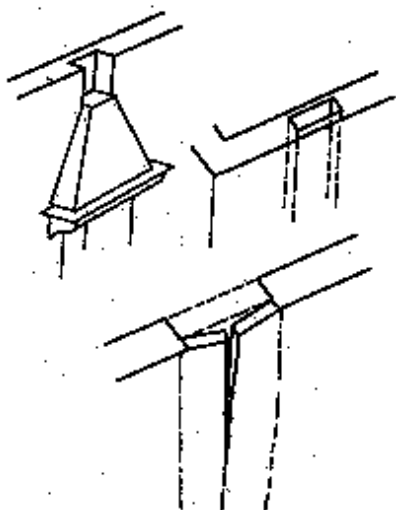
Angolata realizzata in pietra squadrata a corsi regolari posti con funzione di rivestimento e muratura costituita in pietra sbozzata e/o semisbozzata di varia pezzatura a corsi prevalentemente orizzontali. I conci in pietra non svolgono funzione di elementi di collegamento tra muri convergenti ma assolvono solo una funzione formale della configurazione della fabbrica. In fase sismica si produce uno scorrimento e/o separazione dei conci che favorisce l'attivazione di meccanismi per effetto del distacco fra pareti ortogonali.



1.5. Angolata in conci di pietra squadrata e/o semisquadrata non efficacemente connessi alla muratura

Angolata realizzata in conci di pietra squadrata e/o semisquadrata a corsi regolari di modesto spessore e scarsamente connessi alla muratura.

I conci in pietra, non occupando l'intera sezione muraria, costituiscono strutturalmente un indebolimento del nodo murario. Questi, se non efficacemente connessi, anziché svolgere un'azione di collegamento tendono in fase sismica a comportarsi autonomamente dal resto della muratura. Generalmente si verificano distacchi con crolli localizzati che possono innescare meccanismi di dissesto.



1.6. Elementi che riducono la sezione muraria

Si tratta di elementi funzionali e di impiantistica realizzati nel corpo della muratura, ad esempio nicchie, presenza di canne fumarie e pluviali, interruzioni dovute a condotti impiantistici. Riducendo la sezione muraria, questi influenzano la resistenza alle sollecitazioni sismiche, in quanto ne riducono la sezione resistente. Pur non incidendo sulla continuità costruttiva costituisce comunque una "debolezza" nella configurazione strutturale.

Le zone di variazione della sezione muraria, così realizzate, costituiscono tracciato preferenziale per la formazione di lesioni; le parti di muratura a sezione ridotta tendono a distaccarsi fino ad arrivare all'espulsione.



Foto 3
Pievebovigliana (MC) – Chiesa di S. Pietro a Frontillo - 1997

Particolare del distacco dell'angolata per rotazione fuori piano della facciata, il cui andamento è condizionato dalla presenza di una discontinuità da trasformazione. Questa è testimoniata dalla presenza di riempimenti in malta e scaglie di pietra nelle fughe verticali.

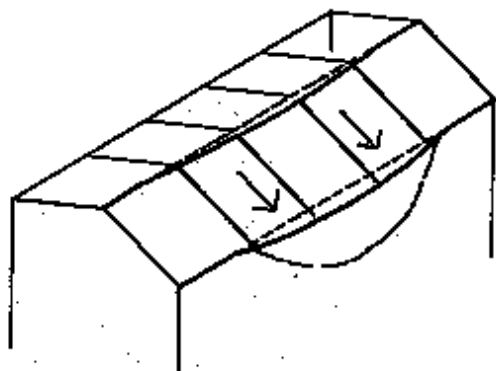


Foto 4
Foligno (PG) – Edificio in località Verchiano – 1997

Foto 5
Serravalle di Chienti (MC) – Chiesa di S. Egidio a Civitella - 1997

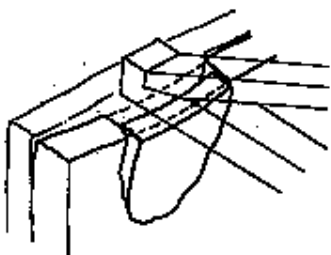
In entrambi i casi si è in presenza di riduzioni di sezioni murarie molto significative che possono fungere da innesco per l'attivazione dei meccanismi. In particolare, nel caso della canna fumaria, l'entità della discontinuità è tale da modificare nettamente le condizioni al contorno dei macroelementi generando di fatto due pareti fra loro indipendenti con un bordo libero. Il mancato accertamento di questa condizione può portare a previsioni di comportamento della struttura in fase sismica decisamente diverse da quelle reali.





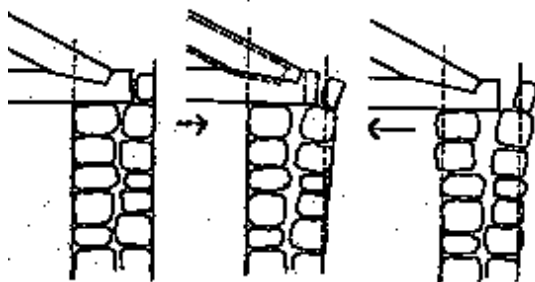
1.7. Copertura spingente

Copertura con orditura principale costituita da elementi lignei (puntoni) poggianti direttamente sulla muratura d'ambito, dove la trave di colmo ha perso stabilità negli appoggi o si è deformata inflettendosi. I puntoni producono un'azione spingente localizzata, con componente orizzontale, anche in fase statica. Con le sollecitazioni aggiuntive dovute al sisma la parete d'ambito è interessata da meccanismi di ribaltamento e la muratura di appoggio a disgregazione e distacchi.

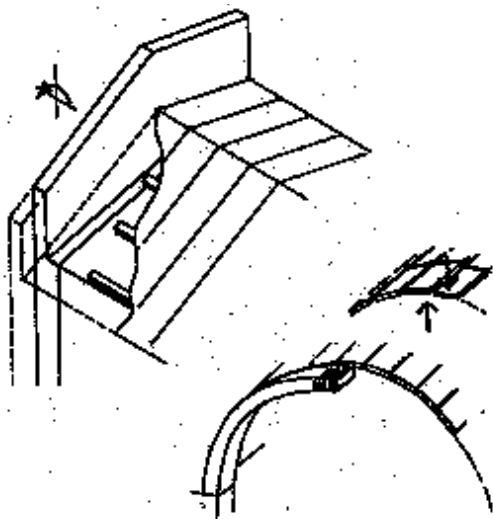


1.8. Copertura a capriate lignee appoggiate su una parte della sezione muraria a doppio paramento

Copertura a capriate con appoggi che non interessano l'intera sezione muraria e non risultano adeguatamente vincolati: le capriate caricano in maniera disomogenea tale muratura, generando tensioni differenziali tra i due paramenti.



Nelle murature esterne si verificano azioni di punzonamento del paramento con espulsioni localizzate. Le porzioni di muratura interna sulle quali appoggiano le capriate vengono sollecitate sia dalle azioni verticali indotte della catena sia da quelle orizzontali trasmesse da quest'ultima per attrito, generando una zona circoscritta di distacco del paramento interno.



1.9. Elementi strutturali con sezione inadeguata

Elementi strutturali con caratteristiche geometrico-dimensionali di snellezza e/o esigua sezione, quali: timpani svettanti, guglie, vele campanarie, pilastri/colonne particolarmente snelli. Si tratta di strutture caricate in modo consistente anche in condizioni statiche o aventi schemi statici sfavorevoli che entrano in crisi per le sollecitazioni aggiuntive dovute a sismi anche di modeste entità.

Appartengono a questa casistica anche gli archi e le volte di spessore esiguo che, a causa delle ridotte possibilità di ingranamento tra i supporti, arrivano al crollo anche per deformazioni di lieve entità indotte dallo spostamento degli appoggi.

Foto 6
Campagnola Emilia (RE) – Chiesa
di S. Giacomo Maggiore a
Corgnento - 1996

Puntone di copertura che si appoggia direttamente sulla muratura generando un carico concentrato senza una adeguata superficie di appoggio. In particolare, durante l'azione sismica, i puntoni possono determinare spinte fuori piano della parete su cui insistono con danni localizzati o con possibili sfilamenti.



Foto 7
Pievebovigliana (MC) – Chiesa di
S. Pietro a Frontillo - 1997

Particolare dell'appoggio della capriata: è evidente lo spostamento relativo fra la trave e la parete laterale.

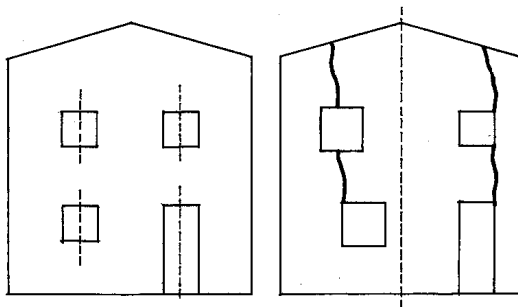
L'appoggio interessa prevalentemente il paramento interno della muratura per cui si genera un danno localizzato nella zona sottostante per effetto della concentrazione del carico e del trascinarsi orizzontale da parte della catena.



Foto 8
Fabriano (AN) – Chiesa della Madonna di Loreto - 1997

Cella campanaria svettante: si osserva il pericoloso fuori piombo verso l'esterno. La configurazione geometrica risulta particolarmente snella e quindi particolarmente vulnerabile alle sollecitazioni orizzontali dovute al sisma.

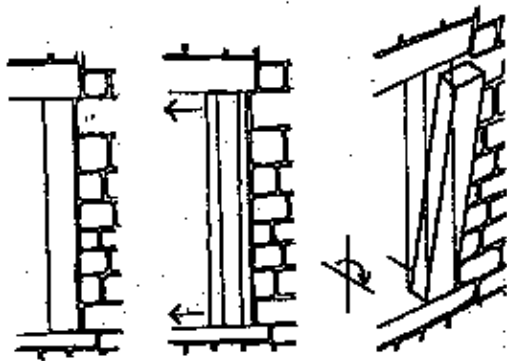




1.10. Particolare distribuzione di fori nel pannello murario

Lo sfalsamento degli allineamenti verticali delle aperture altera il funzionamento meccanico del pannello murario rispetto allo schema a fasce orizzontali e maschi verticali, inducendo a maggiori sollecitazioni le fasce orizzontali. Inoltre, la sovrapposizione di fori sfalsati determina una linea preferenziale per la formazione di distacchi lungo la verticale.

La particolare collocazione delle aperture all'interno del pannello murario, nello specifico, in questa casistica rientrano anche le aperture in prossimità di angolate, determinando il restringimento delle porzioni di muratura condiziona l'attivazione di determinati meccanismi.



1.11. Mancanza di connessione di particolari elementi litici

La collocazione di elementi in pietra sia con funzione di cornice, spalla o bordatura, sia con funzione di elemento decorativo in mancanza di adeguati ancoraggi non è in grado di svolgere azione di contenimento rispetto alla compagine muraria circostante.

In caso di sisma questi elementi inducono danni localizzati in si genera un distacco tra l'interfaccia dell'elemento ed il resto della muratura per traslazione orizzontale, fino ad arrivare alla sua espulsione.

Foto 9
Sellano (PG) – Edificio - 1997

La fabbrica è interessata da una lesione che intercetta le aperture principali, le quali sono localizzate nella fascia centrale non in asse. La distribuzione dei fori fa sì che i pannelli murari, a destra e a sinistra della linea dei fori, abbiano caratteristiche diverse, essendo suscettibili di diverso comportamento sismico: all'aumentare della quota uno aumenta di larghezza mentre l'altro subisce una rastremazione.



In basso, foto 11
Visso (MC) – Chiesa di S. Maria Assunta a Fematre - 1997

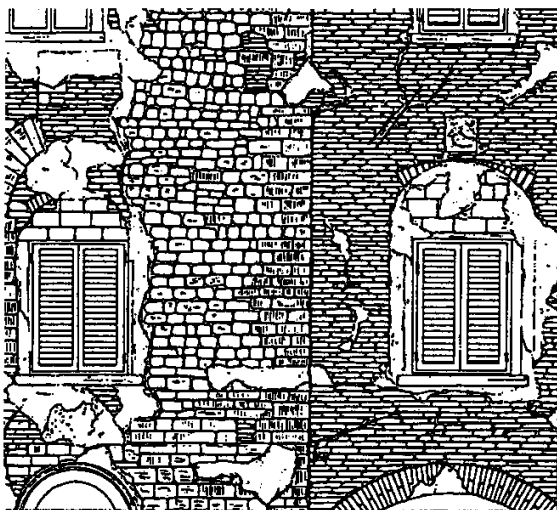
Il mancato ammorsamento della cornice in pietra è causa del distacco con espulsione della stessa dal paramento murario (foto in basso).

Particolare del distacco dell'elemento litico. Nello specifico, la muratura ha spinto il piedritto verso l'interno e la mancanza di elementi di connessione ne ha impedito il ritorno nella posizione originaria. Per spostamenti di maggiore entità o di un maggior numero di cicli sismici è possibile che gli elementi litici escano dalle loro sedi innescando crolli.

In basso, foto 10
Sellano (PG) – Chiesa di S. Maria a Montesanto – 1997



2. VULNERABILITÀ SPECIFICHE DOVUTE A: PROCESSI DI TRASFORMAZIONE EDILIZIA



2.1. Eterogeneità dei materiali e diverse modalità costruttive

I processi di trasformazione edilizia di una fabbrica nel tempo possono coinvolgere una parte o l'intero assetto architettonico, rappresentando forme di vulnerabilità specifiche in quanto inducono la perdita di omogeneità e continuità costruttive iniziali. Le specifiche modalità con cui si manifesta il danno sono da relazionare all'eterogeneità dei materiali e ai diversi modi costruttivi: questi determinano nella fabbrica risposte differenziate legate alle diverse caratteristiche elastiche e di resistenza dei materiali. Tale perdita di qualità costruttiva della muratura è anche dovuta alla difficoltà di realizzare efficaci concatenazioni per tutto lo spessore del muro.

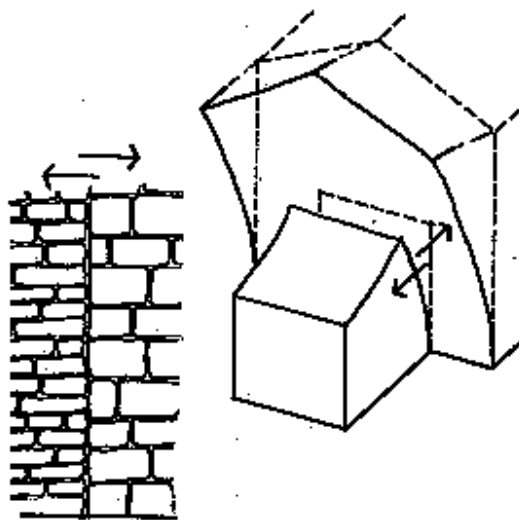
Le discontinuità dovute alla disomogeneità dei materiali costituiscono tracciato privilegiato per la formazione delle lesioni.

2.2. Ampliamento della muratura senza ripresa muraria

Ampliamento con apporto di nuova muratura secondo un piano di addossamento verticale rispetto alla preesistenza. In questo caso l'ampliamento costituisce una parte semplicemente accostata configurando un piano di addossamento pressoché continuo.

L'addossamento per semplice accostamento di nuovi corpi, realizzato in continuità od ortogonalmente al piano murario, privo degli opportuni ammorsamenti, determina in caso di sollecitazioni sismiche uno scorrimento tra le due diverse parti, con separazione delle stesse in prossimità dell'interfaccia di appoggio.

Per effetto sismico può verificarsi, inoltre, un martellamento tra le due diverse murature che provoca la formazione di lesioni e/o crolli localizzati nella muratura accostata.



2.3. Ampliamento della muratura con ripresa muraria

L'ampliamento con ripresa muraria si caratterizza per diverse modalità di connessione tra le parti: le zone di sovrapposizione tra supporti della vecchia e nuova muratura possono essere distribuite in corrispondenza di ogni corso o solo di determinati corsi con diverse estensioni delle zone di sovrapposizione stessa.

Una ripresa muraria non sufficientemente connessa, sotto azione sismica, tende a distaccarsi per traslazione orizzontale superando così la resistenza allo sfilamento tra malta e supporto.

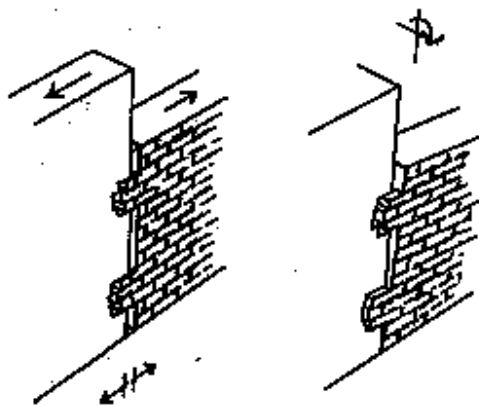


Foto 12
Gubbio (PG) – Chiesa di S. Egidio a Col Palombo - 1997

Le trasformazioni subite nel corso del tempo lasciano nella fabbrica tracce di eterogeneità costruttive dovute sia ai diversi materiali impiegati sia alle diverse tecniche utilizzate nel tempo. Le superfici di interfaccia fra murature con diverse caratteristiche meccaniche rappresentano delle linee preferenziali per la formazione delle lesioni anche in considerazione della difficoltà di realizzare ammorsamenti efficaci fra le parti.



Foto 13
Bevagna (PG) – Chiesa di S. Francesco - 1997

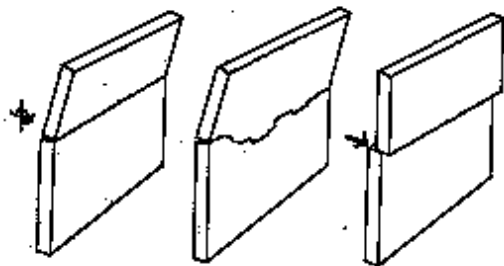
Il danno ripreso nella foto mette in evidenza parti di muratura non coeve. La discontinuità costruttiva è deducibile dal distacco netto tra le parti per l'addossamento di muratura a quella preesistente; l'apporto della nuova muratura è privo degli opportuni ammorsamenti che rappresentano una forma di vulnerabilità in grado di innescare per diversi meccanismi di danno.



Foto 14
Serravalle di Chienti (MC) – Abbazia di S. Salvatore ad Acquapagana - 1997

La discontinuità a profilo dentato evidenzia una ripresa muraria. In fase sismica, possono avvenire traslazioni orizzontali per il superamento della forza di attrito della malta per una poca resistenza a trazione nei punti di discontinuità.

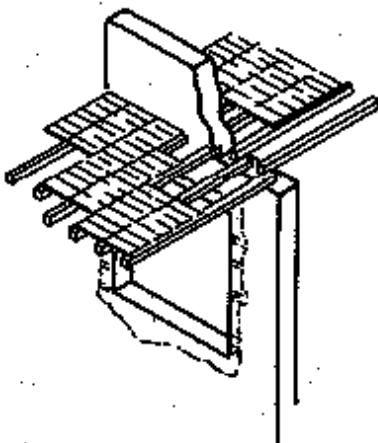




2.4. Sopraelevazione della muratura

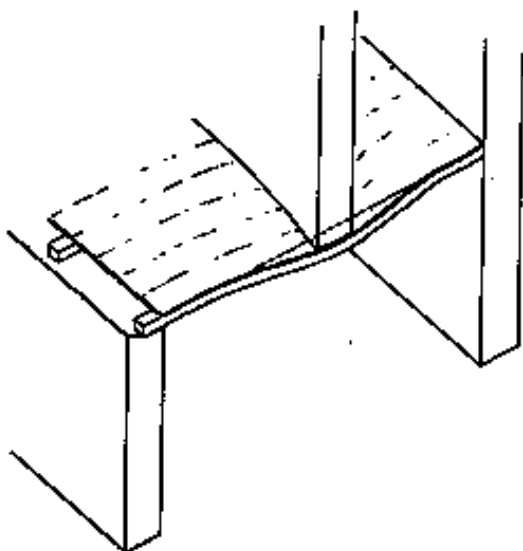
Sopraelevazioni con apporto di nuova muratura secondo un piano di addossamento orizzontale rispetto alla preesistenza. Il piano di addossamento può avere diversi tipi di configurazione con andamento orizzontale continuo o seguendo i giunti tra i corsi.

L'accrescimento comporta un aumento della massa muraria che determina un incremento delle azioni sismiche ai livelli più bassi. La sopraelevazione, non efficacemente ammortata, inoltre, determina una discontinuità strutturale nel pannello murario tra nuova e vecchia muratura costituendo la traccia preferenziale per la formazione di cerniere o superfici di scorrimento.



2.5. Sottrazioni di elementi e/o parti murarie

Le sottrazioni di elementi o parti strutturali che possono comportare la modifica anche sostanziale dello schema strutturale della fabbrica. Queste sottrazioni possono riguardare porzioni limitate, come elementi di collegamento o a contrasto di archi e volte, o più estese come una riduzione planimetrica della struttura. L'operazione di sottrarre alla fabbrica parti strutturali può privare questa di elementi resistenti all'azione sismica. Inoltre, eliminando elementi strutturali è possibile che si modifichi il comportamento dinamico d'insieme in quanto si rende possibile un maggior numero di articolazioni.



2.6. Soluzioni strutturali inadeguate o rischiose

Soluzioni strutturali inadeguate o rischiose che generalmente coinvolgono il sistema degli orizzontamenti con la presenza di carichi concentrati che si configurano come struttura già sollecitata in fase statica. Si tratta, ad esempio, di strutture impegnate a flessione quali solai lignei liberi che sostengono pilastri o setti murari, o del punzonamento di volte da parte di pilastri.

Ulteriormente sollecitate a causa del sisma tali strutture possono giungere a rottura.

Rientrano in questa casistica anche i riempimenti delle strutture a volta che pur svolgendo un'azione di contenimento delle deformazioni costituiscono una massa consistente, posta ad altezza anche considerevole, che sollecita in maniera significativa la struttura sottostante.



Foto 15

Castel Ritardi (PG) – Chiesa della Madonna delle Stellette a Colle del Marchese - 1997

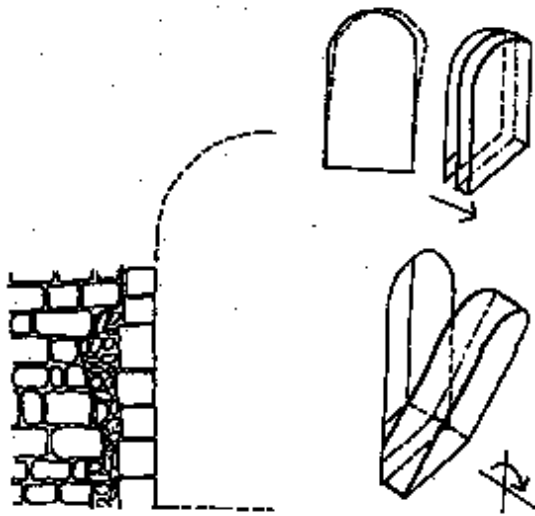
In facciata sono visibili le tracce di molteplici rimaneggiamenti: addossamenti non ammorsati, inserimento di elementi litici nella compagine muraria, utilizzo di soluzioni strutturali inadeguate (conci d'arco utilizzati come pietre per la corsatura orizzontale). L'alto grado di trasformazioni subite riduce l'efficacia degli elementi strutturali in grado di resistere al sisma.



Foto 16

Gubbio (PG) – Chiesa di S. Domenico – 1997

La facciata ha origine dalla tamponatura di un'arcata trasversale avvenuta a seguito di una riduzione della lunghezza dell'aula. La sottrazione della parte di aula anteriore e il conseguente arretramento e ridisegno della facciata ha modificato la configurazione strutturale prevista originariamente. In particolare, la mancanza delle adeguate ammorsature tra le parti e l'assenza di buone angolate riduce sensibilmente la capacità di risposta alle sollecitazioni sismiche.



2.7. Chiusura e apertura di fori nella muratura

Il tamponamento di un foro viene generalmente realizzato accostando la nuova muratura al profilo della vecchia apertura o, più raramente, creando delle morse di collegamento tra le parti murarie.

Deformandosi nel piano, il pannello murario causa lo scorrimento del tamponamento che, privo di ammorsature, tende a comportarsi autonomamente, giungendo anche all'espulsione. Qualora il tamponamento risultasse parzialmente connesso, può verificarsi la formazione di lesioni in prossimità dell'intervento di ammorsamento stesso.

L'apertura di un foro, invece, realizzata mediante lo strappo di porzioni di muratura crea delle discontinuità costruttive tra il pannello murario e gli elementi lapidei (spalle e architravi) che configurano la nuova apertura.



Foto 19
Bevagna (PG) – Chiesa di S. Francesco - 1997
L'apertura di un foro comporta lo strappo di parti di muratura e l'allentamento di quella circostante. Lo stato tensionale all'interno delle murature contigue allo strappo non viene ripristinato con la semplice costruzione della nuova cornice del foro.

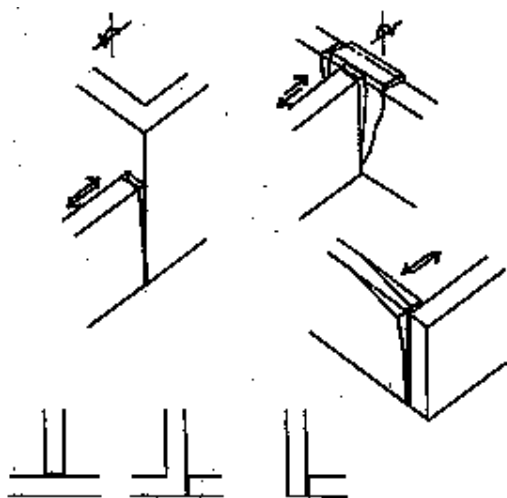


Foto 18
Pievebovigliana (MC) – Edificio in località Campi - 1997
La particolare configurazione delle lesioni evidenziano la presenza di tamponamenti che, in fase sismica, tendono a distaccarsi dal resto della muratura in quanto generalmente non ammassati con la parte preesistente. Il tamponamento realizzato per semplice accostamento della nuova muratura non è in grado di collaborare in maniera efficace con quella originaria, distaccandosene a causa dell'autonomo comportamento.

Foto 17
Serravalle di Chienti (MC) – Chiesa di S. Egidio a Civitella – 1997



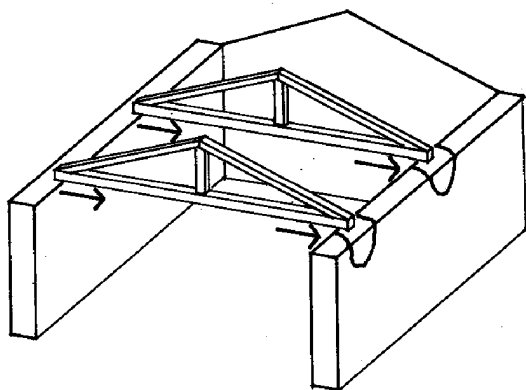
3. VULNERABILITÀ SPECIFICHE DOVUTE A: CARENZA DI CONNESSIONI STRUTTURALI E RUOLO DEGLI ELEMENTI DI PRESIDIO ESISTENTE



3.1. Connessione muro – muro

Le connessioni muro – muro, che si configurano come discontinuità anche se appartengono ai processi di trasformazione edilizia, costituiscono nodi strutturali particolarmente delicati sotto il profilo del comportamento in fase sismica. Si verificano condizioni diverse di aggregazione tra murature.

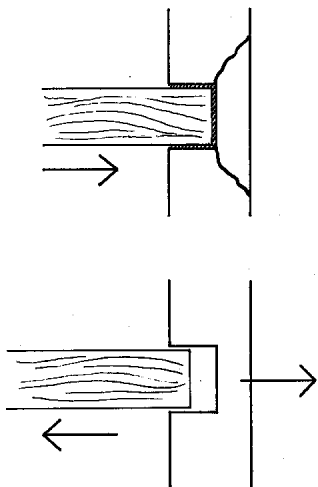
L'eterogeneità costruttiva dovuta all'impiego di materiali e tecniche diverse, nonché l'imperfetto ammorsamento tra le strutture (mancanza di vincolo) producono ripercussioni strutturali di discontinuità nel nodo murario, con scorrimento relativo delle parti, distacco e martellamento.



3.2. Connessione muro - copertura

La connessione che coinvolge tutta la struttura del tetto (orditura principale e secondaria, impalcato) con le murature d'ambito, quando non efficacemente realizzata produce, sotto l'azione sismica, spinte localizzate che tendono ad allontanare le murature tra loro con sfilamento degli appoggi e crolli parziali o più estesi.

La mancanza di murature di controvento e la presenza di pareti snelle e/o prive di solai intermedi (come avviene nelle chiese) determina, una volta persa la funzione di solidarizzazione delle murature opposte, la libera inflessione dei muri.



3.3 . Connessione muro – solaio

Un solaio a struttura lignea appoggiato direttamente alla muratura d'ambito, non efficacemente collegato con questa, non svolge funzione di solidarizzazione tra le murature: le azioni orizzontali del sisma non vengono trasferite e ripartite sulla intera muratura. Viene a mancare un'azione di stabilizzazione verticale determinando spostamenti fuori piano della muratura.

Si determinano azioni di punzonamento delle teste delle travi sulla cortina esterna della muratura con possibilità di crolli localizzati per instabilità o ribaltamento.

Foto 20

Visso (MC) – Chiesa di S. Lorenzo Martire a Riofreddo - 1997

Particolare del nodo murario facciata-parete: dissesto causato dalla spinta non compensata di un puntone di copertura che insiste sull'angolata e favorito dall'assenza di connessione tra le parti murarie. Si rileva la presenza concentrata di diversi cavi delle linee elettriche che possono aver concorso al danno localizzato.

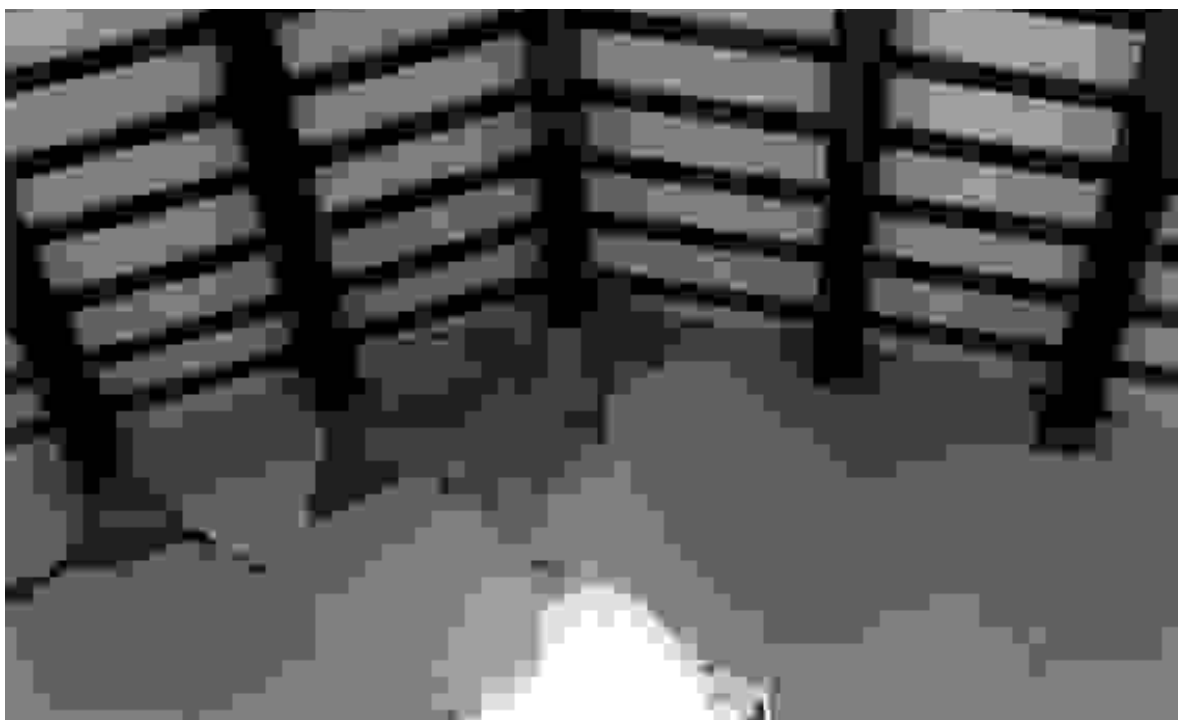
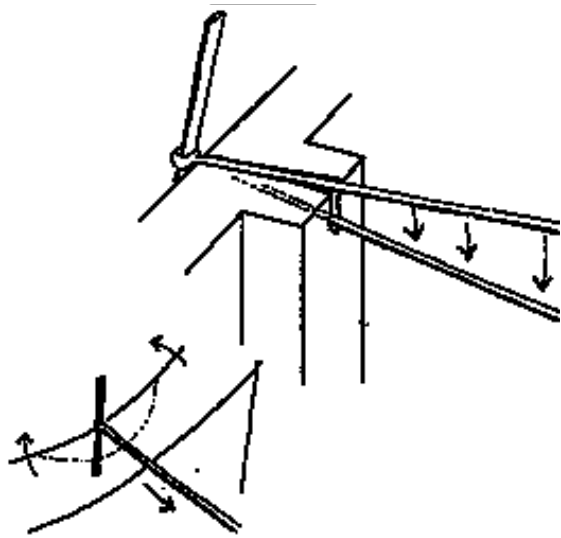


Foto 21

Serravalle di Chienti (MC) – Chiesa di S. Egidio a Civitella - 1997

Il danno prodotto in facciata, lesionamento diffuso nella zona del timpano, crollo localizzato e distacco di intonaco, è dovuto alla spinta della copertura durante l'azione sismica ed è favorito dalla scarsa coesione muraria. L'orditura primaria di copertura non risulta vincolata alla muratura di appoggio.



3.4. Elementi di presidio: tiranti inefficaci o inadeguati

Elementi di presidio presenti nella fabbrica quali i tiranti metallici che risultano inefficaci per mancato tensionamento o inadeguati per fattori specifici (sezione ridotta, capochiave sottostimati per dimensione o forma, ..). Nella configurazione strutturale della fabbrica i tiranti svolgono essenzialmente una doppia funzione: solidarizzare parti all'interno dello stesso macroelemento o di stabilizzare reciprocamente macroelementi diversi.

Quando questi non svolgono più nessuna funzione oppure risultano inefficaci o inadeguati, si determinano condizioni di vulnerabilità specifica in quanto non sono in grado di contrastare adeguatamente l'attivazione dei meccanismi.



3.5. Elementi di presidio: contrafforti inadeguati

Elementi di presidio presenti nella fabbrica quali i contrafforti che risultano inadeguati per dimensionamento e/o forma o mal fondati che vengono meno alla loro funzione e capacità di opporsi a meccanismi fuori piano della muratura di appoggio.

Foto 22
Sellano (PG) – Edificio in località Casale - 1997

Foto 23

Pioraco (MC) – Chiesa di S. Maria delle Lacrime a Seppio - 1997

Si evidenzia il danno localizzato provocato dal tirante fortemente sollecitato con dimensioni del capochiave sottostimate e posto in prossimità dell'angolata. In questo caso, il tirante si è ritratto all'interno della muratura in quanto le ridotte dimensioni del capochiave non hanno garantito la diffusione degli sforzi agendo su una ridotta porzione di muratura di contrasto.



Foto 24

Serravalle di Chienti (MC) – Chiesa di Madonna del Piano - 1997

La parasta addossata alla parete laterale della chiesa non presenta sufficienti elementi di connessione nei confronti dello scorrimento: si determina così, in fase sismica, un distacco con separazione dei due elementi. Questo presidio svolge comunque una debole azione di contenimento del meccanismo di rotazione fuori piano della parete laterale e subisce un dissesto al limite del collasso.



4. VULNERABILITÀ SPECIFICHE DOVUTE A: DEGRADO STRUTTURALE E DEBITO MANUTENTIVO

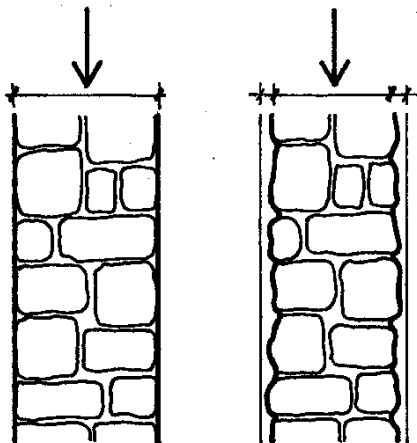
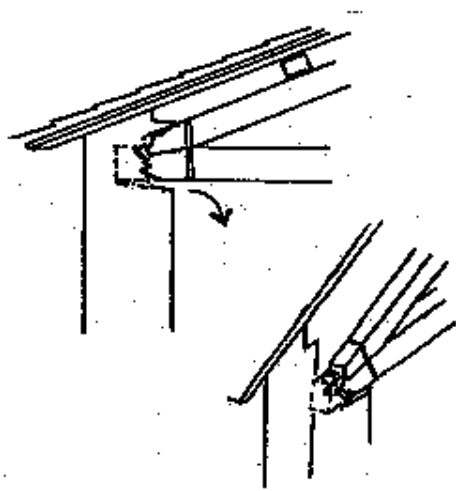


Foto 25
Camerino (MC) – Chiesa di S. Maria delle Carceri - 1997



4.1. Degradamento della muratura con perdita di legante tra i giunti

Degradamento della muratura con perdita consistente di legante tra i giunti che determina un decadimento della efficienza meccanica dell'apparecchiatura muraria.

L'erosione dei giunti – dovuta ad un degrado causato da diversi fattori quali: qualità del legante, agenti atmosferici, presenza di acqua, mancata stilatura – può indurre una condizione di decoesione muraria con perdita di adesione tra malta di allettamento e supporti. Questo tipo di degrado strutturale può contribuire, inoltre, allo scorrimento dei supporti nella muratura condizionando i meccanismi di dissesto.

4.2. Degradamento della muratura con perdita di materiale dei supporti

Degradamento della muratura con perdita consistente di materiale dei supporti (pietra – mattone) che determina una riduzione della resistenza ed efficienza meccanica della struttura.

Si configura sia come degrado proprio dei materiali dovuto al decadimento fisico (presenza di umidità e gelo, dilavamento,..) sia come degrado strutturale della compagine muraria dovuto alla riduzione della rigidità in quanto viene a mancare l'apporto della porzione più esterna della sezione resistente.

4.3. Degradamento degli elementi lignei di copertura per immarcimento delle teste delle capriate

Degradamento degli elementi di copertura dovuto a immarcimento delle teste lignee per la progressiva perdita di efficienza nel nodo strutturale. Legata a condizioni manutentive (efficienza del manto di copertura e dei sistemi di raccolta delle acque), la riduzione dell'efficienza della connessione muro - tetto può portare la struttura a non assolvere più la funzione di solidarizzazione tra murature.

In fase sismica si potrà avere la perdita dell'appoggio della travatura con crolli parziali e/o generali della struttura.

4.4. Degradamento degli elementi lignei di copertura per decadimento fisico

Degradamento generalizzato degli elementi lignei di copertura (orditura principale e secondaria, struttura dell'impalcato) dovuto a decadimento fisico con perdita della consistenza: fattori di naturale invecchiamento, attacco biologico, presenza d'acqua, porta la struttura al limite della resistenza in condizioni statiche ma non a sopportare l'incremento delle sollecitazioni dovute al sisma.

Un'altra forma di degrado che condiziona la struttura del tetto è la deformazione per inflessione della trave di colmo che induce a spinte localizzate sulle murature d'ambito condizionando i meccanismi di danno.



Foto 26
Pievebovigliana (MC) – Chiesa di S. Pietro a Frontillo - 1997
Degrado generalizzato degli elementi lignei di copertura con crollo di una parte consistente di questi. Si evidenziano le modalità di crollo per perdita dell'appoggio dell'orditura principale con distacchi e crolli locali della muratura.



Foto 27
Pieve Torina (MC) – Abbazia di S. Michele Arcangelo a Torricchio - 1997
Degrado diffuso del sistema di copertura che coinvolge sia l'orditura principale sia quella secondaria. In particolare si può osservare l'importanza del danno sismico indotto dal degrado anche nell'orditura secondaria costituita da correntini e pianelle laterizie. Il deterioramento anche della sola orditura secondaria - che causa una riduzione di connessione fra gli elementi costruttivi - può essere causa di crolli estesi di parti con gravi ripercussioni sulle strutture sottostanti.

6. LA “LISTA DI CONTROLLO” DEGLI ESITI DIAGNOSTICI E DEGLI OBIETTIVI DI PROGETTO

6.1. Finalità della “Lista di Controllo”

6.2. Articolazioni della lista di controllo

6.1. Finalità della “Lista di Controllo”

Prima di passare alla progettazione degli interventi, proponiamo una verifica dell'esaustività degli approfondimenti analitici svolti, e una elencazione sintetica degli elementi diagnostici in base ai quali indirizzare il progetto.

La *lista di controllo* non vuole essere nè un ulteriore adempimento formale nè un elenco generico e onnicomprensivo, ma un momento di riflessione sui risultati diagnostici, alla ricerca di eventuali omissioni rilevanti, riesaminando le domande alle quali è necessario o opportuno dare risposta per l'edificio esaminato.

Si propone perciò in primo luogo di porre una serie di *autodomande*, per verificare se la risposta è già stata fornita, se è di qualità o affidabilità adeguata, o se deve essere integrata da supplementi di indagine. Lo scopo è far emergere eventuali zone d'ombra o incongruenze significative, riesaminando singolarmente e nell'insieme dati analitici e interpretazioni diagnostiche.

Compite le verifiche necessarie, la lista di controllo deve fornire un elenco delle condizioni e delle forme di vulnerabilità da contrastare, alle quali dare puntualmente e globalmente risposta nel progetto. Se è evidente che il progetto non può nascere solo dalla risposta ai singoli obiettivi, in quanto deve comunque raggiungere una sua organicità non segmentata, è altrettanto vero che esso deve soddisfare direttamente o indirettamente le esigenze che ai singoli obiettivi sono legate.

Inoltre il progetto deve tenere conto cautelativamente di eventuali risposte non possibili o incomplete, prevenendo per gli aspetti di importanza strategica interventi “a favore di sicurezza”. Ad esempio, alle domande: *sono stati controllati i collegamenti tra le orditure principali e le murature? se sì, qual'è la loro efficienza?*, in caso di risposta negativa, perchè inaccessibili, il progetto, oltre a richiedere che tali controlli siano effettuati in corso d'opera, dovrà includere il miglioramento o la realizzazione di nuovi collegamenti.

Dovranno essere valutati anche i sintomi indiretti utili a valutare le condizioni della connessione, come in questo caso tracce anche limitate di sfilamento agli appoggi.

Alcune domande possono procedere in modo indiretto, come ad esempio: *esistono nell'edificio fenomeni di dissesto che non sono stati ricondotti ad un meccanismo statico o dinamico?* Può verificarsi la presenza, ad esempio, di irregolarità geometriche o deformazioni dovute a dissesti antichi le cui fratture corrispondenti non sono leggibili, in quanto occultate da reintonacature, o di quadri fessurativi leggibili solo per tratti parziali. In questo caso va comunque compiuto un

approfondimento e formulata una diagnosi anche con le cautele opportune.

La “lista di controllo” vuole perciò costituire:

- un riepilogo e una verifica generale circa l'esaustività delle osservazioni e degli approfondimenti analitici compiuti;
- un consuntivo sintetico degli esiti diagnostici;
- il primo momento di selezione e di descrizione degli obiettivi del progetto.

6.2. Articolazioni della lista di controllo

Come è evidente, non è possibile formare una lista standard esaustiva di tutte le domande alle quali è necessario o opportuno dare risposta, in quanto diversi sono gli edifici cui potrà essere applicata ed estremamente vasta la casistica. L'elenco riporta solo alcuni elementi comunque significativi, e va ampliato in rapporto alle situazioni reali.

Vengono individuate le seguenti sezioni:

- *Costituzione propria delle strutture ed efficienza statica*
- *Stato di manutenzione dei sistemi di protezione esterna*
- *Danni e forme di vulnerabilità tipica dei diversi macroelementi*
- *Danni e forme di vulnerabilità specifica dei diversi macroelementi*

6.2.1. Costituzione propria delle strutture ed efficienza statica

Le domande spingono, rispetto alla prima parte della scheda di progetto, a mettere in evidenza alcuni aspetti di particolare rilevanza. Le domande vanno ripetute per ciascun macroelemento o parte costitutiva. Nel caso non sia del tutto nota la costituzione dell'elemento, e siano presenti uno o più d'uno tra i sintomi elencati, la diagnosi va approfondita.

Struttura muraria

1 - E' nota la costituzione della sezione muraria?

1a) - Vi sono elementi o sintomi di possibile distacco o separazione del paramento dal nucleo? (es. paramento in mattoni disposti solo per fascia senza elementi in chiave, paramento in pietra da taglio disposto a lastra o di spessore uniforme, paramento in bozze di piccola dimensione, presenza di spanciamenti discordi tra interno e esterno o di crolli di un solo paramento...)

1b) - Vi sono elementi o sintomi di forte decoesione muraria?

(es. malta di allettamento di modesta resistenza com-

pressiva e/o priva di adesione ai supporti, formazione di lesionamento diffuso a reticolo sulla muratura, formazione di marcati lesionamenti a taglio...)

1c) - Se sono presenti uno o più sintomi di separazione dei paramenti o decoesione, sono stati eseguiti approfondimenti analitici? (es. saggi, endoscopie, prove soniche, ecc.)

1d) - Sono presenti elementi o parti con elevata concentrazione di carichi statici in rapporto alla sezione?

1e) - Sono presenti muri in falso, in tutto o in parte costruiti su solai o su volte?

1f) - Sono documentati e riscontrati interventi di consolidamento murario con tecniche moderne (iniezioni, cordoli, perforazioni armate, risarcitura dei giunti a malte cementizie, lastre affiancate armate, ecc.)?

Fondazioni

2 - E' nota la natura e il tipo delle fondazioni?

2a) - Sono presenti in elevato dissesti murari (cedimenti differenziali, traslazioni verticali, rototraslazioni, ecc.) che segnalano il coinvolgimento del piano di appoggio fondale?

2b) - Se sì, sono stati eseguiti saggi sul terreno di appoggio e/o sulla muratura di fondazione, e con che esito?

3c) - Se la storia costruttiva segnala la presenza di ampliamenti planimetrici, è stata accertata la natura e il tipo di fondazione delle parti costruite in tempi diversi?

3d) - Sono stati eseguiti interventi di consolidamento fondale con tecniche moderne? Se sì, di che tipo (cordolo affiancato o sottofondato, micropali, ecc.) e in che posizione?

Solai

3 - E' nota la natura e il tipo dei solai (in legno biordito, a putrelle con voltine, ecc.)?

3a) - E' stata verificata l'efficienza degli appoggi in particolare sui muri esterni e nelle zone soggette a dilatamento o umidità?

3b) - Vi sono elementi lignei principali con inflessioni prossime o superiori a 1/100 della luce?

3c) - E' stata verificata la presenza di collegamenti antisfilamento tra elementi lignei e muratura? Se presenti, sono affidabili?

3d) - E' stata verificata la natura e il tipo dell'impalcato e delle pavimentazioni sovrapposte, e valutato il contributo in termini di rigidità? (pianelle di cotto, tavolato, ecc.)

3e) - Se sono presenti controsoffitti che non permettono l'osservazione dell'orditura, questi presentano inflessioni, distacchi e lesioni riconducibili all'inflessione o al dissesto dell'orditura?

3f) - Sono presenti solai in cemento o laterocemento di recente costruzione? Si conosce l'armatura e la connessione a muro (presenza di cordolo, code di rondine, ecc.)?

Volte

4 - Se sono presenti volte strutturali, ne è stata accertata la costituzione e l'assetto estradossale?(in foglio, in

mattoni a una testa senza costoloni, con frenelli in muratura, con riempimento incoerente, ecc.)

4a) - Si può escludere la presenza di carichi concentrati punzonanti, dovuti a pilastri, puntelli, appoggi di orditure, muri in falso, ecc., o di carichi permanenti dovuti a riempimenti di grande entità?

4b) - Se vi sono dissesti significativi, sono stati rilevati il quadro fessurativo e la deformata della volta?

4c) - Esistono tiranti a contenimento dei centri di spinta, e se sì, sono completi e affidabili?

4e) - Esistono sulle murature di appoggio dissesti riconducibili alla spinta del tutto o in parte non compensata della volta? (spancamenti e fuori piombo con cerniere orizzontali in quota, ecc.)

4f) - Sono stati eseguiti interventi recenti di consolidamento estradossale, e quali? (risarcitura lesioni, applicazione di rete e betoncino, svuotamento rinfianchi e revisione frenelli, ecc.)

Tetti

5 - Sono state verificate le strutture di copertura?

5a) - E' stata verificata l'efficienza degli appoggi in particolare sui muri esterni e nelle zone soggette a dilatamento o umidità?

5b) - Vi sono elementi lignei principali con inflessioni prossime o superiori a 1/100 della luce?

5c) - Vi sono elementi con assetto inclinato potenzialmente spingente?

5d) - Vi sono elementi che determinano forti concentrazioni di carico (es. appoggi di capriate) senza adeguata ripartizione sulla muratura o su sezioni murarie inadeguate?

5e) - Se sono presenti capriate, ne sono stati controllati gli elementi, i nodi, la verticalità, ecc.?

5e) - E' stata verificata la presenza di collegamenti antisfilamento (es. capochiave metallico con bandella) tra elementi lignei e muratura? Se presenti, sono affidabili?

5f) - E' stata verificata la natura e il tipo dell'impalcato e del manto sovrapposto, e valutato il contributo in termini di rigidità? (pianelle di cotto, tavolato, ecc.)

5g) - Se il tetto è a capriate in parallelo, sono presenti elementi di stabilizzazione contro il ribaltamento laterale?

Scale su volte

6 - Se sono presenti scale su volte o a sbalzo, sono state controllate? In particolare, vi sono lesioni nelle connessioni tra rampe o tra pianerottoli e rampe?

Tiranti

7 - Sono stati individuati e riportati sui grafici gli eventuali tiranti o elementi di contenimento presenti?

7a) - E' stata controllata la corrispondenza tra capochiave esterni visibili e tiranti interni e viceversa?

7b) - Sono stati osservati tiranti rotti o comunque inefficaci o capochiave deformati?

Interventi in C.A.

8 - Sono presenti strutture in c.a. (cordoli, scale, solai, pilastri, architravi...)? Se sì, ne sono state individuate la

posizione, la costituzione, la natura degli ancoraggi?

8a) - Sono presenti forme di dissesto riconducibili alla loro presenza e al loro comportamento sismico? (es. lesioni orizzontali, accentuazione delle lesioni a taglio, ecc.)

6.2.2. Stato di manutenzione dei sistemi di protezione esterna

Questa sezione riguarda in particolare i sistemi di protezione dalle acque e per il loro allontanamento, la cui inefficienza produrrebbe nel medio termine anche conseguenze al sistema strutturale. Si tratta quindi di attivare gli interventi corrispondenti "secondo condizione".

Sistemi di protezione dalle acque

9 - E' stato ispezionato sistematicamente il manto di copertura (manto in coppi o altro, converse in corrispondenza di comignoli o abbaini, compluvi e displuvi, colmi, ecc.)?

9a) - Sono state constatate perdite d'acqua o inefficienze di varia natura?

9b) - Sono stati esaminati gli elementi lignei, ed in particolare le testate, in corrispondenza di punti di perdita?

9c) - Gronde e pluviali sono efficienti o presentano perdite?

9d) - Sono stati controllati i sistemi di raccolta e allontanamento delle acque al suolo? Si può escludere che vi siano perdite d'acqua in prossimità delle fondazioni?

9e) - Vi sono fenomeni di umidità nelle murature? Se sì, qual'è la loro causa?

Paramenti murari

10 - Quale è l'efficienza dei rivestimenti murari o dei paramenti a vista?

10a) - Sono riconoscibili forme di degrado da eccesso di dilavamento (cadute o distacchi di intonaco, perdita di legante tra i giunti, forme di degrado della pietra o del mattone, ecc.)?

11 - E' stata controllata la tenuta all'acqua dei serramenti?

6.2.3. Danni e forme di vulnerabilità tipica dei diversi macroelementi

Nella sezione "Danni e forme di vulnerabilità tipica dei diversi macroelementi" il contributo della memoria esperta deve diventare più incisivo e sistematico. Per ciascuna parte o macroelemento si elencano i meccanismi di danno riscontrati in situazioni che presentano affinità di caratteri e conformazione, e quindi ritenuti possibili nel caso in esame.

La risposta va articolata su diversi livelli di certezza o probabilità.

Il primo livello è costituito dai meccanismi che formano la vulnerabilità emergente o conclamata, ossia dai meccanismi la cui presenza ed attività è manifestata da danni più o meno marcati, già constatati, e che sono interpretabili come effetto dei meccanismi stessi. Per ciascun meccanismo è opportuno indicare contestualmente il livello di danno raggiunto, locale e di insieme.

Il secondo livello o gruppo è costituito dai meccanismi probabili o possibili, ma non ancora palesemente attivati. Non sono presenti nel manufatto le prove che esso sia già soggetto a tali meccanismi, tuttavia la casistica di danno fornita dalla memoria esperta del danno subito da edifici affini lo indica come soggetto in cui l'incidenza di determinati meccanismi è particolarmente marcata.

Vi è infine il terzo gruppo o livello al quale appartengono i meccanismi rari, in genere innescati dalla concomitanza con fattori specifici, e da considerare come improbabili. Inoltre ne fanno parte i meccanismi che, se si è già attivato un meccanismo di danno che nella casistica è individuato come antagonista ad essi e perciò a reciproca esclusione - vedi correlazioni sulla contemporanea presenza-assenza di diversi meccanismi nello stesso macroelemento - possono essere considerati come improbabili.

Questa prima lista riguarda i meccanismi di danno tipici, ossia quelli che interessano i macroelementi nel loro insieme e sono rapportati alla loro configurazione e posizione rispetto all'edificio. Va ricordato che nel primo livello va dato spazio anche al riconoscimento di meccanismi che non figurano nella casistica, quando sono presenti danni che non sono interpretabili all'interno dei meccanismi già noti.

Suddivisione in macroelementi

12 - Quali sono i macroelementi in cui è stata suddivisa la costruzione? (fornire elenco e schema grafico)

Meccanismi attivati

13 - Quali sono i meccanismi di danno già attivati (con danno visibile), per ogni macroelemento, tra quelli elencati nella casistica (vedi cap. 5)? (Elencare per ogni macroelemento i meccanismi attivati, descrivendo il danno relativo e il livello di danno raggiunto)

13 a) - Vi sono incertezze rilevanti nell'interpretazione dei meccanismi attivati?

13 b) - Sono presenti danni di origine sismica riconducibili a meccanismi diversi da quelli elencati nella casistica? (se sì, descrivere danno e interpretare meccanismo)

13 c) - Sono presenti danni di origine sismica non ricondotti a nessun meccanismo? Se sì, quali sono?

13 d) - Vi sono danni sismici e meccanismi fortemente interrelati con danni e dissesti di tipo statico? (se sì, indicare quali)

Meccanismi probabili

14 - Quali sono i meccanismi di danno non attivati (senza danno visibile), per ogni macroelemento, ma probabili in base alla casistica? (Elencare per ogni macroelemento i meccanismi non attivati ma probabili)

6.2.4. Danni e forme di vulnerabilità specifica dei diversi macroelementi

Questa parte della lista censisce e descrive le situazioni e condizioni di danno e di vulnerabilità specifica, in

analogia con la tabella riportata al cap. 5.3- *Suddivisione per gruppi tematici delle forme di vulnerabilità specifiche*, ed è articolata in quattro nuclei.

Il **primo nucleo** è formato dai danni pregressi non riparati e dalle situazioni di vulnerabilità locale cui si è già associato un danno, come, ad esempio, una discontinuità muraria in cui si è insediata una lesione. Per queste, il progetto dovrà prevedere sia interventi di riparazione del danno che di contrasto della vulnerabilità specifica.

Il **secondo nucleo** è costituito dalle discontinuità o vulnerabilità locali cui non si è ancora associato un danno, che è tuttavia probabile in caso di terremoto. Per queste, il progetto dovrà prevedere interventi a contrasto della vulnerabilità specifica.

Il **terzo gruppo** è costituito dalle discontinuità o eterogeneità la cui presenza nella casistica di danno appare ininfluenza rispetto al verificarsi di danni, oppure utile a ridurre il danno di meccanismi comunque presenti. Vedi, ad esempio la discontinuità costruttiva che forma un giunto tra il campanile e la chiesa ad esso accostata e riduce gli effetti di urto reciproco tra i due corpi dovuti all'oscillazione discorde. In questi casi, motivatamente, il progetto non prevede interventi.

Il **quarto gruppo**, alla luce dell'esistenza o meno nell'edificio di interventi di restauro o consolidamento recenti, anche in funzione antisismica, ne esamina il comportamento sismico dell'edificio. Vedi la presenza o meno di un cordolo terminale o ai piani, di solai in latero-cemento, di lastre armate in calcestruzzo sulle pareti, sull'impalcato di copertura o sui solai, di tiranti, di interventi in fondazione o altro. Vanno raccolte e valutate le informazioni circa le effettive modalità esecutive, e ricercata l'eventuale presenza di danni che indichino difetti costruttivi o comportamenti negativi. Dovrà in questi casi essere compiuta una specifica ricerca sulla natura degli interventi compiuti, sia attraverso progetti e documenti di cantiere (libretti delle misure, foto in corso d'opera), sia attraverso specifiche attenzioni poste nell'effettuazione del rilievo.

Danni pregressi

15 - Sono presenti danni pregressi non efficacemente riparati e/o forme di vulnerabilità specifica cui si è già associato un danno? Se sì, quali sono? (Per ogni

macroelemento, in rapporto alla tabella riportata al cap. 5.3 e alla casistica di danno, elencare anche con l'ausilio di grafici semplificati le forme di vulnerabilità specifica che presentano danno).

15a) - Esistono elementi che indirettamente segnalano la presenza di danni antichi, quali contrafforti, raddossi o altro?

Vulnerabilità specifiche senza danno

16 - Sono presenti forme di vulnerabilità specifiche cui non si è associato un danno, che tuttavia è probabile in caso di terremoto? Se sì, quali sono? (Per ogni macroelemento, in rapporto alla tabella riportata al cap. 5.3, elencare anche con l'ausilio di grafici le forme di vulnerabilità constatate che attualmente non presentano danni).

16a) - Se la storia costruttiva indica la presenza di un processo di formazione articolato, con ampliamenti, sopraelevazioni, apertura-chiusura di fori, ecc., sono stati individuati tutti i tracciati di discontinuità conseguenti?

16b) - Possiamo escludere la presenza di grandi discontinuità non segnalate da danno (canne fumarie, gronde o scarichi inseriti in muratura, ecc.)?

Discontinuità da mantenere

17 - Sono presenti forme di discontinuità e vulnerabilità sulle quali è opportuno non intervenire? Se sì, specificare i motivi.

Interventi di consolidamento recenti

18 - Sono stati osservati danni riconducibili al comportamento che l'edificio ha assunto a seguito di interventi recenti? (es. lesioni orizzontali tra cordolo e muratura, distacchi di lastre armate, accentuazione dei comportamenti a taglio, ecc.)

E' opportuno un continuo collegamento con grafici anche schematici per consentire la localizzazione efficace delle diverse forme di carenza e di vulnerabilità. A conclusione della lista di controllo, saranno riepilogati gli elementi di vulnerabilità conclamata tipici e specifici, con il livello di danno già raggiunto, e gli elementi di vulnerabilità e danno probabili e possibili, ma non attivi.

* Questo capitolo è stato redatto con il contributo dell'ing. A. Moretti.

7. LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEGLI INTERVENTI

7.1. Ruolo, finalità generali e livelli di approfondimento del progetto

7.2. La concezione complessiva degli interventi di miglioramento- Esemplificazione

7.3. Contenuti della “Relazione programmatica”

7.4. I grafici di Progetto Definitivo: contenuti e modalità redazionali

7.1. Ruolo, finalità generali e livelli di approfondimento del progetto

Il compito degli elaborati di progetto è di descrivere in modo inequivocabile e di facile comprensione le finalità, la natura, le modalità esecutive e la precisa localizzazione nella fabbrica di ciascuna delle operazioni che formeranno l'intervento.

Il progetto deve costituire un *sistema informativo ed esplicativo*, che, per raggiungere questo fine, utilizza integrandoli tra loro diversi mezzi espressivi: grafici a diversa scala, elaborazioni su base fotografica, descrizioni e testi scritti.

Il medesimo complesso di elaborati deve poter servire a più scopi, e ciò ne influenza la configurazione e la redazione:

- per consentire l'*esame e l'approvazione* da parte del committente e degli enti preposti, deve fornire una chiara ed esaustiva spiegazione degli interventi progettati e delle loro finalità rispetto alle effettive necessità dell'edificio, opportunamente indagate, e ai costi; deve inoltre permettere di valutare l'impatto che gli interventi produrranno sull'opera;

- per formare l'*oggetto del contratto di appalto* con l'impresa, deve essere il più possibile preciso circa i modi esecutivi e le quantità e qualità di tutti gli interventi che lo formano, riassunti in una computazione economica esaustiva e verificabile. Attraverso una indagine accurata vanno perciò sistematicamente ridotti i margini di imprevisto, ad evitare per quanto possibile il contenzioso e il ricorso a perizie di variante in corso d'opera;

- per poter fungere da *guida operativa agli esecutori in cantiere*, deve essere di facile consultazione a diretto contatto con l'opera ed avere un adeguato contenuto di istruzioni tecnico-operative circa le cautele, le modalità, la sequenza opportuna degli interventi;

- deve formare la base per la *documentazione futura* degli interventi effettivamente realizzati, necessaria per

verificare il comportamento nel tempo, per svolgere l'opera di manutenzione e per l'eventuale integrazione dei presidi.

Compito della progettazione è perciò anche quello di modulare la forma redazionale in modo da renderla adatta a soddisfare i requisiti richiesti nel caso esaminato.

Come è noto, la legge 11 febbraio 1994, n. 109, successivamente modificata e integrata, all'art. 16 ha innovato la definizione delle attività di progettazione, articolandola in tre livelli: *preliminare, definitivo, esecutivo* (1).

Inoltre la legge 30 marzo 1998, n. 61, relativa agli interventi urgenti a favore delle zone terremotate, all'art. 14, “Norme di accelerazione e controllo degli interventi”, afferma che la progettazione è articolata nei soli progetti definitivo ed esecutivo, escludendo perciò il preliminare, oppure, “qualora la dimensione e la tipologia dei lavori lo consenta”, giungendo direttamente al progetto esecutivo.

Questo comporta che i contenuti del progetto preliminare vengono direttamente espressi dal progetto definitivo, oppure che l'esecutivo assomma i contenuti del preliminare e del definitivo.

Le “Direttive tecniche per la progettazione e la realizzazione degli interventi di ripristino, recupero e restauro, con miglioramento sismico, del patrimonio culturale danneggiato dalla crisi sismica” (allegato A alla DGR n. 78 del 18 gennaio 1999), forniscono ulteriori precisazioni sui contenuti richiesti al progetto.

Nell'allegato A 1, collegato alle stesse Direttive, “Istruzioni generali per la redazione dei progetti di restauro dei beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica”, oltre a indicare i settori di indagine necessari ad impostare il progetto, sono definite in modo conciso le operazioni tecniche di intervento, arti-

(1) Art. 16, legge 109/94:

“1 - La progettazione si articola, nel rispetto dei vincoli esistenti, preventivamente accertati, e dei limiti di spesa prestabiliti, secondo tre livelli di successivi approfondimenti tecnici, in preliminare, definitiva ed esecutiva, in modo da assicurare:

a) la qualità dell'opera e la rispondenza alle finalità relative;

b) la conformità alle norme ambientali ed urbanistiche;

c) il soddisfacimento dei requisiti essenziali, definiti dal quadro normativo nazionale e comunitario.

(...)

3 - Il progetto preliminare definisce le caratteristiche qualitative e funzionali dei lavori, il quadro delle esigenze da soddisfare e delle specifiche prestazioni da fornire e consiste in una relazione illustrativa delle ragioni della scelta della soluzione prospettata in base alla valutazione delle eventuali soluzioni possibili, (...), della sua fattibilità amministrativa e tecnica, accertata attraverso le indispensabili indagini di prima approssimazione, dei costi, da determinare in relazione ai benefici previsti, nonché in schemi

colate per le diverse parti della costruzione, operazioni cui si farà riferimento in dettaglio in sede di progetto esecutivo. Sono segnalate anche le tecniche che si ritengono maggiormente compatibili con il concetto di miglioramento, esprimendo la preferenza per alcune e la maggiore cautela nei confronti di altre.

Per riassumere, il progetto completo di livello esecutivo è costituito di norma dagli elaborati di seguito elencati. Con la lettera D sono indicati gli elaborati presenti fin dal progetto definitivo, con la lettera E quelli propri del solo esecutivo; con le lettere D+E sono indicati gli elaborati presenti in entrambe i livelli che si presuppone vengano aggiornati nel passaggio dal definitivo all'esecutivo:

D - relazione tecnico-illustrativa ("Relazione Programmatica", lista di controllo, scheda);

D - relazione storica; dovrà descrivere e riferire cronologicamente soprattutto le principali fasi di costruzione e trasformazione e gli eventi sismici cui è stato soggetto l'edificio, a formare una unitaria cronologia della sequenza costruttiva-strutturale e sismica;

D - elaborati analitici descrittivi dello stato di fatto in forma grafica e fotografica: rilievo geometrico, rilievo del degrado e del dissesto con elementi di stratigrafia costruttiva, documentazione fotografica esaustiva rispetto ai danni presenti e allo stato di manutenzione del manufatto e delle sue parti;

D - elaborati diagnostici; eventuale relazione sulle fondazioni, nel caso si siano manifestati dissesti che le coinvolgono;

D - elaborati grafici di insieme del progetto definitivo (progetto generale), in forma grafica o mista (disegni su basi fotografiche); planimetrie di inquadramento, piante, prospetti e sezioni a scala 1:100 e/o 1:50. Si ritiene che sia opportuno, salvo particolari esigenze,

mantenere uniti nello stesso elaborato contenuti architettonici e interventi strutturali, anziché produrre elaborati separati. Da valutare invece la possibilità di realizzare alcune tavole generali dedicate prevalentemente agli aspetti strutturali (tavola delle fondazioni, tavola delle orditure dei solai e del tetto);

D+E - relazione di calcolo e calcoli;

E - particolari costruttivi di singoli interventi o parti, a scala da 1:20 a 1:1;

E - capitolato speciale di appalto, suddiviso in tre sezioni:

- la normativa contrattuale: contiene le regole generali del contratto di appalto (tempi contrattuali, penali, oneri e obblighi, importi minimi degli stati di avanzamento, ecc.);

- la normativa prestazionale: contiene i requisiti richiesti per la corretta esecuzione delle opere e la loro accettazione;

- l'elenco dei prezzi unitari: contiene la descrizione completa di ciascuna delle operazioni necessarie ad attuare l'intervento progettato, e stabilisce sia l'unità di misura (con relative norme di misurazione) che il relativo prezzo unitario. Nella forma di appalto ad offerta prezzi viene prodotto un ulteriore elaborato in cui è lasciata in bianco la casella relativa al prezzo unitario, che viene formulato dall'impresa. La presenza del computo metrico nel progetto definitivo implica la disponibilità dell'elenco prezzi già da questa fase. L'elenco prezzi della Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici delle Marche costituisce il riferimento principale, come da delibera G.R. n. 2279 del 21/9/98, e va utilizzato anche per la formulazione di voci di prezzo particolari, legate a specifiche operazioni da compiere nell'opera, per le quali è opportuno produrre l'analisi del prezzo.

D+E) il computo metrico estimativo, in cui vengono indicate le quantità di opere previste per ciascuna voce

grafici per l'individuazione delle caratteristiche dimensionali, volumetriche, tipologiche, funzionali e tecnologiche dei lavori da realizzare; (...)

4 - Il progetto definitivo illustra compiutamente i lavori da realizzare, nel rispetto delle esigenze, dei criteri, dei vincoli, degli indirizzi e delle indicazioni stabiliti nel progetto preliminare e contiene tutti gli elementi necessari ai fini del rilascio delle prescritte autorizzazioni ed approvazioni. Esso consiste in una relazione descrittiva dei criteri utilizzati per le scelte progettuali, nonché delle caratteristiche dei materiali prescelti e nell'inserimento delle opere sul territorio; nello studio di impatto ambientale ove previsto; in disegni generali nelle opportune scale descrittivi delle principali caratteristiche delle opere, delle superfici e dei volumi da realizzare, compresi quelli per l'individuazione del tipo di fondazione; negli studi ed indagini preliminari occorrenti con riguardo alla natura ed alle caratteristiche dell'opera; nei calcoli preliminari delle strutture e degli impianti; in un disciplinare prescrittivo degli elementi prestazionali, tecnici ed economici previsti in progetto nonché in un computo metrico estimativo. Gli studi e le indagini occorrenti, quali quelli di tipo geognostico, idrologico, sismico, agronomico, biologico, chimico, i rilievi ed i sondaggi, sono condotti fino ad un livello tale da consentire i calcoli preliminari delle strutture e degli impianti e lo sviluppo del computo metrico estimativo.

5 - Il progetto esecutivo, redatto in conformità al progetto definitivo, determina in ogni dettaglio i lavori da realizzare e il relativo costo previsto e deve essere sviluppato ad un livello di definizione tale da consentire che ogni elemento sia identificabile in forma, tipologia, qualità, dimensione e prezzo. In particolare il progetto è costituito dall'insieme delle relazioni, dei calcoli esecutivi delle strutture e degli impianti e degli elaborati grafici nelle scale adeguate, compresi gli eventuali particolari costruttivi, dal capitolato speciale di appalto, prestazionale o descrittivo, dal computo metrico estimativo e dall'elenco dei prezzi unitari. Esso è redatto sulla base degli studi e delle indagini compiuti nelle fasi precedenti e degli eventuali ulteriori studi ed indagini, di dettaglio o di verifica delle ipotesi progettuali, che risultino necessari, e sulla base di rilievi pianoaltimetrici, di misurazioni e picchettazioni, di rilievi della rete dei servizi del sottosuolo. Il progetto esecutivo deve altresì essere corredato da apposito piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti da redigersi nei termini, con le modalità, i contenuti, i tempi e la gradualità stabiliti dal regolamento di cui all'art. 3."

di elenco prezzi, che, moltiplicate per il prezzo unitario e sommate, danno l'importo a base d'asta.

D+E) il quadro economico di spesa, in cui vengono elencate tutte le spese necessarie ad attuare il progetto, suddivise in:

- somme a base d'asta (derivante dal computo metrico);
- somme a disposizione dell'Amministrazione per imprevisti, spese tecniche di progettazione, direzione e collaudo, IVA, allacciamenti, espropri, ecc.

Oltre ai contenuti usuali, nel capitolato speciale di appalto, sezione normativa contrattuale, tra gli oneri e obblighi a carico dell'impresa è opportuno inserire il rendiconto analitico degli interventi strutturali effettuati e la documentazione grafica e fotografica "come costruito" in analogia a quanto previsto dalla legge 46 per le ditte esecutrici degli impianti tecnici. Questa documentazione, che può essere funzionale sia al libretto delle misure utilizzato per la registrazione contabile, sia per il collaudo statico, ha lo scopo di lasciare un quadro chiaro e veritiero delle opere realizzate, indispensabile per gli interventi futuri, ed è necessaria al monitoraggio previsto all'art. 4 della delibera del C. R. n. 234 del 10/11/98, relativa al Piano di Ripristino. Vedi a questo proposito anche il "consuntivo scientifico" da realizzare al termine dei lavori, come previsto dalle "Istruzioni".

Va rimarcata la necessità di un rapporto equilibrato ed economico tra i vari tipi di elaborati che compongono il progetto di riparazione e miglioramento antisismico in edifici storici.

Sono di grande importanza il collegamento e l'interazione tra gli elaborati grafici (progetto esecutivo generale, particolari costruttivi) e gli elaborati in forma scritta (elenco dei prezzi unitari del capitolato e computo metrico in particolare). Perché questo possa avvenire, vi devono essere continui richiami ed un flusso reciproco tra i diversi tipi di elaborato, anche indirizzando a questo scopo le forme redazionali.

7.2. La concezione complessiva degli interventi di miglioramento. Esempificazione

Il punto di passaggio dalla fase analitico-diagnostica, i cui risultati sono confluiti nella lista di controllo, alla fase progettuale, consiste nel mettere a fuoco una strategia unitaria degli interventi di miglioramento, specificandone gli obiettivi in base alle carenze strutturali e alle forme di vulnerabilità individuate.

Questa strategia viene descritta nella "dichiarazione di intenti" del progettista, espressa nella Relazione Programmatica, ed ha lo scopo di ridurre il rischio che alla parte analitica e diagnostica segua, quasi obbedendo ad un automatismo, una somma di interventi standard, non unitariamente concepiti e non motivati nel-

l'insieme e nel dettaglio, ossia non collegati ai fabbisogni e alle caratteristiche del manufatto. La scelta, la configurazione e localizzazione delle opere di presidio costituirà l'ulteriore passo, da sottoporre ad una prima valutazione degli impatti sulle superfici e sulle parti materiali in base ai criteri propri del restauro.

La via principale al miglioramento, così come delineata dalle Direttive e dalle Istruzioni citate, consiste nell'aumentare in modo sistematico la duttilità e la capacità dissipativa del sistema strutturale, anche contemplando parziali deformazioni e lesionamenti. Per fare questo, e per coinvolgere ogni parte nella risposta al sisma, dopo avere ricostituito attraverso la riparazione dei danni le risorse di resistenza perdute, vanno soprattutto aumentati i collegamenti resistenti a trazione, evitando di introdurre rigidità rilevanti e concentrate, alle quali si associa in genere un mutamento di comportamento.

La ricerca di elevate rigidità, attraverso solai e tetti in cemento o laterocemento, lastre armate applicate alle pareti o setti in c.a., iniezioni diffuse, ha rappresentato negli anni '70 e '80 una risposta tendente all'adeguamento e alla omologazione al nuovo di cui oggi comprendiamo meglio i limiti tecnici e i rischi, oltre ai sicuri impatti sulla costruzione antica.

Applicando il concetto di miglioramento, cerchiamo invece di inserire presidi capaci di collaborare con l'esistente o di far interagire tra loro le parti dell'edificio, piuttosto che proporre strutture tendenzialmente autonome. Cerchiamo inoltre di intervenire in modo mirato, anche puntuale, per contrastare locali forme di vulnerabilità.

Ciò significa, nella maggior parte dei casi, utilizzare diffusamente presidi metallici sia a configurazione compiuta, come i tiranti che contrappongono due pareti opposte soggette ad azioni fuori piano, sia con funzione di complemento e valorizzazione strutturale di elementi esistenti, come il capochiave che, collegando una travatura alla muratura di appoggio, porta l'elemento ligneo a svolgere anche la funzione di tirante.

Si tratta in generale di interventi che presentano una buona compatibilità con i particolari vincoli architettonici e conservativi propri degli edifici monumentali, e tendono ad aumentare l'efficacia delle connessioni tra gli elementi strutturali, creando azioni antagonistiche o intervenendo su discontinuità cui si associano vulnerabilità specifiche.

Un indirizzo di questo tipo, e il concetto stesso di miglioramento, è ben applicabile a fabbriche di normale costituzione fino ad uno sviluppo di danno medio-grave, ossia corrispondente al livello 3 dell'indice principale della scala di danno (2), con meccanismi pienamente attivati e marcati ma senza immediato

(2) "Uno stato di danno di un edificio in un dato momento, alla luce della conoscenza più generale dell'evoluzione dei processi di dissesto, può essere descritto e interpretato come la condizione raggiunta in una data fase di un processo di dissesto.

Avendo la possibilità di correlare il processo di dissesto all'evoluzione del (o dei) meccanismi, è anche possibile collegare il grado di danno al grado di avanzamento del meccanismo.

L'indice di danno che si propone quale scala per valutare e descrivere sinteticamente il grado di danno dei macroelementi è arti-

pericolo di crollo, in strutture per le quali lo sviluppo prevedibile del meccanismo di danno è tendenzialmente lineare.

In edifici con danni di livello superiore, prossimi al crollo o in parte già crollati, le usuali opere di riparazione possono non essere sufficienti per quantità e qualità a ricostituire un assetto tale per cui, realizzando anche gli interventi di miglioramento, il manufatto acquisti adeguati margini di sussistenza. Basti pensare a murature che hanno subito rilevanti fuori piombo o deformazioni, a solai o tetti parzialmente sfilati all'appoggio, ossia a quei danni che per loro natura non sono riparabili.

Si rende necessario in questi casi un gruppo di opere di "risarcimento strutturale" in grado di ricostituire le risorse perdute. Esse possono consistere in parziali ricostruzioni, in opere "tradizionali" ove compatibili con l'assetto architettonico, come la realizzazione di contrafforti murari ammorzati per i muri in fuori piombo o di dormienti accostati all'appoggio per i travi sfilati, oppure in opere di nuova concezione, anche colle-

gate agli stessi interventi di miglioramento.

La parte analitico-diagnostica del progetto deve compiere una verifica dell'assetto strutturale dell'edificio, della sua organicità e funzionalità, e metterne in luce le carenze.

Nella realtà sono frequenti i casi in cui la maglia strutturale è stata indebolita da demolizioni e varchi, per ragioni di funzionalità distributiva, per aprire o ingrandire negozi, o altro. In queste situazioni il progetto deve prevedere la reintegrazione della maglia, o interventi di equivalente funzione strutturale, e la riorganizzazione distributiva conseguente.

Altrettanto frequenti le situazioni di gravi incongruenze costruttive, come la presenza di muri portanti poggiati in falso su volte, di muri non sovrapposti ai piani o altro ancora, derivanti da una configurazione strutturale incompleta rispetto alla prevedibile concezione iniziale, oppure disattesa da interventi successivi, e che a volte solo un rilievo attento mette in luce. Anche queste vanno risolte con specifici interventi di consolida-

colato in due indici; il primo (da 0 a 6) indica il livello complessivo di danno del macroelemento, il secondo (da 0 a 6) indica il livello locale massimo di danno raggiunto nel macroelemento, pur se di limitata estensione; i due indici affiancati formano una scala di danno in cui sono state individuate 22 diverse possibilità.

I parametri che entrano in gioco sono di natura diversa; l'indice che definisce il livello complessivo di danno è attribuito in base alla presenza e al grado di avanzamento di meccanismi di dissesto riconoscibili attraverso l'evidenza dei danni.

Il livello 0 (nessuna evidenza di danno) presuppone l'inesistenza di meccanismi di dissesto attivati o comunque leggibili.

Il livello 1 (prima evidenza di danni connessi alla iniziale attivazione di meccanismi di dissesto visibili ad una osservazione accurata, di limitata estensione) presuppone l'avvenuta attivazione del meccanismo di dissesto, ma i danni conseguenti sono ancora molto limitati per entità ed estensione, al punto che è necessaria una attenta osservazione per riconoscerli.

Il livello 2 (evidenza di danni e leggibilità complessiva di meccanismi di dissesto attivati nell'insieme del macroelemento, ma in fase iniziale di sviluppo, con dissesti di limitata entità) corrisponde ad uno stadio in cui i danni si sono disposti sul macroelemento in modo tale da rendere compiutamente riconoscibile il meccanismo principale di dissesto, ma sono ancora limitati quanto ad entità; ad esempio, si può assumere a titolo di riferimento indicativo che le lesioni principali, se isolate, non siano superiori a 1,5 cm. nei punti di massima apertura, se a fascio di somma equivalente; gli spostamenti relativi saranno di conseguenza contenuti. È evidente che l'entità della lesione principale da assumere a limite massimo per il livello 2 deve variare in rapporto alla dimensione del manufatto su cui si verifica; tuttavia non pare proponibile una semplice proporzionalità tra dimensione del manufatto e dimensione della lesione, in quanto sovente sugli edifici di piccole dimensioni si riscontrano lesioni proporzionalmente assai più grandi di quelle riscontrate sui grandi manufatti.

Il livello 3 (marcata evidenza di danno e leggibilità complessiva di meccanismi di dissesto compiutamente attivati che interessano l'insieme del macroelemento in fase intermedia di sviluppo, con dissesti di media entità) rappresenta l'evoluzione quanto ad entità dei fenomeni già ben delineati al livello 2; le lesioni principali potranno avere un'ampiezza, sempre a titolo indicativo, da 1,5 a 4-5 cm., tali da raggiungere la completa discretizzazione tra le parti murarie del macroelemento, senza però che nell'insieme si verifichino ancora danni irreversibili estesi (spancamenti, fuori piombo rilevanti, ecc.).

Nel livello 4 (evidenza macroscopica dei danni e dei meccanismi di dissesto prossimi alla fase di ultimo spostamento con parti al limite di crollo a seguito di dissesti complessivi di forte e fortissima entità) la costruzione è ormai fortemente disarticolata, i danni locali tendono a sommarsi ai danni principali, ma sono ancora limitate e periferiche le parti al limite di crollo.

Il livello 5 (come livello 4, ma con prevalenza di parti del macroelemento al limite di crollo, ossia in equilibrio precario anche in fase statica, e/o con distruzione di parti e/o crolli di media estensione) rappresenta la situazione immediatamente precedente al crollo complessivo, con spostamenti macroscopici il cui ulteriore, lieve avanzamento determinerà il crollo.

Il livello 6 (crollo prevalente quanto ad entità) rappresenta la conclusione del processo di dissesto conseguente al meccanismo attivato. I crolli ulteriori di parti murarie superstiti avverranno con meccanismi ormai diversi da quello principale proprio del macroelemento, da considerare esaurito.

Questa scala di danno complessivo descrive l'evoluzione di un processo di dissesto che è riscontrabile nella realtà nel caso il danno si diffonda omogeneamente per entità e qualità su tutto il macroelemento; in tale caso il livello complessivo di danno coincide con il livello locale massimo di danno, al quale viene attribuito il secondo indice.

Il primo dei due indici di danno può essere pertanto letto anche come il grado di evoluzione del meccanismo in una data fase del processo di dissesto."

Tratto da : A. DE COLLE, F. DOGLIONI, L. MAZZORANA, V. PETRINI, Proposta di una scala di danno per macroelementi, in: *Le chiese e il terremoto*, pp. 281-286, ed. LINT, Trieste, 1994.

La tabella relativa è pubblicata a pag. 119 dell'edizione straordinaria n. 13 del 9 aprile 1999 del Bollettino Ufficiale della Regione Marche, Il terremoto nelle Marche, Beni culturali.

mento, privilegiando le forme di accrescimento affiancato alle opere di demolizione-ricostruzione.

In altri casi, la disorganicità diviene macroscopica, con carenze o vulnerabilità eccezionali, e nella stessa costruzione si accostano parti di diversa natura, geometria e comportamento: vedi il caso esemplificato della chiesa di S. Nicolò a Carpi, risultato di alcune soluzioni strutturali ardite, di un ampliamento con riforma architettonico-strutturale interrotto a metà e di rilevanti danni pregressi.

Si impone in queste situazioni la necessità di coniugare il miglioramento con la riprogettazione dell'assetto strutturale, ossia con un reindirizzamento del comportamento delle singole parti per consentire un comportamento di insieme maggiormente unitario ed organico, e soprattutto più favorevole.

E' evidente come ci si muova in questi casi ai limiti del miglioramento, e forse oltre, perchè ci si propone di mutare il comportamento globale in quanto, dopo averne riconosciuto l'intrinseca pericolosità, si è constatata l'impraticabilità o l'insufficienza dei normali espedienti di contrapposizione reciproca dei meccanismi, di collegamento o altro. La legittimità di queste opere all'interno del miglioramento va perciò ricercata nell'affinità dei modi, come l'affiancamento massimo senza sostituzione, l'utilizzo di materiali compatibili e/o reversibili, il coinvolgimento in funzione struttural-

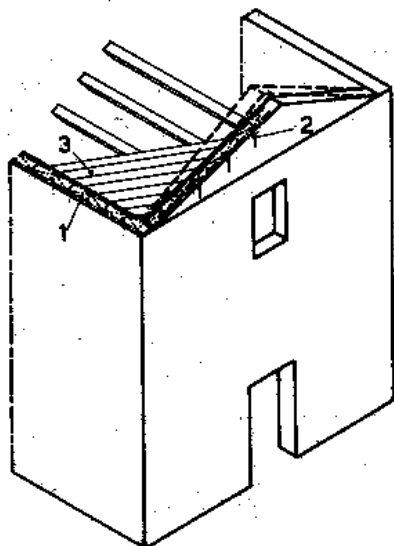
le di tutte le parti utili che l'edificio può offrire. Oltretutto, in questi casi la modellazione numerica assume più marcatamente, oltre al ruolo di strumento di dimensionamento dei presidi e di valutazione dei benefici raggiunti, anche quello di strumento di indirizzo della progettazione.

Nella realtà, non sono infrequenti i casi di eterogeneità di configurazione o costituzione che comportano di per sé un comportamento negativo. Basti pensare ai campanili connessi alla chiesa, le cui oscillazioni discordi generano urti reciprocamente dannosi.

Riteniamo, soprattutto per queste situazioni di elevata vulnerabilità e di danno molto avanzato, che il miglioramento debba essere considerato come un approccio metodologico piuttosto che come un recinto che include od esclude tassativamente determinate tecniche: a fronte di situazioni dimostrate come particolarmente sfavorevoli, la ricerca progettualmente incisiva della tecnica capace, in un contesto complessivamente conservativo, di assolvere i requisiti richiesti, deve poter avvenire senza pregiudizi, assistita da una sorta di senso etico che commisuri l'intervento alla gravità del danno possibile.

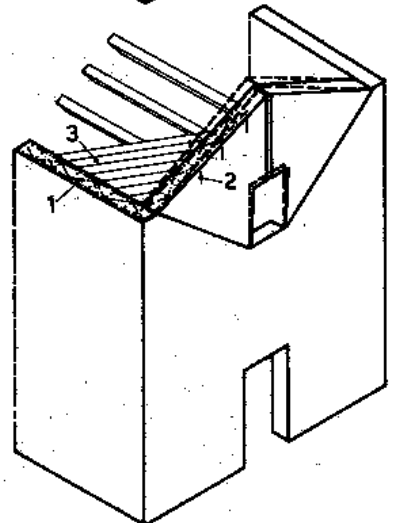
Nei grafici si propongono in funzione esemplificativa alcuni schemi di risposta a meccanismi individuati in alcuni tipi di macroelemento.

SCHEMI DI INTERVENTI DA REALIZZARE A CONTRASTO DI MECCANISMI CHIESE - Macroelemento FACCIATA



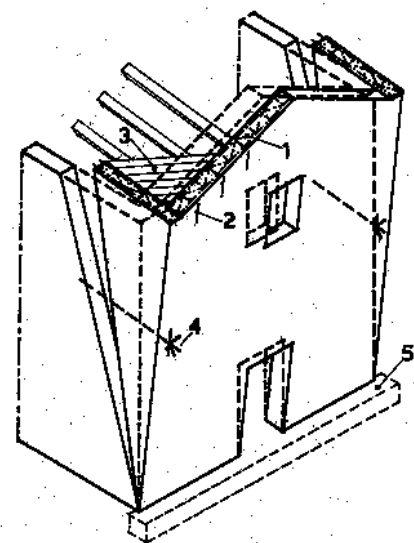
Meccanismo 1- Rotazione fuori piano del timpano

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 2 - COLLEGAMENTI TRA TERZERE IN LEGNO E MURI DI APPOGGIO
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE



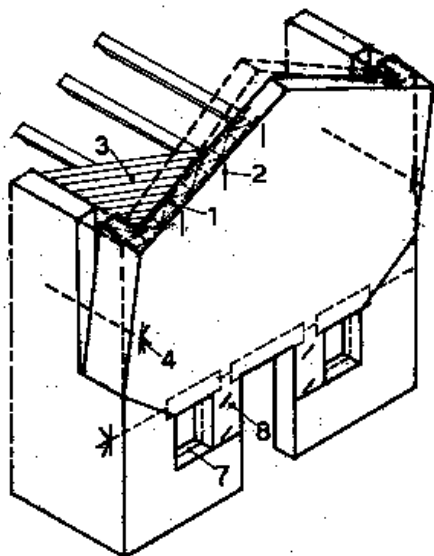
Meccanismo 2- Rotazione fuori piano del timpano su cerniere cilindriche inclinate

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 2 - COLLEGAMENTI TRA TERZERE IN LEGNO E MURI DI APPOGGIO
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE



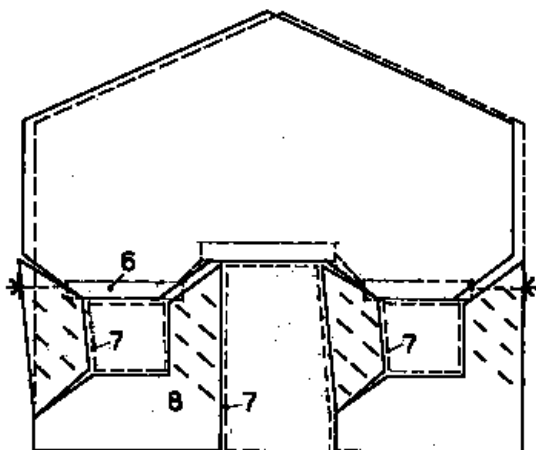
Meccanismo 3- Ribaltamento della facciata con cerniera alla base

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 4 - TIRANTE DI CONNESSIONE TRA MURO LATERALE E FACCIATA, A 2/3 DELL'ALTEZZA, ANCHE A SVILUPPO PARZIALE, SUL LATO INTERNO DELLA MURATURA O IN PERFORAZIONE
- 5 - VERIFICA ED EVENTUALE RINFIANCO ESTERNO DELLA FONDAZIONE DI FACCIATA, NEL CASO SIA COINVOLTA NELLA CERNIERA



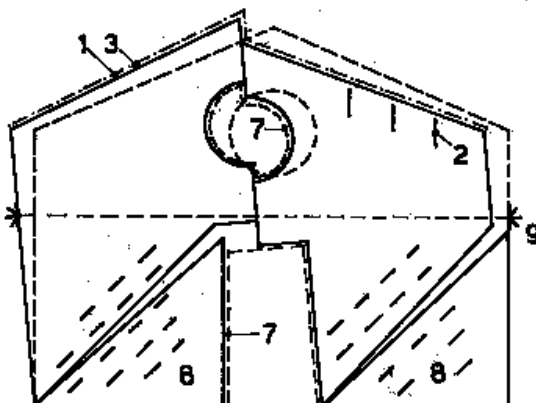
Meccanismo 4- Rotazione fuori piano con formazione di cerniera nella fascia bassa

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 4 - TIRANTE DI CONNESSIONE TRA MURO LATERALE E FACCIATA, A 2/3 DELL'ALTEZZA, ANCHE A SVILUPPO PARZIALE, SUL LATO INTERNO DELLA MURATURA O IN PERFORAZIONE
- 7 - EVENTUALE TELAIO DI CERCHIATURA METALLICA O IN MALTE FIBRORINFORZATE DELLE APERTURE, SULLO STROMBO INTERNO
- 8 - EVENTUALI INIEZIONI DI RIPARAZIONE E/O CONSOLIDAMENTO SUI PIEDRITTI ESILI



Meccanismo 5 a- Rottura a taglio della facciata

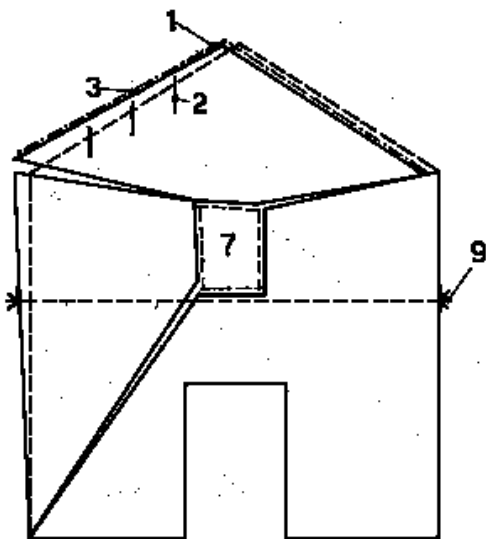
- 6 - RINFORZO E CONNESSIONE TRA ARCHITRAVI DI APERTURE CONTIGUE IN FACCIATA
- 7 - EVENTUALE TELAIO DI CERCHIATURA METALLICA O IN MALTE FIBRORINFORZATE DELLE APERTURE, SULLO STROMBO INTERNO
- 8 - EVENTUALI INIEZIONI DI RIPARAZIONE E/O CONSOLIDAMENTO SUI PIEDRITTI ESILI



Meccanismo 5 b- Rottura a taglio della facciata

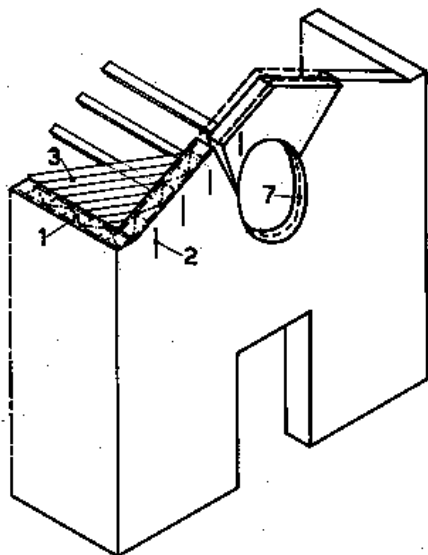
- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 4 - TIRANTE DI CONNESSIONE...
- 7 - EVENTUALE TELAIO DI CERCHIATURA METALLICA O IN MALTE FIBRORINFORZATE DELLE APERTURE, SULLO STROMBO INTERNO
- 9 - TIRANTE A 2/3 DELLA CONTROFACCIATA INTERNA

SCHEMI DI INTERVENTI DA REALIZZARE A CONTRASTO DI MECCANISMI CHIESE - Macroelemento FACCIATA



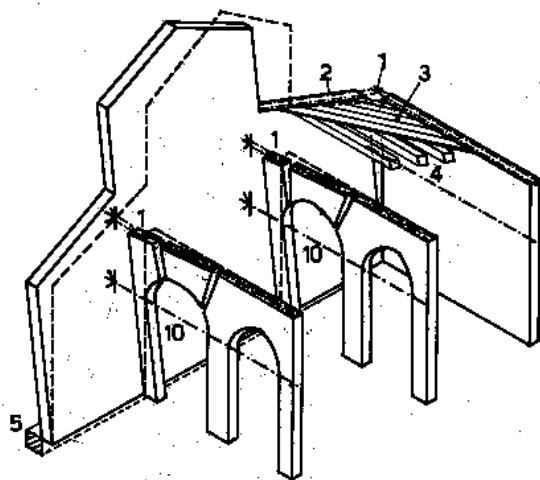
Meccanismo 5 c- Rottura a taglio della facciata

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
 - 2 - COLLEGAMENTI...
 - 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
 - 7 - TELAIO DI CERCHIATURA METALLICA O IN MALTE FIBRORINFORZATE DELLE APERTURE, SULLO STROMBO INTERNO
 - 8 - INIEZIONI DI RIPARAZIONE E/O CONSOLIDAMENTO FINO AL LIVELLO DELL'ARCHITRAVE
 - 9 - TIRANTE A 2/3 DELLA CONTROFACCIATA INTERNA
- N.B:** EVENTUALI ACCORGIMENTI DI ISOLAMENTO DA CORPI CONTIGUI CHE TRASMETTONO SOLLECITAZIONI A TAGLIO (ES. CAMPANILI)



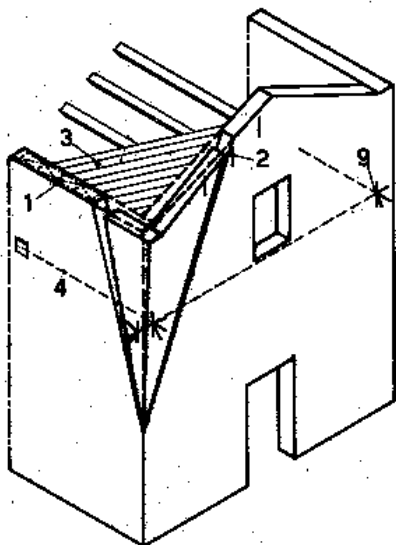
Meccanismo 6- Articolazione della parte sommitale della facciata

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 7 - TELAIO DI CERCHIATURA METALLICA O IN MALTE FIBRORINFORZATE DELLE APERTURE, SULLO STROMBO INTERNO

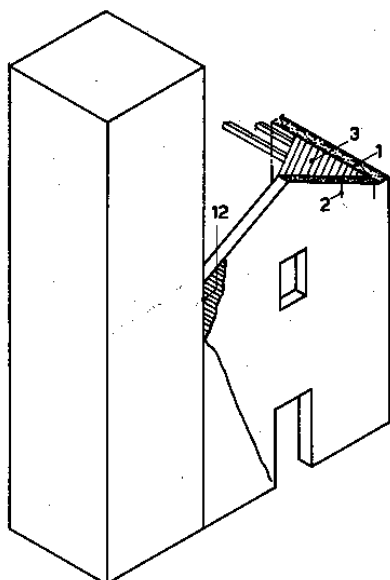


Meccanismo 7- Spostamento esterno della facciata e della parte terminale della parete di navata

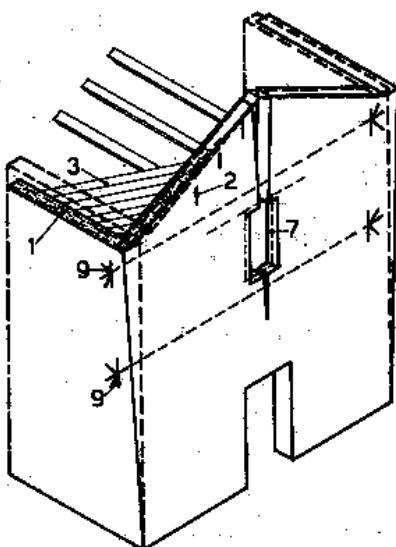
- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 5 - EVENTUALE ALLARGAMENTO ESTERNO DELLA BASE FONDALE
- 10 - TIRANTE PARTE INTERNO E PARTE ESTERNO A VISTA IN CORRISPONDENZA DELLE RENI DEGLI ARCHI

**Meccanismo 8- Espulsione dell'angolata**

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 4 - TIRANTE DI CONNESSIONE...
- 9 - TIRANTE A 2/3 DELLA CONTROFACCIATA INTERNA

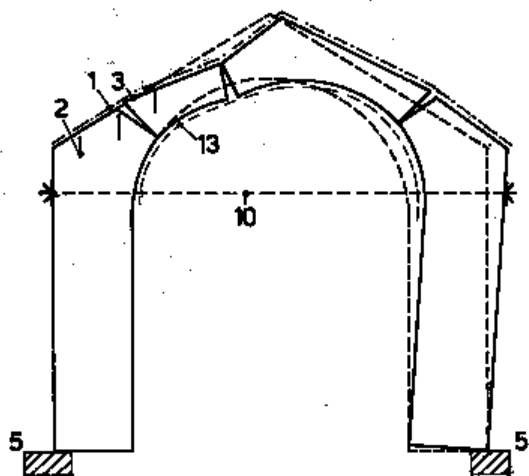
**Meccanismo 9- Interazione con la torre campanaria**

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 12 - EVENTUALI ACCORGIMENTI DI SEPARAZIONE STRUTTURALE TRA I CORPI

**Meccanismo 10- Traslazione nel piano della facciata**

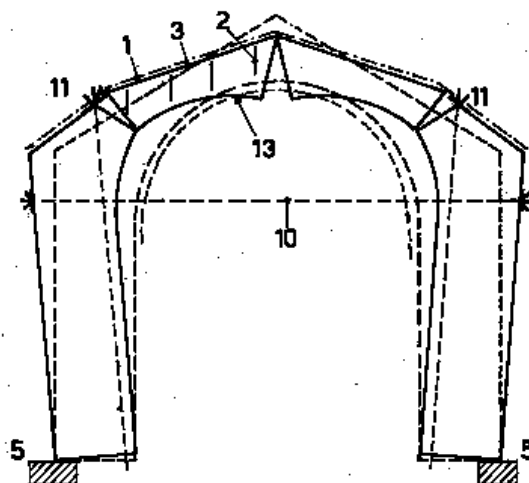
- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 7 - TELAIO DI CERCHIATURA METALLICA O IN MALTE FIBRORINFORZATE DELLE APERTURE, SULLO STROMBO INTERNO
- 9 - TIRANTE A 2/3 DELLA CONTROFACCIATA INTERNA

SCHEMI DI INTERVENTI DA REALIZZARE A CONTRASTO DI MECCANISMI CHIESE- Macroelemento ARCO TRIONFALE



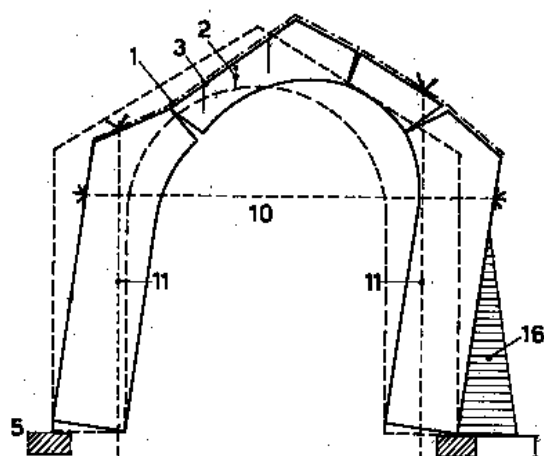
Meccanismo 1: Rotazione monolaterale nel piano di una spalla

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 5 - VERIFICA ED EVENTUALE ALLARGAMENTO ESTERNO DELLA BASE FONDALE
- 10 - TIRANTE PARTE INTERNO E PARTE ESTERNO A VISTA IN CORRISPONDENZA DELLE RENI DEGLI ARCHI
- 13 - EVENTUALE RINFORZO INTRADOSSALE O SUL FIANCO DELL'ARCO CON FASCE FIBRORINFORZATE



Meccanismo 2: Rotazione bilaterale simmetrica nel piano delle spalle

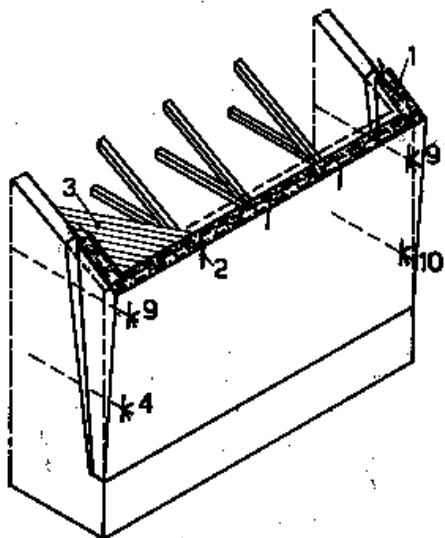
- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 5 - VERIFICA ED EVENTUALE ALLARGAMENTO ESTERNO DELLA BASE FONDALE
- 10 - TIRANTE PARTE INTERNO E PARTE ESTERNO A VISTA IN CORRISPONDENZA DELLE RENI DEGLI ARCHI
- 11 - EVENTUALE COLLOCAZIONE DI TIRANTI VERTICALI (IN PERFORAZIONE CENTRALE OPPURE ESTERNI, POSSIBILMENTE IN COPPIA) MODERATAMENTE POST-TESI, O ALTRI PRESIDIEQUIVALENTI
- 13 - EVENTUALE RINFORZO INTRADOSSALE O SUL FIANCO DELL'ARCO CON FASCE FIBRORINFORZATE
- 15 - EVENTUALE TIRANTATURA VERTICALE INTERNA O ESTERNA



Meccanismo 3: Rotazione concorde nel piano delle spalle

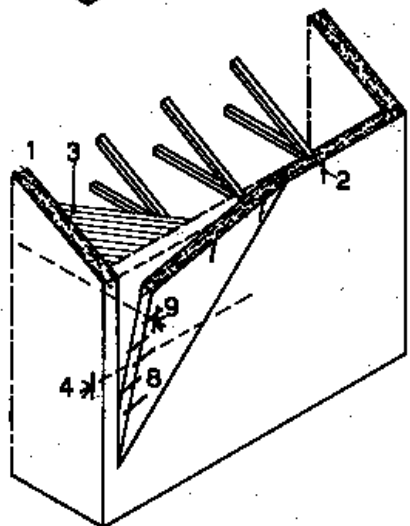
- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 5 - VERIFICA ED EVENTUALE ALLARGAMENTO ESTERNO DELLA BASE FONDALE
- 10 - TIRANTE PARTE INTERNO E PARTE ESTERNO A VISTA IN CORRISPONDENZA DELLE RENI DEGLI ARCHI
- 11 - EVENTUALE COLLOCAZIONE DI TIRANTI VERTICALI (IN PERFORAZIONE CENTRALE OPPURE ESTERNI, POSSIBILMENTE IN COPPIA) MODERATAMENTE POST-TESI, O ALTRI PRESIDIEQUIVALENTI
- 13 - EVENTUALE RINFORZO INTRADOSSALE O SUL FIANCO DELL'ARCO CON FASCE FIBRORINFORZATE
- 15 - EVENTUALE TIRANTATURA VERTICALE INTERNA O ESTERNA
- 16 - EVENTUALE COSTRUZIONE DI CONTRAFFORTE A RINFIANCO O ELEMENTO EQUIVALENTE

SCHEMI DI INTERVENTI DA REALIZZARE A CONTRASTO DI MECCANISMI CHIESE - Macroelemento PARETE LATERALE



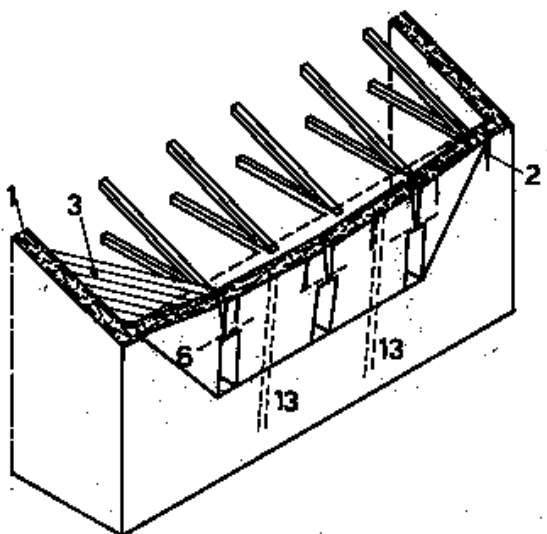
Meccanismo 1 - Rotazione fuori piano della parete laterale con formazione di cerniera cilindrica orizzontale alla base

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 2 - COLLEGAMENTI TRA CATENE DI CAPRIATE IN LEGNO E MURI DI APPOGGIO
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE
- 4 - TIRANTE DI CONNESSIONE TRA MURO LATERALE E FACCIATA, A 2/3 DELL'ALTEZZA, ANCHE A SVILUPPO PARZIALE, SUL LATO INTERNO DELLA MURATURA O IN PERFORAZIONE
- 9 - TIRANTE IN SOMMITÀ SULLA CONTROFACCIATA INTERNA O SUL MURO MEDIANO
- 10 - TIRANTE PARTE INTERNO E PARTE ESTERNO IN CORRISPONDENZA DELLE RENI DELL'ARCO TRIONFALE



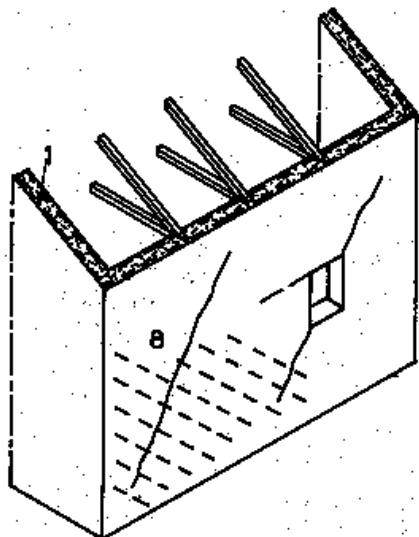
Meccanismo 2 - Spostamento fuori piano di parete laterale vincolata efficacemente su due lati

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 2 - COLLEGAMENTI TRA CATENE DI CAPRIATE IN LEGNO E MURI DI APPOGGIO
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE
- 4 - TIRANTE DI CONNESSIONE TRA MURO LATERALE E FACCIATA, A 2/3 DELL'ALTEZZA, ANCHE A SVILUPPO PARZIALE, SUL LATO INTERNO DELLA MURATURA O IN PERFORAZIONE
- 8 - INIEZIONI DI RIPARAZIONE E/O CONSOLIDAMENTO
- 9 - TIRANTE IN SOMMITÀ SULLA CONTROFACCIATA INTERNA O SUL MURO MEDIANO



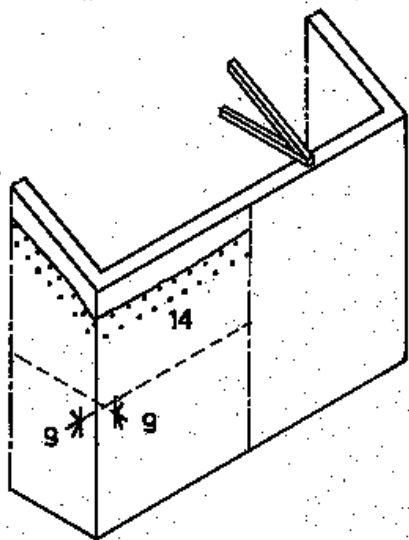
Meccanismo 3 - Spostamento fuori piano di parete laterale libera in sommità e vincolata su tre lati

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 2 - COLLEGAMENTI TRA CATENE DI CAPRIATE IN LEGNO E MURI DI APPOGGIO
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE
- 6 - RINFORZO DI ARCHITRAVI DI APERTURE
- 13 - EVENTUALI FASCE FIBRORINFORZATE VERTICALI POSTE SUL LATO INTERNO DELLA MURATURA



Meccanismo 4 - Rottura a taglio e deformazioni nel piano della parete laterale

8 - INIEZIONI DI RIPARAZIONE E/O CONSOLIDAMENTO

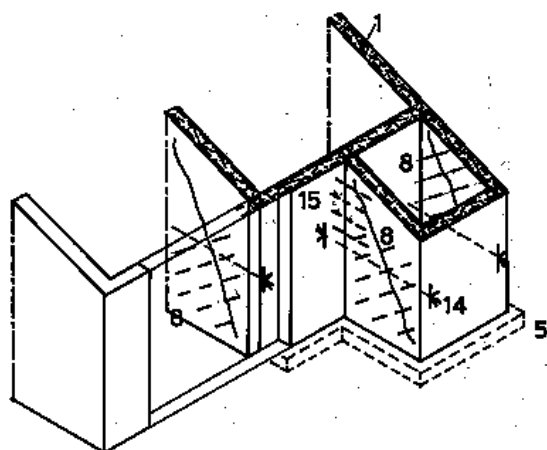


Meccanismo 5 - Scorrimenti tra copertura e pareti laterali

9 - TIRANTE A 2/3 DELL'ALTEZZA SULLA CONTROFACCIATA INTERNA O SUL MURO LATERALE

14 - CONSOLIDAMENTO DELLA FASCIA MURARIA A CONTATTO CON IL CORDOLO E COSTITUZIONE DI LEGAMI ADESIVI TRA MURATURA E CORDOLO (iniezioni di leganti adesivi, tirantini antiespulsivi, ecc.)

N.B - In caso di imbozzamenti della muratura e di danneggiamenti diffusi riconducibili a modesta coesione muraria, valutare la possibilità di iniezione diffusa della muratura



Meccanismo 6 - Rottura a taglio dei setti trasversali della parete laterale

1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE

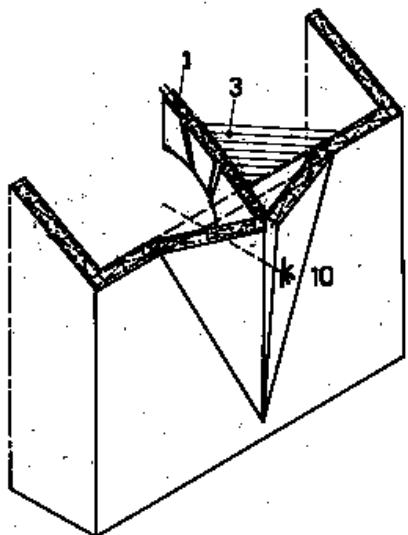
5 - EVENTUALE ALLARGAMENTO ESTERNO DELLA BASE FONDALE

8 - INIEZIONI DI RIPARAZIONE E/O CONSOLIDAMENTO

14 - COLLOCAZIONE DI TIRANTI (IN PERFORAZIONE CENTRALE O ESTERNI, POSSIBILMENTE IN COPPIA ED EVENTUALMENTE A PIU' LIVELLI) MODERATAMENTE POST-TESI, O ALTRI PRESIDI EQUIVALENTI

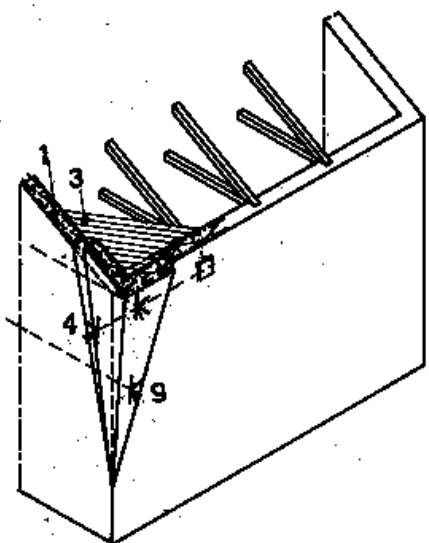
15 - COLLEGAMENTI TRA MURATURE DISCONTINUE ESEGUITI CON TIRANTINI CEMENTATI, COLI DI RESINA EPOSSIDICA NEL GIUNTO O ALTRO

NB - VALUTARE LA POSSIBILITA' DI INSERIRE TIRANTI VERTICALI, FASCE FIBRORINFORZATE O ALTRO IN PARTICOLARE NELLE ZONE TESI DI SETTI SNELLI CON COMPORTAMENTO TAGLIO-FLESSIONE



Meccanismo 7 - Spinta localizzata di arco trasversale

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE
- 10 - TIRANTE PARTE INTERNO E PARTE ESTERNO IN CORRISPONDENZA DELLE RENI DELL' ARCO TRIONFALE

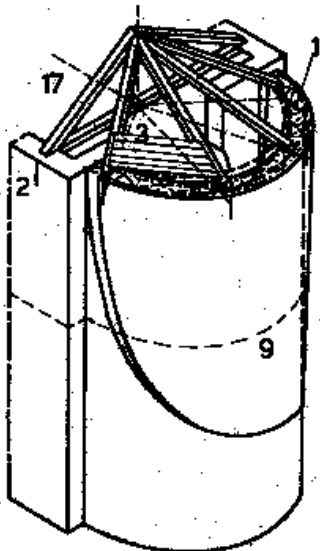


Meccanismo 8 - Espulsione dell'angolata

(vedi meccanismo 8 facciate)

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE
- 9 - TIRANTE (ANCHE PIU' DI UNO, A PIU' LIVELLI) SULLA CONTROFACCIATA INTERNA O SUL MURO LATERALE

SCHEMI DI INTERVENTI DA REALIZZARE A CONTRASTO DI MECCANISMI - Macroelemento ABSIDE



Meccanismo 1 - Traslazione o rototraslazione della parte superiore dell'abside semicircolare con distacco lungo un piano inclinato

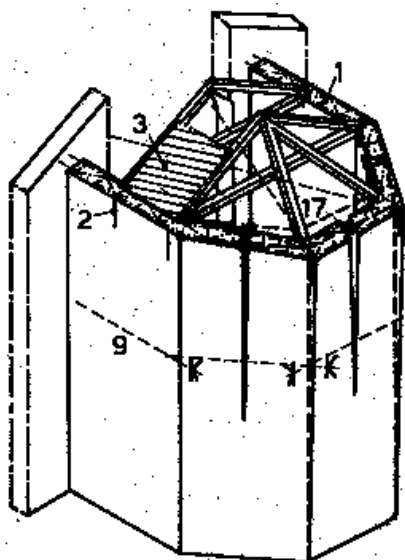
1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...

2 - COLLEGAMENTI...

3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...

9 - TIRANTE INTERMEDIO A 2/3 DELL'ALTEZZA, OVE POSSIBILE ANCORATO ALLE MURATURE DEL PRESBITERIO O DELL'AULA (A SECONDA DELLE POSSIBILITA': ESTERNO A LAMA METALLICA, A FASCIA FIBRORINFORZATA O A CAVO, OPPURE CON TIRANTI INTERNI ALLA MURATURA COLLEGATI ALLE TESTE)

17 - COMPENSAZIONE DELLA SPINTA DEI PUNTONI E/O ANCORAGGIO DELLE SEMICAPRIATE ALLE MURATURE PIU'INTERNE



Meccanismo 2 - Rotazione o rototraslazione fuori piano delle angolate o di fasce verticali in abside o cappella poligonale

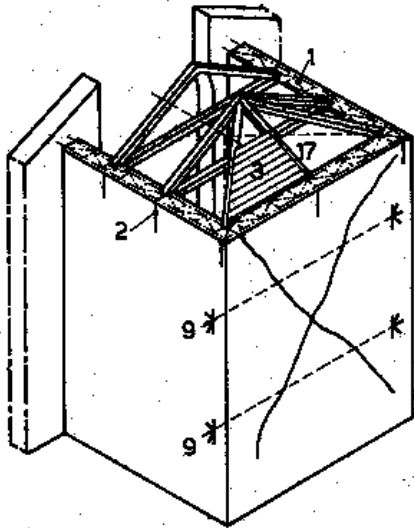
1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...

2 - COLLEGAMENTI...

3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...

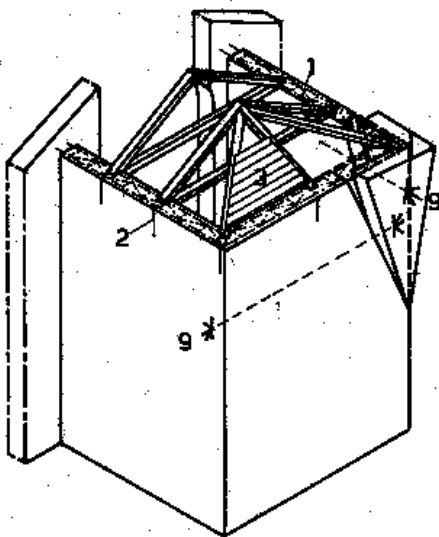
9 - TIRANTE INTERMEDIO A 2/3 DELL'ALTEZZA, OVE POSSIBILE ANCORATO ALLE MURATURE DEL PRESBITERIO O DELL'AULA (A SECONDA DELLE POSSIBILITA': ESTERNO A LAMA METALLICA, A FASCIA FIBRORINFORZATA O A CAVO, OPPURE CON TIRANTI INTERNI ALLA MURATURA COLLEGATI ALLE TESTE)

17 - COMPENSAZIONE DELLA SPINTA DEI PUNTONI E/O ANCORAGGIO DELLE SEMICAPRIATE ALLE MURATURE PIU'INTERNE



Meccanismo 3 - Rottura per taglio nel piano

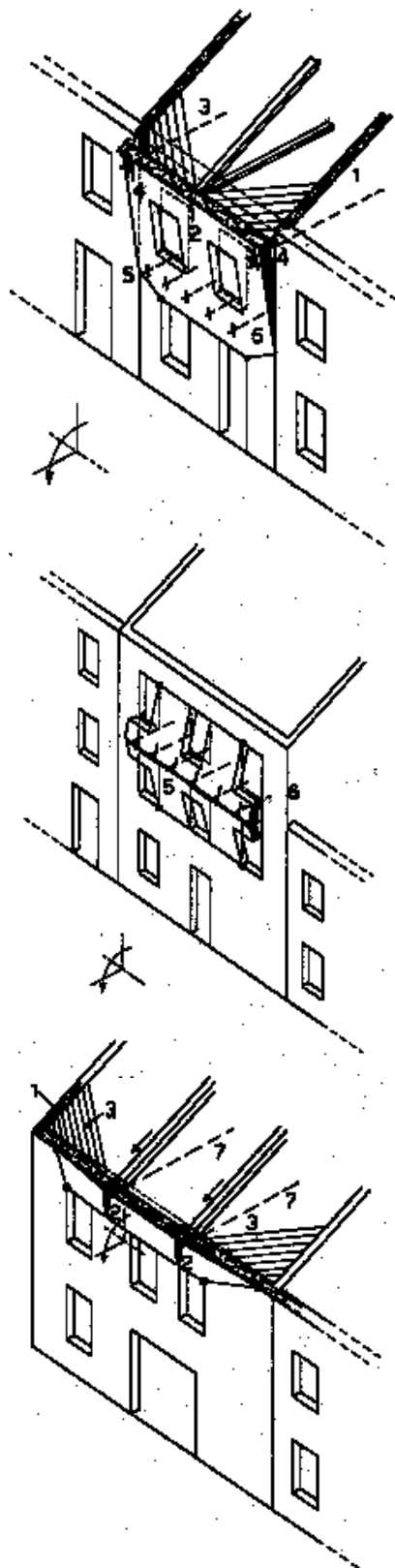
- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
 - 2 - COLLEGAMENTI...
 - 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
 - 9 - TIRANTE INTERMEDIO
 - 17 - COMPENSAZIONE DELLA SPINTA DEI PUNTONI
E/O ANCORAGGIO DELLE SEMICAPRIATE ALLE
MURATURE PIU'INTERNE
- N.B. In base alle caratteristiche della muratura, valutare l'opportunità di iniezioni di consolidamento



Meccanismo 4 - Espulsione dell'angolata

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO...
- 2 - COLLEGAMENTI...
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO...
- 9 - TIRANTE INTERMEDIO
- 17 - COMPENSAZIONE DELLA SPINTA DEI PUNTONI
E/O ANCORAGGIO DELLE SEMICAPRIATE ALLE
MURATURE PIU'INTERNE

SCHEMI DI INTERVENTI DA REALIZZARE A CONTRASTO DI MECCANISMI EDIFICI URBANI- Macroelemento PARETE ESTERNA



Meccanismi di ribaltamento fuori piano verso l'esterno (1.1, 1.2, 1.3, 1.4)

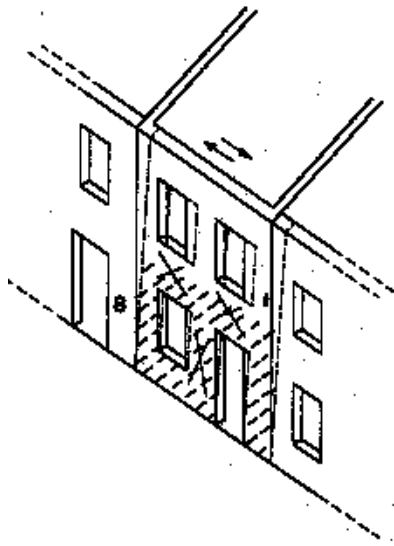
- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 2 - COLLEGAMENTI DI CATENE DI CAPRIATE, TERZERE E COLMI AI MURI DI APPOGGIO E AL CORDOLO-TIRANTE
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE
- 4 - TIRANTI DA FACCIATA A FACCIATA LUNGO I MURI DI SPINA
- 5 - COLLEGAMENTI PASSANTI TRA SOLAIO E MURO ESTERNO
- 6 - IRRIGIDIMENTO DEL SOLAIO

Meccanismo di ribaltamento fuori piano in presenza di vincolo alla sommità (1.5)

- 5 - COLLEGAMENTI PASSANTI TRA SOLAIO E MURO ESTERNO (DI SINGOLE ORDITURE O DEL CORDOLO-TIRANTE PERIMETRALE)
- 6 - IRRIGIDIMENTO DEL SOLAIO

Meccanismo di ribaltamento fuori piano dovuto a spinte localizzate della copertura (1.6)

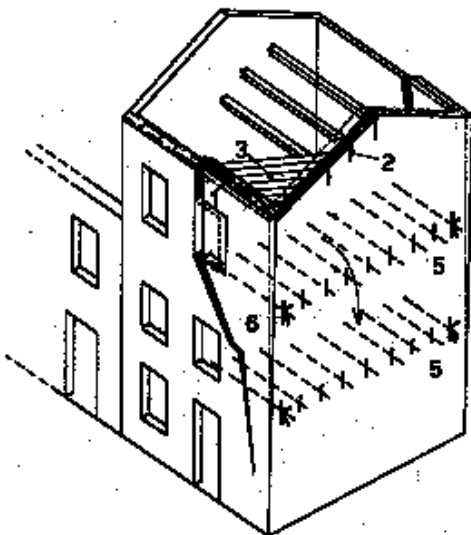
- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 2 - COLLEGAMENTI DI CATENE DI CAPRIATE, TERZERE E COLMI AI MURI DI APPOGGIO E AL CORDOLO-TIRANTE
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE
- 7 - COMPENSAZIONE DELLA SPINTA DEI PUNTONI CON TIRANTI E RIPARTIZIONE DELL'APPOGGIO



Meccanismo di lesionamento a taglio (1.7)

8 - ESECUZIONE DI INIEZIONI DI RIPARAZIONE E CONSOLIDAMENTO

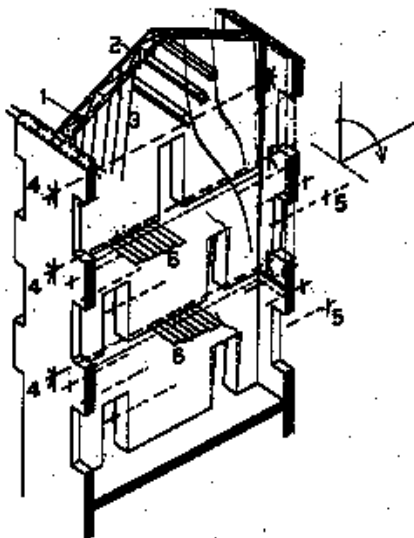
N.B - STUDIARE EVENTUALI PRESIDI QUALI IRRIGIDIMENTI DI MASCHI MURARI ESILI, CONTORNI STRUTTURALI A RINFORZO DI FORI NELLE POSIZIONI ANGOLARI, TIRANTI



PARETE DI TESTATA

Meccanismo di rotazione fuori piano (2.1, 2.2, 2.3)

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 2 - COLLEGAMENTI DI CATENE DI CAPRIATE, TERZERE E COLMI AI MURI DI APPOGGIO E AL CORDOLO-TIRANTE
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE
- 4 - TIRANTI O COLLEGAMENTI AL CORDOLO-TIRANTE INTERNO
- 5 - COLLEGAMENTI PASSANTI TRA SOLAIO E MURO ESTERNO (DI SINGOLE ORDITURE O DEL CORDOLO-TIRANTE PERIMETRALE)
- 6 - IRRIGIDIMENTO DEL SOLAIO



PARETE DI SPINA

Meccanismo nel piano in connessione con la facciata

- 1 - CORDOLO-TIRANTE ADESIVO SOMMITALE
- 2 - COLLEGAMENTI DI CATENE DI CAPRIATE, TERZERE E COLMI AI MURI DI APPOGGIO E AL CORDOLO-TIRANTE
- 3 - PARZIALE IRRIGIDIMENTO DELL'IMPALCATO DI FALDA E CONNESSIONI CONTINUE TRA IMPALCATO E CORDOLO-TIRANTE
- 4 - TIRANTI O COLLEGAMENTI AL CORDOLO-TIRANTE INTERNO
- 5 - COLLEGAMENTI PASSANTI TRA SOLAIO E MURO ESTERNO (DI SINGOLE ORDITURE O DEL CORDOLO-TIRANTE PERIMETRALE)
- 6 - IRRIGIDIMENTO DEL SOLAIO

7.3. Contenuti della “Relazione programmatica”

Le “Direttive” richiedono che il progetto includa la Relazione Programmatica. L’enfasi data a questo documento, che costituisce la relazione illustrativa dei criteri di impostazione del progetto e dei principali interventi previsti, vuole rimarcare il ruolo centrale nel mettere a fuoco e trasmettere le motivazioni dell’intero progetto e delle scelte compiute.

In essa, dopo aver riassunto i risultati degli approfondimenti analitici e diagnostici, vengono indicati gli obiettivi di progetto, descritta l’impostazione data per raggiungerli insieme agli accorgimenti tecnici prescelti.

Nelle “Direttive”, all’art. 3, si afferma che nella “Relazione programmatica (...) devono confluire i criteri adottati, le scelte a fronte dei risultati delle analisi e delle indagini svolte e l’impostazione data al progetto in relazione ai due settori disciplinari che vi concorrono (l’ingegneria strutturale e l’architettura-restauro). Deve essere chiaramente evidenziata la corrispondenza tra le diverse forme di vulnerabilità riconosciute nella fase analitica ed i presidi di miglioramento previsti dal progetto”.

La relazione deve perciò proporre una chiara visione del rapporto tra caratteri e condizioni dell’edificio, obiettivi tecnico-culturali del progetto e mezzi adottati dal progettista.

Deve in particolare descrivere la concezione complessiva e gli obiettivi del progetto di miglioramento, nonché le soluzioni adottate per rispondere alle esigenze poste dalla lista di controllo.

Ad esempio, il progettista deve indicare i criteri architettonico-conservativi adottati nella scelta dei presidi strutturali, sia in termini di valutazione degli impatti materiali, sia in termini di mantenimento a vista delle strutture di presidio (con autonoma formalizzazione, meramente tecnologico o con accorgimenti di dissimulazione) oppure interni occultati, indicandone le motivazioni.

La compresenza nel progetto della “Scheda” libera la Relazione da molti obblighi informativi già assolti, e la spinge a trattare con sinteticità i criteri di fondo del progetto per metterli a fuoco e comunicarli con chiarezza.

Si propone di articolare la Relazione Programmatica sviluppando i seguenti argomenti:

Descrizione dell’edificio: Impostazione tipologica e architettonica di insieme, inserimento ambientale, caratteri e materiali costitutivi dei diversi fronti esterni, caratteri e materiali costitutivi dei diversi ambienti interni, elementi di arredo fisso e mobile, tipi di muratura, tipi di solaio, tetto, scale.

Sintesi dei principali riferimenti storici, relativi in particolare alla storia e alle fasi costruttive, ad eventuali eventi sismici del passato (3), tratti da fonti scritte edite e non, da iconografie storiche, foto d’archivio o altro

(da riprodurre), da testimonianze di vario tipo, da osservazioni stratigrafiche e costruttive direttamente compiute sull’edificio. Nel caso la relazione storica sia sviluppata in modo autonomo, riportare gli elementi salienti.

Livello di manutenzione e stato di degrado: natura e tipo degli ultimi interventi noti, livello di efficienza del tetto, di gronde e pluviali, di serramenti esterni, di rivestimenti esterni. Descrizione di eventuali fenomeni di degrado proprio dei materiali, esiti di prove e accertamenti diagnostici sul loro stato di conservazione (vedi anche scheda e lista di controllo).

Descrizione del sistema resistente: organizzazione della maglia muraria, struttura dei solai, struttura del tetto, presenza e tipo di tiranti o elementi di tenuta, eventuali strutture spingenti in fase statica, eventuali danni precedenti all’evento sismico (dissesti statici, inflessione solai, cedimento fondazioni, ecc.), interventi recenti a componente strutturale (descrivere per quanto possibile gli interventi compiuti), esiti di eventuali prove compiute sulla muratura.

Descrizione dei dissesti sismici: meccanismi di danno attivati dal recente terremoto, suddivisi per macroelementi e schematizzati nella loro possibile evoluzione (progetto di danno), forme di vulnerabilità specifica individuate, crolli o danneggiamenti locali accentuati (allegare scheda NOPSAs).

Enunciazione delle finalità generali e dei criteri adottati : criteri architettonico-conservativi, criteri complessivi di miglioramento, valutazione e motivazione degli impatti.

Descrizione sintetica degli interventi previsti suddivisi in categorie: opere di riparazione, opere di consolidamento statico, opere di manutenzione, opere di miglioramento antisismico (per quanto possibile collegate alle vulnerabilità tipiche e specifiche e ai meccanismi di dissesto che intendono contrastare), opere di ricostruzione, opere di restauro e di finitura delle superfici, realizzazione di dotazioni impiantistiche, di sicurezza e per l’accessibilità, modifiche organizzative e distributive, mutamenti di destinazione d’uso, ecc.

A scopo esemplificativo, si indicano gli interventi pertinenti alle diverse categorie, suddivise in livelli di intensità ed estensione:

Riparazione

Livello 1 - Semplice risarcimento di lesioni e di altri effetti di danno limitati.

Livello 2 - Risarcimento e ricostituzione di continuità muraria in corrispondenza di lesioni, incuneatura archi e volte, altre opere affini .

Livello 3 - Risarcimento e ricostituzione di continuità

(3) Vedi in particolare il testo di E. BOSCHI, E. GUIDOBONI, G. FERRARI, G. VALENSISE, I terremoti dell’Appennino Umbro-Marchigiano- Area sud-orientale dal 99 a.C al 1984, Editrice Compositori, Bologna, 1998

muraria in corrispondenza di lesioni, limitate ricostruzioni di parti crollate o irrimediabilmente danneggiate.

Consolidamento statico

Livello 1 - Interventi locali di rafforzamento ai carichi verticali (es. consolidamento testa di capriata, presidi locali).

Livello 2 - Interventi diffusi di rafforzamento ai carichi verticali, interventi locali in fondazione, rafforzamento collaborante solai o capriate inflesse.

Livello 3 - Interventi diffusi di consolidamento murario con iniezioni a fronte di grave decoesione muraria, e/o interventi generalizzati in fondazione a fronte di dissesti fondali, e/o rafforzamento collaborante o sostitutivo di solai o capriate.

Manutenzione

Livello 1 - Ricostituzione locale dell'efficienza dei manti di copertura, delle gronde, ecc.

Livello 2 - Ripassatura completa di manti e sottomanti di copertura, sistemazione o sostituzione gronde e pluviali.

Livello 3 - Revisione sistematica dei sistemi di copertura con eventuale sostituzione di impalcati, media e minuta orditura, rimozione e ricollocazione manti e sottomanti, interventi per il deflusso di acque, ecc.

Miglioramento antisismico

Livello 1 - (miglioramento parziale) Interventi locali a contrasto delle vulnerabilità tipiche manifestate dal dissesto

Livello 2 - (miglioramento sistematico) Interventi locali e generali a contrasto delle vulnerabilità tipiche manifestate dal dissesto e attese per tipologia del macroelemento, interventi locali a contrasto delle vulnerabilità specifiche (discontinuità, ecc.);

Livello 3 - (miglioramento sistematico in situazioni di marcata vulnerabilità) Come livello 2, ma con modalità di calcolo e soluzioni tecniche atte a risolvere situazioni di elevata vulnerabilità e pericolosità.

Ricostruzione

Livello 1 - (Ricostruzione localizzata) Ricostruzione di parti di macroelemento crollate, senza che si sia avuta perdita di configurazione di interi macroelementi.

Livello 2 - (Ricostruzione parziale) Ricostruzione di interi macroelementi senza che si sia avuta perdita di configurazione del corpo principale.

Livello 3 - (Ricostruzione generale) Ricostruzione del corpo principale della costruzione.

Restauro e finitura delle superfici

Livello 1 - (Interventi conservativi) Sole opere di fissatura e consolidamento di intonaci di pregio o affreschi, stuccatura lesioni, risarcimento locale tinteggiature e pavimenti.

Livello 2 - (Interventi di restauro propriamente detti) Come 1, con integrazione delle lacune, ricollocazione frammenti e completa presentazione estetica della superficie, rinnovo tinteggiature.

Livello 3 - (Interventi di restauro di particolare com-

plexità o estensione) Interventi che comportano la rimozione a strappo di affreschi, o che presentano gravi problemi conservativi (umidità, presenze saline, lacune diffuse da crolli parziali, ecc.)

Dotazioni per la fruizione

Livello 1 - Adeguamento alle normative degli impianti elettrici e di illuminazione

Livello 2 - Adeguamento alle normative degli impianti elettrici e di illuminazione, dotazione impianti di sicurezza, adeguamento anche parziale alle normative sul superamento delle barriere architettoniche

Livello 3 - Dotazioni e adeguamenti normativi connessi a speciali funzioni compatibili già esistenti (es. archivio, biblioteca, museo).

7.4. I grafici di Progetto Definitivo: contenuti e modalità redazionali

Ai grafici del progetto definitivo è richiesto soprattutto di indicare e localizzare con chiarezza nella fabbrica le *linee strategiche di insieme* dell'intervento, relative alle diverse categorie (riparazione, consolidamento, miglioramento, ecc.).

Per quanto riguarda il miglioramento, come già detto, l'impianto strategico consiste nel prevedere la risposta a ciascuno dei meccanismi di danno riscontrati o previsti, e nel far sì che uno stesso intervento possa contribuire alla risposta a più meccanismi.

I grafici di progetto definitivo devono quindi svolgere almeno due funzioni:

-una funzione di *tracciamento/localizzazione sulla fabbrica* degli interventi di presidio (*dove* devono essere eseguiti) indicando percorsi, punti di impatto e connessioni, e di localizzazione di tutti gli altri interventi necessari;

-una funzione di *descrizione dei singoli interventi* e dei relativi modi di esecuzione (*cosa* deve essere realizzato e *come*).

La prima delle due funzioni (localizzazione/tracciamento) viene svolta sovrapponendo alla base grafica (o in certi casi fotografica) dello stato attuale gli interventi *disegnabili*, ossia passibili di descrizione attraverso il disegno (come un tirante, una nuova muratura, una orditura lignea, ecc.). La differenziazione grafica indicata dalla legenda di seguito proposta può mettere nell'opportuna evidenza gli interventi di nuova formazione rispetto alle strutture esistenti, e, anche, gli eventuali interventi di demolizione-ricostruzione che non mutano i profili, come ad esempio un'opera di cucì e scuci, ma rilevanti per la valutazione degli impatti distruttivi.

L'apposizione sui grafici di sigle di rinvio ai particolari costruttivi, che saranno sviluppati nel progetto esecutivo, consente di collegare il dettaglio all'insieme.

In via generale, va rimarcato che, mentre nelle opere di nuova costruzione o ricostruzione il disegno progettuale in scala ha il compito fondamentale di fungere da modello dell'opera da costruire, questa funzione si

attenua nelle opere conservative e di restauro, che per loro natura comportano limitate modifiche geometriche descrivibili con il disegno.

Molte tra le opere predominanti nel restauro, come i trattamenti della materia esistente, delle sue superfici o della sua struttura interna, mal si prestano ad essere rappresentate sui grafici, in quanto non comportano modificazioni alla superficie e ai profili (come ad es. il consolidamento superficiale di una pietra). In sostanza la loro descrizione sfugge agli strumenti del disegno se non per quanto serve alla loro *localizzazione* sull'opera. Inoltre, sulla stessa superficie spesso devono essere svolte più lavorazioni, fatto che rende complesso il ricorso a simboli e campiture grafiche da utilizzare simultaneamente. Ma soprattutto, se le opere di restauro devono essere localizzate in forma grafica, pur con qualche difficoltà, la loro compiuta descrizione non può che essere svolta in forma scritta, in quanto legata a precisi procedimenti, alla descrizione dei materiali da impiegare, alle cautele operative, ecc.

Per contro, l'elenco prezzi unitari descrive compiutamente in forma scritta l'intervento da realizzare, ma non lo localizza nè lo delimita.

La saldatura tra i due tipi di elaborato, naturalmente complementari, è essenziale per la chiarezza complessiva del progetto; per realizzarla, è necessario almeno riportare sui grafici la sigla della voce di elenco prezzi corrispondente all'operazione prevista, localizzandola sull'opera e perimetrandone l'estensione con un tratto a contorno o una campitura, oppure con note scritte, oltre che attraverso la rubricazione analitica di ciascuna unità di intervento nel computo metrico stimativo. Una tabella affiancata alle tavole di progetto richiama in modo abbreviato il contenuto delle principali voci di elenco prezzi (es. C.12, *muratura in mattoni pieni*) e consente una agevole lettura dei grafici anche senza dover simultaneamente consultare il fascicolo dell'elenco prezzi. (Vedi esempi applicativi).

L'attuale sviluppo delle elaborazioni informatiche di basi fotografiche consente in questo campo soluzioni innovative di innegabile efficacia.

E' importante sottolineare come gli elaborati del progetto definitivo non debbano essere superati da quelli del progetto esecutivo, ma possano essere solo integrati da questi e, ove necessario, aggiornati con gli affinamenti resi possibili dallo studio di dettaglio.

I grafici di progetto definitivo assumono perciò la funzione di *progetto generale* o di *coordinamento*, la cui consultazione in cantiere deve essere il più possibile

facilitata. A tal fine, soprattutto per edifici di dimensione medio-grande, è più funzionale la scala 1:100, purchè gli interventi siano accuratamente riportati nell'insieme e sviluppati con particolari costruttivi, di quanto non lo sia la scala 1:50, che rende ingombranti e difficilmente utilizzabili in cantiere i disegni di progetto.

La connessione tra elaborati grafici generali del progetto definitivo, i particolari grafici del progetto esecutivo e la descrizione delle voci di elenco prezzi consente al progetto di costituire un *sistema informativo* agile ed efficace, riducendo il rischio -sempre presente- di scarsa consultazione del progetto da parte dell'impresa e di scissione tra parte tecnico-operativa e parte economico-amministrativa dell'intervento.

A queste funzioni (localizzazione-tracciamento, descrizione), il progetto deve aggiungere una *funzione esplicativa* attraverso alcuni grafici anche semplificati, possibilmente in forma tridimensionale, che comunichino con chiarezza le linee strategiche e l'architettura complessiva degli interventi di miglioramento. Sono molto utili a questo fine gli spaccati assonometrici con evidenziati i percorsi dei tiranti e degli altri interventi di connessione, irrigidimento, ecc.

Tali grafici, anche a scala ridotta, possono essere inclusi nella Relazione programmatica.

Come è noto, non esiste una convenzione grafica normalizzata per la redazione dei progetti di restauro in generale, nè dei progetti di miglioramento sismico, e quindi non sono univocamente codificati i modi espressivi e redazionali con cui devono essere svolti i progetti.

Legende con grafie tecniche convenzionali, forse anche eccessivamente formalizzate, sono state efficacemente sperimentate nelle opere di riparazione successive al terremoto del Friuli gestite dalla Segreteria Generale Straordinaria. Una simile esperienza è stata ripetuta dal Comune di Parma dopo il terremoto del 1983 e in altre occasioni (4).

Si propone qui una legenda con una grafia convenzionale semplificata relativa alle opere di riparazione e miglioramento antisismico con opere accessorie di restauro, che tiene conto delle esperienze compiute. Essa tuttavia dovrà inevitabilmente essere integrata e adattata qualora si riveli non adatta a descrivere situazioni ed interventi particolari.

(4) Vedi ad esempio il fascicolo predisposto dalla Regione Toscana, Dipartimento Ambiente, su "Progetto Terremoto in Garfagnana e Lunigiana- D.2.1, Istruzioni tecniche per la redazione degli elaborati di indagine, documentazione e progetto degli interventi di miglioramento antisismico", Firenze, 1996.

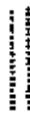
LEGENDA GRAFICA DEL PROGETTO DEFINITIVO (ARCHITETTONICO E STRUTTURALE)

(sulla base grafica del rilievo dello stato di fatto, mantenere i tracciati di lesione, le discontinuità e gli elementi descrittivi delle qualità delle superfici)

PIANTA

ALZATO

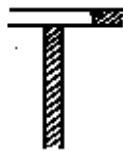
PROFILI ARCHITETTONICI



Profili di murature e solai presenti allo stato di fatto e non confermati in progetto (indica demolizione senza ricostruzione della parte, o modificazione del profilo)



Discontinuità di superficie tra finiture o testature diverse mantenuta o prevista in progetto (vedi grafica descrittiva anche a teste)



Campitura di tutte le parti da costruire, ricostruire o sostituire nel corso dell'intervento (indica tutti gli interventi di ricostruzione, di sostituzione materiale incluso il cavi e sool, o di nuova costruzione: la sigla di elenco prezzi indica il tipo di materiale di appalto). A tratteggio ravvicinato le parti scacciate, a tratteggio rado le parti viste



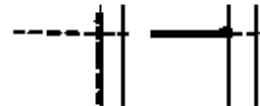
398 (+6)

398 (+6)

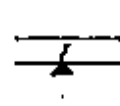
Casse fumate, scocchi, sfed, condotti impiantistici (specificare)

Quanto simmetriche di progetto (tra parentesi indicare differenza rispetto allo stato di fatto)

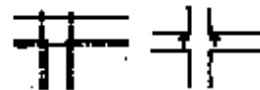
PRINCIPALI OPERE DI RIPARAZIONE E DI MIGLIORAMENTO:



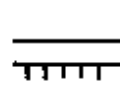
Tracciato di tiranti liberi o affiancati al muro (tratto 0,5- specificare tipo e sezione)-se a vista indicare in modo realistico



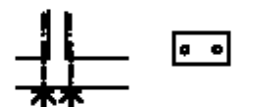
Coll per riparazione di lesioni (specificare tipo di miscela legante)



Cordolo-tirante metallico in copertura o di schien (profilo a tratto 0,5- specificare tipo e sezione, con connessioni)



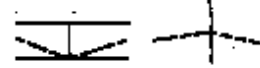
Iniezioni di consolidamento murario (specificare tipo di miscela legante)



Capofila e piastre esterne di tiranti o cordolo-tirante (specificare tipo e dimensioni)-in alzato indicare in modo realistico



Iridimento di solai o di tetto (dettagli costruttivi a teste entro i grafici generali- specificare tipo e connessioni)



Barre metalliche (tirantini) inseriti in perforazione (tratto 0,3, specificare tipo e sezione)



Consolidamento di muridtravi (specificare tipo)



Interventi di collegamento in metallo tra murature lignee e murature o di cordolo tra loro

Altri interventi (specificare tipo e grafica)



Ampliamento della base fondale con semicordolo affiancato con teste di ancoramento (a) o parzialmente sottocortato (b)



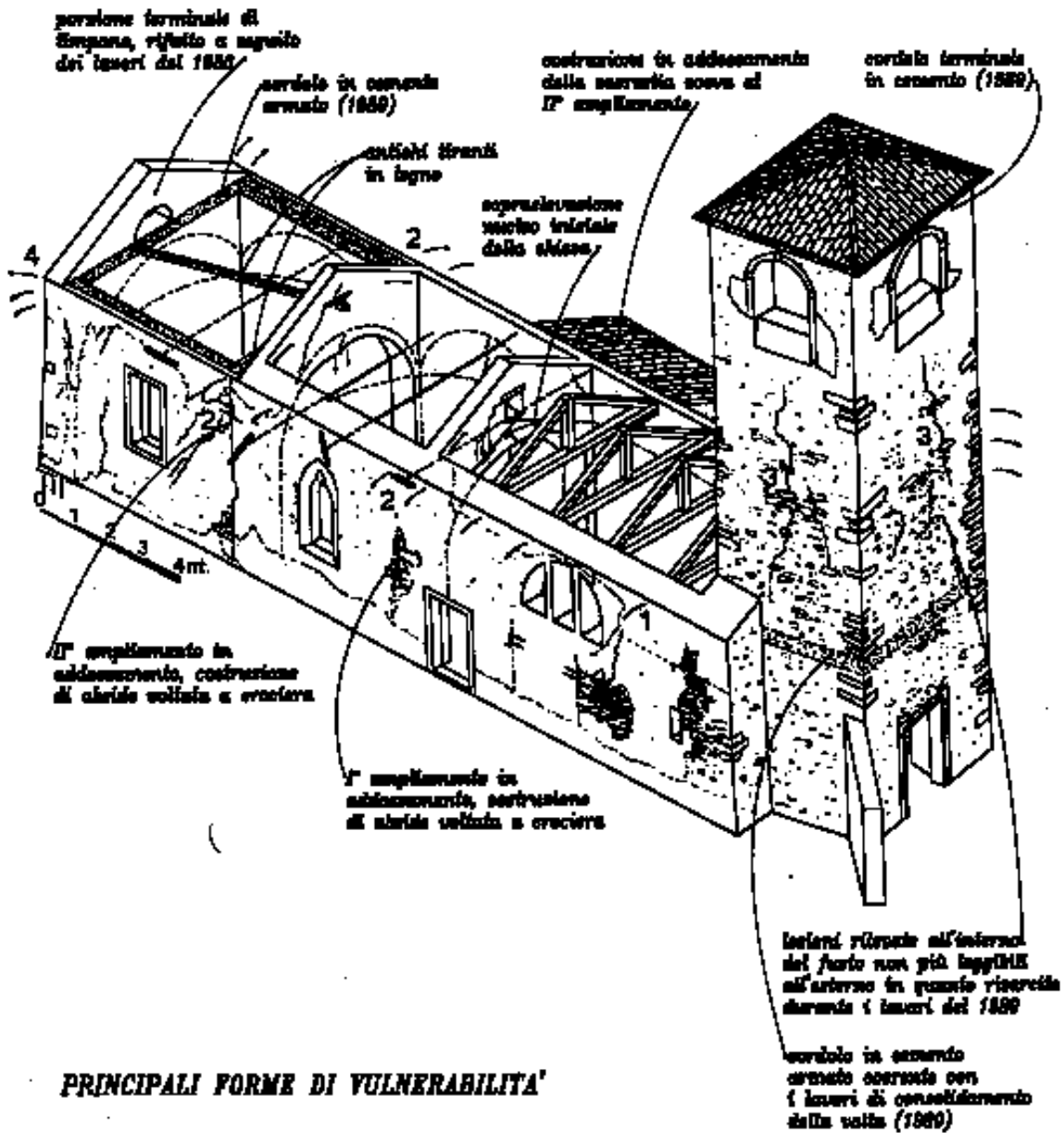
Particolari costruttivi a scala 1:1-1:10 (vedi tavole relative)

INTERVENTI CONSERVATIVI, DI MANUTENZIONE, DI RESTAURO O DI RISARCIMENTO:

D 34 a)

D 34 a)

sono indicati da note scritte e dalla sigla della voce di elenco prezzi unitari corrispondente all'operazione da eseguire nel punto in cui è apposta la sigla. Segue elenco delle sigle dei principali interventi contemplati nel progetto, con descrizione abbreviata. Esempio: D.34 a)- Riparazione di lesione con coll di calce idraulica.

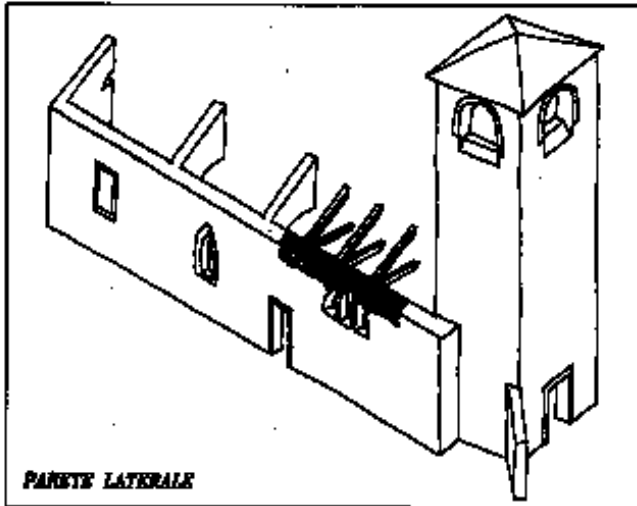


PRINCIPALI FORME DI VULNERABILITA'

MECCANISMI ATTIVATI

1. spostamenti fuori piano della parte sommitale di muratura, dovuti all'intrusione con il tetto
2. spostamenti fuori piano dovuti nelle murature interne dall'azione spingente degli archi triforcuti, e delle volte a crociera (vedi anche abbassamenti in chiesa degli archi, deformazioni delle volte, ecc.)
3. discontinuità verticale dei pannelli murari del campanile con frangitura verso l'interno dei casselli angolari

Grafico assometrico con elencazione delle principali forme di vulnerabilità dovute a discontinuità costruttive e localizzazione dei meccanismi di danno attivati nella chiesa di S. Marcello a Umin di Feltre.

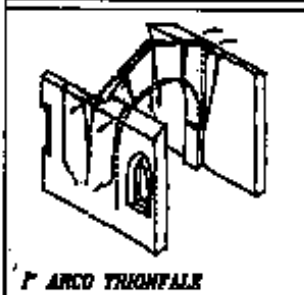


PARETE LATERALE

**PROGETTO DI DANNO
PER MACROELEMENTI (*)
CHIESA DI SAN MARCELLO**

MACROELEMENTO PARETE LATERALE

MECCANISMO N. 6: spine localizzate del tetto.
Crolli e sfogliamenti della parte sovrastante della muratura, formazione di lesioni orizzontali in corrispondenza dell'appoggio della capriata



I° ARCO TRIONFALE

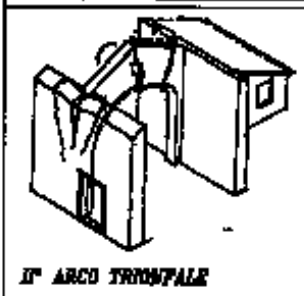
MACROELEMENTO ARCO TRIONFALE

MECCANISMO N.2: rotazione unilaterale di una spalla.
La presenza della sacrestia, quale corpo snessato, condiziona l'evoluzione del meccanismo. Mediante in questo caso la rotazione della spalla destra.

esempio 1: Chiesa di S. Lucia - Ferrara pag.177 "La chiesa e il terremoto"...



1



II° ARCO TRIONFALE

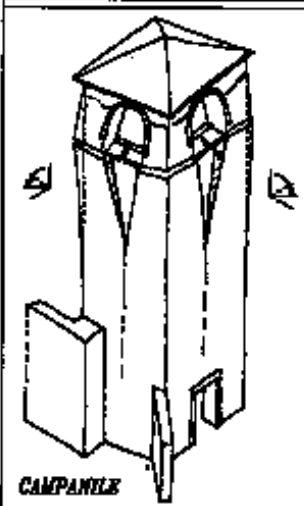
MECCANISMO N.3: rotazione bilaterale della spalla.

Le spalle laterali dell'arco subiscono rotazioni asimmetriche alla base, con effetto di perdita di coesione e abbassamento della chiave.

esempio 2: Chiesa di S. Caterina - Ferrara pag.178 "La chiesa e il terremoto"...



2



CAMPANILE

MACROELEMENTO CAMPANILE

MECCANISMO N.4: rotazione verso l'esterno di una o più angolate non asse di rotazione orizzontale, parallele al lato e alla diagonale.

Formazione di lesioni ed intasamento verticale e conseguente allentamento dei maschi angolari.

esempio 3: campanile della Chiesa di S. Maria Assunta di Genova, pag.217 "La chiesa e il terremoto"...

(*) I nomi dei meccanismi e le immagini prese ad esempio sono ripresi dal volume "Le chiese e il terremoto", a cura di E. Bagnoli, A. Biondi, F. Paganò, ed. MIT Roma (1991)



3

Previsione di evoluzione del danno (*progetto di danno*) di meccanismi attivati effettuata utilizzando esempi di danno ultimo o di crolli prodotti su altri edifici da meccanismi analoghi.

**PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE,
CONSOLIDAMENTO E MIGLIORAMENTO ANTISISMICO
CHIESA DI SAN MARCELLO AD UMIN DI FELTRE (BL)**



INTERVENTI SUL TETTO

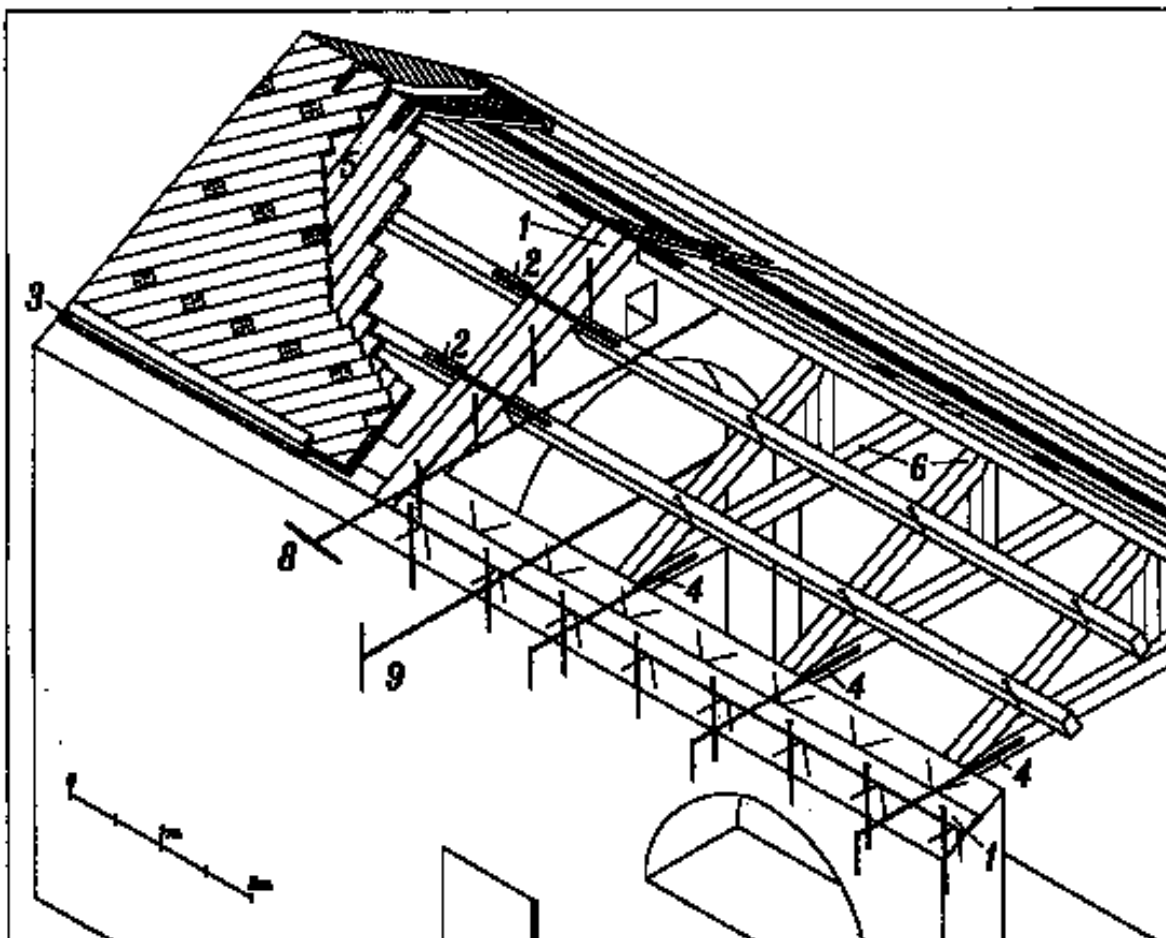
- 1 Cordolo tirante in profilato metallico ancorato alla parte superiore della muratura con barre ancorate e fondini in acciaio saldati con finitura stabilizzante per la muratura
- 2 Barre di collegamento tralicciata alle teste delle travi e saldate al cordolo tirante
- 3 Profilo metallico a C saldato al cordolo tirante perimetrale
- 4 Battente metallico bullonato alla testa delle travi con capocchione a pancia
- 5 Irrigidimento fessile a nastro di doppia lamina invariata e collegato al cordolo tirante perimetrale
- 6 Rasatura della copriata in legno

ALTRI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO E CONSOLIDAMENTO

- 7 Riparazioni delle lesioni a mezzo di cartongesso curvato con barre inox e colla di malta fessile priva di sali
- 8 Revisione dei tiranti esistenti
- 9 Posa di nuovi tiranti
- 10 Ampliamento della base fondale esterna
- 11 Consolidamento delle volte strutturali

Grafico assometrico con indicazione dei principali interventi di miglioramento e consolidamento.

DETTAGLIO COSTRUTTIVO DEL TETTO
CHIESA DI SAN MARCELLO AD UMIN DI FELTRE (BL)



- 1 Cordolo tirante in profilo metallico ancorato alla parte sommitale della struttura con barre cementate e fondini in acciaio saldati complessivi, con funzione stabilizzante per la struttura
- 2 Barre di collegamento bullonate alla testa delle travi e saldate al cordolo tirante
- 3 Profilo metallico a C saldato al cordolo tirante perimetrale
- 4 Bandella metallica bullonata alla base della catena con cuspidine e forate
- 5 Irrigidimento fedda a mezzo di doppio tavolo terrocina e collegato al cordolo tirante perimetrale
- 6 Restauri delle sopraste in legno
- 8 Eliminazione dei travi esistenti
- 9 Pigi di nuovi travi

Schema degli interventi di miglioramento da realizzare sul tetto e sulla parte sommitale delle murature.

8. LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DEL MIGLIORAMENTO: GLI INTERVENTI NEI NODI STRUTTURALI E NELLE PARTI COSTITUTIVE

- 8.1. Ruolo e requisiti del progetto esecutivo
- 8.2. Il nodo muro-tetto: confinamento e consolidamento sommitale delle murature, connessioni tra muro e tetto, irrigidimento e solidarizzazione delle falde del tetto
- 8.3. Il nodo muro-solaio: consolidamento dell'appoggio e connessioni muro-solaio, irrigidimento di solai e tirantatura perimetrale
- 8.4. Il nodo muro di fondazione-terreno di appoggio
- 8.5. Le discontinuità murarie: la riparazione delle lesioni, il risarcimento di vuoti, la neutralizzazione strutturale delle discontinuità costruttive
- 8.6. Sistemi di consolidamento meccanico della muratura a fronte di vulnerabilità accentuate
- 8.7. Gli interventi sulle volte: volte strutturali, volte strutturali sottili (a mattoni in foglio)
- 8.8. Sistemi di tirantatura metallica o mista a contenimento di meccanismi
- 8.9. Aspetti legati alla protezione e al restauro di superfici architettoniche e di elementi di arredo fisso e mobile

8.1. Ruolo e requisiti del progetto esecutivo

Se il progetto definitivo ha soprattutto il compito di delineare con chiarezza la strategia complessiva di miglioramento, indicando le linee di opposizione ai diversi meccanismi, al progetto esecutivo spetta il compito di mettere a punto le soluzioni tecniche con cui attuare la difesa, in tutte le posizioni nelle quali essa è richiesta e concretamente possibile, e nel modo maggiormente compatibile con la conservazione del bene.

Perciò la progettazione esecutiva del miglioramento ha soprattutto il compito di sviluppare gli interventi nei nodi strutturali e nelle diverse parti della costruzione. Intendiamo per *nodi strutturali* quelle zone dell'edificio in cui si concentrano le interazioni tra parti diverse ed in cui, di conseguenza, le sollecitazioni sono più accentuate. Dalla crisi di queste zone derivano in genere i danni più gravi all'intero sistema.

Ad esempio, è cruciale l'intervento nella zona sommitale delle murature, in cui si verifica l'interazione con il tetto; le connessioni tra muro e solaio (in facciata, laterali, interne) aprono la questione sul contributo che la muratura può dare alla stabilità del solaio e su quello che può dare il solaio alla stabilità della muratura su cui poggia. In questo capitolo si esaminano alcuni nodi

che, pur nella varietà delle situazioni reali, sono caratteristici di quasi tutte le costruzioni antiche. Ma, al di là degli accorgimenti operativi e dei dettagli esecutivi qui proposti per svilupparne il contributo al miglioramento della costruzione, intendiamo soprattutto definire i requisiti e le funzioni specificamente richieste a queste parti della fabbrica, requisiti e funzioni che devono costituire il punto di riferimento e l'obiettivo da perseguire nella progettazione esecutiva. Si vogliono con ciò mettere in discussione alcuni automatismi, acquisiti anche inconsapevolmente o legati ad impostazioni normative precedenti all'introduzione del miglioramento, che portano ad aderire immediatamente ad una data soluzione tecnica senza averne effettivamente valutato la piena funzionalità ai requisiti richiesti e le eventuali controindicazioni, e senza averne prima esaminato le alternative. Diverso è, ad esempio, stabilire i requisiti di interazione/connessione tra muro e tetto e i modi di confinamento superiore della muratura, dall'individuare immediatamente il cordolo in c.a. come unica risposta tecnica.

Per facilitare il riscontro concettuale e normativo, viene riportata a fianco dei diversi argomenti la parte di testo relativa contenuta nelle Direttive e nelle Istruzioni già citate. (1) (2)

(1) Nelle "Direttive Tecniche...", che costituiscono l'Allegato A alla delibera G.R. n. 78 del 18 gennaio 1999, al punto 3- Criteri di progettazione, si afferma:

"Il progetto (...) deve conseguire i seguenti obiettivi:

(...)

- garantire l'unitarietà dell'intervento complessivo, anche se articolato su singole parti strutturali, privilegiando interventi minimi necessari, tra loro omogenei e accordando tra loro interventi strutturali e di finitura, con l'equilibrata integrazione delle competenze strutturali dell'ingegneria con le competenze architettoniche ed artistiche dell'architettura e del restauro".

Inoltre, al punto 4. Tipologia degli interventi strutturali e loro esecuzione:

"Fermo restando che per quanto riguarda le modalità esecutive delle "Operazioni tecniche di intervento" si fa riferimento all'Allegato A1 ("Istruzioni..." del Ministero dei Beni Culturali e Ambientali, n.d.r.), si vuole richiamare l'attenzione sui seguenti aspetti:

I temi considerati riprendono in larga parte quelli già presenti nelle "Istruzioni...", delle quali intendono costituire uno sviluppo applicativo, anche attraverso l'esemplificazione di interventi realizzati.

8.2. Il nodo muro-tetto: confinamento e consolidamento sommitale delle murature, connessioni tra muro e tetto, irrigidimento e solidarizzazione delle falde del tetto

Le connessioni tra la parte sommitale delle murature e il tetto (orditura primaria e secondaria, impalcato delle diverse falde), sempre importanti, diventano fondamentali soprattutto negli edifici privi di solai e con pareti libere lunghe e snelle, prive di murature ortogonali di controvento, come le chiese o le grandi aule, in cui il tetto rappresenta l'unica o la principale possibilità di solidarizzazione orizzontale tra le murature

opposte, per contrastarne la libera oscillazione.

D'altro canto le orditure del tetto, se non adeguatamente vincolate alle opposte murature di appoggio, possono indurre su di esse spinte locali inducendo spostamenti progressivi verso l'esterno nel corso del terremoto, causando la perdita di appoggio e la caduta del tetto, con crolli e danneggiamenti gravissimi. Non vi è dunque altra scelta: se le orditure e l'impalcato del tetto non diventano elementi di collegamento e di solidarizzazione tra le murature, sono destinate a danneggiare le murature di appoggio e ad essere danneggiate o crollare esse stesse. (3)

Va ricordato che il tetto è la parte che prima e più gravemente risente della mancanza di manutenzione. Una infiltrazione d'acqua non riparata causa un particolare cinematismo di degrado, cui si accompagna una pro-

- ricostituzione della maglia muraria e verifica della sua adeguatezza con riferimento alla destinazione d'uso ed alla qualità e tipologia dell'apparato murario stesso;
- ripristino o conferimento della efficacia di comportamento delle parti strutturali sotto il profilo della resistenza, della rigidezza e della stabilità;
- utilizzazione di tecniche con nuovi materiali e relative tecnologie di applicazione, qualora siano state adeguatamente sperimentate;

- verifica e potenziamento sistematico dei collegamenti tra strutture orizzontali (solai e tetti) e verticali (murature), delle murature tra loro, con neutralizzazione delle eventuali spinte indotte da volte, archi, travature inclinate, ecc.

Quanto ai primi due aspetti, occorre, a partire dalla concezione dei singoli interventi fino alla realizzazione dell'intervento complessivo, ripristinare e migliorare le caratteristiche di resistenza agli elementi sottoposti alle sollecitazioni di carichi ordinari o di natura sismica, anche in ordine alla destinazione d'uso; tale ripristino e miglioramento va eseguito conservando i materiali originali, tendendo a migliorare il funzionamento degli elementi strutturali, nel rispetto dei materiali di cui sono costituiti, piuttosto che introdurre o sovrapporre nuovi elementi o materiali di diversa natura."

(2) Dalle "Istruzioni...", cit., paragrafo C.4- Operazioni tecniche di intervento:

"... Le operazioni possibili per ciascuna patologia o forma di vulnerabilità sono generalmente più d'uno, con caratteristiche diverse in termini di efficacia, invasività, reversibilità, durabilità, costi.

La scelta della soluzione è compito primario del progetto, e deve essere predisposta dopo attento esame della specifica situazione e verifica dell'efficacia della soluzione proposta.

Nell'ambito delle opere di restauro architettonico, devono in via generale essere evitate tutte le opere di demolizione-sostituzione e di demolizione-ricostruzione, operando con interventi che collaborino con la struttura esistente senza alterarla. Ai punti che seguono si presentano alcune indicazioni di carattere generale utili per conseguire un miglioramento nel comportamento sismico delle strutture, che va attestato come indicato al punto C.1. Tali indicazioni sono, per loro natura, non esaustive."

(3) Dalle "Istruzioni...", cit., paragrafo C.4.7 - Tetti: "Ove i tetti presentino orditure spingenti, come nel caso di puntoni inclinati privi di semi-catene in piano, la spinta deve essere compensata.

E' in linea generale opportuno il mantenimento dei tetti in legno, evitando interventi che comportino aumenti di masse nella parte più alta dell'edificio o formazione di elementi eccessivamente rigidi rispetto alla compagine muraria sottostante. Devono perciò essere evitate le sostituzioni di tetti in legno con tetti in cemento o laterocemento.

L'impiego di carpenterie metalliche deve essere attentamente valutato.

In ogni caso non sono consentiti i provvedimenti generalizzati di sostituzione. Nel corso di interventi di restauro delle orditure lignee, per riportarle a piena efficienza strutturale, e di manutenzione degli impalcati e dei manti di copertura, va posta ogni attenzione a verificare ed accentuare il ruolo di connessione reciproca tra murature contrapposte svolte dalle orditure del tetto. Oltre al collegamento con capochiave metallici che impediscano la traslazione, debbono, ove possibile, essere adottati elementi di rafforzamento del punto di contatto tra muratura e tetto.

Ciò può essere compiuto attraverso cordoli-tirante in legno o in metallo opportunamente connessi sia alle murature che alle orditure in legno del tetto, a formare al tempo stesso un bordo superiore delle murature resistente a trazione, un elemento di ripartizione dei carichi agli appoggi delle orditure del tetto e un vincolo assimilabile ad una cerniera tra murature e orditure.

Vanno in generale esclusi i cordoli in cemento armato, per la diversa rigidezza 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 chiaramente dimostrata l'efficacia. Possono essere introdotte forme di parziale irrigidimento delle falde, ad esempio a mezzo di tavolati sovrapposti e incrociati a quelli esistenti, con opportuni collegamenti ai bordi della muratura.

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".

gressiva perdita di efficienza strutturale, con deformazioni e collassi prima locali e poi generali. Se questa infiltrazione avviene in corrispondenza dell'appoggio a muro di capriate o orditure principali, il danno può essere particolarmente insidioso, sia perchè più difficilmente individuabile dall'esterno, sia in quanto può portare alla perdita di consistenza della testa lignea e alla disgregazione della muratura di appoggio, con conseguenze per l'intero sistema. In condizioni di degrado dovuto a mancanze manutentive, la struttura del tetto non solo non sarà in grado di svolgere la sua fondamentale azione di solidarizzazione tra murature nel corso del sisma, ma si presenterà indebolita e con minori margini di resistenza nei punti nodali, giungendo più rapidamente al crollo.

Per queste ragioni, è evidente che l'opera di miglioramento antisismico dei tetti non può essere efficace né duratura se contestualmente non si risarcisce l'eventuale debito manutentivo, riportando l'orditura e il manto a condizioni di efficienza.

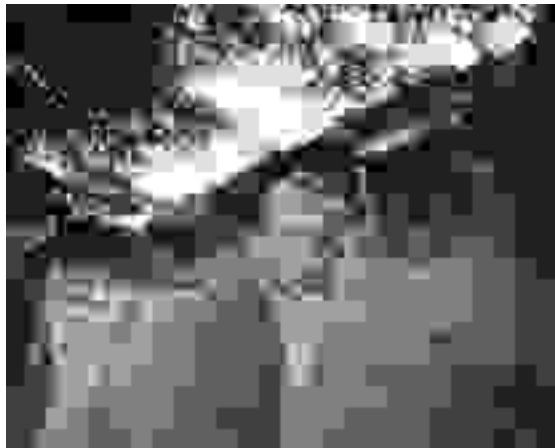
Analizziamo ora le funzioni che il nodo strutturale muro-tetto deve saper assolvere, alla luce delle vulnerabilità tipiche e specifiche constatate, in modo da finalizzare ad esse gli interventi esecutivi del progetto di miglioramento.

1 - Funzione di collegamento reciproco del paramento murario esterno al paramento interno, e di aumento delle caratteristiche coesive-adesive della muratura al suo bordo superiore.

La muratura, soprattutto se in pietra, è usualmente costituita da due paramenti non collegati tra loro, ma semplicemente accostati, con nucleo interno formato da materiale spesso poco coerente. Mentre i bordi verticali, come le angolate, hanno in genere una loro articolazione specializzata con conci più accurati e di maggiore dimensione, il bordo superiore orizzontale non è specificamente definito, e costituisce solo il punto di arresto ove la muratura a due paramenti si presenta a sezione aperta o con una semplice rasata di malta, mentre sono rarissimi i conci passanti (diatoni) di collegamento.

A questa debolezza intrinseca va aggiunto il fatto che sovente il tratto terminale della muratura risulta il meno curato sotto il profilo costruttivo, in particolare al di sopra del piano di appoggio delle orditure principali, ove è spesso costituito da puri materiali di riempimento tra muretti esterni. In altri casi il tratto sommitale della muratura è stato oggetto di infiltrazioni d'acqua, che hanno favorito la decoesione della muratura e danneggiato gli appoggi delle strutture lignee e gli eventuali travi dormienti annegati in malta, destinati a deperire rapidamente perdendo le caratteristiche meccaniche e lasciando spazi vuoti.

In caso di terremoto, nella foglia muraria esterna si creano rapidamente le condizioni di instabilità: la mancanza di carico verticale soprastante fa sì che nella risultante prevalga la componente sismica orizzontale, e l'inadeguatezza dei collegamenti con la foglia interna la porta a separarsi dal nucleo e a comportarsi come parete snella, crollando localmente per effetto di azio-



Crollo del paramento esterno e di parte del nucleo nella parte terminale della muratura in corrispondenza del tetto nella chiesa di S. Salvatore ad Acquapagana. Si osserva l'assetto inclinato del crollo, forse connesso alle spinte di una caldana soprastante che non ha svolto azione di contenimento. Si nota anche il modesto spessore e il limitato ammassamento nel nucleo dei conci in pietra squadrata, che ha certamente favorito il crollo per instabilità della zona scarica.

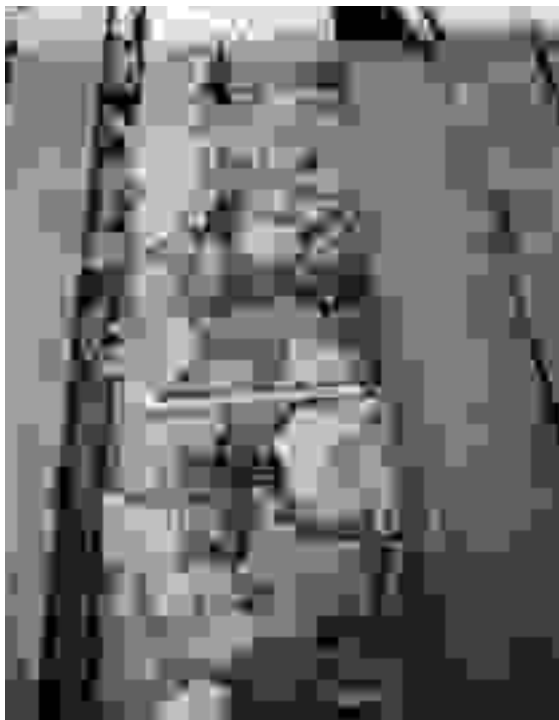
Testa di capriata parzialmente degradata all'appoggio, all'interno del muro.





Mero riempimento incoerente nel tratto terminale della muratura laterale dell'aula. Chiesa di Ognissanti, Feltre.

Testata superiore del muro sopra l'arco trionfale della chiesa di Ognissanti a Feltre. Si osserva la separazione dei paramenti e la mancanza di connessioni tra le opposte terzere del tetto.



ni inerciali fuori piano o per spinte locali anche limitate trasmesse dal tetto. Spesso è questa la prima forma di crollo che si verifica.

Per porre rimedio a questa forma costitutiva di vulnerabilità -la separazione dei due paramenti, per di più non stabilizzati dal carico- oltre a rigenerare la muratura nei tratti eventualmente degradati o decoesi e a riempire i vuoti, è necessario solidarizzare le due foglie murarie con elementi resistenti a trazione posti trasversalmente alla muratura.

L'esistenza di cornicioni in muratura articola ulteriormente questa problematica, a seconda dell'entità dello sbalzo in rapporto allo spessore murario, del materiale che forma la cornice, dell'esistenza o meno di contrappesi adeguati, ecc.

2 - Funzione di appoggio e di ancoraggio delle orditure principali e secondarie.

La struttura del tetto, formata da capriate e/o terzere, porta per sua natura a locali concentrazioni di carichi e quindi a sollecitazioni puntuali sulla muratura di appoggio. In fase sismica si verificano sovente effetti di schiacciamento e di punzonamento locale che possono portare la muratura al collasso. A questo si aggiunge che, se la natura del vincolo tra l'elemento ligneo e la muratura è assimilabile ad un semplice appoggio con attrito, in caso di oscillazioni discordi tra i due muri di appoggio l'elemento ligneo può scorrere e sfilarsi, giungendo al crollo.

Vi è quindi una duplice necessità:

a) far sì che il carico dei legni principali venga ripartito su una porzione più ampia di muratura, evitando drastiche discontinuità di carico tra zone inferiori e superiori;

b) far sì che la natura del vincolo tra trave e muro diventi maggiormente assimilabile ad una cerniera, contrastando i reciproci scorrimenti orizzontali.

La prima necessità può essere assolta in modo tradizionale con elementi di ripartizione inferiori all'appoggio in legno, pietra o, anche, a conci in calcestruzzo, inseriti a scasso al di sotto dell'elemento ligneo. Una soluzione alternativa, che riduce gli impatti e che riteniamo preferibile, può essere costituita dal consolidamento locale con iniezioni della parte maggiormente sollecitata all'appoggio della trave e dalla collocazione di elementi di ripartizione (in particolare in legno o in metallo) *sovrapposti* all'elemento ligneo, ad esso ancorati con barre filettate e forzati in modo da assumerne almeno in parte il carico.

Questo intervento riduce la necessità di demolizione fino alla base di appoggio e di smontaggio completo del tetto, trasmettendo una parte del carico al bordo superiore della muratura.

La seconda necessità richiede un elemento di ritengo che si opponga sia allo sfilamento della trave che allo spostamento fuori piano del muro di appoggio, facendo assumere alla trave anche la funzione di tirante. Tradizionalmente questa funzione veniva assolta da una bandella in ferro, fissata lateralmente alla trave con chiodi forgiati e collegata ad un capochiave a gomito esterno alla muratura. Pur rimanendo valida anche questa soluzione, nonostante la deformabilità

propria di questo tipo di capochiave, sono possibili altri accorgimenti di analoga funzione, come collari di profilato ad L vissati a viti alla trave, nel caso esca a formare lo sporto del tetto (utilizzati nel caso di Palazzo Cumano).

3 - Funzione di confinamento resistente a trazione al bordo superiore della muratura.

Si tratta di una funzione che potremmo definire di *bordo-tirante*, in quanto rivolta ad aumentare il comportamento scatolare e la resistenza a trazione del sistema murario in una zona fortemente sollecitata. Vedi ad esempio la necessità di proteggere le angolate, maggiormente esposte al ribaltamento verso l'esterno in diagonale, anche per l'azione concentrata di puntoni angolari o di semicapriate ove esistenti, collegandole con elementi resistenti a trazione ai tratti più interni delle murature che le formano.

Questa funzione, che sovente in antico era affidata a travi dormienti in legno, può essere svolta da quello che si può definire un *tirante adesivo*, ossia da un elemento resistente a trazione impostato su tutta la larghezza superiore della muratura, con legami adesivi e connessioni meccaniche (perni metallici) diffusi su tutta la lunghezza, oltre ad un capochiave di contenimento dell'angolata.

4 - Funzioni di connessione tra muratura e impalcato del tetto, a scopo di reciproco irrigidimento.

L'impalcato del tetto, posto su un piano angolato rispetto a quello della muratura, costituisce una naturale e favorevole occasione per conferire alla muratura resistenza alle sollecitazioni fuori piano, particolarmente pericolose soprattutto nelle pareti lunghe prive di strutture di controvento. Se l'impalcato già possiede per costituzione una relativa indeformabilità nel suo piano, questa può essere sfruttata a favore della muratura per contrastarne gli spostamenti laterali, realizzando un collegamento a cerniera continua lungo tutto il bordo. Se, invece, il tetto presenta un impalcato deformabile o dal comportamento rigido-fragile, proprio ad esempio di un impalcato a pianelle di cotto su travetti, il conferimento di maggiori caratteristiche di indeformabilità nel piano è opportuno, oltre che per la muratura, anche per migliorare la stabilità del tetto: vedi ad esempio il pericoloso meccanismo di accatastamento "a domino" delle capriate, con perdita di verticalità, deformazione dell'impalcato e trasmissione di spinte alle zone di timpano murario.

Per svolgere questa funzione è necessario che l'impalcato trovi al bordo della muratura un ancoraggio lineare efficace, continuo e ben ripartito su tutta la sezione muraria.

La risposta a questi quattro requisiti funzionali porta a progettare l'inserimento nel nodo muratura/tetto di un cordolo-tirante resistente a trazione nelle due direzioni del piano orizzontale: ortogonale alla muratura per impedire la separazione dei due paramenti (primo requisito) e per contribuire ad opporsi allo sbandamento fuori piano, longitudinale per contenere le angolate esterne (terzo requisito). La resistenza flessionale sull'asse verticale non è un requisito richiesto,



Fasi di realizzazione del cordolo-tirante metallico. Parete laterale della chiesa di Ognissanti a Feltre.

Sopra: affiancamento di guance metalliche alla testa della capriata e connessioni relative.

Sotto: il cordolo-tirante prima del rifacimento del tratto terminale delle murature. Si osservano gli elementi di ancoraggio.





Cordolo-tirante metallico realizzato sulla cimasa del muro absidale della chiesa di Ognissanti.

Sopra: si osserva il profilo a L che facilita l'ancoraggio al bordo del tavolato irrigidente.

Sotto: il tavolato irrigidente a 45° in fase di costruzione.



e quindi la struttura può avere una sezione in altezza molto limitata, contenuta in pochi centimetri. Possono di conseguenza essere molto limitati sia il peso che l'impatto sulle murature d'appoggio per ricavarne la sede. Tuttavia questa struttura di snodo deve essere ben connessa alla sezione superiore della muratura, a formare una sorta di largo tirante adesivo. Inoltre deve poter essere articolata e rinforzata con profili di maggior spessore, guance, ecc. in corrispondenza degli appoggi delle orditure (secondo requisito), per consentire la ripartizione del carico e quei reciproci collegamenti in grado di solidarizzare il muro con l'orditura e con l'impalcato (quarto requisito) al fine di contenere sia l'azione spingente di martellamento che le possibilità di sfilamento delle orditure principali.

La proposta che avanziamo è di realizzare un tirante a traliccio in profilati metallici, largo quanto la sezione muraria e connesso ad essa sia in modo meccanico che chimico, ossia con perni metallici, grappe o viti ancorate sia alle murature che ai legni, e con fissaggi a mezzo di malte fortemente adesive. L'uso di profilati metallici consente l'articolazione in corrispondenza degli appoggi delle orditure: collegando con viti di adeguata sezione le teste delle capriate al traliccio metallico superiore, opportunamente rinforzato in quel tratto, si può solidarizzare l'elemento ligneo e ripartirne il carico sulla muratura. Analogamente, i tavolati o pannelli di irrigidimento dell'impalcato, anche posti a 45°, possono trovare in un travetto collegato al profilo metallico con staffe un facile punto di fissaggio a viti su tutto il perimetro, soddisfacendo perciò il quarto requisito.

La parte superiore del muro, per poter fornire un adeguato ancoraggio al cordolo-tirante, deve poter giungere ad un buon grado di coesione propria. Nella maggior parte dei casi vanno perciò compiuti interventi locali di consolidamento così descrivibili:

- rimozione delle malte mosse e dei depositi di polvere o legno degradato, fino a raggiungere la muratura più coerente;
 - realizzazione di colti consolidanti con materiali adesivi prima molto fluidi e capaci di penetrare nelle porosità dei nuclei di malta (ad es. acqua, calce idraulica e resina acrilica tipo Primal in sospensione) e successivamente più densi e carichi, fino ad utilizzare normale malta additivata con aggrappante nei giunti in superficie;
 - rifacimento di parti di muratura smossa o degradata.
- Nel corso di queste operazioni, nei nuclei di nuova malta o nuova muratura si possono inserire elementi metallici da collegare poi attraverso saldature al cordolo-tirante, per aumentarne la connessione alla muratura. E' sconsigliabile per il consolidamento murario l'utilizzo di materiali ad altissima resistenza, troppo superiore a quella propria della muratura. Infatti l'effetto da evitare è quello di bruschi cambiamenti di caratteristiche meccaniche tra la parte consolidata e quella non consolidata, che determinerebbero una discontinuità netta tra le due parti, con comportamento a blocco rigido della parte superiore.

La varietà delle tipologie murarie e delle orditura lignee dei tetti, nonché la loro posizione rispetto alla fabbrica, richiedono una corrispondente articolazione e adattamento del cordolo-tirante di sommità e delle connessioni tra tetto e muro.

Le principali situazioni sono:

- parete muraria esterna in piano, con appoggio di puntoni inclinati o capriate;
- parete muraria esterna inclinata o a timpano, con appoggio di terzere o colmi in piano;
- parete muraria interna inclinata o a timpano, con appoggio di terzere o colmi in piano;
- parete muraria interna in piano, con appoggio di semicapriate o puntoni (muro di colmo o muro interno parallelo alla facciata);
- angolata in piano, con appoggio di semicapriate o puntoni angolari;
- angolata formata da muro in piano e da muro inclinato.

Nei grafici e nelle foto che seguono si descrivono alcune soluzioni di cordolo-tirante adottate per le diverse tipologie.

Le orditure del tetto non devono trasmettere alle murature di appoggio sollecitazioni a componente orizzontale, che si sommerebbero a quelle sismiche con gravi effetti. E' il caso dei tetti a configurazione spingente, assimilabili a puntoni inclinati privi di catena che ne compensi la spinta applicandola a un muro più interno e più protetto, come nel caso della semi-capriata, o

neutralizzandola con la spinta del puntone contrapposto, come nel caso della capriata.

Spesso l'inflessione dei puntoni per il carico, con l'allungamento della fibra tesa che corrisponde ai punti di appoggio, contribuisce essa stessa a trasmettere spinte alla muratura.

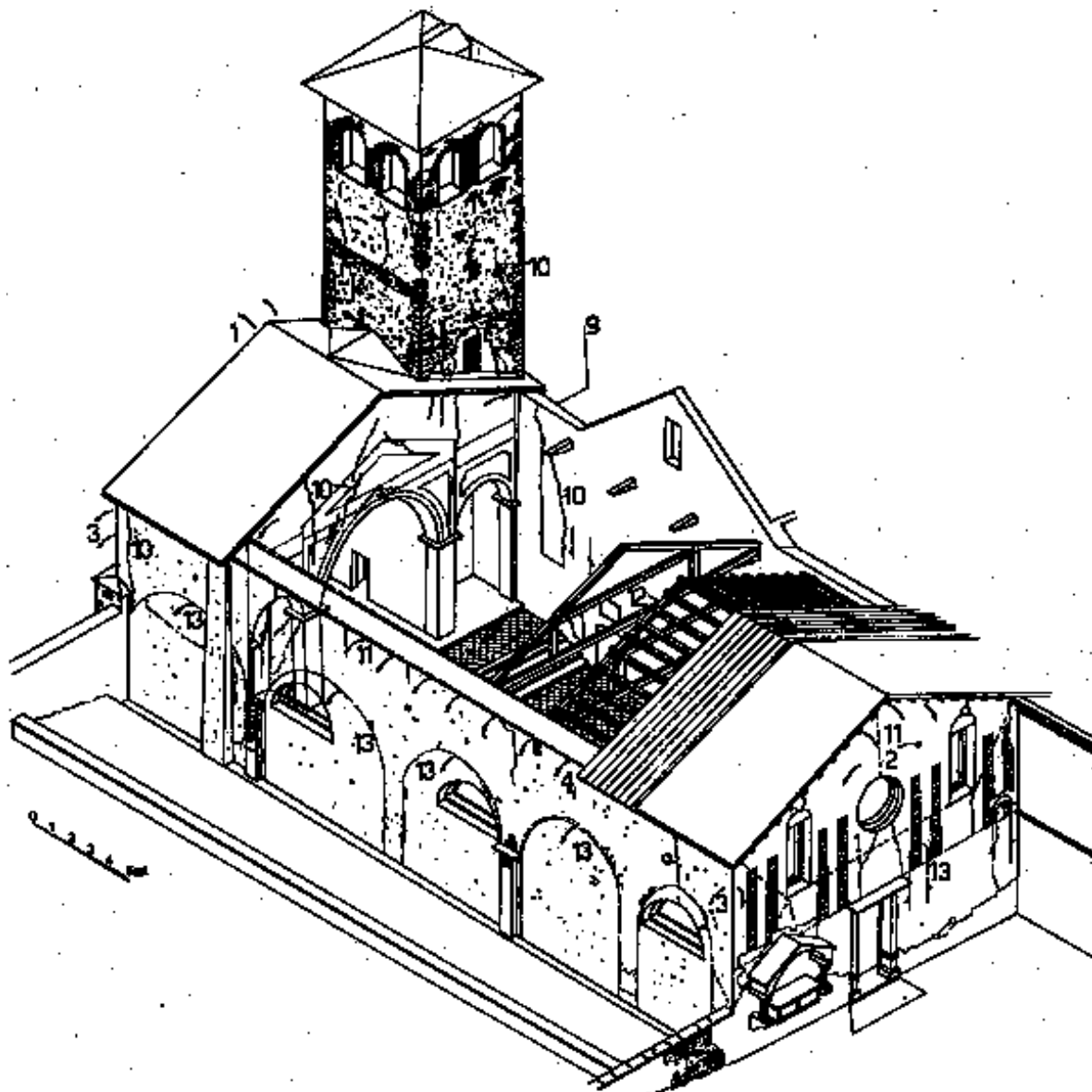
A seconda delle situazioni e condizioni operative -che il sottotetto sia utilizzabile o meno, che l'intradosso del tetto sia a vista o meno, ecc.- la soluzione può consistere nella riconduzione a schema di capriata, capriata zoppa o semicapriata dell'elemento che ora costituisce un puntone isolato. Ciò può essere realizzato con tiranti metallici che formino la catena, applicati alla testa dei puntoni contrapposti (capriata), oppure applicati ad un punto mediano per consentire passaggi nel sottotetto (capriata zoppa), oppure, per un solo puntone, a murature più interne (semicapriata). In alternativa al tirante metallico si possono utilizzare coppie di tavoloni in legno, fissate con staffe e viti al puntone, o elementi lignei.

Queste soluzioni possono essere combinate con saettoni in legno che trasferiscano parte del carico, verticalizzandolo, ad esempio al nodo muro-solaio di sottotetto, opportunamente rinforzato, oppure a muri interni.

Non vi è dubbio tuttavia che alcune situazioni sono intrinsecamente di difficile soluzione: vedi ad esempio il caso delle coperture absidali, formate da puntoni o semicapriate, in genere prive di un efficace punto di tenuta interno, in cui a volte la collocazione delle semicatene è resa impossibile dalla presenza di volte o sof-



Vista interna del tetto a restauro ultimato. Le catene inflesse sono state affiancate da una coppia di tiranti metallici collegati alle piastre di consolidamento delle teste delle capriate e al cordolo-tirante perimetrale. Questi interventi di affiancamento, che rivestono la duplice funzione di consolidamento statico della capriata e di contributo al miglioramento sismico, solidarizzando le due pareti dell'aula, hanno consentito con un limitato impatto visivo di evitare le sostituzioni di elementi lignei antichi. Chiesa di Ognissanti, Feltrè.



VULNERABILITA' TIPICHE CON DISNESTO ATTIVATO

FACCIATA:

1. ROTAZIONE FUORI PIANO DEL TIMPANO A SEGUITI DI FORMAZIONE DI CRACKS CILINDRICI CON ASSI INCLINATI (meccanismo n.2)
2. TRASLAZIONE NEL PIANO DELLA FACCIATA (meccanismo n.4)
3. ROTAZIONE DELL'ANGOLATA (meccanismo n.5)

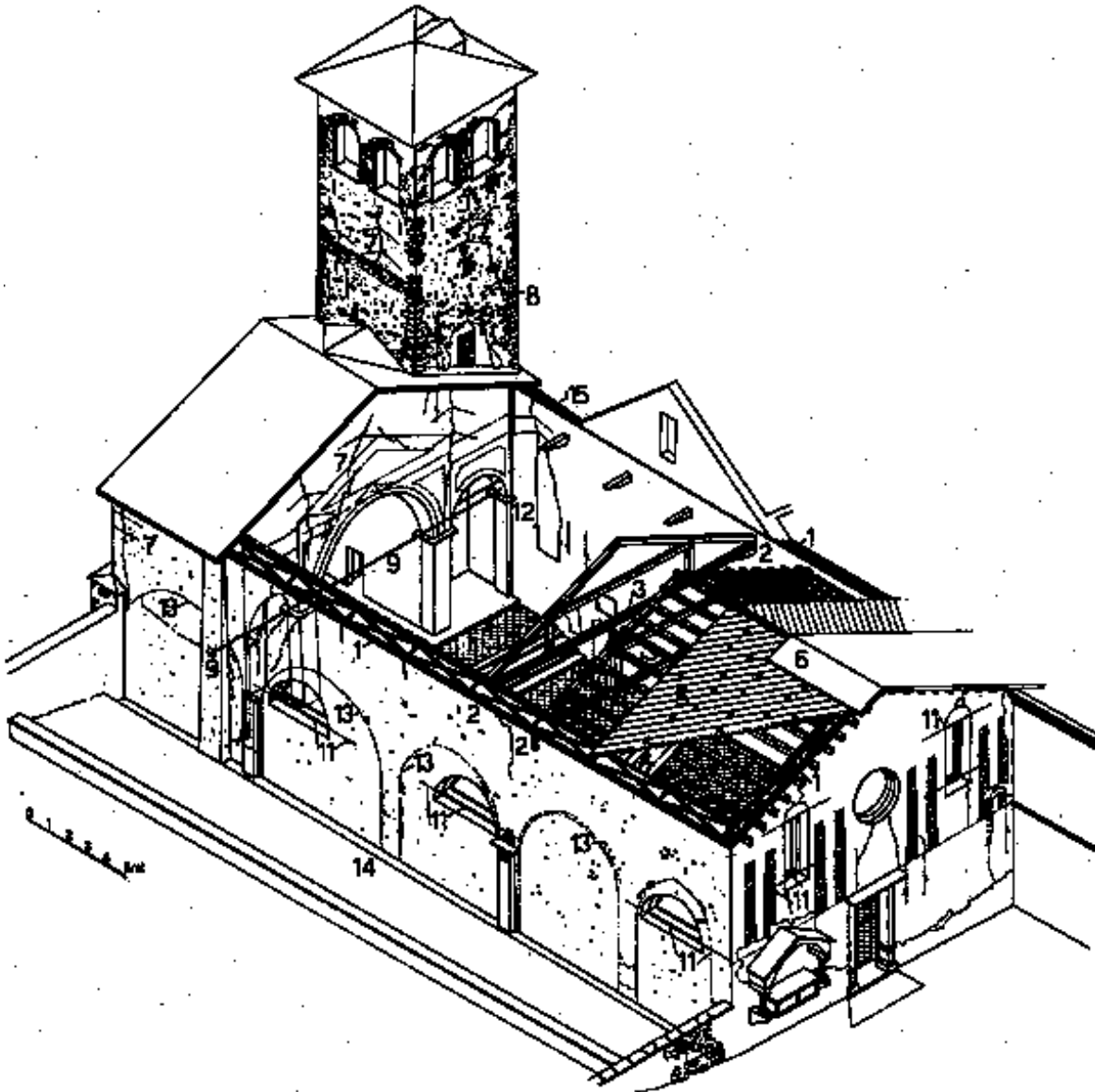
PARETE LATERALE:

4. SPOSTAMENTO FUORI PIANO DI PARETE LIBERA IN SOMMITA' E VINCOLATA SU TRE LATI (meccanismo n.1)

5. SPOSTAMENTO FUORI PIANO DI PARETE LIBERA SU TRE LATI (meccanismo n.3)
6. SPINTE LOCALIZZATE DEL TETTO (meccanismo n.6)
7. MECCANISMI INDOTTI DA ELEMENTI CONTIGUI IN ZONA DI SOVRAPPORZIONE (meccanismo n.7)
8. ROTAZIONE BILATERALE DELLE SPALLE (simmetrico-meccanismo n.5)
9. CAMPANILE: vedi caso del campanile della Chiesa di San Giovanni a Venezia

VULNERABILITA' SPECIFICHE

10. Presenza di intaccamenti pregressi
11. Presenza di spostamenti
12. Insufficienza strutturale da degrado
13. Presenza di archi a spuntone senza ancoramento

**INTERVENTI REALIZZATI SUL TETTO:**

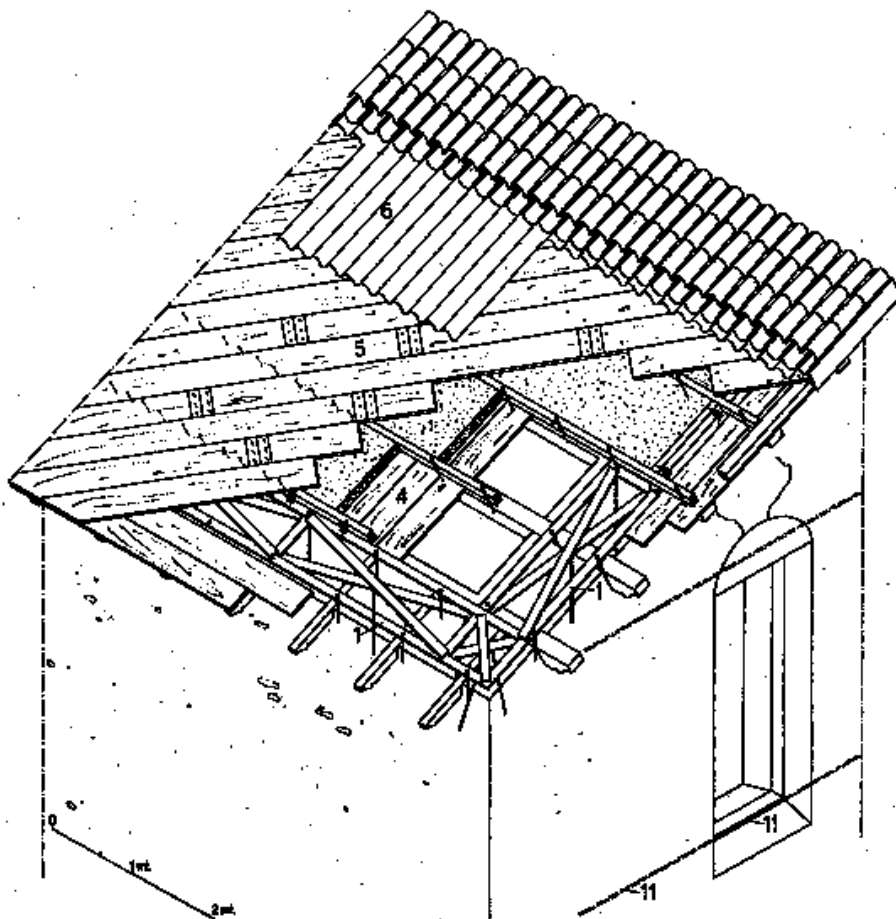
1. CORDOLO-TIRANTE IN PROFILATO METALLICO, ANCORATO ALLA PARTE SOMMITALE DELLA MURATURA CON BARRE CEMENTATE E ALLE ORDITURE LIGNEE CON VITI (vedi particolare)
1. COLLEGAMENTI TRA LE TESTE DELLE CAPRIATE E IL CORDOLO TIRANTE - COPPIA DI PIASTRE METALLICHE LATERALI AFFIANCATE E IMBOLLONATE ALLA TESTA DELLA CAPRIATA; COLLEGAMENTO SALDATO AL CORDOLO METALLICO (vedi particolare)
2. CONSOLIDAMENTO DELLE CAPRIATE (COPPIA DI TIRANTI METALLICI AFFIANCATI ALLA CATENA, RINFORZO DELLE TESTE, PUNTONI SOVRAPPosti, CERNI TAVOLATI DI LARICE, ecc.)
3. MANUTENZIONE E RESTAURO DEL TAVOLATO ANTICO E DEI TRAVETTI (RIPARAZIONI LOCALI, TRATTAMENTI ANTITARLO ED ANTIDIVERFA, ecc.)
4. IRPACCIMENTO DELLE FALDE A MEZZO DI TAVOLATO IN LARICE, POSTO IN DIAGONALE E COLLEGATO AL CORDOLO-TIRANTE PERIMETRALE

5. POSA DI MANTI DI PROTEZIONE (ONDULINA) E RICOLLOCAZIONE DEL MANTO IN COPPI

ALTRI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO ANTISISMICO GIÀ REALIZZATI:

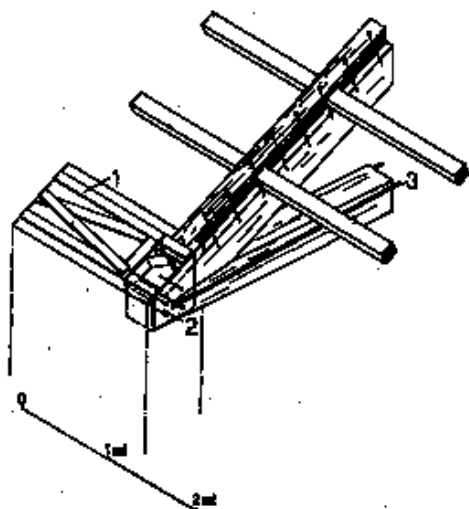
6. RIPARAZIONE DELLE LESIONI A MEZZO DI CLUTTURE ARMATE CON BARRE INCK E COLI DI MALTA FLUIDA PRIVA DI SALI
7. REVERINE DEI TIRANTI ESISTENTI E POSA DI NUOVI TIRANTI
8. POSA DI TIRANTE CONTINUO SULLE TRS CAMPATE DELL'ARCO TRONCALE
9. TIRANTATURA METALLICA ESTERNA AL CAMPANILE (CERCHIATURA DELLA BASE DI APPOGGIO SULLA CHIESA)
10. TIRANTINI PARTE ESTERNA PARTE INTERNI ALLA MURATURA 12.70X0,90

PARTE PRIMA



Particolare degli interventi di connessione tra il tetto e le murature - angolata nord-ovest tra facciata e parete nord. Chiesa di Ognissanti a Feltre (BL).

- 1 - Cordolo-tirante in profilato metallico, ancorato alla parte sommitale della muratura con malta adesiva e barre cementate, e alle orditure lignee con viti mordenti.
- 4 - Manutenzione e restauro del tavolato antico e dei travetti (riparazioni locali, trattamenti antitarlo e antimuffa, ecc.).
- 5 - Irrigidimento delle falde a mezzo di tavolato in larice posto in diagonale, collegato al cordolo-tirante perimetrale.
- 6 - Posa di manti ondulati di protezione e ricollocazione del manto in coppi.
- 7 - Riparazione delle lesioni a mezzo di cuciture armate con barre inox e coli di malta adesiva priva di sali.
- 11 - Tirantini parte interni e parte esterni alla muratura (in corrispondenza di aperture).



Particolare degli interventi di collegamento delle capriate alle murature e di consolidamento delle capriate.

- 1 - Cordolo tirante in profilato metallico, ancorato alla parte sommitale della muratura.
- 2 - Collegamento tra le teste delle capriate e il cordolo tirante formato da coppie di piastre metalliche laterali affiancate e imbullonate alla testa della capriata, e da collegamento saldato con il cordolo metallico.
- 3 - Consolidamento delle capriate con coppia di tiranti metallici affiancati alla catena, rinforzo delle teste, rinforzo del puntone con sovrapposizione di tavoloni di larice.



Fasi di realizzazione di tavolato di irrigidimento a 45° sul tetto di una chiesa di piccole dimensioni. Chiesa di S. Marcello a Umin di Feltr.

fitti a volta. In casi di questa natura vanno ricercate altre soluzioni, ad esempio una più marcata solidarizzazione delle falde di impalcato tra loro, alle orditure e al cordolo-tirante perimetrale.

Oltre alle situazioni a configurazione spingente, vanno controllati e potenziati tutti i collegamenti interni ai diversi ordini di struttura del tetto (grossa-media e minuta, oppure principale e secondaria), onde evitare che lo sfilamento di un chiodo, o la sua mancanza, faccia diventare spingenti elementi che non appaiono tali, oppure ne consenta la perdita di appoggio. Molto utili sono, ad esempio, le bandelle applicate al colmo sui travetti inclinati contapposti, oppure i profilati metallici a L con viti su terza e travetto inclinato, o le bandelle che collegano all'appoggio due travi in continuità, ma separate.

Come si è detto, l'occasione più favorevole per contrastare lo sbandamento fuori piano di pareti lunghe prive di controvento è rappresentato dal piano di falda, opportunamente irrigidito e collegato al cordolo-tirante. Se l'impalcato è formato solo da murali o da tavolato con coppi direttamente appoggiati (tetto non isolato), nel caso non si intenda modificare l'impalcato è opportuno realizzare sul piano di falda controventi a croce di S. Andrea in lama metallica o con tavoloni, solidarizzati al colmo e al cordolo-tirante. Più funzionale appare la sovrapposizione di tavolato continuo, meglio se immaschiato, ove possibile con assetto a 45°, fissato con numerose viti mordenti all'impalcato, ai travetti e al cordolo-tirante a muro. L'assetto a 45° viene proposto, oltre che per formare un impalcato rigido insieme a quello esistente, per la più spiccata funzione di collegamento a trazione tra muri ortogonali, utile ad esempio a trasferire ad un muro di spina parte della spinta fuori piano di un muro di facciata, o a contrastare reciprocamente le spinte di muri ortogonali esterni. Particolarmente utile è questo accorgimento per contenere reciprocamente il ribaltamento del timpano e lo sbandamento fuori piano delle pareti lunghe dell'aula di una chiesa, come nel caso esemplificato nei grafici e nelle foto.



Deformazione del piano di falda in travetti e pianelle con perdita di verticalità delle capriate (tendenza all'accatastamento) e trasmissione di spinta al timpano esterno, in cui si attiva un meccanismo di ribaltamento (vedi foto inferiore). Caldarola, chiesa di S. Maria nella Valle. Il fenomeno è da mettere in relazione al comportamento rigido-fragile dell'impalcato.





Capochiave tradizionale a gomito con bandella interna chiodata per l'ancoraggio di terza al muro di cimasa

Cordolo-tirante formato da lama in muro di limitato spessore, e collegamento con testa di capriata. Il vecchio capochiave a paletto affiancato alla catena viene mantenuto in opera.



Più complesso, ma assolutamente necessario, è l'intervento sugli impalcati a travetti in legno e pianelle in laterizio accostate a malta. Oltre ad un peso proprio maggiore (circa 60-70 kg/mq in luogo di 15-18 di un impalcato in legno), l'impalcato in cotto presenta un comportamento, come si è detto, rigido-fragile: è in grado di trasmettere sollecitazioni compressive alle murature perimetrali, ma non svolge azioni di ritegno in quanto privo di resistenza a trazione e facilmente danneggiabile da azioni taglianti. Spostamenti e inflessioni anche lievi dei travetti portano i mattoni a perdere l'appoggio e a cadere. Si tratta senza dubbio di un modo costruttivo altamente vulnerabile al sisma, e che, in assenza di interventi, non fornisce contributi alla resistenza strutturale della costruzione.

Sono possibili diverse soluzioni di miglioramento.

Un intervento usualmente adottato consiste nel realizzare una cappa in calcestruzzo armata con rete elettrosaldata al di sopra del pianellato. Essa comporta un peso elevato: considerato che lo spessore minimo è di circa 4 cm., il peso si aggira sui 110-115 kg./mq, ma l'esperienza insegna che è d'uso ripianare gli avvallamenti ed aumentare lo spessore medio a 5-6 cm., portando il peso unitario a livelli elevati. Si innalza perciò il baricentro della costruzione, aumentando le sollecitazioni cui è sottoposta. Inoltre la cappa armata è un intervento nella pratica non reversibile senza demolire anche il pianellato cui aderisce, rendendolo irrimediabile. Per non demolire il pianellato, gli interventi di manutenzione di travetti e orditure dovranno essere operati dal basso, con notevoli difficoltà operative.

Si ritiene perciò di sconsigliare l'uso di cappe in calcestruzzo sui tetti, utilizzando semmai calcestruzzo alleggerito con armatura formata da rete elettrosaldata zincata per proteggerla dalla corrosione.

Nel caso i travetti presentino una adeguata sezione e non siano inflessi, l'irrigidimento può essere realizzato con croci di S. Andrea sovrapposte, realizzate con lame metalliche dotate di punti di ancoraggio mediani alle travature sottostanti (attraverso barre filettate o viti mordenti), oltre che collegate al cordolo-tirante. La stesura di un sottile strato di malta dolce armata con rete di plastica può conferire una sufficiente resistenza a trazione all'impalcato. Questa soluzione, di peso notevolmente minore, presenta una più agevole rimovibilità rispetto alla cappa armata.

Una variante può essere costituita dall'impiego, oltre alla croce di S. Andrea, di malta formata da malta fortemente adesiva (come la colla per la posa in opera di piastrelle) armata con rete di plastica. A maggiori caratteristiche di resistenza contrappone una minore rimovibilità.

Se i travetti sono inflessi e non ne è opportuna la sostituzione con rimozione del pianellato -come ad esempio nel caso di mattoni decorati all'intradosso- un efficace intervento innovativo è costituito dalla sovrapposizione di pannelli di compensato di tipo marino, per una maggiore durabilità. Posto longitudinalmente ai travetti e collegato ad essi con viti mordenti o barre filettate che attraversano il pianellato in corrispondenza dei giunti a malta, il compensato risolve i problemi

di portata dell'orditura secondaria. I diversi pannelli vanno collegati tra loro con bandelle in lamierino e viti - intervento da realizzare anche al colmo del tetto per solidarizzare le falde- e ancorati al cordolo-tirante perimetrale.

Questo intervento consente, oltre ad un peso limitato, una più facile rimuovibilità/reversibilità senza danneggiare l'impalcato, una elevata "rigidezza duttile", ossia un buon comportamento a lastra resistente a trazione e compressione, capace però di assorbire energia con limitate deformazioni senza rotture. Il suo comportamento può essere accentuato attraverso la sovrapposizione di bandelle metalliche poste lungo le linee di maggiore sollecitazione.

Negli ultimi decenni si è creato una sorta di automatismo tecnico, dovuto anche alla legge 64/1974, per cui nella parte sommitale delle murature si doveva comunque realizzare un cordolo in calcestruzzo armato.

Alla luce delle osservazioni sul comportamento al sisma di interventi realizzati nel passato recente e di una più attenta valutazione delle opere proprie del miglioramento, la costruzione di cordoli sommitali in calcestruzzo armato va ora riesaminata con grande prudenza e, ove possibile, sostituita da altri accorgimenti.

Il cordolo sommitale è un intervento di facile realizzazione, in quanto la muratura è ben accessibile una volta rimosso il manto di copertura. Tuttavia esso modifica in modo notevole il comportamento della struttura. Osservando i danni prodotti da sisma su edifici in cui sono stati realizzati cordoli sommitali o intermedi in c.a., si è potuto constatare come la loro presenza accentui notevolmente la frequenza e l'entità dei meccanismi a taglio sulle strutture murarie sottostanti, aggravando i danni dovuti a questo tipo di sollecitazione. I meccanismi fuori piano divengono meno frequenti, ed assumono modalità diverse.

Come è noto, la muratura tradizionale, ed in particolare la muratura in ciottoli e pietrame, ha in media modeste caratteristiche di resistenza al taglio. Se si inseriscono cordoli, date le accresciute sollecitazioni, sorge la necessità di un contestuale diffuso consolidamento della muratura a mezzo di iniezioni, per renderla maggiormente in grado di resistere agli sforzi taglienti. La scelta del cordolo cementizio in questo nodo strutturale comporta perciò un intervento di per sé altamente invasivo sull'intero sistema murario o su buona parte di esso, e che potrebbe non essere necessario. Nei casi evidenziati da una specifica diagnosi è comunque opportuno realizzare il consolidamento proprio delle murature attraverso iniezioni o altre tecniche. Tuttavia la presenza di corpi fortemente rigidi e di notevole massa e peso alla quota più alta, come i cordoli e, ancor più, i tetti in calcestruzzo armato che spesso vi si associano, rende pressoché inevitabile e comunque prudenziale l'aumento generalizzato delle caratteristiche di resistenza al taglio delle murature, con interventi di alto impatto.

Il cordolo cementizio a sezione quadrata o rettangolare costituisce un elemento parziale derivato da un



Ancoraggio di terza alla cimasa di muro esterno attraverso l'applicazione esterna di un collare metallico a L. Palazzo Cumano, Feltre.

Sotto: gli elementi metallici fuori opera.



sistema costruttivo a telaio con solai rigidi e con tamponamenti non strutturali, la cui concezione è rivolta a raggiungere un comportamento elastico lineare, profondamente diverso dal sistema murario continuo, caratterizzato da comportamento non lineare. Così utilizzato, il solo cordolo non può raggiungere l'organicità strutturale del sistema intelaiato e giunge ad un modello ibrido, che si potrebbe definire a muratura corsata da elementi rigidi. L'insieme di vincoli operativi, come l'impossibilità di realizzare cordoli su tutto lo spessore della muratura, comunque eseguiti in breccia per tratti successivi e perciò con scarti e approssimazioni, o come il collegamento non ottimale con i solai, allontanano l'intervento reale anche dal modello di muratura corsata.

Sotto il profilo degli impatti fisici sulla costruzione, l'esecuzione dei cordoli in sommità comporta inoltre notevoli problemi per l'interferenza con le teste delle capriate o delle orditure principali del tetto, generalmente lignee. Infatti, per poter attribuire al cordolo la funzione di appoggio e di ripartitore del carico degli elementi principali, esso deve essere posto al di sotto della quota di imposta delle orditure di grande sezione, ma ciò comporta, nella pratica operativa, una rilevante demolizione di tratti di muratura terminale e la formazione, a volte, di cordoli di dimensione e di peso abnorme. Oltretutto questo spesso implica la sistematica demolizione/rimozione delle grandi orditure, fatto raramente richiesto dal degrado proprio del tetto, di forte impatto modificativo e perciò, ove non ne sia dimostrata la necessità, non accettabile dal punto di vista dei criteri conservativi del restauro.

Inoltre, un ordinario cordolo in calcestruzzo esteso a tutto lo spessore della muratura e dotato di una armatura regolare, è struttura di notevole rigidità flessionale, oltre che sull'asse orizzontale, anche sull'asse verticale, requisito quest'ultimo non richiesto. Il sistema muro-calcestruzzo ha una drastica discontinuità nel punto di contatto tra la superficie del cordolo e quella della muratura di appoggio; discontinuità che la maggiore dilatazione termica propria dell'elemento in c.a.

rispetto alla muratura accentua, formando nel tempo la caratteristica cavillatura orizzontale che testimonia la perdita di adesione all'interfaccia tra calcestruzzo e muratura. La maggiore deformabilità delle strutture murarie rispetto al cordolo - riconducibile alla grande differenza tra i moduli elastici, alla monoliticità del cordolo, ecc. - porta nel corso dei cicli sismici al distacco orizzontale con la muratura, facendo venir meno l'effetto di contenimento sulle murature sottostanti. Inoltre la notevole massa propria del cordolo nella posizione più elevata determina un effetto "ariete" sulle strutture d'appoggio o contigue, formando o ampliando il giunto orizzontale. Si sono infatti constatati frequenti crolli parziali di murature al di sotto del cordolo con separazione netta, dopo aver subito lesioni a taglio. Si tratta, probabilmente, di strutture che sarebbero comunque crollate in assenza di consolidamenti, e quindi non è tout-court attribuibile al cordolo il danno presente.

Per questo complesso di motivi, si ritiene che nella maggior parte dei casi questo tipo di intervento, e solo ove realizzabile in modo organico, sia concettualmente riconducibile all'adeguamento sismico e non debba se non in particolari condizioni essere incluso all'interno del miglioramento.

Una soluzione che attenua i più gravi inconvenienti del cordolo a sezione quadrata o trapezia può essere rappresentata da un cordolo a fascia, di limitato spessore (al massimo 7-10 cm.), con armature allineate e perciò con barre trasversali al posto delle staffe, e con forti connessioni alla muratura sia chimiche (aggrappanti, malte adesive) che meccaniche (connettori metallici e staffe). Permane tuttavia la notevole difficoltà operativa di realizzare connessioni efficaci con l'impalcato irrigidente e con l'appoggio delle travi principali.

8.3. Il nodo muro-solaio: consolidamento dell'appoggio e connessioni muro-solaio, irrigidimento di solai e tirantatura perimetrale (4)

La connessione tra i solai a struttura lignea e le murature di appoggio costituisce un nodo fondamentale per la resistenza al sisma della costruzione. Il solaio svol-

(4) Dalle "Istruzioni...", cit., paragrafo C.4.5- Solai:

"In presenza di azioni sismiche i solai assumono un ruolo fondamentale di collegamento tra pareti murarie e di trasmissione di sforzi orizzontali.

A tal fine è essenziale, di norma, che essi siano efficacemente collegati alle murature e possiedano una sufficiente rigidità nel piano.

Compatibilmente con il rispetto delle precedenti finalità, è opportuno che, di norma, i solai con struttura in legno siano il più possibile conservati, anche in considerazione del loro ridotto peso proprio. Le linee preferenziali di intervento saranno pertanto:

- ove necessario si adotterà la tecnica di irrigidimento dei tavolati, con particolare attenzione alle tecniche di ammassamento dei muri laterali;
- per i solai a travi in legno e pannelle di cotto, che presentano limitata resistenza nel piano, possono essere adottati interventi di irrigidimento all'estradosso con caldane armate alleggerite, opportunamente collegate alle murature perimetrali;
- per i solai a putrelle e voltine o tavelloni è opportuno provvedere all'irrigidimento mediante solettina armata resa solidale ai profilati e collegata alle murature perimetrali;
- non deve essere adottato indistintamente l'inserimento di cordoli in breccia che comportano tagli continui nella muratura. In ogni caso deve essere data la preferenza ad incatenamenti e collegamenti perimetrali puntuali;
- nei casi in cui un solaio in legno o in ferro non possa essere conservato a causa dell'accentuato degrado o dissesto sarà opportuno sostituirlo con un nuovo solaio analogo a quello esistente;
- il consolidamento delle travi lignee potrà avvenire aumentando la sezione portante in zona compressa, mediante l'aggiunta di elementi opportunamente connessi.

ge nei confronti della muratura di appoggio una azione di stabilizzazione verticale e di contenimento degli spostamenti fuori piano. Inoltre il solaio contribuisce a solidarizzare tra loro le murature, trasferendo e ripartendo le azioni orizzontali prodotte dal terremoto. Tuttavia, i diversi modi con cui è realizzato il collegamento possono far assumere al vincolo una funzione assimilabile al semplice appoggio con attrito, oppure ad una cerniera, o ad un incastro, per cui a seconda dei casi il nodo fornisce un contributo molto diverso alla stabilità del sistema. Va detto che la configurazione costruttiva delle antiche murature e solai fa sì che questo riferimento abbia solo valore indicativo, in quanto i requisiti richiesti da un vincolo "ideale" vengono nella realtà assicurati in modo imperfetto, assumendo funzioni ibride.

Analogamente, a seconda della sua costituzione, il solaio può avere alle azioni orizzontali un comportamento a diaframma deformabile e fragile oppure a lastra semirigida con caratteristiche di duttilità; nel primo caso giunge rapidamente a rottura e fornisce limitati contributi al sistema, nel secondo ripartisce le azioni tra le diverse strutture e contribuisce ad assorbirle deformandosi in modo elasto-plastico.

Le variazioni regionali e sub-regionali dei tipi di solaio e dei tipi di muratura, nonché l'esistenza nelle tradizioni costruttive locali di diverse modalità di ripartizione dei carichi all'appoggio e di connessione a muro del solaio, comportano una significativa varietà di situazioni.

Pur con una forte semplificazione, si propone di suddividere i solai dell'edilizia civile in due principali tipologie strutturali: il solaio monordito, con un solo ordine di travi poggiate sui muri opposti, e il solaio biordito, a due ordini, formato da travi maestre principali su cui poggiano travi secondarie. La tipologia costruttiva dell'impalcato, che condiziona la sezione e il passo dei travetti, può variare dal tavolato ligneo al pianellato in cotto, che in alcune situazioni svolge direttamente la funzione di pavimento.

Il solaio biordito con impalcato a pianelle costituisce probabilmente il tipo più diffuso nell'area marchigiana. L'orditura principale, sovente di grande luce e notevole sezione, presenta interasse variabile da poco meno di due metri fino a oltre tre metri; l'orditura secondaria, di sezione minore in quanto destinata a reggere l'impalcato, è ortogonale alle travature principali, sulle quali poggia nei tratti mediani. Sui due lati più brevi dell'ambiente i travetti poggiano direttamente a muro, o su un trave dormiente affiancato.

Usualmente le orditure principali corrono parallele alla facciata e si appoggiano sui muri di spina interni o di testa, mentre i travetti secondari poggiano sulle murature di facciata e sono posti ortogonalmente ad esse.

Per quanto riguarda le murature di appoggio, invece, una delle caratteristiche più rilevanti ai fini dell'efficienza del nodo muro-solaio, già citata, è costituita dalla più o meno marcata costituzione a paramenti distinti o relativamente mal collegati tra loro nel nucleo mediano, e che perciò possono tendere ad assu-



Fenomeni di dissesto statico e sismico in solaio biordito con impalcato a pianelle. Fabriano. Si osserva l'inflessione dei travetti, per contrastare la quale - a parte gli elementi da sostituire perchè degradati - può essere utile l'intervento estradossale con pannelli di compensato poggiati in luce tra i travi principali e ancorati ai travetti con viti.



Si osserva il punzonamento con avvio di sfilamento delle travi principali, riconducibile ad un meccanismo di ribaltamento della facciata non contrastato. In questo caso appare necessario collegare agli estremi delle travi una bandella metallica con piastra o capochiave esterno, come illustrato più avanti.

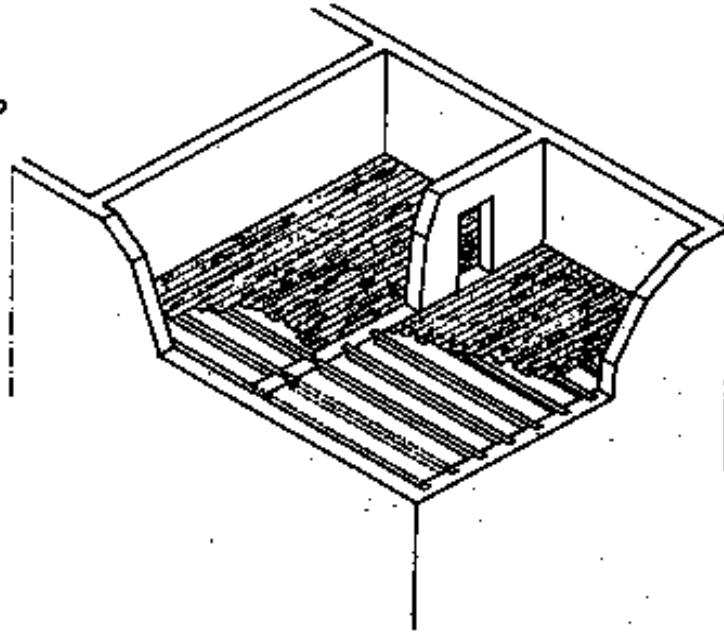
Nella foto in basso è visibile l'analogo fenomeno all'appoggio dei travetti, e risulta evidente la necessità di un loro ancoraggio a muro con cordolo-tirante metallico



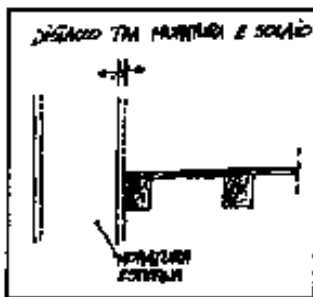
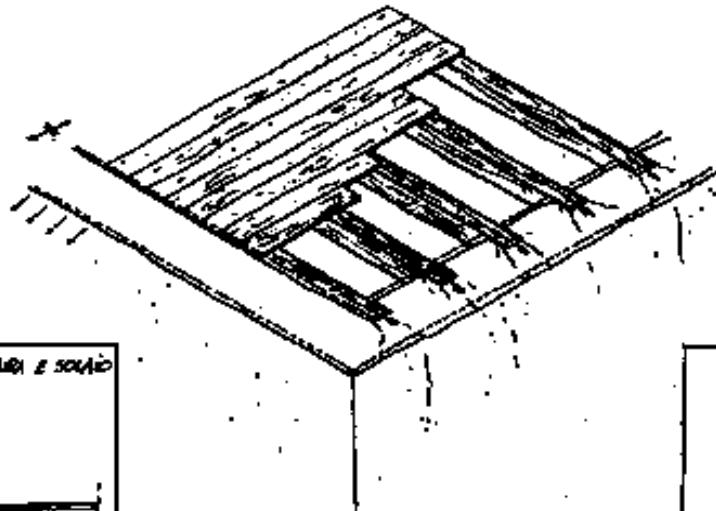
TIPOLOGIE DI SOLAIO

A) SOLAI MONORIBETE:

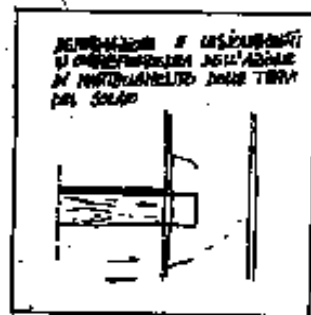
- L. ORDITURA:
- TRAVI IN LEGNO
- IMPALCATO:
- TAVOLATO IN LEGNO



ASPETTI VULNERABILI (con danno relativo)



NESUN COLLEGAMENTO
RESISTENTE A TRAZIONE TRA
TAVOLATO E PARETI DI APOGGIO



VINCOLO ASSIBILIBILE A
SEMPLICE APOGGIO, CON
CONSEQUENTE
POSSIBILITÀ DI SFILAMENTO
DELLE TRAVI.

EFFETTI DI MARTELLAMENTO SUL
PARAMENTO OPPOSTO A QUELLO
DI
APOGGIO

OBIETTIVI DI MIGLIORAMENTO

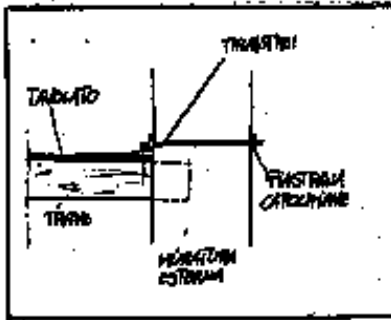
MODIFICARE IL VINCOLO DA APPoggio A CERNIERA, RENDENDO LE TRAVI NON SPILABILI

REALIZZARE COLLEGAMENTI RESISTENTI A TRAZIONE TRA TAVOLATO E MURO DI APPoggio, IN PARTICOLARE SUE LATI SCARICHI (IN SENSO LE DUE FACCE) (E)

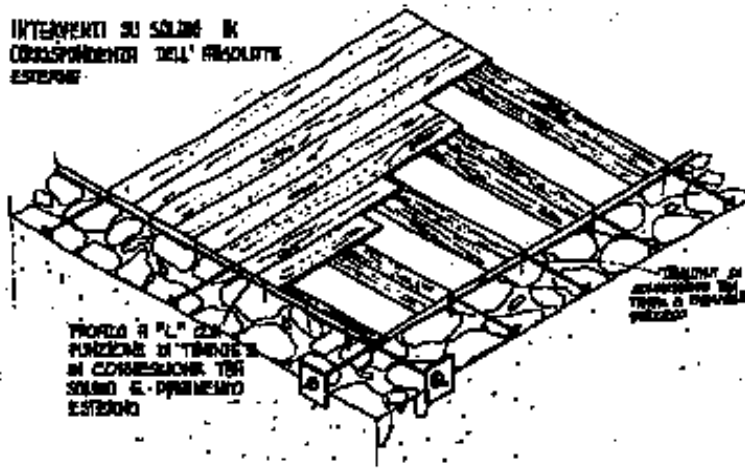
REALIZZAZIONE DI COLLEGAMENTI TRA PARAMENTO INTERNO ED ESTERNO PER IMPEDIRE LA SEPARAZIONE DELLA MURATURA AGLI APPoggi DEI SOLAI

EVENTUALE AUMENTO DELLA RIGIDITA', DEFORMABILITA' E/O DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL SOLAIO

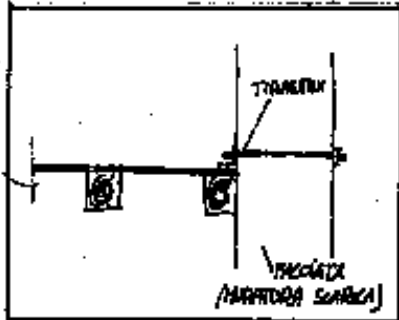
PARTICOLARI COSTRUTTIVI



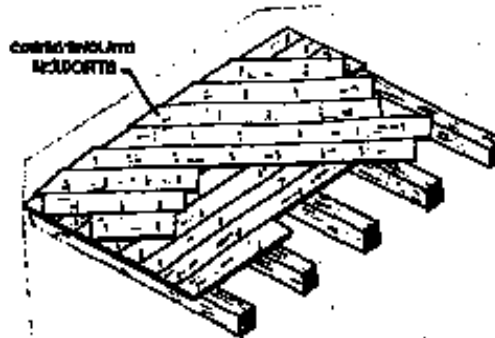
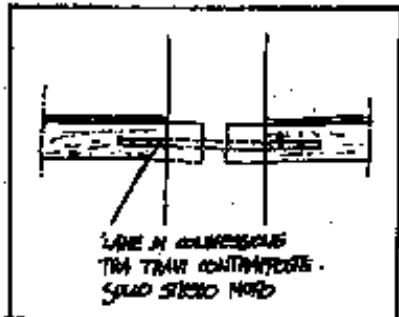
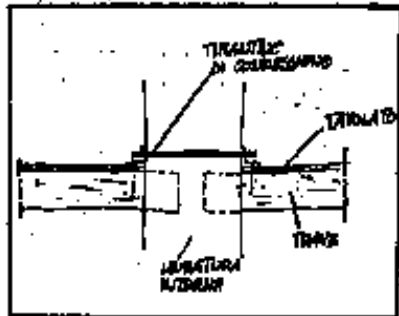
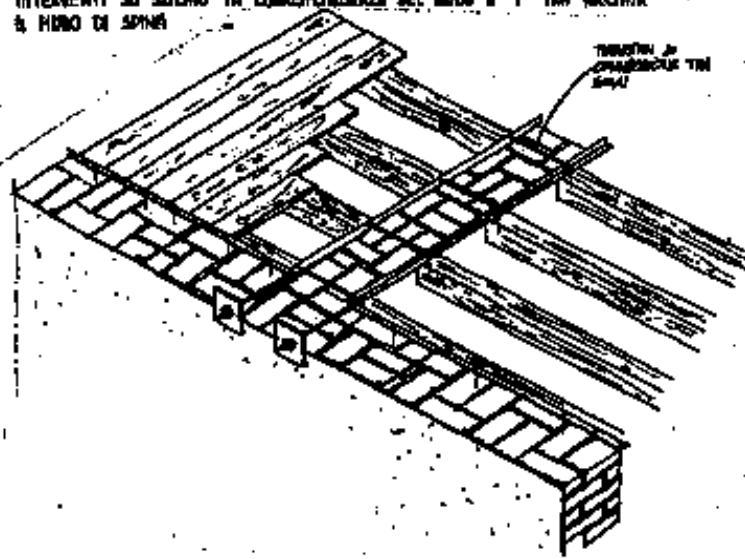
INTERVENTI SU SOLAI IN CORRESPONDENZA DELL' FACCIATA ESTERNA



TRAVE IN CERNIERA CON FUNZIONE DI TRAVI IN COLLEGAMENTO TRA SOLAIO E DAPPoggio ESTERNO



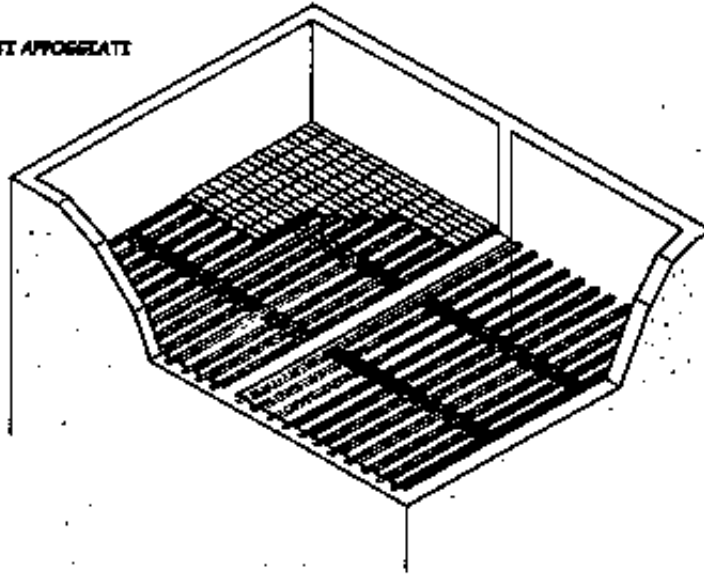
INTERVENTI SU SOLAI IN CORRESPONDENZA DEL MODO II "T" TRA FACCIATA E MURO DI APPoggio



TIPOLOGIE DI SOLAIO

B) SOLAI STORDITI

1. ORDITURA:
TRAVI PRINCIPALI E TRAVETTI APOGGIATI
D'IMPALCATO:
A PIANELLE IN COTTO

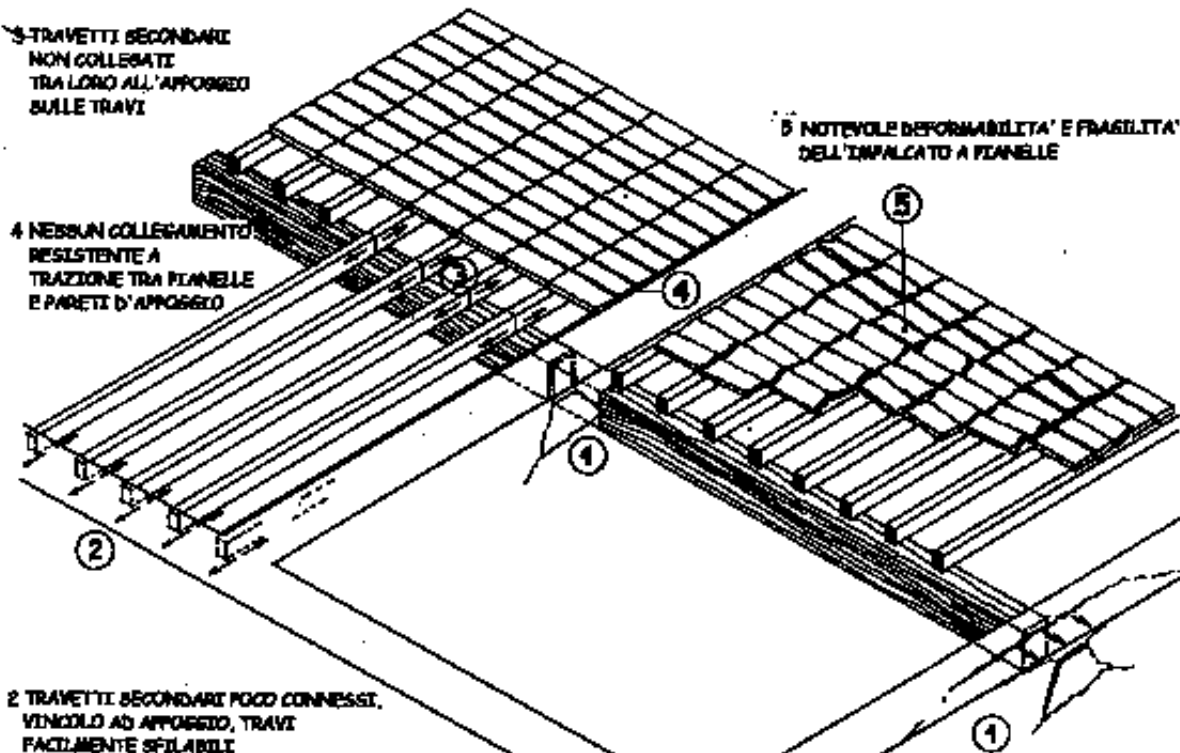


ASPETTI VULNERABILI (con danno relativo)

3 TRAVETTI SECONDARI
NON COLLEGATI
TRA LORO ALL'APPOGGIO
SULLE TRAVI

5 NOTEVOLE DEFORMABILITA' E FRAGILITA'
DELL'IMPALCATO A PIANELLE

4 NESSUN COLLEGAMENTO
RESISTENTE A
TRAZIONE TRA PIANELLE
E PARETI D'APPOGGIO



2 TRAVETTI SECONDARI POCO CONNESSI.
VINCOLO AD APPOGGIO, TRAVI
FACILMENTE SFILABILI

1 CONCENTRAZIONE DEI CARICHI
ALL'APPOGGIO DELLE TRAVI MAESTRE,
CON SCHIACCIAMENTO DELLA
MURATURA ED EFFETTO ARIETE SUL
PARAMENTO OPPOSTO AL PUNTO DI
APPOGGIO

NOTA.
LE PRESENTI VALUTAZIONI PRESUPPONGONO UNA SODDISFACENTE
EFFICIENZA PROPRIA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI (TRAVATURE
PRIVE DI RILEVANTE INFLESSIONE, TESTE BEN ANCORATE ALLA
MURATURA E BEN CONSERVATE).
SOVENTE, INVECE, I TRAVETTI CHE REGGONO LE PIANELLE SONO
INFLESSI DAL CARICO PERMANENTE.

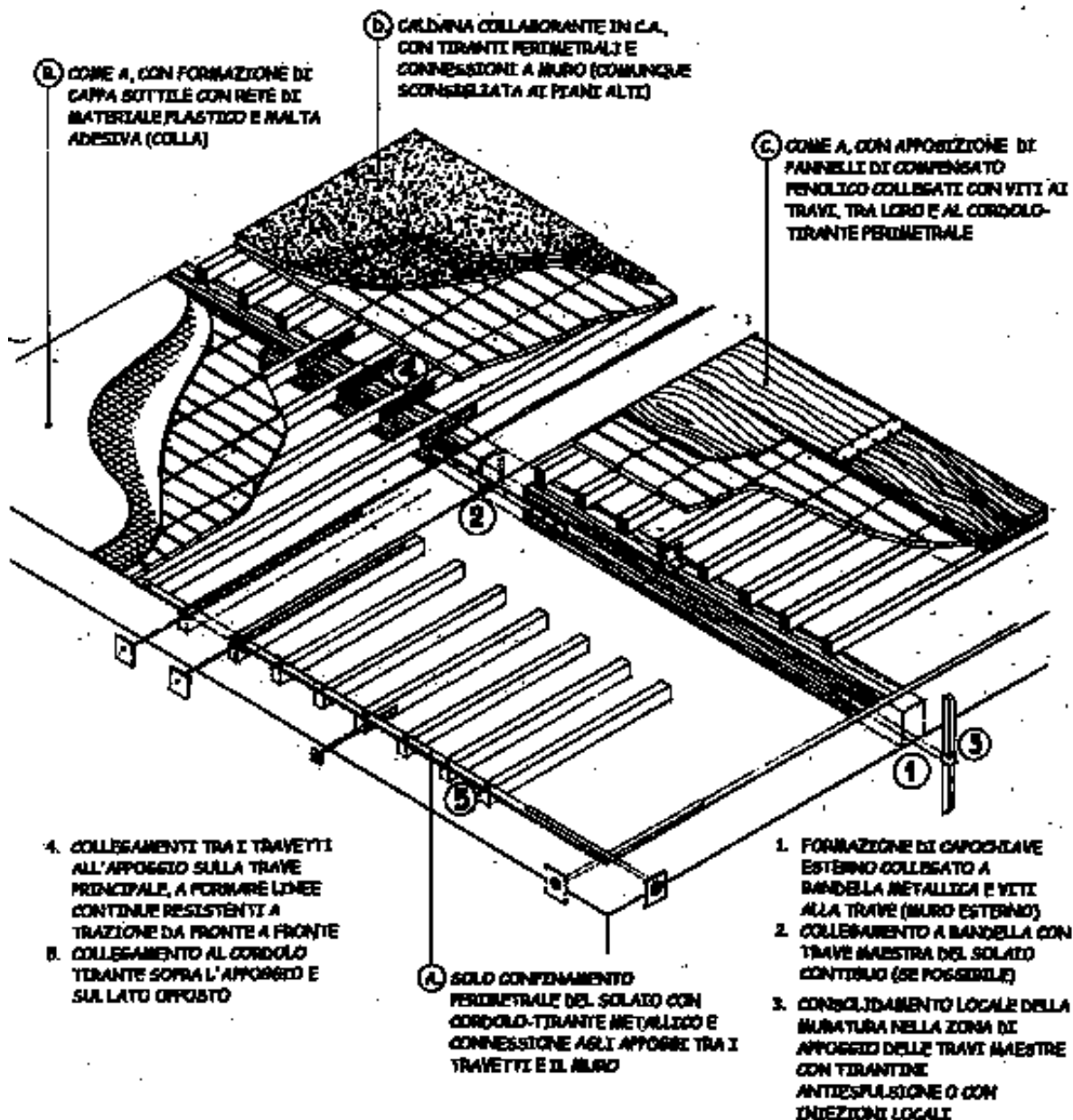
OBBIETTIVI DI MIGLIORAMENTO

OBBIETTIVI GENERALI: SOLIDARIZZARE I SOLAI ALLE MURATURE FACENDOLI DIVENTARE "DIAPHRAGMI DUTILI" CAPACI DI TRASFERIRE SOLLECITAZIONI TRA PARETI.

UTILIZZARE I SOLAI PER CONFERIRE RESISTENZA A TRAZIONE ALLE MURATURE ATTRAVERSO TIRANTI AFFIANCATI O CORDOLI-TIRANTE, E PER CONTRASTARE LE AZIONI FUORI PIANO CHE INTERESSANO I MURI ESTERNI.

- EVITARE DANNI LOCALI DOWTY AI CARICHI CONCENTRATI DELLE TRAVI PRINCIPALI
- CONTRASTARE IL POSSIBILE SFILAMENTO DELLE TRAVI PRINCIPALI
- MIGLIORARE I COLLEGAMENTI TRA TRAVETTI SECONDARI E MURATURE E TRA LORO AGLI APPOGGI SULLE TRAVI PRINCIPALI
- REALIZZARE COLLEGAMENTI TRA IMPALCATO E PARETI D'APPOGGIO
- EVENTUALE AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE DELLE TRAVI PRINCIPALI (PROBLEMA DI CONSOLIDAMENTO)
- FARE ASSUMERE ALL'IMPALCATO A PIANELLE UN COMPORTAMENTO PIU' ROBUSTO E DUTTILE ANZICHE' SENSIBILMENTE FRAGILE

PARTICOLARI COSTRUTTIVI, POSSIBILI ALTERNATIVE D'INTERVENTO SUI SOLAI





Realizzazione di cordolo-tirante metallico perimetrale, dopo taglio e stacco di pavimento alla veneziana. Palazzo Villabruna, Feltre.



Il profilo a L è ancorato con viti lunghe alle teste delle travi e con passanti in perforazione al profilo sul lato opposto del muro. Al centro: passante eseguito in corrispondenza del vano della porta.



Collegamento del profilo a barre saldate con piastra esterna in corrispondenza dell'angolata.

mere un comportamento separato. In caso di discontinuità mediana, il carico del solaio risulta applicato solo sul paramento interno, e le sollecitazioni risulteranno concentrate all'appoggio delle orditure principali, fatto che può favorire schiacciamenti locali e, soprattutto, l'insorgere di instabilità verticale per carico di punta su uno o su entrambe i paramenti. Va detto inoltre che l'azione di martellamento prodotta dalla testa delle travi principali sul paramento esterno maggiormente libero e più snello, in quanto non interrotto dall'appoggio del solaio con il suo carico, favorisce localmente questo fenomeno e, nell'insieme, innesca la separazione complessiva ed il crollo per instabilità o ribaltamento del paramento esterno.

Questo fenomeno si accentua se le travature sono prive di elementi di raccordo (mensole) e di ripartizione sulla muratura, ossia se la muratura non è specializzata per accogliere il carico puntuale delle teste, ad esempio con elementi in pietra o in legno più larghi inseriti all'appoggio.

Anche per i solai si propone la realizzazione di un cordolo-tirante in profilato metallico (a lama o a L), al perimetro del solaio, in quanto si ritiene risponda a più requisiti.

Sui muri esterni, il collegamento a barre filettate (di diametro variabile da 20 a 30 mm) nelle angolate e nei nodi murari consente l'applicazione in facciata di piastre o capochiave a bullone, ed una limitata tesatura. Viene perciò svolta in questa posizione la funzione dei tiranti liberi tradizionali a livello di piano, ossia il contenimento di meccanismi fuori piano delle facciate contrapposte o delle angolate. Il vantaggio è costituito da un maggior numero di connessioni e punti di applicazione, che ripartiscono le sollecitazioni sull'intera struttura cui il cordolo-tirante si affianca, e non solo sulle teste opposte. La presenza di numerosi punti di ancoraggio lungo il percorso ne permette l'utilizzo anche in muri non rettilinei, sia di spina che in facciata, dove l'apposizione di un tirante libero risulterebbe problematica. Analogamente, permette l'azione di contenimento di angolate esterne anche se non è disponibile l'angolata opposta per il contrasto del tirante, ad esempio perchè inclusa in proprietà diversa, fatto molto frequente nei centri storici.

La connessione del profilato metallico al solaio è realizzata a mezzo di viti mordenti, barre filettate o guance saldate con le orditure lignee del solaio, principali o secondarie; il collegamento al muro avviene con barre filettate zincate o inox di piccolo diametro (10-12 mm.), che dopo aver attraversato la muratura sono bloccate da piastrelle esterne (5x5x0,5 cm max) con bullone (ove compatibili), oppure cementate all'interno della muratura. Con questo doppio ordine di connessioni si ottiene l'effetto di solidarizzare il solaio al muro opponendosi allo sfilamento delle travi, e di contrastare l'eventuale separazione della foglia muraria esterna.

Sui muri interni, nel caso i solai si trovino alla stessa quota, i due profili angolari opposti, ciascuno collegato alle teste delle travi con viti mordenti, sono solidarizzati da barre che attraversano il muro e sono saldati

all'ala dei due profili. Si ottiene così un utile contributo al trasferimento di sollecitazioni tra le parti della costruzione attraverso i solai.

Nel caso il solaio presenti inflessioni soprattutto nell'orditura secondaria, e si renda opportuno aumentarne la resistenza ai carichi verticali e al tempo stesso potenziare la funzione di diaframma maggiormente rigido nel proprio piano, si può sovrapporre all'impalcato esistente (in cotto o in legno) un elemento solidale di varia natura, adattato alle esigenze. Ad esempio, la sovrapposizione di pannelli in compensato marino (di elevata resistenza e durabilità) solidarizzato ai travetti con viti passanti, può formare una sorta di trave a T di maggiore resistenza. La lunghezza dei pannelli, commercialmente disponibili fino a 2,4 m. di lunghezza, consente nella maggior parte dei casi di superare l'intera luce dei travetti da una trave principale all'altra. Il collegamento dei pannelli al profilato perimetrale a mezzo di viti e tra di loro attraverso una banda metallica sottile posta sulle giunzioni consente di aumentare notevolmente l'effetto lastra del solaio a vantaggio delle murature perimetrali.

Ai pannelli di compensato si può sostituire un tavolato incrociato e fissato a viti, nel caso l'impalcato sia in legno, oppure cappe leggere con rete di plastica e malta fortemente adesiva. Una soluzione diffusa, che tuttavia va adottata con cautela, è costituita dalla cappa collaborante in rete elettrosaldata e calcestruzzo. Da evitare ai piani superiori per il peso e il conseguente innalzamento del baricentro, grava travi principali e travetti di un carico permanente - circa 120 kg/mq. - che può infletterli e metterli in crisi. Nel caso si adotti tale soluzione, la maglia della rete va saldata al profilo metallico perimetrale e i collegamenti di questo al muro vanno aumentati. Per motivi analoghi a quelli già esposti in relazione alle coperture, va invece evitata la formazione del cordolo in c.a. a scasso nella muratura, soprattutto se a profondità parziale, in quanto la sua funzione viene svolta dal profilato metallico perimetrale.

Tutte queste soluzioni presuppongono la possibilità di smontare il pavimento del solaio da consolidare, e di poter disporre, attraverso la rimozione dei sottofondi, di uno spessore variabile da un minimo di 3 a un massimo di 8 cm.. In caso contrario si deve innalzare il livello del pavimento finito. Si tratta perciò di una solu-

zione non compatibile con la presenza di pavimenti di particolare pregio, o di mostre architettoniche di cui non possa essere modificata la quota. In questi casi, di norma, rimane comunque possibile la realizzazione del cordolo-tirante perimetrale, attraverso la rimozione accurata di fasce a muro in cotto o il taglio a disco di pavimenti alla veneziana con stacco a blocchi, e la successiva ricollocazione. In tali situazioni diviene importante realizzare il collegamento di tutti i travetti all'appoggio delle travi principali, con lame o profili saldati a viti, in modo da aumentare il comportamento resistente a trazione del solaio nelle due direzioni. Da notare che lo stacco di queste fasce perimetrali si è dimostrato particolarmente utile anche per la collocazione di dotazioni impiantistiche (impianti di riscaldamento, impianti elettrici e di sicurezza), riducendo drasticamente la necessità di tracce a muro o di canalizzazioni esterne.

All'appoggio e ancoraggio a muro delle travi maestre va dedicata specifica attenzione, per evitare effetti di schiacciamento e punzonamento sulla muratura affini a quelli descritti per le orditure del tetto, e per farli diventare efficaci elementi di collegamento tra le murature di appoggio. Ove non sia già presente, va inserito un capochiave di ritegno esterno alla muratura di appoggio, collegato alla trave con bandella laterale fissata a viti di adeguata sezione. Nel punto di appoggio possono essere realizzate locali iniezioni consolidanti e inserite alcune barre passanti per solidarizzare le due foglie murarie ad evitare che la trave, con effetto ariete, spinga fuori piano la foglia esterna. Se le travi principali sono in continuità nei solai contigui, vanno solidarizzate tra loro con bandelle metalliche.

8.4. Il nodo muro di fondazione-terreno di appoggio

L'intervento di miglioramento, secondo l'impostazione data dalle Direttive e dalle Istruzioni (5), tende a limitare le opere in fondazione ai soli casi in cui la diagnosi del danno alle strutture in elevato individua la componente di carenza fondale.

Si tratta in genere di situazioni in cui il dissesto ha già avuto un innesco in fase statica, e può essere stato accentuato dalle sollecitazioni sismiche.

In particolare si riscontrano soprattutto:

-cedimenti angolari con lesioni "a rientrare" dall'alto verso il basso, ossia con andamento pressochè ortogo-

(5) Dalle "Istruzioni...", cit., paragrafo C. 4. 1- Fondazioni:

"Salvo i casi che presentano dissesti analoghi a quelli descritti nel punto C.9.3.3.a) del D.M.16/1/96 e salvo le riscontrate inadeguatezze, non si pone, in generale, la necessità di interventi in fondazione.

Nei casi in cui i movimenti del manufatto appaiono dovuti a movimenti di fondazione si rende necessaria una indagine geotecnica, conforme alle prescrizioni del D.M. LL.PP. 11/3/88, per accertare la natura e l'origine dei fenomeni osservati.

Comunque prima di progettare qualsiasi intervento è necessario procedere al rilievo sistematico delle fondazioni esistenti redigendo una relazione che ne individui e documenti le eventuali carenze. Il rilievo va eseguito contestualmente a saggi archeologici nell'area di sedime circostante il complesso edilizio. L'intervento dovrà mirare alla massima uniformità delle condizioni di appoggio, al fine di ottenere una distribuzione il più possibile uniforme delle pressioni di contatto; a tal fine sono da privilegiare interventi di ampliamento della base fondale con parziale sottomurazione, rispetto invece al ricorso a pali radice o ad altre tecniche di consolidamento dei terreni, che potranno essere adottate solo ove non esistano valide alternative. Nel caso si ritenga indispensabile l'uso di pali radice o di altri sistemi che alterino la natura del terreno di sedime è necessario segnalare l'intervento alla Soprintendenza Archeologica competente per territorio assicurando l'assistenza allo scavo archeologico da programmare prima dell'intervento stesso; comunque tali interventi dal punto di vista tecnico e tecnologico sono da adottare solo in casi particolari e dopo aver effettuato un'analisi circostanziata e documentata dei sistemi di appoggio delle murature e delle caratteristiche delle fondazioni."



In alto: cedimento angolare di fondazione, riconoscibile anche per il tracciato "a rientrare" dall'alto verso il basso, in questo caso sicuramente influenzato dalla presenza dei tiranti.



In alto: ampliamento esterno della base fondale con cordolo in c.a. affiancato e ammorsato con teste inserite nella muratura, visibili nella foto più in basso prima del getto.



A fianco: realizzazione di cordolo di fondazione parte affiancato e parte sottomurato, a cantieri successivi. Si osserva in questo caso la presenza di un grosso trovante, in grado di determinare resistenze differenziate del terreno, e la modesta profondità del piano di appoggio delle fondazioni.

nale rispetto al meccanismo sismico che porta al ribaltamento della parte superiore delle angolate;

- cedimenti all'interno di murature continue, con caratteristica lesione parabolica e traslazione verticale del tratto interessato;
- rotazioni o rototraslazioni della fondazione con fuori-piombo o spanciamento del muro soprastante;
- cedimenti differenziali che generano lesioni interne a murature continue, spesso ad andamento verticale o sub-verticale, non riconducibili nè a meccanismi di ribaltamento fuori piano nè a lesionamenti a taglio generati da forze sismiche orizzontali;
- cedimenti "a blocco rigido" che portano alla perdita di verticalità dell'intera struttura.

Se non si riscontrano patologie chiaramente riconducibili alla componente fondale e non si accerta attraverso saggi la grave inadeguatezza propria della muratura fondale o del terreno di appoggio, esaminato anche con indagini geognostiche e microzonazioni, l'indicazione generale per l'opera di miglioramento è quella di astenersi da interventi in fondazione.

E' necessario comunque tener presente che, nel corso del terremoto, la risultante dei carichi sul piano di fondazione può significativamente spostarsi dal nocciolo a causa della componente orizzontale. Se le sollecitazioni verso l'interno della costruzione sono contrastate dalla presenza di solai e murature di spina, e quindi investono in maniera limitata la parte interna della fondazione, quelle verso l'esterno non possono essere interamente contenute da tiranti e collegamenti, ragion per cui la parte esterna dell'appoggio si trova in condizioni maggiormente critiche. In mancanza di allargamenti fondali esterni, fondazioni non profonde in terreni di non elevata capacità danno luogo sovente a

rotazioni del piano di appoggio, cui si accompagna in elevato il fuori piombo della muratura soprastante. Questo meccanismo fondale, ove riconosciuto, va contrastato, in quanto può fungere da innesco a meccanismi di ribaltamento fuori piano dell'intera parete soprastante.

Per questo motivo, gli eventuali interventi in fondazione devono privilegiare, con allargamenti ammorsati, la parte esterna del piano di imposta. Le parziali sottomurazioni vanno limitate ai casi di quota di imposta inadeguata in rapporto al terreno di appoggio, o di quote differenziate tra fondazioni di corpi contigui, come sovente accade nelle costruzioni realizzate in più fasi.

Una regola di carattere generale consiste nell'accertarsi che le acque meteoriche o di altra natura, provenienti dai tetti o dai terreni circostanti siano allontanate dalla zona fondale e opportunamente convogliate. Bisogna inoltre evitare di indebolire il piede esterno della fondazione con condotti ventilanti contro l'umidità o drenaggi: in più casi si è potuto ricondurre alla loro presenza un accentuato dissesto fondale in fase sismica.

8.5. Le discontinuità murarie: la riparazione delle lesioni, il risarcimento di vuoti, la neutralizzazione strutturale delle discontinuità costruttive (6)

L'intervento di miglioramento richiede la neutralizzazione delle vulnerabilità specifiche presenti nella costruzione. Tra queste, hanno un ruolo importante le discontinuità murarie, che segmentano al suo interno la struttura muraria condizionandone la risposta e che possono essere dovute a molteplici fattori. In primo luogo le lesioni, che costituiscono l'effetto di un disse-

(6) Dalle "Istruzioni...", cit., paragrafo C.4.2 - Pareti murarie:

"Gli interventi dovranno utilizzare materiale con caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche analoghe e comunque il più possibile compatibili con quelle dei materiali in opera.

A seconda dei casi si procederà:

- a riparazioni localizzate di parti lesionate o degradate;
- a ricostituire la compagine muraria in corrispondenza di manomissioni quali cavità, vani di varia natura, scarichi e canne fumarie, ecc..., la cui eliminazione sia giudicata strettamente necessaria in sede di progetto di restauro;
- a migliorare le caratteristiche di murature particolarmente scadenti per tipo di apparecchiatura o di composto legante.

L'intervento deve mirare a far recuperare alla parete una resistenza sostanzialmente uniforme e una continuità nella rigidità, anche realizzando gli opportuni ammorsamenti qualora mancanti.

L'inserimento di materiali diversi dalla muratura, ed in particolare di elementi di conglomerato cementizio, va operato con cautela e solo ove il rapporto tra efficacia ottenuta e impatto provocato sia minore di altri interventi, come nel caso di architravi danneggiati o particolarmente sollecitati.

Nel caso di murature con caratteristiche meccaniche particolarmente scadenti, si potrà ricorrere alla tecnica dell'iniezione di miscele leganti, di cui andrà preventivamente provata la compatibilità e l'efficacia, tenendo anche conto delle protezioni eventualmente necessarie ad impedire il danneggiamento dei paramenti esterni prodotto dalla miscela.

Le perforazioni armate sono da evitare come intervento sistematico di consolidamento della muratura, per l'insieme di impatti prodotti. Potranno essere adottate in via eccezionale, in modo localizzato, ove il loro impiego si riveli motivatamente utile a risolvere problemi di connessione tra murature con impatti minori rispetto ad altre tecniche.

Tutti gli interventi di consolidamento citati devono essere evitati nel caso di pareti decorate o affrescate, eventualmente operando su altre strutture contigue con interventi di analoga efficacia e comunque operando sotto il controllo di competenze specializzate. In generale sono da evitare comunque le demolizioni di parti edilizie significative nella storia delle trasformazioni del manufatto e di particolare valore storico-artistico, anche se presentano gravi sintomi di instabilità quali strapiombi o estese lesioni.

Tali situazioni vanno analizzate con attenzione individuandone le cause e le conseguenze strutturali, e valutando di conseguenza la opportunità o di mantenerle ricorrendo ad eventuali presidi o, in casi eccezionali, di correggerle previa la presentazione di documentata dimostrazione tecnica e tenuto conto degli indirizzi della Circolare 117 del 6 aprile 1972 di cui in premessa" ("Carta del Restauro", n.d.r.).



*Riapertura di lesioni riparate in antico a cucì e scuci.
Sopra: lesioni all'abside della chiesa di S. Nicolò a Carpi,
che riaprono al bordo un risarcimento a cucì e scuci effet-
tuato per riparare una lesione più antica (foto eseguita dopo
il terremoto del 1987).*

*Sotto: antichi cucì e scuci eseguiti per riparare la lesione tra
facciata (a sinistra) e muro di spina (a destra). Sulla parte di
intonaco non rimossa si osserva il risentimento della lesione
dovuto al terremoto del 1983, che si somma a lesioni prece-
denti di maggiore ampiezza. Parma, casa in via Bixio 88.*



sto, e devono essere oggetto di riparazione per ricostituire l'efficienza perduta; in secondo luogo le discontinuità stratificate dal processo costruttivo, raramente lineare ed unitario, che ha portato nel tempo a riprese murarie non ammorsate ma solo accostate, ad aperture in breccia con riprese mal connesse, alla presenza nella muratura di fori o vani inutilizzati, quali le grandi canne fumarie.

Stante la indiscutibile necessità di ricostituire un comportamento unitario e relativamente omogeneo della muratura ora discontinua, le tecniche di intervento devono tener conto di alcuni aspetti.

E' opportuno non cancellare del tutto i tracciati di lesione, ma mantenerne una relativa riconoscibilità sulla superficie esterna, pur attenuandone l'effetto visivo ed eliminandone la conseguenza di separazione strutturale. Le lesioni infatti costituiscono uno dei principali elementi per riconoscere il comportamento strutturale nel tempo e i meccanismi di danno cui è soggetto l'edificio, e cancellarle del tutto significa eliminare un importante elemento diagnostico per il futuro.

Analogamente, nelle discontinuità costruttive risiede spesso la prova fisica della storia formativa della costruzione, e la loro cancellazione comporterebbe un significativo impoverimento dello spessore storico dell'edificio. Perciò si deve tendere a neutralizzare l'effetto di discontinuità, senza eliminare la traccia da cui è desumibile il processo costruttivo.

Da queste considerazioni deriva una certa sfiducia verso l'impiego diffuso della tecnica tradizionale denominata "cucì e scuci", che consiste nell'aprire la lesione o il punto di discontinuità, formando morse laterali, e nel risarcire con nuova muratura -usualmente in mattoni, più raramente in pietra- la breccia così formata. In primo luogo, non sempre tale intervento è in grado di ricostituire la continuità strutturale, soprattutto nella parte interna di muri di elevato spessore o nei muri in pietra; in secondo luogo, per sua natura intercetta e cancella la lesione o la traccia. L'osservazione del comportamento di questa forma di riparazione fa rilevare come la lesione tenda a recidivare, in terremoti successivi, lungo i bordi esterni della riparazione, ad indicare che la continuità muraria non è stata ricostituita (vedi foto a fianco). Ovviamente, la riparazione della lesione, che costituisce un effetto di dissesto, non è sufficiente se non si interviene a contrastare il meccanismo che l'ha causata.

La tecnica proposta in alternativa può essere così descritta.

Per le lesioni di limitata ampiezza (indicativamente fino a 1 cm), e con contorni netti e poco ramificati, soprattutto se rimangano elementi (mattoni o pietre) di ingranamento tra le due parti murarie separate dalla lesione, può essere sufficiente il risarcimento con coli a pressione naturale di leganti altamente adesivi, a ritiro compensato, a base di calce idraulica. Nella scelta del prodotto, va ricercata la capacità di impregnazione della malta esistente, utile a creare saldi legami all'interfaccia, e raggiungibile con leganti a granulometria finissima, di tipo colloidale, opportunamente additiva-

ti. La lesione va pulita con getti d'aria compressa e, se possibile, lavata, sigillata all'esterno con malta compatibile, mantenendo ribassata la stuccatura e liberi i cigli di lesione. Vengono contestualmente fissati i tubi da iniezione e, dopo una bagnatura interna con aggrappante (ad esempio acqua, calce e Primal), viene eseguita l'iniezione, a partire dal basso. A distanza di qualche giorno, i colti vanno ripresi per compensare eventuali ritiri.

Per le lesioni di ampiezza superiore, o che presentino bordi sgranati e ramificati, a questo intervento va associata la realizzazione di passanti che assicurino un miglior collegamento meccanico tra le due parti murarie.

In questo caso possono essere utilizzate coppie di barre in acciaio inox o zincate, ancorate con iniezione in perforazioni eseguite a cavallo della lesione e poco angolose, e successivamente saldate tra loro. La frequenza e localizzazione delle coppie di barre va decisa in funzione del tipo di muratura e del tipo di lesione, in base al principio che nella muratura maggiormente coerente sono sufficienti poche barre di maggiore lunghezza e sezione, mentre nella muratura meno coerente gli elementi di tenuta devono essere più diffusi e meno potenti.

E' possibile utilizzare altre tecniche che associano intervento "chimico" di iniezione nella lesione all'intervento "meccanico" di connessione tra le parti murarie. Dalle tradizionali grappe metalliche esterne, fissate a piombo, a cavallo della lesione; a lame metalliche inox inserite in giunti opportunamente aperti e cementati; a conci armati inseriti a scasso e murati; a fasce di materiali fibro-rinforzati, fissate a resina epossidica. La scelta va operata tenendo conto delle caratteristiche della muratura e dell'impatto che l'intervento determina sul suo paramento esterno.

La presenza di vuoti interni alle murature, come quelli causati da canne fumarie, spesso affiancate e ramificate anche in orizzontale, da aperture tamponate solo in foglia, ma anche da nicchie, spesso aperte utilitaristicamente in punti nodali della struttura come le angolate o gli innesti murati, costituisce un oggettivo indebolimento della compagine muraria, che va contrastato. La nuova muratura in mattoni, ammorsata a cucii e scuci ai bordi della muratura esistente, è in questo caso opportuna. Se l'ammorsamento è discontinuo, ha il pregio di mantenere comunque leggibile la traccia dell'elemento murato. E' da tenere presente che i vani delle vecchie canne fumarie sono spesso riutilizzati per il passaggio di condotti di sfiato, di ventilazione, impiantistici, ecc., e che il loro impiego è comunque opportuno se le nuove reti impiantistiche non sono collocabili in cavedi tecnici esterni alla muratura. In tale caso nelle pareti di chiusura, di spessore contenuto, deve essere inserito un numero maggiore di connessioni meccaniche (barre metalliche o altro) a ricostituire comunque la continuità tra le due parti.

Le discontinuità murarie, anche se non ancora percorse da lesione, costituiscono un tracciato potenziale di



La presenza di cavillature o di lesioni anche limitate, ad assetto verticale rettilineo in un nodo murario, è sintomo della mancanza di ammorsamento strutturale tra le murature convergenti. In questi casi è opportuno, attraverso saggi mirati, accertare la presenza di discontinuità e prevedere gli ammorsamenti necessari.

Le lesioni, a carattere recidivante, partecipano al processo di stratificazione dell'edificio, e sono periodicamente ricoperte da reintonacature o tinteggiature, senza che ne sia stata effettuata una vera riparazione. Anche in questo caso è opportuno attraverso saggi accertare la vera entità della lesione.





Pagina a fianco, foto in alto a sinistra.

Nel caso di grandi vuoti nella muratura, quali canne fumarie inutilizzate e nicchie, è opportuno il ricorso a tamponamenti in mattoni ammassati a cucì e scuci al contorno.

Pagina a fianco, foto in alto a destra.

Nel caso le lesioni siano concentrate e di media entità, come nella situazione indicata nella foto, la riparazione può essere eseguita con un duplice intervento.

Il primo è costituito dalla realizzazione di coppie di perforazioni armate sottili (diam. foro 18-20 mm. con barra o tubo inox da 14-16 mm., lunghezze 400-500 mm.) eseguite con fori in corrispondenza della lesione. L'utilizzo di tubo inox consente di effettuare l'iniezione di miscela legante direttamente attraverso di esso, e dà migliori garanzie di effettiva cementazione dell'elemento metallico al fondo del foro.

I due tubi, lievemente divaricati e inclinati verso il basso, vengono poi saldati tra loro a cavallo della lesione, a costituire una vera e propria cucitura.

Il secondo intervento è rappresentato dal riempimento della lesione con miscela legante adesiva, eseguito con le seguenti modalità:

- pulitura e lavaggio interno della lesione (ove compatibile);
- sigillatura a filo con malta di calce, e collocazione di tubicini in plastica per effettuare i colli a istanza di 40-50 cm.;
- esecuzione di colli (a caduta naturale o a pressione limitata, a seconda dei casi) di miscela legante adeguatamente fluida;
- eventuale ripresa dei colli a distanza di alcune ore;
- rimozione dei tubi e stuccatura.

Questi interventi consentono di evitare una azione comunque traumatica come quella rappresentata dai cucì e scuci, ricostituendo la continuità muraria ove non gravemente compromessa.

Pagina a fianco, foto in basso

L'inserimento di tirantini inox passanti la muratura, collegati o meno a travature o cordoli-tiranti metallici all'interno, può essere particolarmente utile ad evitare i fenomeni di separazione del paramento dal nucleo, come osservabili nella foto del campanile della chiesa di S. Venanzietto a Camerino (foto a destra).

Si tratta di barre filettate in acciaio inox, con rondella o piccola testa di ripartizione e bullone di fissaggio, come nella foto a sinistra. Data l'azione che sono chiamati a svolgere - conferire resistenza a trazione su un asse trasversale alle murature non è necessario che esse siano cementate, e possono perciò essere applicate anche a secco, dando garanzia di facile rimuovibilità. Le teste esterne possono essere lasciate a vista, oppure mascherate in piccole nicchie e ricoperte a malta. Se collegate a cordoli-tirante, possono svolgere sia funzione di solidarizzazione ai solai interni che azione antiespulsiva del paramento, nei punti in cui, data la presenza interna delle teste di travi, è più facile si verificano azioni di martellamento.



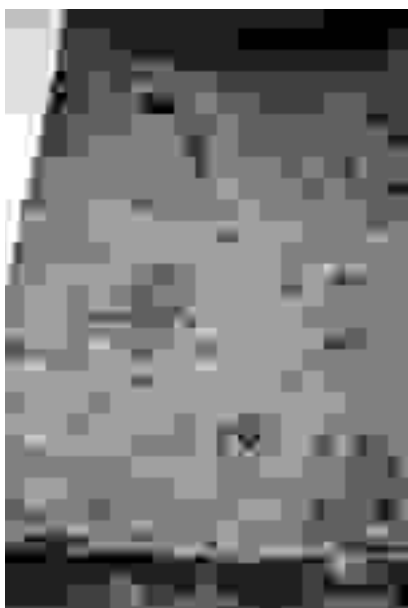
Tiranti a bandella applicati con viti sul fianco di travature e collegati ad una piastra esterna formata ad L, svolgono anche azione di contenimento di un cornicione a sbalzo.



Riparazione di una lesione in corrispondenza di una finestra. Sul davanzale o sull'architrave viene collocata, anche a vista, una barra inox, saldata alle estremità a due tondini cementati con perforazione in corrispondenza delle spalle.



Riparazione di lesioni nel campanile della chiesa di Ognissanti a Feltre (BL). In alto, il campanile prima dell'intervento; in basso, un dettaglio dopo la riparazione. La lesione è stata pulita all'interno con soffi d'aria e limitati lavaggi, senza aprirne i bordi, sigillata a malta con lieve sottosquadro e successivamente iniettata con leganti colloidali. Sono state realizzate anche cuciture inox in coppia, con fori sui fianchi della lesione. La conservazione delle malte di superficie antiche e dei bordi di lesione, e la lieve differenziazione delle nuove malte di risarcitura consentono di riconoscere ad un esame accurato l'antico tracciato fessurativo.



separazione tra parti che va trattato, sotto il profilo meccanico, alla stessa stregua di una lesione esistente. Soprattutto nei nodi murari, o in corrispondenza delle angolate, la presenza di muri addossati senza ammorramento o di aperture meramente tamponate costituisce grave motivo di indebolimento. L'intercettazione della discontinuità a mezzo di barre inox inserite in perforazione e cementate con leganti affini a quelli prima ricordati può essere intervento risolutivo, attesa anche la difficoltà pratica di realizzare il cuci e scuci a mattoni, ad esempio, in un nodo a martello, e la sua componente distruttiva su elementi architettonici stratificati quali le aperture murate.

Da ricordare che esistono situazioni in cui è opportuno mantenere, se non esaltare la discontinuità esistente. Ad esempio, nel caso di un campanile addossato alla chiesa, ma dotato di muratura autonoma, la discontinuità forma un giunto molto opportuno per consentire l'oscillazione discorde tra i due corpi a diversa altezza. Eliminare il giunto realizzando nella discontinuità connessioni meccaniche sarebbe perciò un errore, che aumenterebbe la vulnerabilità del sistema. Analogamente, vi sono giunti a funzionamento solo compressivo (vedi il caso della parete di un corpo laterale successivamente affiancato all'aula di una chiesa, collegata di testa alla fiancata della chiesa), in cui la ricostituzione di continuità non è particolarmente rilevante.

8.6. Sistemi di consolidamento meccanico della muratura a fronte di vulnerabilità accentuate

L'applicazione del concetto di miglioramento alle murature richiede in primo luogo una osservazione attenta della loro costituzione ed una valutazione del loro comportamento resistente alla luce del danneggiamento sismico.

I modi con cui è avvenuto il lesionamento sono di per sé significativi delle caratteristiche fisico-meccaniche della muratura, non solo in termini di avvenuto superamento delle resistenze ammissibili (compressione/taglio/trazione), quanto soprattutto del complessivo comportamento adesivo-coesivo del sistema eterogeneo malta-supporti nel suo assetto tridimensionale.

La resistenza meccanica, schematizzata attraverso valori numerici, non spiega di per sé il comportamento che si è manifestato attraverso un dato quadro fessurativo.

In realtà, come indicano ricerche recenti, il comportamento della muratura -e perciò la sua resistenza meccanica- è legato all'interrelarsi di più fattori, alcuni dei quali di ordine morfologico -tipo, forma dei supporti, loro organizzazione nel paramento e nell'apparecchiatura tridimensionale, morfologia costruttiva, disposizione della malta di allettamento, eventuale presenza e tipo dei vuoti- altri legati alle caratteristiche meccaniche dei componenti -resistenza intrinseca della malta, resistenza dei supporti- ma, soprattutto, l'insieme dei legami adesivi che si sviluppano all'interfaccia tra malta e supporti, dei legami coesivi interni ai nuclei di malta e propri della muratura nel suo insieme. Ad esempio, una malta può essere in sé molto resistente

ma avere modeste caratteristiche adesive, il che significa che la muratura può passare da uno stato di aggregato adesivo-coesivo, concettualmente comparabile ad un calcestruzzo, a quello di un cumulo che deve la propria stabilità principalmente all'attrito o ad una limitata concatenazione, e muta di conseguenza il proprio comportamento.

L'analisi perciò non deve essere soltanto parametrica, mediata da valori di resistenza ai diversi tipi di sollecitazione, ma ricercare i diversi fattori che influenzano resistenza e comportamento. Gli interventi potranno così essere specificamente rivolti a contrastare uno o più fattori di vulnerabilità individuati, evitando forme di intervento generiche e indifferenziate.

Tra i fattori di vulnerabilità dovuti alla tecnica o morfologia costruttiva possiamo citare, per quanto riguarda la malta di allettamento:

- presenza di malta di allettamento di limitata consistenza intrinseca. Una prova empirica, ma indicativa, è data dalla possibilità di frantumare un nucleo di malta di piccola dimensione con la sola pressione delle dita. Ad esempio, in molte costruzioni prossime alla zona epicentrale marchigiana e gravemente danneggiate o crollate, si è constatata la presenza di malta con granulometria palesemente mal classata in quanto priva delle frazioni più fini (vedi ad esempio la chiesa di Mevale, ma il fenomeno è assai diffuso) o con malte terrose, povere di legante (chiesa della Madonna del Piano);
- presenza di malte prive di adesione ai supporti in pietra o mattone. Una prova empirica è data dalla possibilità di estrarre un supporto dalla muratura in una zona in cui essa è aperta e non caricata (ad esempio il bordo superiore) con semplice azione manuale, senza uso di attrezzi e senza che nuclei di malta si mantengano aderenti al supporto. L'adesione all'interfaccia tra malta e supporti costituisce il legame fisico-chimico su cui si fonda principalmente la complessiva coesione del sistema murario, che ne influenza in modo significativo le prestazioni meccaniche. Presentano questo fenomeno le malte povere di legante, o ad elevato ritiro, oppure "bruciate" al contatto con il supporto che ne ha assorbito l'acqua, o applicate a supporti non puliti o polverosi, oppure soggette a gelo e degrado.
- presenza di grandi vuoti interni tra i supporti;
- mancanza di malte nei giunti, o giunti degradati in profondità.

Per quanto riguarda la morfologia costruttiva e la disposizione tridimensionale dei supporti nell'apparecchio murario, sono rilevanti i seguenti fattori:

- prevalenza di supporti di piccole dimensioni, tendenzialmente quadrati, tondeggianti o a spacco, ma con limitati piani di posa orizzontali, poco ingranati tra loro nel paramento a determinare una modesta sovrapposizione in verticale tra i supporti dei diversi corsi;
- presenza di paramento poco ingranato o del tutto separato dal nucleo o dal paramento opposto;



Sezione muraria resa osservabile dal crollo parziale. Montecavallo. Non sono riconoscibili elementi passanti, e i due paramenti appaiono solo accostati tra loro, fatto che facilita il diverso comportamento. Da notare l'imbozzamento della muratura non contrastato dal solaio mediano, nonostante il rilevante spessore.

- presenza di nucleo "a sacco". Si utilizza questa dizione solo per contraddistinguere le murature a due paramenti separati e distanziati, con vuoto interno o riempimento di materiale inerte e incoerente;
- presenza di muri a funzione portante di limitato spessore in rapporto all'altezza e al carico (muri in mattoni ad una testa, muri in pietrame ad un solo paramento, ecc.);

Un elemento empirico di prima valutazione della coesione muraria è dato dalla risposta sonora alla percussione: un suono sordo e grave si associa ad uno o più elementi di vulnerabilità tra quelli citati, un suono più netto e acuto è indizio di maggiore coesione muraria.

Tra le manifestazioni di dissesto rivelatrici dell'esistenza di uno o più fattori di vulnerabilità costitutiva possiamo citare:

- diffusa presenza di lesioni di piccola dimensione, ravvicinate e ramificate, anziché concentrate in poche lesioni di maggiore dimensione e distanziate, indice usualmente di maggiore consistenza muraria;
- frequenti imbozzamenti dei paramenti con variazione di planarità, avvio di fenomeni di pressoflessione discorde riconoscibili da lesioni verticali interne al vano di porte e finestre o dall'imbozzamento opposto delle due superfici murarie. Questo fenomeno è indice di marcata separazione tra i due paramenti;
- lesioni a taglio semi-orizzontali con fenomeni di scorrimento nel piano, anche in maschi murari di grande sezione e lunghezza. Vedi il caso dello scorrimento della facciata nella chiesa di Acquapagana o nelle murature della cella del campanile di Mevale. Il fenomeno, indice di modestissimi legami adesivi tra malta e supporti e di limitata coesione della malta, è più frequente nelle murature ad opera quadrata, con giunti di posa orizzontali che di per sé formano un piano di scorrimento con minore attrito e limitate aderenze;
- fenomeni di espulsione di conci angolari.

Nel caso siano presenti uno o più fenomeni o caratteri tra quelli citati, è opportuno passare dall'osservazione visiva con accorgimenti empirici a prove analitiche realizzate con idonea strumentazione, di tipo non distruttivo a moderatamente distruttivo. Ad esempio:

- misura della velocità di propagazione delle onde sonore, che è correlabile alla coesione muraria, alla presenza di vuoti e, per le misure in trasparenza, alla connessione tra i due paramenti;
 - prove sclerometriche sulla malta o sui supporti;
 - prove di estrazione di supporti;
 - prove compressive con martinetti piatti;
 - osservazioni endoscopiche entro cavità o fori appositamente realizzati, per l'osservazione del nucleo;
 - prove di resistenza (taglio, compressione) su campioni murari in laboratorio o in sito o su campioni di malta adattata a provino standard;
 - analisi di campioni di malte (porosità, granulometria, tipo e percentuale legante, eventuali presenze di sali che possono influire sulla resistenza meccanica, ecc.).
- Le misure di percentuale, dimensione e distribuzione

dei pori nella malta si prestano a significative correlazioni con i parametri di resistenza meccanica della malta.

Le prove devono essere mirate in base a precisi indirizzi diagnostici desunti da indizi osservabili, in modo da poterne calibrare il numero in rapporto all'efficacia e al costo. Devono inoltre fornire attraverso una relazione conclusiva, insieme ai valori riscontrati, un commento interpretativo ed esplicativo che ne chiarisca il significato nel caso in esame e indichi con precisione gli obiettivi da assumere per l'opera di consolidamento, eventualmente restringendo ad alcune tecniche o materiali l'intervento idoneo a raggiungerli.

In base al quadro delle vulnerabilità proprie della muratura, il progetto esecutivo deve indicare gli interventi prescelti.

Va detto con chiarezza che i risultati sino ad ora raggiunti dalla ricerca scientifica e dalla produzione di prodotti specifici per il consolidamento murario attraverso iniezione non consentono risposte chiare e certamente affidabili nella generalità dei casi. I motivi sono di diversa natura:

- difficoltà di controllo degli esiti, che dipendono dalla omogeneità e continuità di penetrazione dei fluidi consolidanti. E' possibile ripetere prove soniche ad iniezione effettuata, per misurare con l'accresciuta velocità del segnale il miglioramento realizzato, ma questo non dà garanzie di omogeneità rispetto all'intera muratura. Vedi ad esempio, tra i crolli constatati nella zona di Sellano, la caduta a blocchi di parti murarie consolidate con iniezione, in cui il limite di penetrazione del fluido ha determinato una marcata discontinuità di comportamento;
- difficoltà di calibrare le caratteristiche del fluido consolidante rispetto ai materiali e alle caratteristiche costitutive della muratura da iniettare. L'utilizzo di prodotti standard presenti sul mercato può essere efficace in una data situazione, ma non in altre. Di qui la necessità di una sperimentazione preliminare per la scelta del prodotto e delle modalità di applicazione (ad esempio, la pressione di iniezione), per poterne valutare in concreto l'efficacia;
- dubbi sulla durabilità nel tempo di consolidamenti che utilizzano, anche miscelati, materiali organici come le resine di vario tipo, data la mancanza di una sperimentazione di ampio respiro e di sufficiente durata;
- preoccupazione per gli effetti collaterali degli interventi di iniezione con uso di acqua (mobilitazione di sali presenti nella muratura e ricristallizzazione, mutamento dell'equilibrio termogrometrico della parete, ecc.). Per queste ragioni gli interventi di iniezione devono essere evitati su pareti affrescate, o realizzati con prodotti specifici a bassissimo contenuto d'acqua consentito da ritentori e da fluidificanti di vario tipo.

A fronte di queste incertezze, sono tuttavia maturati alcuni indirizzi chiari e condivisi:

- il ricorso al consolidamento con iniezione, tecnica di

per sè altamente invasiva ed irreversibile, può avvenire solo a fronte di forme di vulnerabilità precisamente individuate, e non in base ad una scelta a priori;

- la necessità di evitare l'uso di cemento Portland come fluido da iniezione, per un complesso di fattori. A parte i problemi di penetrazione, le caratteristiche meccaniche del cemento sono eccessivamente superiori a quelle della malta di allettamento, per cui, a seguito delle inevitabili discontinuità si formano drastiche differenze meccaniche tra parti raggiunte dal fluido e parti non raggiunte, con le conseguenze prima ricordate. In presenza di sali il cemento può dar luogo alla formazione di cristalli espansivi (taumasite ed ettringite) con effetti disgreganti anche gravi. Il cemento stesso, se non opportunamente controllato, può apportare sali solubili all'interno della muratura, per cui è necessario comunque che tutti i fluidi iniettati ne siano privi, e che tale caratteristica sia opportunamente testata. Il cemento inoltre, con la sua massa e la limitata porosità, favorisce la formazione di microcondense interne;

- l'opportunità di utilizzare fluidi a base di calci idrauliche naturali, opportunamente additivate per accentuarne le caratteristiche di fluidità, prodotte in modo da ridurre la granulometria e consentire una parziale impregnazione dei nuclei di malta presenti, caratteristica questa preziosa per costituire legami adesivi all'interfaccia e per rigenerare nella zona esterna i nuclei di malta.

Nei casi in cui è presente una notevole quantità di malta di allettamento, con limitati vuoti ma con scarse caratteristiche adesive (supporti enucleati dalla malta) e/o malta con modeste caratteristiche meccaniche, il fluido prescelto deve poter penetrare nelle microcavitature senza arrestarsi e costituire un ponte adesivo tra malta e supporti, nonchè impregnare la malta stessa. La ricerca di questa capacità di penetrazione sembra portare inevitabilmente verso resine in sospensione acquosa associate a leganti idraulici estremamente fini. All'aumentare dei vuoti interni alla muratura deve invece essere accentuata la capacità di occluderli almeno in parte, utilizzando leganti privi di ritiro. Esistono attualmente in commercio leganti da iniezione muraria con caratteristiche mirate a questo uso.

Anche se questo comporta il rischio di introdurre forme di discontinuità, il progetto deve valutare l'opportunità di realizzare interventi differenziati nelle diverse parti murarie della costruzione, senza generalizzare l'iniezione. E' possibile, ad esempio, effettuarla nei maschi murari a terra, maggiormente sollecitati a taglio, soprattutto se di sezione ridotta per la presenza di ampie aperture, ed evitarla nelle pareti continue - come le pareti laterali delle chiese, soprattutto nella zona centrale interessata da limitati sforzi di taglio- in cui il problema prevalente permane la possibile separazione dei paramenti alle azioni fuori piano. Questo può essere contrastato con tirantini passanti fermati da piastre di piccole dimensioni, anche applicati a secco, cioè senza iniezione cementante, intervento che ha il pregio di una maggiore reversibilità e di un impatto distruttivo

vo solo puntuale.

Vanno in ogni caso evitate le pareti di intonaco armato con rete elettrosaldata, per la drastica variazione di rigidità che comportano, oltre che per l'elevato impatto distruttivo.

Nelle murature interne, soprattutto delle zone sollecitate a taglio, il rifacimento di malte degradate o distaccate deve avvenire ricercando non tanto l'elevata resistenza compressiva, quanto l'aggrappo adesivo alle superfici e il ridotto ritiro. L'introduzione di fasce di malte fibrorinforzate, o armate con rete di materiale plastico, opportunamente collegate, può introdurre un utile contributo alla duttilità del sistema nei punti critici senza aumentarne eccessivamente la massa e la rigidità. Ad esempio, l'indebolimento prodotto dalla presenza di aperture molto prossime all'angolata o al nodo murario, da spalle eccessivamente snelle in celle campanarie o vele, può essere contrastato, ove compatibile, con la formazione di un telaio interno in metallo applicato al contorno interno del foro e parzialmente risvoltato (profilo a L), oppure da fasce in materiali fibrorinforzati.

Nel caso di architravi lesionati, soprattutto se il loro danneggiamento è parte della linea di sviluppo di un meccanismo, l'intervento tradizionale di rifacimento a trave in c.a. gettata in opera va limitato ai casi di maggior danno o per sostituire elementi in legno degradati, mentre è da preferire la riparazione della lesione e la collocazione, anche esterna, di elementi lineari resistenti a trazione, quali fasce di materiali fibrorinforzati o coppie di tiranti opportunamente connessi alle murature laterali.

Una attenzione particolare deve essere dedicata ai paramenti esterni, a vista o intonacati, dai quali dipende in buona misura il carattere della costruzione, il suo inserimento ambientale e una parte importante della possibilità di apprezzarne l'autenticità.

Ad esempio, in una muratura con paramento a vista in mattoni o in pietra è opportuno evitare il rifacimento sistematico dei giunti, ed operare selettivamente a risarcire quelli perduti o degradati, consolidando i giunti ancora recuperabili. Possono essere effettuate applicazioni locali di silicato di etile, con funzione di consolidamento proprio della malta, e sigillature con microiniezioni nei distacchi eseguite con sabbia fine, calce idraulica additivata con Primal o altro, per ricostruire i legami adesivi tra malta e supporti.

Analogamente per gli intonaci, soprattutto se di antica formazione, è da evitare la rimozione generalizzata a favore dell'integrazione delle parti mancanti o irrecuperabili con intonaci affini, il consolidamento di quelli recuperabili e l'eventuale intonazione cromatica di superficie attraverso velature di calce e terre coloranti. In sostanza, si propone l'utilizzo di modalità di intervento articolate e differenziate a seconda dei caratteri, delle vulnerabilità e delle sollecitazioni proprie delle diverse parti murarie, limitando gli interventi di maggior impatto e costo alle zone in cui ne è stata accertata la stringente necessità.



Chiesa di S. Pietro Apostolo a Budrio (RE). Rottura della catena e danni collegati all'arco trionfale che regge la cupola e ai setti laterali.

8.7. Gli interventi sulle volte: volte strutturali, volte strutturali sottili

La stabilità delle volte è tema complesso già in fase statica e ancor più in fase dinamica. La varietà di configurazione (a botte, a botte ribassata, a crociera, a padiglione, a ombrello, a schifo, a cupola o semicupola, ecc.) e di costituzione (a mattoni di testa, a mattoni in foglio, in pietra o tufo, con o senza archi o costolature intradossali o estradossali) articola notevolmente il comportamento strutturale, i relativi dissesti ed interventi possibili.

Per impostare l'opera di miglioramento assume fondamentale importanza il rilievo accurato dell'assetto geometrico attuale, soprattutto intradossale, realizzato attraverso sezioni significative che includano i muri di appoggio, e la precisa identificazione costruttiva del sistema (sezioni resistenti, apparecchiatura, presenza e tipo di frenelli di rinfiacco, entità e tipo del materiale inerte soprastante, ecc.). In mancanza di questi elementi di dettaglio non è possibile comprendere il funzionamento statico della volta ed impostarne in modo attendibile la verifica. Riconoscere la connessione tra lesioni presenti e deformazioni geometriche, infatti, è fondamentale per identificare il meccanismo di dissesto, il comportamento della volta e le sue residue risorse di resistenza.

La spinta delle volte agisce soprattutto sulle murature

esterne della costruzione, prive di contrasto, accentuandone la tendenza al ribaltamento fuori piano e, in caso di terremoto, sommando la propria azione alla componente sismica orizzontale. Ne consegue che l'intervento a contrasto dei meccanismi sismici, se opportunamente localizzato in modo da applicarsi ai centri di spinta, può in molti casi coincidere con la neutralizzazione statica delle volte.

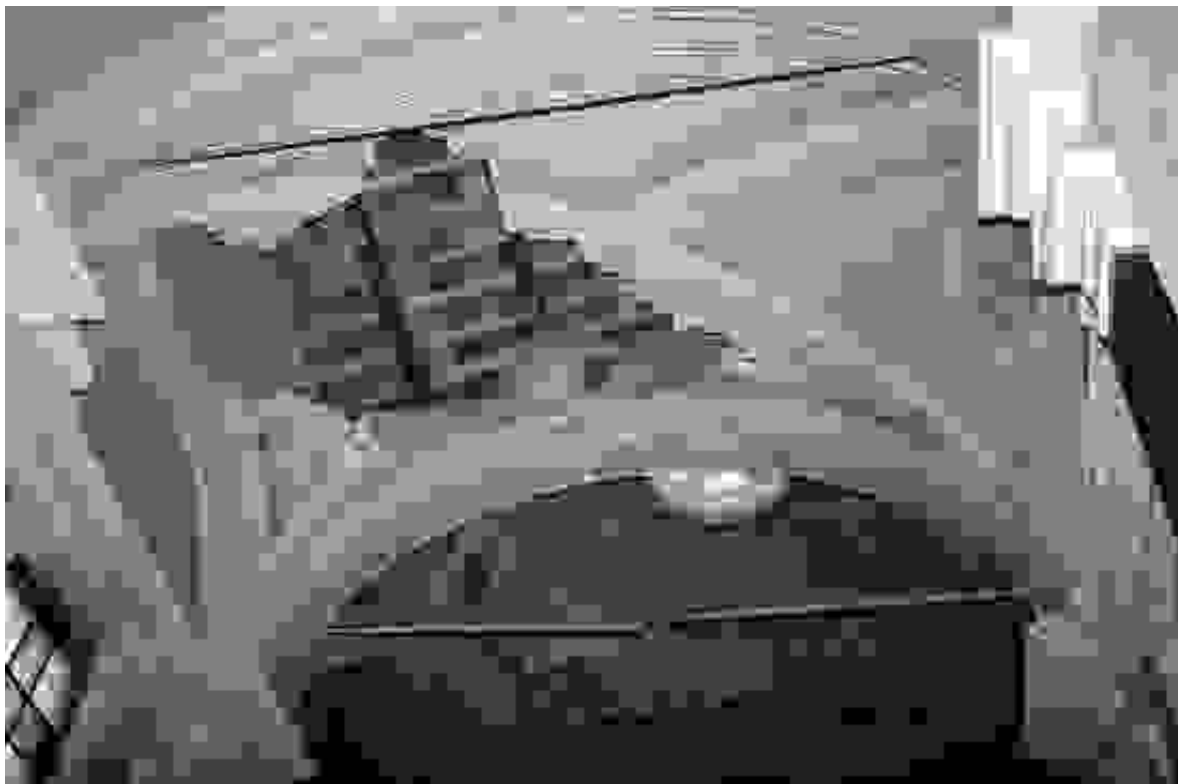
Possiamo dividere i principali interventi sui sistemi voltati in due gruppi: gli interventi indiretti, volti ad assicurare la stabilità delle murature di appoggio, e gli interventi diretti, applicati alla struttura delle volte.

Interventi indiretti

Come è noto, le volte non supportano l'allontanamento dei muri di appoggio, che esse stesse inducono, o il loro avvicinamento causato da oscillazioni discordi. Sono inoltre soggette alle azioni taglianti trasmesse dalle pareti di appoggio (come nel caso illustrato delle volte laterali della Chiesa di S. Nicolò a Carpi).

Gli interventi intradossali sono costituiti da tiranti liberi o affiancati alle murature, soprattutto per il contenimento di spinte nelle angolate esterne.

Gli interventi estradossali sono evidentemente condizionati dalla presenza o meno di pavimenti, di capriate di tetti o altro ad una quota favorevole, cui affidare funzioni di tirante-puntone o di lastra.



Chiesa di S. Pietro Apostolo a Budrio (RE). Rottura della catena e danni collegati alla volta in foglio del presbiterio che crolla in parte.

Ad esempio, se esiste un solaio ligneo autonomamente ordito al di sopra delle volte, gli interventi già descritti per il miglioramento del solaio possono svolgere la funzione di solidarizzazione delle murature anche a favore delle volte sottostanti, con eventuali irrigidimenti a croce di S. Andrea se si intendono contrastare maggiormente le sollecitazioni taglienti.

Se invece la pavimentazione poggia direttamente sui materiali di rinfiacco della volta, oppure su travetti poggiati su frenelli in muratura, l'intervento va progettato in rapporto alla tipologia della volta, alla sua costituzione, all'eventuale dissesto statico già presente, al carico con cui si intende gravare il pavimento, ecc.

Interventi diretti

In primo luogo vanno compiuti gli interventi di riparazione, consistenti nella messa in luce delle lesioni eventualmente stuccate, pulitura, incuneatura con elementi in legno duro o in metallo, sigillatura e iniezione con prodotti specifici, ad alta penetrazione, spiccata capacità adesiva e buona -ma non eccessivamente elevata- resistenza meccanica.

Come ricordato dalle "Istruzioni" (7), vanno esclusi gli interventi che prevedono la realizzazione di cappe armate in c.a. direttamente all'estradosso della volta, in quanto la irrigidiscono in modo eccessivo.

Si va diffondendo in tempi recenti l'applicazione di

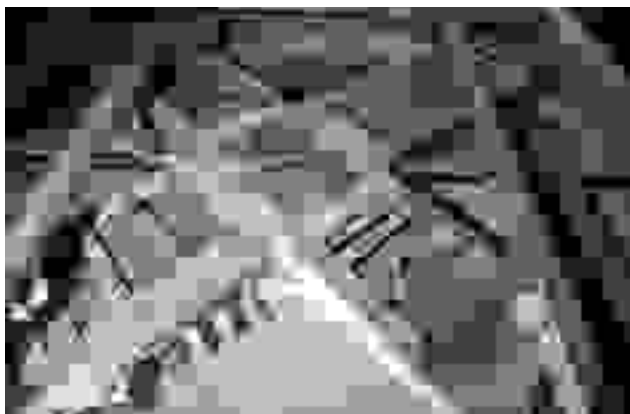
(7) Dalle "Istruzioni...", cit., paragrafo C.4.4- Archi e volte:

"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 purchè ne sia dimostrata l'efficacia nel contenimento della spinta.

In caso di presenza di lesioni e/o deformazioni, la riparazione deve ricostituire i contatti tra le parti separate, onde garantire che il trasferimento delle sollecitazioni interessi una adeguata superficie e consentire una idonea sezione resistente.

Va evitato comunque il ricorso a tecniche di placcaggio all'intradosso con realizzazione di controvolte in calcestruzzo o simili, armate o meno, a favore di interventi che riducano i carichi, e/o diminuiscano le eccentricità e/o vincolino le deformazioni all'estradosso (rinfianchi alleggeriti, frenelli, ecc.). Tale intervento è ammesso solo ove non esistono alternative."



Consolidamento della volta della loggia affrescata di Villa Poiana a Poiana Maggiore (VI), Istituto Regionale per le Ville Venete. La volta a crociera, gravemente abbassata (oltre 30 cm.) e deformata, è stata puntellata all'intradosso, con centine lignee e interposizione a contatto con gli affreschi in poliuretano espanso con fogli di protezione. Dopo la rimozione dei materiali inerti di rinfianco, l'estradosso è stato pulito e le lesioni, aperte con soffi d'aria compressa, sono state iniettate con composto privo di sali a basso contenuto d'acqua. Successivamente la volta è stata consolidata sovrapponendo ai costoloni estradosali, molto abbassati, un tutore metallico costituito da una centina a L calandrata, su cui scaricano tirantini filettati inox ancorati alla volta con resine epossidiche in fori a sola rotazione. Infine viene ampliato all'estradosso il costolone in muratura, annegandovi i tirantini, per ricostituire la geometria e il relativo funzionamento statico della volta. Il pavimento, prima appoggiato alla volta, è stato posato su struttura propria, i cui elementi principali in legno lamellare fungono da tiranti-puntoni estradosali e il cui impalcato assolve anche funzioni di irrigidimento. Sono stati controllati i tiranti antichi esistenti.

fasce in fibre di carbonio o altri materiali compositi, legati in genere a mezzo di resine epossidiche soprattutto all'estradosso della volta. Tale intervento, per il quale sono in corso sperimentazioni e prime applicazioni descritte nella letteratura specialistica, ha il pregio di essere relativamente reversibile -la resina epossidica è termoplastica e rammollisce a temperature non elevate- e di apportare elevate resistenze soprattutto a trazione. Le limitate sezioni e la posa in opera a reticolo o a fasce parallele consentono di evitare l'irrigidimento eccessivo della volta, che mantiene così parte della capacità di adattarsi ad assestamenti delle murature d'appoggio. Questo intervento, che richiede specifiche modellazioni di calcolo, può essere di grande utilità all'estradosso delle volte sottili in foglio, caratterizzate da elevata fragilità, consentendo di eliminare o ridurre drasticamente il materiale inerte di rinfiacco, posto con funzione stabilizzante alle reni.

8.8. Sistemi di tirantatura metallica o mista

L'applicazione di sistemi di tirantatura metallica è forse l'intervento più coerente con il concetto di miglioramento, e che in rapporto al costo e agli impatti produce i maggiori benefici (8).

E' formato nella configurazione più semplice da un elemento resistente a trazione (catena) e da due capochiave agli estremi che trasferiscono alle murature uno sforzo compressivo.

Il suo impiego di elezione è mirato a contrastare i meccanismi simmetrici e opposti, e a trasferire le azioni inerziali fuori piano che interessano i muri di facciata a sezioni murarie più interne, sollecitandole a taglio nel loro piano. Questo permette di sfruttare in modo più favorevole la sezione e le caratteristiche di resistenza della costruzione.

Negli edifici dotati di solai, il cordolo-tirante già descritto può svolgere la funzione tradizionalmente affidata al tirante libero, salvo l'esigenza di difendere anche l'interpiano in ambienti molto alti, di contrastare la spinta di archi e volte su muri esterni o in situazioni particolari.

Nel caso non sia possibile intervenire a pavimento, o comunque si rinunci a formare il cordolo-tirante, il tirante libero può essere apposto all'intradosso, nella

connessione tra solaio e muro.

Il suo utilizzo è insostituibile soprattutto negli edifici a vano unico, come le chiese o le grandi aule soprattutto in presenza di volte o archi, e negli edifici cavi, come i campanili e le torri.

I principali tipi di tirante sono:

- a barra di sezione quadra o rettangolare, eventualmente ribattuta al maglio, con capochiave esterno a paletto entro asola, tesato attraverso la dilatazione termica prodotta da surriscaldamento e l'incuneatura a forza delle teste. E' il tipo di tirante proprio della tradizione più antica, ancora utilizzabile ove lo richiedano particolari esigenze architettoniche di affinità con il contesto;

- a barra tonda filettata alle estremità e collegata a piastre o capochiave di ripartizione, cui è fissato con bullone. Può avere anche un manicotto centrale controfilettato per la giunzione degli elementi o per la tesatura. E' il tipo di tirante più diffuso, che rispetto al tirante tradizionale forgiato presenta il vantaggio di poter essere messo in tensione con chiavi dinamometriche, controllando con maggiore facilità e precisione la tensione di esercizio;

- a barre tonde di elevata resistenza, tipo Diwidag o affini, con sagomatura preformata che permette di evitare la filettatura, manicotti intermedi di giunzione e piastre esterne. Consente di utilizzare sezioni più ridotte rispetto alla barra tonda normale, e offre una componentistica che riduce la necessità di lavorazioni per ordine particolare;

- a trefoli o trecce in acciaio armonico, di elevatissima resistenza (± 16 t/cm²), con boccole speciali di arresto da applicare a piastre di ripartizione. Si tratta del cavo utilizzato usualmente per manufatti precompressi, protetto da guaina, che consente sezioni molto ridotte rispetto alla resistenza offerta.

A questi tipi di tirante metallico va aggiunta una soluzione mista, frequente nella tradizione, formata da una catena lignea collegata agli estremi a bandelle chiodate e capochiave metallico. A volte, soprattutto nelle murature di grande sezione, l'elemento ligneo era inserito all'interno della muratura durante la costruzione, e molto di frequente esso, degradandosi, ha perduto ogni efficienza meccanica, lasciando l'edificio privo di un presidio che ora è necessario ricostituire.

(8) Dalle "Istruzioni...", cit., paragrafo C.4.8- Altri interventi. Incatenamenti metallici:

"La pratica tradizionale di inserire catene e tiranti in metallo va considerata, in via generale, come la risposta di maggior efficacia in funzione antisismica rispetto all'impatto causato al manufatto, per cui si richiede che essa vada adottata sistematicamente.

Scopo delle catene è quello di impedire il collasso delle pareti perimetrali ortogonalmente al loro piano e verso l'esterno, quando ciò non appaia garantito dai solai o da altre strutture, e di contribuire, laddove opportuno, alla capacità dell'organismo di funzionare strutturalmente quale organismo unitario.

Sono da preferire le catene costituite da barre tonde di acciaio a bassa resistenza, con capochiave atti a distribuire la pressione conseguente al tiro su zone murarie di adeguata ampiezza. Tali capochiave potranno essere esterni alla parete, soluzione preferibile dal punto di vista tecnico e di minor impatto distruttivo, oppure incassati con opportune cautele ove giudicato necessario. I tiranti dovranno in via generale essere disposti sulle murature principali, ad ogni piano, con preferenza per le soluzioni a doppia catena sui due lati dei muri stessi. Nel caso di muri esterni si adotterà la catena singola all'interno.

Nei casi in cui sia indispensabile forare la parete in direzione longitudinale (casi che si cercherà il più possibile di evitare) si dovrà di regola dare la preferenza a catene inserite in guaina e non iniettate, per rendere reversibile l'intervento, consentire l'eventuale ripresa di tesatura, evitare l'insorgenza di sollecitazioni indesiderate. Per quanto riguarda la tesatura dei tiranti, si dovranno adottare tensioni limitate, tali da produrre nelle murature tensioni di compressione nettamente inferiori ai valori ritenuti ammissibili"



Collocazione di tirante a bar ra tonda con manicotto di tesatura centrale su arco di porta cittadina. Sui lati si osservano tiranti a barra rettangolare, con capichiave esterni, connessi con raccordi alle travi del solaio. Porta Imperiale, Feltre.

Tirante continuo all'imposta degli archi absidali. Chiesa di Ognissanti, Feltre. L'arco trionfale delle chiese, particolarmente vulnerabile, trae grande beneficio dalla collocazione del tirante.



Frequente è anche il caso di tiranti rotti in antico, eliminati e non più sostituiti, come nel caso dei tiranti sul presbiterio della chiesa di S. Nicolò a Carpi.

Oltre alla ricerca e al rilievo di tutti i tiranti esistenti e di quelli eventualmente presenti in antico e rimossi, è necessario conoscerne la natura, lo stato di efficienza e di sollecitazione, in modo da poterne valutare l'affidabilità soprattutto nelle posizioni in cui la loro azione è indispensabile anche in fase statica. Non è infrequente il caso di cricche che hanno ridotto del tutto o in parte la sezione resistente, e di ossidazioni all'interno della muratura.

Oltre all'ispezione diretta e alla eventuale liberazione parziale delle teste, nei casi più delicati è opportuno effettuare misure della sezione resistente e delle sollecitazioni in atto attraverso apposite prove non distruttive.

Nelle "Istruzioni", riportate in nota, sono forniti alcuni indirizzi che tendono a ridurre l'impiego di tiranti a trefolo, soprattutto se utilizzati per precomprimere la muratura, a favore di tiranti tradizionali debolmente tesati. Inoltre si privilegiano i tiranti esterni alla muratura, salvo i punti di attraversamento, a quelli interni in foro eseguito a perforazione o carotatura. Sono indicazioni rivolte a contrastare un uso forzato di materiali e tecnologie recenti, oltre le necessità e le capacità della fabbrica antica.

Ciò non toglie che, dopo aver accuratamente valutato le diverse opzioni e le possibili controindicazioni, il loro impiego mirato possa risolvere situazioni delicate e complesse, come la cerchiatura di cupole o tamburi, l'affiancamento di antichi tiranti molto sollecitati e di incerta affidabilità, la limitata precompressione di elementi murari già rotti a trazione e soggetti a ribaltamento.

Si ricorda che, nel caso siano inevitabili le saldature, devono essere realizzate su materiale accertato come saldabile e con saldatura "a filo", o comunque tale da evitare rotture fragili nel punto di giunzione, fornendo le opportune garanzie.

Da citare la possibilità di realizzare capochiave non convenzionali per meglio ripartire le sollecitazioni dei tiranti ove questi si applichino a punti particolarmente vulnerabili della costruzione.

E' il caso dei "pluviali strutturali", ossia di tubi metallici di opportuna sezione in acciaio zincato che, oltre a svolgere la funzione di discendente per le acque meteoriche, sono collegati alle teste dei tiranti in modo da poter ripartire la loro azione sui tratti intermedi di muratura. Se si tiene conto che i pluviali sono in genere collocati in prossimità delle angolate o a confine tra le costruzioni, perciò in corrispondenza del muro di spina interno di separazione, si comprende come il loro utilizzo come "opera provvisoria fissa" a duplice funzione possa fornire un utile contributo ad amplificare l'efficacia dei tiranti ivi collocati. (Vedi l'esemplificazione nel caso del Palazzo Cumano a Feltre - Cap. 10.3.).

8.9. Aspetti legati alla protezione e al restauro di



Danni causati agli elementi in pietra e agli intonaci antichi dalla fuoriuscita di boiaccia cementizia impiegata nelle iniezioni di consolidamento. Castello di Colloredo (UD).

Intonaco provvisorio di argilla, cocciopesto e calce steso sulle murature superstiti del Duomo di Venzone (UD) prima di eseguire le iniezioni di consolidamento.



superfici architettoniche, di parti decorative, di elementi lapidei, di elementi di arredo fisso e mobile

Nel progetto devono essere previsti i principali accorgimenti o attenzioni operative per ridurre gli impatti sul manufatto nel corso del cantiere.

Ad esempio, nel caso si intendano realizzare iniezioni su murature a vista o con paramenti da conservare, è opportuno realizzare una protezione temporanea applicando un intonaco provvisorio composto da argilla, cocchiopesto e limitate quantità di calce spenta. Dopo aver constatato i danni irreversibili prodotti dalle fuoriuscite di fluido da iniezione sulle superfici murarie, che ne rendevano inevitabile il completo rifacimento, questo accorgimento è stato adottato con buoni risultati in alcuni interventi in Friuli a seguito del terremoto del 1976. Steso prima dell'iniezione, contiene le perdite di fluido oppure le porta a scorrere sulla propria superficie, salvaguardando i paramenti. Ad iniezioni concluse può essere rimosso meccanicamente o con semplici lavaggi. Per superfici limitate può essere utilizzata anche attapulgitte, ritardandone l'essiccazione

con fogli di plastica.

Questa tecnica consente di evitare la sostituzione o manipolazione generalizzata delle superfici esterne, gravissimo impoverimento dell'autenticità di un'opera. Per le opere d'arte e d'arredo fisso e mobile va realizzato uno specifico "piano di sicurezza" che preveda i rischi relativi e adotti le contromisure necessarie, dallo spostamento in luogo sicuro alla protezione in sito contro gli urti, la polvere, il dilavamento o altro. Vedi a questo proposito le specifiche istruzioni riguardo agli interventi sui beni storico-artistici. (9)

Nei casi in cui sia indispensabile forare la parete in direzione longitudinale (casi che si cercherà il più possibile di evitare) si dovrà di regola dare la preferenza a catene inserite in guaina e non iniettate, per rendere reversibile l'intervento, consentire l'eventuale ripresa di tesatura, evitare l'insorgenza di sollecitazioni indesiderate. Per quanto riguarda la tesatura dei tiranti, si dovranno adottare tensioni limitate, tali da produrre nelle murature tensioni di compressione nettamente inferiori ai valori ritenuti ammissibili".

(9) Vedi in particolare: Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Istituto Centrale per il Restauro, *Edifici storici di culto - Decorazioni, arredi. Guida alla manutenzione*, a cura di G. BASILE, Ed. Opus Libri, Firenze, 1999.

9. DOCUMENTI TECNICO-ECONOMICI PER IL CONTRATTO D'APPALTO NEL PROGETTO ESECUTIVO (*)

9.1. Il Capitolato Speciale di Appalto

9.2. L'Elenco dei Prezzi Unitari

9.3. Il Computo Metrico Estimativo con Quadro Economico di Spesa

9.4. La richiesta del rendiconto "come costruito" a consuntivo

9.1 - Il Capitolato Speciale di Appalto

Il Capitolato Generale di Appalto è contenuto nel D.M. 19 aprile 2000, n. 145, "Regolamento recante il capitolato generale di appalto dei lavori pubblici, ai sensi dell'art. 3, comma 5, della legge 11 febbraio 1994, n. 109, e successive modificazioni". Esso costituisce il riferimento normativo di base per i contratti di appalto della Pubblica Amministrazione.

Inoltre il "Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici, 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni", contenuto nel DPR 21 dicembre 1999, n. 554, prevede all'art. 35 (Documenti componenti il progetto esecutivo) lo **schema di contratto** e il **capitolato speciale di appalto**, descritti al successivo art. 45. Lo **schema di contratto** "contiene, per quanto non disciplinato dal regolamento e dal capitolato generale di appalto, le clausole dirette a regolare il rapporto tra stazione appaltante e impresa, in relazione alle caratteristiche dell'intervento".

In particolare prevede:

- a) termini di esecuzione e penali;
- b) programma di esecuzione dei lavori;
- c) sospensioni e riprese dei lavori;
- d) oneri a carico dell'appaltatore;
- e) contabilizzazione dei lavori a misura, a corpo;
- f) liquidazione dei corrispettivi;
- g) controlli;
- h) specifiche modalità e termini di collaudo;
- i) modalità di soluzione delle controversie.

Allegato allo schema di contratto è il **capitolato speciale di appalto**, "che riguarda le prescrizioni tecniche da applicare all'oggetto del singolo contratto", ed è diviso in due parti.

La **prima**, che descrive le lavorazioni, contiene "tutti gli elementi necessari per una compiuta definizione tecnica ed economica dell'oggetto dell'appalto, anche ad integrazione degli aspetti non pienamente deducibili dagli elaborati grafici del progetto esecutivo".

La **seconda** indica "le modalità di esecuzione e le norme di misurazione di ogni lavorazione, i requisiti di accettazione di materiali e componenti, le specifiche di prestazione e le modalità di prove nonché, ove necessario, in relazione alle caratteristiche dell'intervento, l'ordine da tenersi nello svolgimento delle specifiche lavorazioni."

Pertanto il Capitolato Speciale di Appalto costituisce un elemento fondamentale del progetto esecutivo.

Non è ancora disponibile un capitolato speciale tipo per i lavori di restauro adottato dalla Pubblica Amministrazione, stante anche le comprensibili difficoltà per giungere alla sua stesura. E' noto che il Ministero per i Beni e le Attività Culturali ne ha in corso la predisposizione. Pertanto i progettisti possono fare riferimento ai capitolati a stampa o su supporto informatico attualmente disponibili, adattandoli o completandoli per le parti necessarie a meglio indirizzare lo specifico lavoro.

A titolo di esempio, vedi: S. TINE', *Capitolato Speciale di appalto per lavori di ristrutturazione e restauro*, ed. Flaccovio, Palermo;

C. CAMPANELLA, *Capitolato Speciale di Appalto per opere di conservazione e restauro*, ed. Pirola, Milano.

Tuttavia, dopo l'approvazione del Regolamento attuativo della legge 109/94, la materia subirà inevitabilmente significative evoluzioni.

9.2- L'Elenco dei Prezzi Unitari

L'Elenco dei Prezzi Unitari, previsto tra i documenti del progetto definitivo ed esecutivo (art. 34 e 35 del Regolamento citato), definisce sotto il profilo tecnico-esecutivo le singole operazioni e ne fissa il corrispettivo economico per unità di misura.

La Regione Marche ha adottato per gli interventi sul patrimonio architettonico, con delibera della Giunta Regionale n. 2279 del 21/9/98, pubblicata sul Supplemento n. 21 al BUR Marche n. 80 del

29 settembre 1998, il Prezziario redatto dalla Soprintendenza ai Beni Ambientali e Architettonici delle Marche, che è corredato delle relative analisi di prezzo.

Per specifiche lavorazioni non previste da tale elenco, è possibile formulare prezzi diversi, utilizzando per le analisi i prezzi elementari inclusi nel prezziario regionale (materiali in fornitura, noli, mano d'opera, ecc.).

Qualora la gara sia prevista con il sistema dell' "offerta prezzi" su ciascun prezzo, anzichè con offerta ad unica percentuale di ribasso su tutti i prezzi di elenco, si dovrà produrre uno specifico modulo di offerta prezzi, con la descrizione delle voci riportate per intero, il totale delle quantità di computo per ciascuna voce di prezzo, l'unità di misura, lasciando in bianco lo spazio per formulare il prezzo unitario e il prodotto, in cifre e in lettere.

9.3- Il Computo Metrico Estimativo con Quadro Economico di Spesa

Il computo metrico estimativo deve indicare analiticamente le quantità delle opere relative a ciascuna voce di prezzo. E' molto importante che ciascuna misura sia corredata di note ed elementi che consentano di riconoscere la posizione nell'edificio di ogni singola opera. Questo è utile sia ai fini di chiarire la localizzazione di progetto di ogni singolo intervento, ove gli altri elaborati si prestassero a dubbi, sia per controllare in corso d'opera l'andamento economico del lavoro, confron-

tando le singole partite previste con quelle effettivamente realizzate.

Al termine del computo metrico viene collocato il **Quadro economico di spesa**, che può essere formulato come nello schema a piè pagina.

9.4- La richiesta del rendiconto "come costruito" a consuntivo

E' opportuno che tra gli oneri e obblighi a carico dell'Impresa sia inserita nel Capitolato Speciale la richiesta di un rendiconto "come costruito", in grado di dare esatta descrizione e localizzazione delle opere effettivamente realizzate. Si tratta in sostanza di un aggiornamento a consuntivo del progetto, in modo tale da non lasciare dubbi sulla posizione, natura e caratteristiche delle opere realizzate. Lo scopo è quello di permettere nel futuro anche prossimo i necessari interventi di controllo e manutenzione delle opere di presidio, analogamente a quanto già avviene per gli impianti elettrici e di riscaldamento, contribuendo a costituire la base per il "libretto di fabbricato" di cui recenti norme prevedono la formazione.

Inoltre un tale documento sarà utile per valutare, insieme al comportamento dell'edificio, l'efficacia dei presidi inseriti, favorendone l'eventuale integrazione anzichè la radicale sostituzione e modifica.

(*) *Questo capitolo è stato redatto con la collaborazione dell'arch. G. Mariani.*

Lavori di	Quadro Economico di Spesa
A) Somme per lavori e somministrazioni:	
A1) Importo dei lavori a base d'asta (soggetti a ribasso)
A2) Oneri per la sicurezza (non soggetti a ribasso, in percentuale dal 3% al 5%)
Totale A
B) Somme a disposizione dell'Amministrazione:	
B1) per imprevidi (in percentuale variabile dal 5% al 15% del totale A) a seconda dell'Amministrazione Appaltante)
B2) per indagini geognostiche
B3) per allacciamenti o altre opere direttamente disposti dall'Amministrazione;
B4) per spese tecniche (progetto e direzione lavori, collaudo ove previsto, coordinamento sicurezza, ecc.):
B5) per IVA 10% su opere (A1, A2, B1, ...)
B6) Per IVA 20% su B4) Spese tecniche e affini
Totale B
(Costo totale del progetto) TOTALE A+B

10. ESEMPLIFICAZIONI DI PROGETTI E DI INTERVENTI

10.1. Presentazione dei casi

10.2. Il progetto per il miglioramento sismico del Tempio monumentale di S. Nicolò a Carpi (RE) (G. Serafini)

10.3. Interventi di riparazione, manutenzione, consolidamento statico e miglioramento del Palazzo Cumano a Feltre (BL), ora sede della galleria d'arte moderna "C. Rizzarda"

10.4. La progettazione del miglioramento sismico nel caso della Chiesa di S. Savino a Liceto di Sassoferrato (P. Regazzo)

10.5. Villa Castellani a S. Ippolito (PS) (G. Minardi)

10.1. Presentazione dei casi

I progetti che qui sono sinteticamente documentati hanno lo scopo di esemplificare alcuni percorsi tecnici, con le relative forme redazionali e soluzioni adottate.

Accanto a progetti maggiormente aderenti al percorso metodologico e alle grafie proposte nel codice ve ne sono altri che propongono soluzioni diverse, comunque articolate e comprensibili nel loro sviluppo. Questo anche per ribadire che il codice non ha il fine di normalizzare i progetti sotto il profilo della redazione grafica e delle soluzioni tecniche, quanto piuttosto di indicare un tracciato metodologico e operativo, insieme ad alcuni strumenti da utilizzare o da sostituire con altri la cui efficacia sia adeguata ad affrontare le esigenze del caso in esame.

Nel loro insieme, i casi presentati esemplificano edifici diversi per tipologia e dimensione, ossia una grande chiesa, un palazzo cittadino, una piccola chiesa, una villa.

Il caso della **chiesa di S. Nicolò a Carpi** è certamente di grande complessità, sia per la dimensione (oltre 30.000 mc., con una cupola su tiburio a quasi 40 m. di altezza), sia per i problemi tecnici che presenta, dovuti anche ad un antico ampliamento rimasto incompiuto. Danneggiata dal terremoto del 1987, parzialmente riparata e nuovamente colpita nel 1996, ha subito gravi danni soprattutto alle volte delle navate e agli arconi del transetto, sui quali poggia l'alto tiburio. L'eccezionalità della patologia, conseguenza di un impianto architettonico e strutturale ardito e al tempo stesso eterogeneo, richiede che il comportamento della fabbrica sia profondamente reindirizzato, operando perciò al limite del miglioramento. Va rimarcato tuttavia come le opere previste ricerchino un grande adattamento con le strutture dell'edificio, riducendo gli impatti sia visivi che fisici con una disposizione accuratamente progettata, impostazione questa propria del miglioramento.

Il progetto studia attentamente le caratteristiche costruttive e di danno -fessurazione e deformazione- dell'edificio, progetta ed esegue approfondimenti diagnostici preliminari e ne delinea lo sviluppo nel corso del cantiere. Per ragioni di disponibilità economica e per consentire i necessari rilievi in alcune zone non accessibili al contatto tra arconi del transetto e tiburio, il progetto esecutivo è articolato in stralci, delineando

quindi un processo tecnico prolungato nel tempo.

Il caso del **Palazzo Cumano, ora sede del Museo Rizzarda, a Feltre**, investe un edificio urbano ben costruito, relativamente omogeneo ed in buono stato di manutenzione. L'opera di miglioramento in funzione preventiva si associa ad opere manutentive ed alla formazione di dotazioni impiantistiche. Il quadro fessurativo e deformativo viene rilevato e interpretato per riconoscere i meccanismi già attivati nei diversi macroelementi.

Il progetto analizza le forme di *vulnerabilità tipica*, derivanti dalla posizione rispetto all'aggregato, con numerose angolate libere e una parete laterale di testa, dalla articolazione planimetrica ed altimetrica, con presenza di un corpo aggettante e di una parete laterale sveltante rispetto al profilo dell'edificio contiguo; da altri fattori, come la presenza di una lunga parete laterale priva di vincoli e di muri ortogonali, o come l'entità e l'articolazione delle aperture sul fronte principale.

Tra le *vulnerabilità specifiche* si osservano la separazione tra spalle in pietra e muratura nelle aperture, che rende esile soprattutto la struttura in angolata; l'ampio cornicione in pietra a sbalzo, con problemi di stabilità e di fragilità; la sfilabilità delle orditure lignee del tetto e dei solai; la mancanza di ammorsamento tra il corpo scale e la costruzione principale; la presenza di numerose ed ampie canne fumarie che interrompono la continuità muraria; le alte e massicce torrette di camino, con problemi di stabilità.

Il limitato livello di danno, unito alla rilevante qualità costruttiva dell'edificio e al suo relativamente buono stato di manutenzione, consente di concentrare l'attenzione sull'opera di miglioramento. Il progetto propone soluzioni rivolte soprattutto a favorire l'interazione tra strutture esistenti e presidi di miglioramento, ed agisce sistematicamente sui collegamenti tra orditure e murature con un insieme di accorgimenti.

Il progetto di miglioramento sismico della **chiesa di San Savino a Liceto di Sassoferrato** esamina una chiesa di limitate dimensioni, strutturalmente aggregata a corpi con diversa destinazione. Analizza ed esemplifica, anche ricorrendo a particolari forme grafiche, le vulnerabilità tipiche e specifiche presenti, e descrive gli interventi corrispondenti. Costante è la connessione con le carenze manutentive e le forme di degrado, per

rendere chiara l'esistenza di un unico impianto tra opere di manutenzione-restauro e opere di miglioramento.

Il progetto per la **villa Castellani a S. Ippolito** (PS) interessa un edificio con gravi problemi di degrado proprio, dovuto soprattutto a mancata manutenzione, con dissesti statici che si intersecano con meccanismi

di probabile origine sismica. La presenza di strutture di intrinseca fragilità, quali le volte in foglio o i solai biorditi, inflessi in quanto sottodimensionati, rende il caso interessante per la ricerca di interventi utili sia sotto il profilo del miglioramento che sotto quello del rafforzamento strutturale. Viene sviluppata sia la lettura dei caratteri figurativi e materiali, sia l'articolazione degli interventi conservativi.

10.2. IL PROGETTO PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEL TEMPIO MONUMENTALE DI S. NICOLÒ A CARPI

Giorgio Serafini

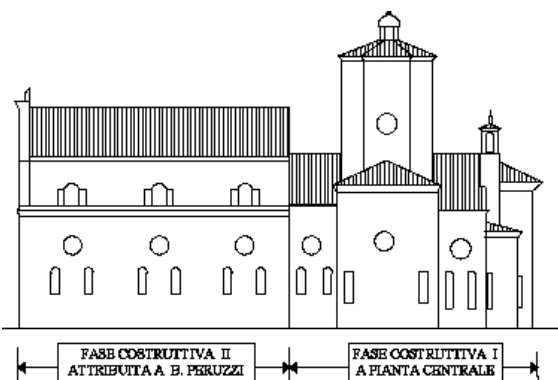
1. Premesse.

In questa nota si espongono brevemente le problematiche emerse durante la redazione del progetto per il miglioramento sismico del tempio monumentale di San Nicolò a Carpi, edificio danneggiato vistosamente in occasione del terremoto del 15 ottobre 1996. L'attività di progettazione, così come la realizzazione degli interventi, è stata divisa in due fasi, la prima delle quali è finalizzata anche all'acquisizione di una serie di dati necessari per il completamento del progetto esecutivo.



2. Cenni storici sulla chiesa di S. Nicolò.

Fin dal 1449 il papa Nicolò V aveva concesso ad Alberto II di edificare, come dice Semper, "la chiesa ed il chiostro dei padri di San Nicolò con giardini...". Solo nel 1494, però, Alberto III Pio fece iniziare le

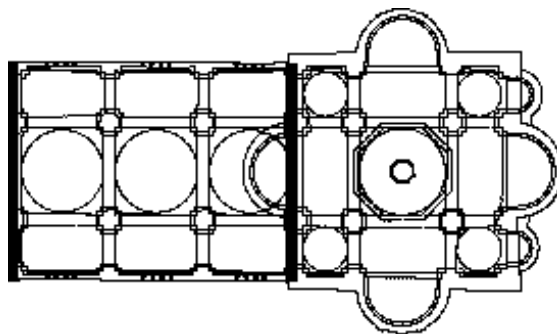


Fianco destro della chiesa e identificazione schematica delle fasi costruttive.

fondamenta, ma in quello stesso anno il capitolo dei minoriti, ad Imola, espresse una vibrata protesta contro la costruzione de "... la nuova chiesa fondata da Alberto, senza il consenso del Capitolo, per essere

troppo grandioso il progetto, dover esso essere ridotto, in modo da non superare l'estensione della vecchia chiesa...". La costruzione, comunque, si sviluppò, partendo dalla parte del coro, senza che si procedesse ad una revisione del progetto, tanto è vero che nel dicembre 1511 si lavorava già per costruire la struttura centrale corrispondente, almeno in parte, all'attuale tiburio. In genere gli studiosi ritengono che questa fase costruttiva corrispondesse ad un corpo di fabbrica a pianta centrale (fase costruttiva I). Solo un paio di anni dopo Alberto Pio, in una lettera del 13 agosto 1513, comunicò di avere da poco inviato a Carpi un modello per la chiesa, modello attribuito a Baldassarre Peruzzi. L'appendice peruzziana (fase costruttiva II) trasformò il sistema distributivo della chiesa secondo uno schema longitudinale a tre navate con transetti modestamente sporgenti dal corpo dell'edificio. Nel 1521 i lavori dovevano essere prossimi alla fine, visto che il capitolo generale dei frati minoriti si riunì proprio in San Nicolò; comunque la chiesa venne consacrata il 26 aprile 1522.

Alla luce delle testimonianze materiali che stanno emergendo sembra che si debba ritenere che l'intervento del Peruzzi abbia anche richiesto di modificare in modo significativo la porzione della chiesa già in fase avanzata di costruzione, corrispondente all'edificio concepito secondo lo schema a pianta centrale, aggiungendovi le absidioline laterali e, probabilmente, alzando il tiburio.



Pianta dell'attuale chiesa con sovrapposta un'ipotesi di organizzazione della struttura a pianta centrale corrispondente alla fase costruttiva I.

Evidentemente le absidioline corrispondono ad una modificazione coerente con lo sviluppo assiale della pianta. Analogamente si evidenzia la diversa posizione della facciata nei due casi di sviluppo planimetrico.

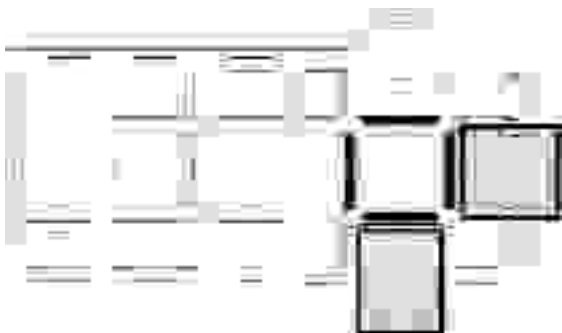
3. Danni subiti dalla chiesa per effetto di eventi sismici.

La chiesa è stata soggetta a notevoli danni sismici nella sua storia. In particolare sono stati effettuati degli importanti lavori di ripristino dopo il sisma del 1832, tra i quali il parziale rifacimento della semicupola dell'abside centrale e della volta a botte e della cupola del transetto destro. Fu probabilmente durante questo sisma che si spezzarono le catene che reggevano le

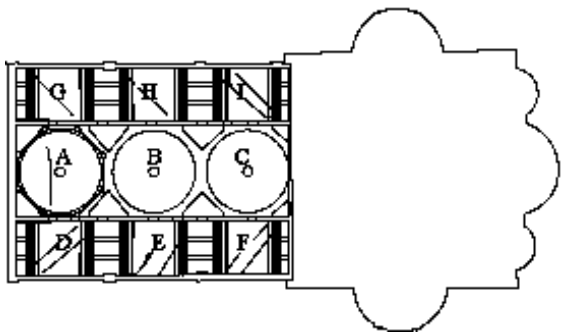
spinte dei quattro arconi al di sotto del tiburio.

Una verifica sul posto ha consentito di verificare la rispondenza tra le informazioni documentali e le testimonianze materiali. E', infatti, stata rilevata una discontinuità nella tessitura muraria sulla volta a botte che si trova immediatamente a destra del tiburio. Nella porzione più vicina al tiburio, l'apparecchiatura della muratura presenta uno spessore leggermente superiore (2-3 cm), per cui all'estradosso si è formato un leggero gradino; inoltre la muratura più recente risulta tessuta con maggior regolarità ed i giunti appaiono integralmente intasati di malta.

Analoga discontinuità si rileva in corrispondenza della volta a botte che collega l'abside principale all'incrocio del transetto.



La chiesa fu soggetta a notevoli danni a seguito del sisma del 1832, a causa del quale fu necessario procedere al parziale rifacimento della semicupola dell'abside centrale e della volta a botte e della cupola del transetto destro (zone in grigio). Probabilmente in tale occasione si spezzarono le catene sotto al tiburio (evidenziate in figura), di cui rimangono ora solo i moncherini fuoriuscenti dai pilastri.



Pianta schematica della zona ovest del sottotetto della chiesa con evidenziato il quadro fessurativo principale.

4. Aspetti diagnostici.

Per chiarire i risultati delle analisi sia sulla diagnostica strutturale che sulla vulnerabilità dell'edificio ci si soffermerà prevalentemente sul complesso voltato e sul comportamento d'insieme della chiesa in fase di cimento sismico.

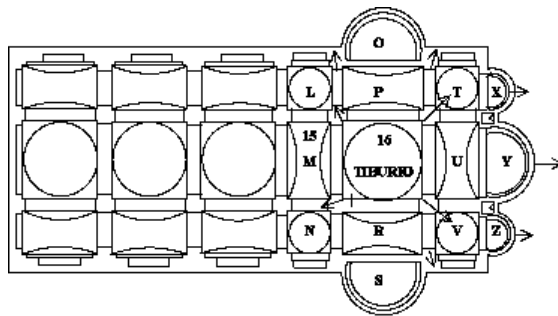
4.1. Le volte della zona ovest della chiesa.

Nella zona occidentale della chiesa gli spazi delle navate sono coperti con un sistema voltato costituito da tre volte a cupola per la navata centrale e da tre volte a botte, disposte trasversalmente all'asse della chiesa, per ciascuna delle navate laterali.

A seguito degli scotimenti sismici, aventi direzione prevalentemente longitudinale, le sollecitazioni inerziali di competenza dei due telai centrali, più deformabili perché impostati su pilastri isolati, hanno presentato la tendenza a migrare verso le pareti esterne più rigide. In mancanza di un impalcato sufficientemente rigido e resistente, i telai longitudinali hanno trasmesso le azioni orizzontali alle pareti esterne attraverso le volte a botte, innescandovi delle lesioni a 45°, in parte incrociate, che raggiungono ampiezze tra i 2 ed i 4 cm. Simulazioni numeriche hanno evidenziato la coerenza tra questo meccanismo di crisi, il quadro fessurativo e le deformazioni permanenti riscontrate sulle volte.

4.2. Le volte e gli archi della zona est della chiesa.

La zona orientale della chiesa corrisponde alla fase costruttiva sviluppatasi prima dell'intervento di Baldassarre Peruzzi ed interessa il tiburio, quattro volte a botte (M, P, R ed U), quattro voltine sferiche (L, N, T e V) e cinque volte emisferiche (O, S, X, Y e Z).



Pianta delle volte e riferimenti per la loro individuazione. Le frecce indicano le direttrici di spostamento dei pilastri rispetto alla verticale.

Dal punto di vista morfologico la copertura è realizzata immediatamente al di sopra del sistema voltato. In alcuni casi la struttura lignea del coperto si appoggia direttamente alle volte, sia per effetto della deformazione delle membrature, sia per una errata concezione strutturale iniziale. Parte del sottotetto non risulta, quindi, accessibile; i rilievi diagnostici su questa zona risultano, quindi, ancora carenti.

Un'analisi visiva ha evidenziato come la situazione della struttura al di sotto del tiburio risulti assai preoccupante, dato che gli archi presentano vistosi fenomeni di schiacciamento e fessurazioni longitudinali nonché una parziale perdita di forma con abbassamento della parte centrale ed un parziale sollevamento delle reni.

Nella fase di somma urgenza si è ritenuto di procedere



Vista del transetto e del tiburio dall'interno della chiesa.

al puntellamento dei quattro archi mediante un ponteggio in tubo giunto. La struttura è stata concepita in modo da poter reggere un carico verticale pari al peso del tiburio soprastante.

Per quel che riguarda i fuori piombo delle pareti, nella zona occidentale si riscontrano valori relativamente modesti; risultano, viceversa, elevati i fuori piombo delle lesene in prossimità dei transetti, che risentono della divaricazione dei pilastri al di sotto del tiburio. Analogamente, anche le absidi presentano sbandamenti verso l'esterno elevati.

Dualmente, i pilastri, che presentano sezioni cruciformi pressoché uguali in tutta la chiesa, hanno dei fuori piombo ridotti nelle prime campate (zona ovest), mentre diventano elevati all'avvicinarsi alla zona del tiburio, ove il sistema di archi all'incrocio è, oggi, del tutto privo di catene. Qui i disassamenti tra la base e la testa del capitello variano da un minimo di 6.0 cm ed un massimo di 23.2 cm.

Sulla base delle indagini endoscopiche si è potuto dedurre che la muratura si presenta continua e generalmente compatta, con la presenza di limitati vuoti di estensione centimetrica. La tessitura all'interno dello spessore della muratura è più disordinata rispetto a quella superficiale, con pezzi irregolari di mattoni annegati nella malta. Non sono, comunque, presenti murature a sacco.

Sono state effettuate alcune verifiche numeriche di massima. L'entità dei pesi in gioco non è facilmente stimabile, poiché le geometrie intradossali ed estradossali del sistema voltato possono essere definite con buona precisione, mentre risulta indefinita quale percentuale di volume sia occupata da muratura piena e quale da rinfranchi caotici debolmente cementati. A titolo indicativo, considerando la sezione del pilastro integra, per puro sforzo normale si avrebbero tensioni in sommità di 5.5 kg/cm^2 ed alla base di 7.8 kg/cm^2 .

È stata anche condotta una verifica del sistema strutturale, supponendo l'impalcato infinitamente flessibile nel proprio piano, per un'azione orizzontale convenzionale simulante il sisma, come previsto per zone di 3° categoria. Per effetto della sola componente flettente, l'incremento tensionale al lembo della sezione dei pilastri è di 8.4 kg/cm^2 .

4.3. Il comportamento d'insieme della struttura soggetta a forze orizzontali.

Dal punto di vista del comportamento d'insieme della struttura soggetta a forze orizzontali ci si è soffermati prevalentemente sull'analisi della trasmissione al sistema fondale di azioni che cimentino la struttura secondo l'asse longitudinale. Il motivo di questo approfondimento è legato al fatto che il comportamento strutturale appare, in questa direzione, più problematico, stante la diversa rigidità tra le pareti esterne ed i telai interni su pilastri. Il comportamento trasversale della struttura, infatti, chiama in causa una serie di elementi strutturali relativamente simili come rigidità, come resistenza e come masse inerziali. Inoltre si è tenuto conto del fatto che la storia dei sismi che hanno colpito il tempio monumentale di S. Nicolò registra esclusivamente danni connessi ad un sistema di sollecitazioni a prevalente componente longitudinale (est-ovest).

Per quel che riguarda le azioni oscillatorie longitudinali vengono a collaborare all'irrigidimento della struttura quattro sistemi di controventamento piano, costituiti da:

- le due pareti esterne, di elevata rigidità nel proprio piano, con il solo indebolimento indotto dalla discontinuità dei transetti;
- i due telai interni che riportano a terra le azioni orizzontali attraverso i pilastri cruciformi, identificando un sistema controventante di minor rigidità.

Nell'ipotesi in cui il sistema di volte possa essere considerato infinitamente rigido nel piano orizzontale, le azioni inerziali tenderebbero a migrare verso le pareti esterne, richiamate dalla loro maggior rigidità. In questo caso si ridurrebbero notevolmente le tensioni flessionali indotte sui pilastri dall'azione sismica, a scapito di un cimento significativo del sistema voltato, che verrebbe chiamato a trasmettere le azioni orizzontali non equilibrate alle pareti esterne. Come già accennato, è proprio questo il meccanismo che ha indotto sulle volte a botte il quadro fessurativo ora riscontrabile, composto da lesioni a 45° incrociate tra di loro.

L'analisi dei telai longitudinali impostati su pilastri è stata condotta anche secondo un modello dinamico. Nella modellazione non sono state introdotte le catene. Esaminando le uscite grafiche, si vede bene come il secondo modo di vibrare corrisponda ad una oscillazione del tiburio in controfase rispetto al resto della costruzione.

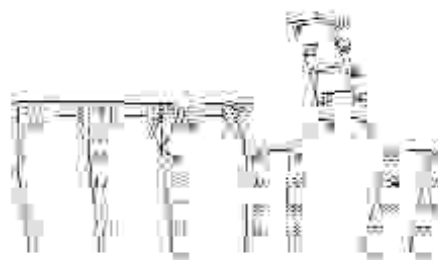
Il terzo modo di vibrare, invece, corrisponde ad una oscillazione in controfase della parte alta della chiesa rispetto a quella più bassa. In termini di movimenti si hanno i massimi spostamenti relativi all'imposta dell'arco al di sotto del tiburio, che viene a muoversi secondo la composizione di un moto oscillatorio orizzontale e di uno verticale. In termini di sollecitazione, si vengono ad individuare delle concentrazioni significative nel tratto di raccordo tra la parte alta e quella bassa della chiesa.

È interessante notare come i telai centrali presentino delle zone di minor resistenza in cui la sezione della muratura si riduce fortemente rispetto alla sezione corrente. Una di queste si viene a porre proprio dove la

componente oscillatoria legata al terzo modo di vibrare induce le concentrazioni di sollecitazione ora ricordate. Le altre due si vengono a collocare, invece, al di sotto del tiburio.



Modello piano dinamico: primo modo di vibrare, 0.408 cps.



Modello piano dinamico: terzo modo di vibrare, 1.111 cps.



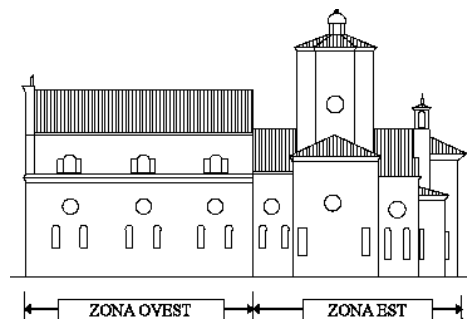
Modello piano dinamico: secondo modo di vibrare, 0.702 cps.

5. Il progetto di miglioramento sismico.

Il presente progetto prende l'avvio dopo che sono stati eliminati i pericoli insiti nella precaria situazione statica del tiburio e degli archi sottostanti. L'esecuzione di un pesante ponteggio ha, infatti, consentito di riportare l'intero carico di tale struttura direttamente a terra.

I principali obiettivi generali posti alla base di questo intervento progettuale sono:

- ripristinare integralmente l'affidabilità dell'edificio rispetto ai carichi verticali,
- operare, in relazione ai carichi orizzontali ed in particolare rispetto al cimento sismico, in un'ottica di miglioramento,
- consentire, durante tutti i lavori, l'accesso alle stanze adiacenti al tempio monumentale ai frati ed ai fedeli, mantenendo disgiunti tali percorsi d'accesso da quelli utilizzati per il cantiere,
- consentire una riapertura parziale della chiesa, limitata alla parte occidentale ed ai giorni in cui il cantiere è inattivo, anche prima del completamento di tutti i lavori.



La divisione geometrica in corpi del tempio monumentale di S. Nicolò.

Per dare una risposta dal punto di vista tecnico a tali obiettivi si è ritenuto di dividere in due fasi sia la progettazione che l'appalto dei lavori.

In una prima fase si collocheranno le lavorazioni già identificabili e programmabili. Tali lavorazioni, dal punto di vista strutturale, sono finalizzate a:

- consolidare gli affreschi e gli intonaci delle volte al fine evitare distacchi e cadute, anche durante la fase di puntellamento delle volte,
- verificare e ripristinare l'efficienza del manto di copertura nella parte ovest,
- consolidare le volte della parte occidentale della chiesa,
- realizzare un efficace sistema di incatenamento d'insieme dell'edificio,
- consolidare le strutture verticali (muri e pilastri) riempiendone le cavità,
- acquisire i dati necessari per effettuare gli interventi di fase 2,
- realizzare un sistema di cordoli che renda rigido nel proprio piano l'impalcato voltato (parte ovest).

Al termine della prima fase di lavoro si ritiene di poter proporre la riapertura della chiesa, limitatamente alla parte ovest ed alle ore in cui il cantiere non è attivo. Tale possibilità verrà verificata sulla base degli ulteriori dati diagnostici acquisiti nella fase 1.

In una seconda fase si collocheranno le lavorazioni più difficilmente identificabili e programmabili allo stato attuale delle conoscenze. Tali lavorazioni, dal punto di vista strutturale, sono finalizzate a:

- consolidare le volte della parte orientale della chiesa,
- completare il sistema di incatenamento dell'edificio con il cerchiaggio delle absidi e del tiburio,
- completare il sistema di cordoli che renda rigido nel proprio piano l'impalcato voltato.

Più in dettaglio, le operazioni e la divisione in fasi può essere riassunta secondo le tabelle seguenti.

5.1. Consolidamento delle volte a botte.

Gli obiettivi di questa serie di operazioni sono due:

- nell'immediato di fornire un piano affidabile di lavoro per lo sviluppo del cantiere;
- in prospettiva di ripristinare integralmente l'affidabilità delle volte rispetto ai carichi verticali (peso proprio e rinfianchi).

5.1.1. Considerazioni generali.

Le considerazioni che seguono si riferiscono alla valutazione del livello d'intervento sulle volte a botte lesionate delle navate laterali. Tali valutazioni sono direttamente estendibili anche alle quattro volte a botte delle zone attorno al tiburio.

Tutte le considerazioni partono dall'ipotesi che sia stata ripristinata la continuità strutturale mediante il riempimento delle lesioni esistenti.

Nella prima parte, inoltre, si supporrà per semplicità che la storia di carico e fessurazione non modifichi lo stato di sollecitazione della struttura. Si valuteranno, quindi, le volte nella geometria attuale, una volta eliminato il quadro fessurativo, come se fossero soggette per la prima volta al caricamento.

La verifica statica dei sistemi voltati può venire condotta, in via approssimata, nell'ipotesi di materiale isotropo e a comportamento elastico lineare. La risoluzione della struttura soggetta al peso proprio ed ai carichi esterni viene a definire un campo di azioni interne, in generale scomponibile in un campo di sollecitazioni membranali ed in un campo di sollecitazioni flessionali. L'accettabilità dello stato di sollecitazione in un punto viene determinato verificando:

- a) che l'azione membranale sia di compressione e che l'eccentricità della risultante non porti alla parzializzazione della sezione ($e < h/6$),
- b) che la tensione massima sia inferiore al valore assunto come ammissibile,
- c) che il rapporto tra l'azione tagliante e la componente di compressione sia sufficientemente ridotta.

Per volte quali quelle in esame, a cui non siano applicati carichi concentrati significativi, la condizione di verifica più gravosa è, usualmente, la a). Tra parentesi, si rileva che questa metodologia di verifica risulta una semplice estensione del classico metodo di Méry per la verifica degli archi in muratura.

Usualmente, la complessità delle geometrie e, ancor più, delle condizioni al contorno, sia in termini di vincoli che di carichi, impedisce di operare con soluzioni in forma chiusa o di tipo algebrico, consigliando l'utilizzo di solutori numerici. Nel caso in questione, la perdita di forma della volta a botte ha creato una nuova geometria a doppia curvatura inversa. Come noto, la soluzione elastica di tale tipologia di volte chiarisce come le condizioni d'equilibrio del concio elementare richiedano che le azioni membranali, nelle due direzioni di massima curvatura, abbiano segno opposto. Questa semplice considerazione evidenzia come, sulla base di questa metodologia di verifica, nelle volte in considerazione non risultino rispettate le condizioni di accettabilità.

E' chiaro che è possibile trascurare le azioni nella direzione dell'asse della volta, considerandola, in questo modo, come una serie di archi affiancati operanti in parallelo. In questo caso, l'elevato spessore degli archi e l'uniformità dei carichi può rendere soddisfatta una verifica eseguita alla Méry. La situazione semplificata così analizzata corrisponde, rispetto allo stato reale, ad una configurazione equilibrata, ma non congruente. Elementari considerazioni di calcolo a rottura porterebbero, con ogni probabilità, a giustificare un adeguato coefficiente di sicurezza rispetto al collasso, ma le considerazioni sullo stato tensionale di trazione ne inficierebbero, comunque, l'accettabilità in relazione alle più vincolanti esigenze di conservazione dell'apparato decorativo esistente all'intradosso.

La valutazione dello stato di sollecitazione delle volte condotto secondo queste metodologie, comunque, non è del tutto convincente. In effetti la quasi totalità dei carichi d'esercizio è già applicata alla volta, per cui non è nemmeno ipotizzabile che il manifestarsi di effetti di deformazione viscosa possa contribuire a ridurre l'influenza della storia di caricamento.

Se, infatti, la formazione del sistema di fessurazioni a 45° ha contribuito alla depressione della parte centrale

della chiave di volta, ha anche facilitato l'annullamento delle tensioni di trazione connesse a tale variazione di geometria. Inevitabilmente, alla richiusura delle lesioni si viene ad ingenerare un doppio sistema resistente:

- a) un sistema resistente, analogo a quello attuale, costituito da serie di archi ellittici incrociati, inclinati di 45° rispetto all'asse della volta;
- b) un nuovo sistema resistente costituito da una serie di archi a tutto sesto paralleli tra loro.

Il secondo meccanismo resistente è più rigido del primo, per cui si può ritenere che, alla rimozione della centinatura, l'azione corrispondente venga assorbita prevalentemente da questo nuovo sistema di archi. Si noti che non è possibile effettuare una vera forzatura della centinatura, per evitare distacchi e danneggiamenti delle porzioni affrescate. Il contributo che, in questo modo, verrebbe ad essere tolto dal sistema resistente a) per essere trasferito al sistema resistente b) verrebbe, quindi, a costituire una modesta percentuale dei pesi permanenti. Nello stesso modo, comunque, il sistema resistente b) viene a collaborare efficacemente per il sostentamento dei carichi accidentali che potranno interessare l'estradosso della volta.

Sulla base di questi ragionamenti si può ritenere che il campo delle azioni interne possa essere considerato stabilizzato in un campo di azioni prevalentemente membranali che assume valori massimi, in valore assoluto, dove i sistemi di archi sono più sollecitati mentre assume valori al più nulli nelle altre sezioni o rispetto ad altre direzioni di verifica. Risulterebbe così rispettata la condizione di assenza di azioni membranali di trazione. E' chiaro che l'applicazione di nuovi carichi verrebbe ad operare su una geometria a doppia curvatura inversa, e, come già visto, indurrebbe azioni membranali di trazione sulle volte.

D'altra parte si rileva come lo sforzo assiale sia modesto, in relazione alla limitatezza dei carichi gravitazionali applicati. Sono, quindi, sufficienti modeste azioni flessionali indotte dai carichi concentrati o da cedimenti vincolari per annullare lo stato di compressione preesistente ed ingenerare quadri fessurativi significativi all'intradosso decorato.

In relazione a queste considerazioni, le linee generali d'intervento si prefiggono di risarcire completamente le lesioni esistenti, ripristinando, dall'estradosso, la malta decoesa o mancante tra i mattoni. L'inserimento di una rete in polipropilene all'estradosso consentirà di fare assegnamento su una riserva di tenacità della muratura rinforzata. Parallelamente a quest'intervento si prevede la realizzazione, sempre all'estradosso, ma indipendentemente dalle volte, di un sistema di cordolature a tralicciatura metallica che vincoli le pareti longitudinali della chiesa e che consenta di realizzare una passerella di passaggio che defunzionalizzi completamente le volte, se non per il peso proprio. Analogamente si prevede la realizzazione all'intradosso di un sistema di incatenamento d'assieme della chiesa.

5.1.2. L'intervento.

Preliminarmente a quest'intervento si dovranno effet-

tuare i consolidamenti degli affreschi e degli intonaci, nonché la saturazione delle lesioni dal basso. I ponteggi utilizzati dai restauratori rimarranno a costituire un sottoponte di sicurezza durante tutte le lavorazioni qui descritte e costituiranno la base per il puntellamento delle volte.

Le lavorazioni di dettaglio relative a questo intervento sono le seguenti.

- pulizia dell'estradosso della volta con aspirapolvere, in modo da eliminare quanto possa costituire un strato di distacco rispetto alla tessitura dei mattoni, nonché la sporcizia presente nelle fessurazioni,
- sboiacatura con boiaccia da restauro che non richieda la bagnatura del supporto in modo da interessare i giunti tra i mattoni e le fessurazioni, in modo da costituire un aggrappante per la fase successiva e da garantire la tenuta rispetto alle percolazioni di boiaccia all'intradosso,
- rasatura con malta da restauro ($s = 15-20$ mm), in modo da riempire le lesioni e le fessurazioni non saturate dal di sotto; si prevede l'inserimento di una georete in polipropilene tipo Cintoflex D o Cintoflex M della Tenax.
- Consolidare i risalti laterali delle volte, realizzati con mattoni posti di taglio come gradini al fine di favorire gli spostamenti in cantiere degli operai, mediante una coppia di angolari connessi con barre filettate e dadi.

5.2. Realizzazione di un sistema di incatenamento d'assieme.

Gli obiettivi di questa serie di operazioni sono due:

- nell'immediato di fornire un collegamento alla struttura che eviti, durante i lavori, che si possa verificare il collasso locale di uno degli archi o delle volte
- in prospettiva di eliminare le spinte degli archi e delle volte, di impedire ulteriori sbandamenti dei pilastri e delle pareti esterne, di realizzare i presupposti per far collaborare l'intero complesso strutturale al cemento sismico.

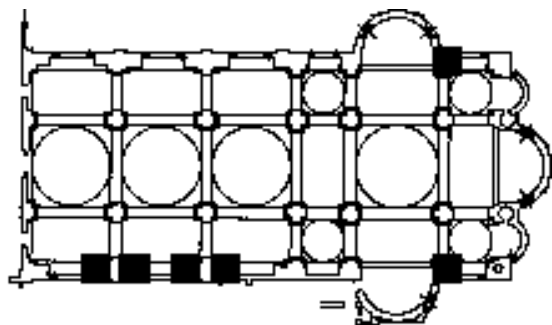
5.2.1. Descrizione delle modalità d'intervento.

Il sistema di incatenamento d'assieme si sviluppa, grosso modo, su un unico piano orizzontale, corrispondente al livello dei capitelli dei pilastri centrali. Alcune limitate porzioni dell'edificio, nella zona absidale, non risultano efficacemente collegate. Sarà compito della seconda fase realizzare questi interventi.

Per la realizzazione delle catene si prevede di utilizzare il sistema di barre in acciaio Macalloy 460, del quale si utilizzeranno barre $M42 \times 4.5$ $n_{om}=39$ mm filettate alle estremità e protette con rivestimento epossidico, dadi e manicotti di ripresa (*couplers*). Il montaggio in avanzamento consentirà di realizzare dei ritegni efficaci pilastro per pilastro.

La catena più occidentale si sviluppa esternamente rispetto alla facciata, in corrispondenza della cornice su cui si innesta il portico sottostante. Dovrà essere protetta mediante pitturazione a base epossidica e ricoprimento con guaina coibentante per tubi.

Le altre catene verranno inserite all'interno della mura-



I quadrati neri identificano le zone in cui si deve intervenire con un riempimento in muratura.

Solo dove non risultasse possibile un intervento del tipo sopra descritto si potrà procedere all'iniezione con malte speciali. Per evitare il rischio che la pressione idrostatica del liquido iniettato danneggi le strutture o causi distacchi di intonaco, si dovrà aver cura di placare tutta la superficie decorata con tavole lignee ben sbadacchiate con puntelli, traversi e legature. Il contatto tra le tavole e gli intonaci avverrà attraverso uno strato continuo di poliuretano, che opererà come uno strato di ripartizione. Le iniezioni avverranno per fasi, con un attento controllo delle quantità assorbite, al fine di evitare che si manifestino eccessive pressioni idrostatiche.

Prima di procedere all'iniezione, dovranno essere eseguite delle prove soniche di misura della velocità di propagazione di un'onda elastica. Le iniezioni verranno eseguite da fori disposti secondo una maglia $80 \times 80 \text{ cm}^2$, poi completate con una seconda serie di iniezioni, seguite dal centro di ciascuno dei riquadri precedenti. Dopo 30 giorni dovranno essere eseguite nuove prove soniche di misura della velocità di propagazione per valutare l'efficacia dell'iniezione ed, eventualmente, considerare la necessità di ripetere l'operazione.

5.4. Realizzazione di un sistema di tralicciatura metallica.

Gli obiettivi di questa serie di operazioni sono due:

- trasmettere le azioni inerziali indotte dal cimento sismico dalle pareti longitudinali intermedie più deformabili a quelle esterne più rigide senza impegnare in modo improprio le volte a botte,
- realizzare una connessione più efficace tra la porzione occidentale e quella orientale, coinvolgendo più ampiamente l'edificio nella sua larghezza.

5.4.1. Considerazioni generali.

Le verifiche numeriche previste dalla normativa italiana vigente, come d'altra parte anche dalle altre normative sismiche attualmente utilizzate a livello mondiale, si basano sulla immediata generalizzazione delle azioni indotte da una sollecitazione di tipo sinusoidale su un oscillatore semplice, elastico, ad un solo grado di libertà. La metodologia di passaggio dal campo di sollecitazioni sismiche alla risposta della struttura s'incanta sul concetto di spettro di risposta. Il fatto che si possa verificare che tale spettro di risposta non si

modifichi sostanzialmente al passare ad una modellazione elasto-plastica dell'oscillatore semplice non contribuisce più di tanto ad affinare la modellazione matematica di una struttura intrinsecamente complessa come un edificio.

Simulazioni più affinate eseguibili con programmi non lineari con decadimento dei materiali possono consentire di tenere in conto il comportamento reale di una struttura piana. Integrazioni numeriche *step-by-step* consentono di seguire il decadimento progressivo (in termini sia di rigidità che di resistenza) della struttura; di aggiornare, al variare della rigidità, il periodo proprio e quindi la risposta; di valutare la dissipazione di energia legata ai cicli isteretici che si innescano in corrispondenza delle zone di plasticizzazione. Le difficoltà di modellazione degli elementi strutturali e l'aleatorietà insita nella distribuzione dei carichi non consentono, comunque, di raggiungere un reale affinamento nell'analisi del comportamento della struttura con calcoli dinamici di complessità abbordabile, evidenziando come il problema della sicurezza sia essenzialmente di natura statistica.

Nel campo del restauro e consolidamento monumentale, però, è utile soffermarsi sul fatto che la duttilità e la capacità di dissipare energia delle sezioni plasticizzate devono giocare un ruolo fondamentale nella capacità di resistere a sismi di intensità maggiore di quella di progetto. In termini operativi, la normativa prevede che la struttura sia in grado di reagire in campo elastico, e quindi senza significativi danneggiamenti, al sisma di progetto. Per sismi di maggiore intensità si ammette la formazione di fessurazioni e crisi locali, che contribuiranno a dissipare l'energia trasmessa dal sisma all'edificio, sia pure a scapito di danneggiamenti alle strutture ed agli elementi non strutturali, ma senza portare al collasso la struttura nel suo insieme. Vengono, così, coltivate le vite umane anche per sismi di intensità maggiore di quello di calcolo.

Davanti all'applicazione di questi principi, possono essere fatte valere due linee di condotta divergenti:

1. poiché gli edifici monumentali richiedono anche la salvaguardia e la conservazione del bene architettonico, non è ammissibile prevedere a priori che si possano verificare danneggiamenti anche per sismi di media intensità: si dovrà operare, quindi, con criteri di consolidamento sismico più pesanti rispetto ad un edificio comune;
2. poiché gli interventi di consolidamento sismico tendono ad essere fortemente invasivi e a modificare, almeno parzialmente, gli schemi strutturali originali dell'edificio monumentale, per la conservazione del bene architettonico si dovrà operare con criteri di consolidamento sismico più leggeri rispetto ad un edificio comune.

Vari documenti nati da studi e discussioni multidisciplinari contribuiscono a creare un equilibrio tra queste due opposte visioni del problema.

A questo punto sembra opportuno ricordare un aspetto non marginale: l'influenza della storia del comportamento dell'edificio ai sismi che lo hanno colpito.

L'affidabilità di una costruzione, o se si preferisce, la

sua probabilità di collasso, può essere valutata, dal punto di vista concettuale, dal confronto tra la distribuzione probabilistica delle resistenze e la distribuzione probabilistica delle sollecitazioni.

Ora, in termini qualitativi, si deve ricordare che il fatto che l'edificio abbia subito gravi danneggiamenti e crolli parziali a seguito degli eventi sismici degli ultimi cinque secoli rappresenta un dato sperimentale di grande importanza, che consente il passaggio da una stima probabilistica della resistenza *a priori* ad una stima *a posteriori*. Come noto, le valutazioni di calo condotte per via intuitiva tendono a sottostimare di gran lunga i contributi forniti dalla sperimentazione diretta, rispetto a quanto sarebbe deducibile dall'applicazione di metodologie classiche del calcolo delle probabilità, quali il teorema di Bayes.

Si ritiene, quindi, che non si possa ammettere che si verificano danneggiamenti diffusi e pesanti anche per sismi di media intensità, per cui si stima che si debba operare con criteri di miglioramento sismico non meno rigorosi, almeno dal punto di vista qualitativo, rispetto a quanto verrebbe proposto per un edificio comune. Si dovrà, poi, aver cura che gli interventi proposti risultino poco invasivi e, per quanto possibile, reversibili.

5.4.2. L'intervento.

Sulle base delle considerazioni suddette si ritiene indispensabile la realizzazione di un sistema di cordoli metallici controventanti nella zona ovest, al fine di ricondurre l'azione sismica di pertinenza dai telai centrali alle pareti laterali, senza per questo indurre sollecitazioni anomale sulle volte a botte delle navate laterali. Questo sistema può essere utilmente collocato in corrispondenza dell'estradosso delle volte, al di sotto della copertura lignea che dovrà essere parzialmente rimossa per consentire le operazioni di calo del materiale più ingombrante. Per il dettaglio dell'intervento si rimanda ai disegni di progetto.

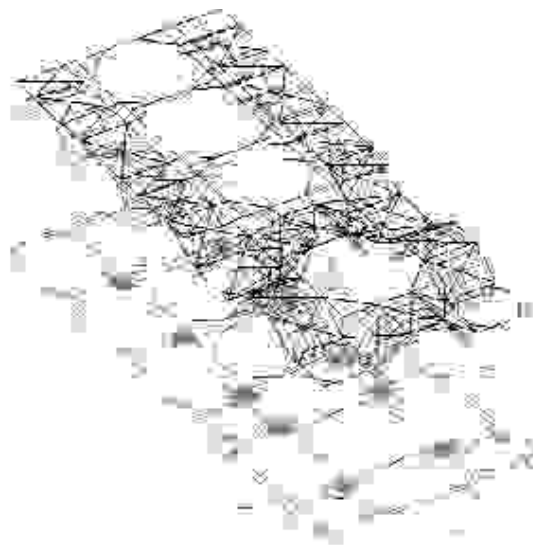
6. Alcune riflessioni sulla seconda fase dei lavori.

A completamento delle considerazioni sopra esposte, si propone, sia pure in modo problematico, un percorso d'intervento che operi come linea guida per la seconda fase dei lavori. Le lavorazioni previste, ed i relativi obiettivi, sono i seguenti.

1. Consolidamento delle volte a botte disposte ai quattro lati del tiburio.
2. Realizzazione di un sistema di travi metalliche controventate nella zona est, al fine di reggere il coperto senza applicare carichi impropri alle volte sottostanti, di collegare meglio il sistema di archi e volte, di realizzare un collegamento ulteriore tra la zona orientale e quella occidentale, di riportare in modo diretto il peso del tiburio ai quattro pilastri sottostanti.
3. Completamento dell'incatenamento generale, collegando i sistemi di cerchiatura dei due bracci del tiburio e realizzando il cerchiaggio dell'absidiola destra e dell'abside centrale.
4. Incatenamento verticale del tiburio e sua cerchiatura all'imposta della volta.

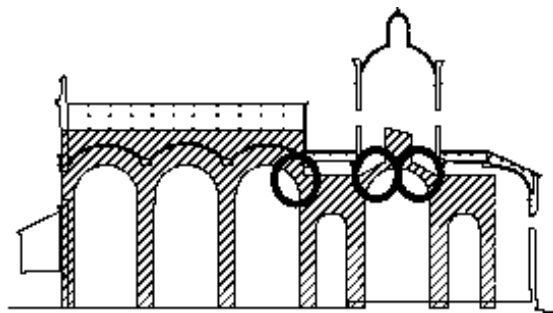
5. Completamento della nuova copertura lignea.

Una particolare riflessione richiede quanto proposto al punto 2. L'obiettivo di realizzare un sistema di travi al fine di reggere il coperto senza applicare carichi impropri alle volte sottostanti, infatti è perseguibile anche con una struttura lignea, eventualmente ottenuta sollevando di qualche centimetro le travature esistenti e recuperando tale sollevamento attraverso lo studio di diversi particolari costruttivi sull'orditura minuta. In realtà l'utilizzo di elementi metallici viene suggerita dagli altri obiettivi proposti



Ricostruzione assonometrica della geometria del sistema di incatenamento da realizzarsi al di sopra delle volte ed al di sotto delle falde della copertura.

La realizzazione con elementi metallici, accostati alla muratura ed a questa connessi per punti, consente la totale reversibilità dell'intervento.



Schema geometrico della massa muraria che costituisce uno dei telai longitudinali intermedi di controventamento.

Sono evidenziate le porzioni in cui la muratura viene ad avere, per motivi geometrici, dei punti di minor resistenza.

Prima di tutto, allo stato attuale si ritiene problematico pensare alla possibilità di effettuare un corretto consolidamento degli archi, non essendo essi raggiungibili dal di sotto, perché decorati, dal fianco, perché connessi alle volte, e dal di sopra, perché connessi alle pareti del tiburio. In assenza di un'analisi visiva dello stato della struttura dal di sopra, si ritiene di ipotizzare la loro parziale defunzionalizzazione. La nuova struttura verrebbe a riportare direttamente il peso del tiburio ai pilastri. La sua morfologia riprenderebbe la geometria dell'arco all'intradosso e quella della copertura all'estradosso. La diagonalizzazione del sistema garantirebbe una sufficiente rigidità al complesso strutturale. L'impiego dell'acciaio appare giustificato dall'esigenza di elevate resistenze e rigidità, dalla necessità di realizzare con facilità giunzioni di una certa complessità e dall'obiettivo di mantenere contenuti i pesi delle strutture aggiuntive.

Un secondo aspetto è connesso all'esigenza di collegare i due sistemi di irrigidimento delle zone orientale ed occidentale della chiesa. Come si vede bene nella rappresentazione assonometrica, la porzione di collega-

mento tra le due parti non riesce a svilupparsi sullo stesso piano, per cui sembra innescare una concentrazione di sollecitazioni, più che risolvere un problema di collegamento. Se ci si sofferma, però, sulla sezione longitudinale dell'edificio, si vede come già ora tale connessione risulti estremamente ridotta. Facendo lavorare in parallelo i due meccanismi di trasmissione degli sforzi si ottiene, quindi, un contributo positivo al comportamento d'insieme della struttura. Tale contributo appare giustificato, tra l'altro, dall'analisi del terzo modo di vibrare dell'edificio. L'inserimento degli incatenamenti longitudinali, da solo, tende ad ostacolare il meccanismo di apertura dell'arco al di sotto del tiburio, e quindi sembra togliere peso alla componente deformativa rappresentata dalla combinazione lineare del terzo modo di vibrare. Se si ricorda, però, che il vincolamento fornito dalla catena è da considerarsi unilaterale, e che già questa componente di movimento ha, probabilmente, innescato la rottura della catena del transetto sinistro, pare si possa concludere, allo stato delle cose, come l'obiettivo di migliorare il legame tra le parti debba essere positivamente perseguito.



Danneggiamento di un pennacchio e degli archi a raccordo tra tiburio e transetto.

10.3. INTERVENTI DI RIPARAZIONE, MANUTENZIONE, CONSOLIDAMENTO STATICO E MIGLIORAMENTO DEL PALAZZO CUMANO A FELTRE, ORA SEDE DELLA GALLERIA D'ARTE MODERNA "C. RIZZARDA" (*)

10.3.1. Descrizione dei caratteri architettonici e delle principali fasi costruttive (da fonti storiche e osservazioni dirette)

Il Palazzo Cumano, casa nobiliare di grande dimensione, è costruito su una quinta stradale urbana in modo fortemente unitario e scarsamente condizionato da preesistenze.

Si tratta di una costruzione eseguita disponendo di grandi mezzi, che utilizza materiali di qualità superiore rispetto allo standard degli edifici coevi dell'area, e sezioni maggiori nei solai e nelle murature.

L'epoca di costruzione del palazzo, in mancanza di una specifica ricerca archivistica, è collocabile alla fine del XVI secolo, sulla base di valutazioni stilistico-costruttive e di riscontri nelle iconografie storiche.



I solai, con assetto monoordito, sono privi di decorazione e presentano travi di larice a spigolo vivo a breve interasse, con il tavolato posto in parallelo a coprire lo spazio vuoto, secondo una tradizione veneta prevalentemente tardocinquecentesca o seicentesca, che ha ormai abbandonato i soffitti dipinti alla sansovina. L'edificio sembra comunque aver avuto una fase di completamento (o di riassetto) decorativo verso la metà del XVIII secolo, con realizzazione di stucchi nella sala al secondo piano. Una ulteriore fase neoclassica, ai primi anni dell'Ottocento, ha portato alla realizzazione dell'interessante ed eccezionalmente integro studiolo del Canonico Bartolomeo Villabruna, con pareti e soffitto interamente decorati e pavimento alla veneziana. Interessanti pavimenti alla veneziana dello stesso periodo sono conservati nel salone del primo piano, con insegne del Comune e stemmi che si richiamano alla Repubblica Cispalina, e nell'ambiente a sud-est del primo piano.

I lavori compiuti da Alberto Alpago Novello tra il 1930 e il 1937, a seguito dell'acquisto e del lascito da parte di Carlo Rizzarda, lavori dei quali non è stata ancora ritrovata la documentazione originale, hanno solo parzialmente modificato l'edificio. La modifica più significativa appare quella legata alla costruzione del nuovo scalone di accesso dal piano terra ai mezzanini e alla scala posteriore, con gli spazi laterali chiusi da balaustre in pietra. Sono state inoltre compiute significative opere di intercettazione delle acque a monte e di consolidamento delle fondazioni del corpo scale, con uso di strutture in c.a.

Interventi recenti sono stati eseguiti dal Comune di Feltre (1982-83) con il completo rifacimento del tetto in legno, senza realizzazione di cordoli sommitali.

L'assetto tipologico dell'edificio, a palazzo tripartito con ampio salone centrale passante e coppie di ambienti laterali affacciati sul salone, è tipico dell'edilizia civile veneziana e veneta dagli inizi del XVI secolo a tutto il XVIII secolo; lo schema è adottato nell'area feltrina sia per palazzi urbani che per ville isolate. Il salone è aperto verso sud, su via Paradiso, attraverso l'ampia polifora, mentre a nord vi è l'ingresso dal corpo scale posto all'esterno del volume dell'edificio, con soluzione atipica, probabilmente suggerita dall'assetto a pendio del sito e dalla necessità di raccordarsi con il giardino posto a nord, a quota superiore. La scala, a rampe affiancate, separate da muro e voltate, presenta cornici e semicapitelli di ordine tuscanico in pietra; pur non ammorsata all'edificio principale, fatto che ha dato luogo nel tempo a cedimenti, appare tuttavia coeva o di poco successiva ad esso. Va detto inoltre che non si è riscontrata sui solai a vista o in altra posizione traccia di una scala precedente con diverso assetto.

Il fronte principale è simmetrico, con asse centrale formato dal portone e dalle due polifore sovrapposte, mentre le due parti laterali con coppie di finestre trovano un asse mediano nelle due alte torri da camino e nel campo murario pieno sottostante.

Sul fianco verso ovest, affacciato sulla corticella, il timpano murario in corrispondenza del sottotetto doveva essere organizzato a colombara, con fori di diversa dimensione ora occlusi e, forse, con una cornice in cotto poi eliminata.

10.3.2. Caratteri costruttivi e assetto strutturale dell'edificio

Il Palazzo Cumano presenta una pianta regolare di forma tendente al quadrato, con quattro muri di spina con andamento nord-sud; il muro a est è in parte comune con la casa di proprietà Carenzoni, mentre il muro a ovest costituisce il fronte sulla corte. Le facciate a nord e a sud sono tra loro parallele e presentano la maggiore concentrazione di fori.

I setti murari presentano spessori regolari, decrescenti da 90 cm. al piano terra a 55 cm. nel sottotetto, con riseghe ai piani. Le murature sono prevalentemente realizzate in pietrame ben tessuto legato con malta di buona consistenza, e in mattoni in corrispondenza delle canne fumarie. Le angolate sono in pietra squa-

drata, le finestre presentano davanzali, spalle e architravi in pietra sul fronte principale. Sul fronte sud è presente un ampio cornicione in pietra, su mensole che reggono voltini in mattoni e una cornice esterna ad elementi in pietra calcarea bianca.

Negli ambienti laterali al piano terra sono presenti due volte a botte ribassate in muratura di mattoni, con unghiere, volte che appaiono di buona costruzione e consistenza e presentano un ispessimento murario per contrastarne la spinta e migliorarne l'appoggio.

Tutti gli altri orizzontamenti sono costituiti da solai in legno monoorditi, che poggiano sui muri di spina e perciò con andamento parallelo alle facciate, con luci massime di 6 m.; sono fittamente tessuti con travi di larice squadrati di notevole sezione, pressochè privi di inflessioni e complessivamente in ottimo stato di conservazione, se si escludono alcuni locali immarcimenti delle teste in corrispondenza di murature d'appoggio umide. Al primo piano una parte dei solai non è osservabile in quanto controsoffittata.

Il tavolato a vista è parallelo alla travatura, e da alcuni sondaggi nel sottotetto si è constatata la presenza di un secondo tavolato di buona consistenza, chiodato ortogonalmente al tavolato sottostante, che costituisce l'appoggio dei pavimenti alla veneziana con relativo massetto.

Sono presenti alcuni tiranti al livello del solaio tra piano secondo e piano sottotetto, parte dei quali collocati in fase costruttiva iniziale, in quanto risultano collocati a mezzo muro e perciò probabilmente connessi a travi lignee ("reme") inglobate nella muratura.

Sul tetto dell'edificio sono presenti 5 torri da camino di notevole altezza e consistenza, interamente in mattoni, in parte degradate, e altri comignoli di minore altezza.

10.3.3. Fattori di degrado in atto ed interventi conservativi previsti

Il Palazzo Cumano ha subito negli ultimi anni un lungo abbandono, interrotto dal significativo intervento di rifacimento della copertura nei primi anni '80.

Pur trattandosi, come già detto, di un edificio di non comune qualità costruttiva, presenta alcuni fattori di degrado che devono essere opportunamente contrastati. - Problemi di umidità

La collocazione su pendio fa sì che il lato a nord dell'edificio si trovi in parte contro terra, e sia esposta alle acque meteoriche non del tutto regimate e provenienti dal terreno. Negli anni '30 l'architetto Alpago Novello ha fatto eseguire consistenti lavori di isolamento e regimazione delle acque, lavori che richiedono attualmente una sistematica manutenzione ed alcuni completamenti. Vanno perciò verificati tutti gli scoli d'acqua meteorica a nord, va abbassato il livello e impermeabilizzato il cortiletto infossato a nord-est, e formati drenaggi ulteriori. Va anche protetto attraverso una conca in rame il punto di contatto tra l'edificio e il muro di cinta a nord-est, che attualmente provoca umidità da dilavamento nella sala della boiserie ed ha causato l'immarcimento di alcune teste di travi.

Il lato verso est, per la parte che emerge dalla casa affiancata, è in muratura a vista con giunti molto

profondi, fatto che, anche per l'assenza di converse nel punto di contatto con il tetto della casa contigua, ha facilitato l'ingresso dell'umidità e causato danni alle teste delle travi infisse nel muro. Si prevede perciò di realizzare una fugatura a raso dei giunti e di formare una ampia conca in rame a contatto con il tetto contiguo, a costituire in particolare una protezione contro gli accumuli di neve.

10.3.4. Stato di efficienza delle coperture e dei serramenti ed interventi manutentivi previsti

Il tetto del Palazzo Cumano, interamente sostituito nel 1982-83, richiede ora una sistematica ripassatura del manto, degradato per la frantumazione di numerosi coppi nuovi che non hanno resistito all'azione del gelo. Ciò è funzionale anche ad interventi per consentire un aumento dell'efficienza strutturale della copertura, sia alla realizzazione di strati di isolamento necessari all'utilizzo del sottotetto, non previsti nell'intervento del 1982.

Si prevede pertanto di realizzare un tavolato incrociato posto in diagonale rispetto a quello esistente, di realizzare un isolamento soprastante in pannelli di sughero, di porre un manto di Ondulina ripristinando i coppi, sostituendo quelli degradati con coppi vecchi di recupero o con coppi nuovi testati come resistenti al gelo.

10.3.5. Relazione sulle fondazioni e sui terreni di appoggio

L'edificio è sito sul declivio verso sud del Colle delle Capre, sul quale è costruita la Cittadella di Feltre. Essendo il piano terra ad un'unica quota, si può presumere sia stato eseguito un consistente sbancamento iniziale, con formazione di muri contro terra a nord, nella parte a monte. Le opere di drenaggio e di consolidamento del corpo del vano scala a nord, eseguite negli anni '30 dall'architetto Alberto Alpago Novello, consentono di osservare la presenza di riseghe murarie iniziali che ampliano la base fondale rispetto al già consistente spessore murario (circa 80-90 cm.).

Il terreno di fondazione, osservabile in profondità negli scavi di drenaggio a monte, conferma quanto già constatato in altri edifici posti sulla dorsale della Cittadella; si osserva infatti lo strato di ricoprimento del sottostante bancone di scaglia rossa, bancone che forma il rilievo del Colle delle Capre. Lo strato di ricoprimento è costituito da un misto a granulometria variabile, ben assortita e a grano supportato, pur con componenti limo-argillose, di origine fluvio-glaciale. Ad esso può essere attribuita una resistenza a compressione di 2 Kg./cmq.

Considerata l'ampiezza e la consistenza delle fondazioni ove osservabili che, data la forte unitarietà dell'impianto si possono presumere esistere su tutte le murature dell'edificio; considerata la buona consistenza del terreno di fondazione; considerato che il quadro fessurativo è solo in piccola parte dovuto ad assestamenti fondali, e che questi, ove presenti, si sono sviluppati in antico e non si sono riattivati in modo significativo dopo i consistenti interventi eseguiti negli anni '30, e che quindi pare essersi stabilito uno stato di rela-

tivo equilibrio; considerato che gli interventi previsti per il miglioramento antisismico in elevazione svolgono un ruolo di irrigidimento e di connessione comunque utile sia a impedire sovraccarichi locali alle fondazioni in fase sismica, sia a ridurre gli effetti di eventuali cedimenti di fondazione localizzati; in base a tutte queste considerazioni si ritiene di non dover eseguire interventi in fondazione sul Palazzo Cumano.

I muri controterra attualmente presenti, realizzati o consolidati negli anni '30, appaiono in buone condizioni e non esistono pericoli di franosità del pendio. La completa regimazione delle acque meteoriche prevista dal progetto costituisce un elemento di ulteriore sicurezza.

10.3.6. Dissesti di origine statica attualmente presenti

L'interpretazione delle cause che hanno determinato il quadro fessurativo attualmente osservabile (vedi grafici relativi) porta ad accentuare la componente dinamica, dovuta a terremoti avvenuti in passato, rispetto a quella statica, dovuta a dissesti lenti di fondazione o ad altre cause.

Come verrà più ampiamente sviluppato nel paragrafo relativo ai dissesti di origine sismica, i dissesti interessano prevalentemente le angolate nord-est, nord-ovest e sud-ovest del Palazzo Cumano, le connessioni tra le facciate e i muri di spina, in particolare nella parte che forma l'angolata sud-est al di sopra del contatto con l'edificio contiguo. I dissesti trovano una linea preferenziale nelle discontinuità determinate dalle finestre in asse molto prossime alle angolate, nelle ampie canne fumarie e nelle porte sovrapposte sui muri di spina. Dall'andamento del quadro fessurativo si può constatare come esso, nelle angolate e nei nodi murari, non coinvolga né le fondazioni né le murature al piano terra ed abbia origine ai piani superiori, con rotazioni verso l'esterno le cui cerniere si trovano ad alcuni metri di altezza. Ciò porta ad attribuire ad eventi sismici passati i dissesti maggiormente significativi presenti nelle strutture verticali.

Altri elementi del quadro fessurativo, piuttosto limitati, indicano un coinvolgimento delle fondazioni avvenuto in antico ed attualmente esaurito, a giudicare dal fatto che tali lesioni sono osservabili sugli intonaci più antichi, mentre presentano avanzamento nullo o molto limitato sugli intonaci realizzati negli anni '30.

Corpo scale a nord

Una situazione di dissesto avvenuto in antico che è compatibile sia con una interpretazione statica che sismica è costituita dal corpo scala a nord.

Strutturalmente non ammorsato con la muratura del palazzo, e palesemente costruito in un diverso cantiere anche se di antica realizzazione, il corpo scala è ruotato verso nord separandosi dal palazzo lungo i giunti di appoggio. La lesione che si è formata è stata riempita con malta, ma è ben riconoscibile in quanto ha portato alla separazione di alcuni centimetri tra le cornici in pietra poste in continuità. Il dissesto può essere spiegato con la sola spinta statica orizzontale delle volte a botte -quattro volte sovrapposte a due a due- non com-

pensata da tiranti, certamente significativa data la snellezza del corpo scale e la mancanza di ammorsamenti. Esso tuttavia può essere stato accentuato da eventi sismici, la cui sollecitazione può essersi sommata alle componenti orizzontali generate dalla spinta delle volte; vedi la presenza del semicapitello in pietra ruotato e traslato nella prima rampa di scale.

E' probabile vi sia stata anche una componente significativa di dissesto di fondazione; tuttavia i consistenti lavori eseguiti negli anni '30, ora osservabili alla base (telai in c.a. e nuove murature) inducono, come già detto, a non intervenire sulle fondazioni. Nel corso dello stesso intervento sono stati apposti tiranti di ancoraggio del corpo scala all'edificio principale ed altri interventi (intonacatura, ecc.).

Cornicione in pietra su via Paradiso

Il cornicione su via Paradiso, a circa 18 metri di altezza, è costituito da mensole in pietra incastrate nella muratura che reggono voltini in mattoni, intonacati all'intradosso, e una cornice in testa costituita da elementi in pietra bianca. Il peso proprio del cornicione determina un momento ribaltante che non è sufficientemente contrastato dalla parte terminale del muro, e in alcuni tratti all'interno sono osservabili lesioni orizzontali o distacchi in corrispondenza dell'appoggio delle mensole. I dissesti dell'edificio hanno determinato un allontanamento degli elementi di cornice appoggiati alle mensole, che in alcuni punti appaiono precariamente appoggiati (poco più di un cm. di appoggio). Si osservano alcuni tirantini di imbragamento delle cornici in pietra eseguiti in antico nel tratto ad ovest.

Una osservazione più accurata delle mensole, che già in altri casi a Feltre hanno dato luogo a rotture improvvise e crolli (mensole dei palazzetti Da Romagno in Piazza Maggiore, mensola del poggolo di Palazzo Villabruna in via Mezzaterra) ha portato a scoprire più mensole fratturate a tutta altezza e in procinto di crollare con il cornicione appoggiato. Lo spazio sottostante è stato transennato.

Teste di travature appoggiate sul muro di confine a est

Alcune teste di travature sono marcite in antico e consolidate con mensole o fettonature sul muro verso est, per la presenza di umidità. Altre teste in posizione analoga sono nascoste da soffittature o strati di intonaco, per cui non ne è attualmente accertabile la consistenza.

10.3.7. Interventi di riparazione e di consolidamento statico

Corpo Scale

Si prevede l'esecuzione di cuciture di connessione tra il corpo scale e il palazzo; le lesioni saranno risarcite con colli di calce idraulica naturale. Verranno inoltre apposti altri tiranti, a compensare la spinta delle volte, e la muratura laterale del tratto sottotetto, attualmente ad una sola testa di mattoni, sarà portata a due teste.

Teste di travi marcite

Saranno ispezionate le teste di travi indiziate di immarcimento, ed eventualmente consolidate con apposizione laterale di lame imbullonate o profili a L.

Cornicione in pietra su via Paradiso

Si prevede un consolidamento completo così realizzato (vedi particolare costruttivo e voce di elenco prezzi):

- formazione di un cordolo metallico nella parte terminale del muro;
- apposizione di mensole metalliche in tubolare 120x80x8 saldate al cordolo metallico che reggono, con tiranti inseriti a piombo, i tratti di cornice in pietra poggiati sulle mensole;
- formazione di una cappa in beton-epossidico sulle voltine in mattoni, con chiodature di connessione in acciaio inox;
- riparazione delle mensole fratturate in acciaio inox e resine epossidiche;
- apposizione di tiranti affiancati in acciaio con testa esterna a comprimere la parte soggetta a trazione delle mensole in pietra;
- collocazione di barre verticali da 25x25mm. poste sul lato interno del muro, saldate al cordolo metallico superiore e al cordolo metallico a pavimento, per compensare il momento ribaltante del cornicione.

10.3.8. Dissesti di origine sismica e definizione della vulnerabilità dell'edificio

L'edificio appare già chiaramente presente nell'assetto attuale nel dipinto datato 1677 di Domenico Falce.

Il Palazzo Cumano ha quindi certamente subito gli effetti del terremoto detto "di Asolo", avvenuto nel 1695, i cui marcati danni sono già stati riconosciuti in altri edifici di Feltre, oltre che ricordati da storici locali.

Il quadro fessurativo consente di riconoscere l'avvenuta attivazione di meccanismi di dissesto di origine sismica; tale interpretazione è motivata sia dal fatto che i fenomeni non sono spiegabili con dissesti statici a lento sviluppo, sia che essi trovano riscontri e analogie con quadri di danno osservati in particolare dopo il terremoto del Friuli in edifici affini.

I principali meccanismi riconosciuti sono:

- 1 - Rotazione delle angolate, con lesionamenti in corrispondenza degli assi di finestre angolari o delle canne fumarie;
- 2 - Rotazione fuori piano delle facciate, con separazione dai muri di spina e lesionamenti in corrispondenza delle canne fumarie o delle porte interne;
- 3 - Rototraslazione del corpo scale (con componenti statiche).

E' prevedibile che questi meccanismi di danno già attivati proseguano in caso di sisma, ed è quindi necessario ripararne i danni già prodotti e contrastarne l'ulteriore avanzamento.

A questi si possono aggiungere, per analogie istituibili con edifici affini danneggiati da sisma, i seguenti ulteriori meccanismi:

- 4 - Ribaltamento fuori piano dei timpani murari sui muri esterni a ovest e a est, con particolare riguardo alla parte svettante rispetto all'edificio contiguo a est, per le azioni di oscillazioni discordi e di urto prevedibili;
- 5 - Oscillazione discorde delle torri da camino, con ribaltamento e crollo.

6 - Una condizione di vulnerabilità complessiva alle azioni sismiche è costituita dalla mancanza di setti murari continui nella direzione est-ovest, in grado di fungere da controvento efficace alle alte lame murarie di spina, sulle quali poggiano tutti i solai e il tetto. Inoltre la facciata sud presenta ampie aperture e di conseguenza i setti verticali interposti sono soggetti ad azioni taglianti.

10.3.9. Obiettivi del progetto di miglioramento

Il limitato livello di danno, unito alla rilevante qualità costruttiva dell'edificio e al suo relativamente buono stato di manutenzione, consentono di concentrare l'attenzione sull'opera di miglioramento.

Il progetto deve tenere conto:

- della relativa unitarietà e omogeneità costruttiva dell'edificio (escluso il corpo scala a nord);
- dell'elevato livello costruttivo (solai di ottima qualità, murature di rilevante spessore, ecc.) e del buon livello manutentivo, della limitatezza di dissesti statici rilevanti;
- della presenza di marcate forme di vulnerabilità tipica: per posizione rispetto all'aggregato (con numerose angolate libere e una parete laterale di testa), per articolazione planimetrica ed altimetrica (presenza di corpo aggettante e di parete laterale svettante rispetto al profilo dell'edificio contiguo); per dimensioni rispetto alla posizione (lunga parete laterale priva di vincoli e di muri ortogonali); per entità e articolazione delle aperture sul fronte principale;
- della presenza di alcune significative forme di vulnerabilità specifiche: la separazione tra spalle in pietra e muratura nelle aperture, che rende esile soprattutto la struttura in angolata; l'ampio cornicione in pietra a sbalzo, con problemi di stabilità e di fragilità; la sfilabilità delle orditure lignee del tetto e dei solai; la mancanza di ammorsamento tra il corpo scale e la costruzione principale; la presenza di numerose ed ampie canne fumarie che interrompono la continuità muraria; la presenza di alte e massicce torrette di camino, con problemi di stabilità.

Ci si propone quindi di migliorare il comportamento di insieme dell'edificio senza modificarlo radicalmente, rafforzando con opportuni interventi il collegamento tra le masse strutturali, senza peraltro alterare le peculiari caratteristiche del monumento con operazioni diffusamente distruttive.

La filosofia di insieme dell'intervento consiste nel cercare di sfruttare al massimo le caratteristiche di resistenza delle diverse parti della costruzione, facendole interagire e aumentando per quanto possibile le connessioni tra di essi; si prevede soprattutto di formare sistematici collegamenti che pongano in antagonismo meccanismi contrapposti di parti della costruzione, impedendone reciprocamente gli spostamenti.

Gli interventi sono in parte di tipo tradizionale adattato alle possibilità operative attuali -ad es. i cordolanti a livello di piano- o di tipo moderno, come le perforazioni armate e cementate, realizzate solo per risolvere locali vulnerabilità specifiche, o le iniezioni

locali nelle lesioni.

In alcuni casi si realizzano forme di interazione con altre parti accessorie dell'edificio, come nel caso dei pluviali realizzati in acciaio e collegati ai tiranti nelle situazioni angolari difficilmente difendibili, o nel caso dei gocciolatoi in acciaio inox sotto le finestre, che svolgono anche funzione di consolidamento locale di un punto particolarmente vulnerabile.

10.3.10. Interventi di miglioramento antisismico del Palazzo Cumano

Gli interventi previsti sono i seguenti:

- Interventi di riparazione di danni sismici già presenti e a contrasto di vulnerabilità locali o specifiche.

Consistono in:

- riparazione di lesioni con colli di miscele costituita da calce idraulica naturale previo sigillatura e bagnatura; per le lesioni più ampie si prevede di operare cuciture armate in acciaio inox poste a cavallo o, nel caso di presenza di vuoti, come nelle canne fumarie, con apporto di mattoni pieni a cucì e scuci;

- formazione di cuciture armate a cavallo di aperture con architravi o davanzale lesionato (in particolare in corrispondenza delle angolate), con armatura a vista (profilo in acciaio inox a L) in corrispondenza del foro e due barre cementate alle spalle e saldate al profilo;

- sostituzione di architravi in legno degradati in alcune finestre del sottotetto con architravi in c.a. gettati in opera.

- Interventi a contrasto di meccanismi di insieme già attivati o prevedibili (punti da 1 a 5)

I meccanismi di danno 1 (rotazione delle angolate) e 2 (ribaltamento fuori piano dei muri di facciata) vengono contrastati in particolare con la formazione a tutti i piani di cordoli- tirante posti nei punti di connessione tra solaio e muratura, nello spessore del pavimento. I tiranti vengono realizzati con profilati metallici a L o a lama su entrambe i lati dei muri di spina e sul lato interno dei muri di facciata, e sono collegati alle travature con viti mordenti, tra di loro a mezzo di barre saldate inserite in perforazione, alle murature esterne con capochiave a piastra o a paletto a seconda delle situazioni. Si forma così una diffusa solidarizzazione dei solai in legno tra loro e alle murature, che ne favorisce il comportamento a lastra e ne contrasta lo sfilamento agli appoggi, opponendosi alle traslazioni delle murature di facciata verso l'esterno. Sui muri delle facciate nord e sud, ove non vi sono appoggi di travatura, i cordoli-tirante, oltre che alla muratura a mezzo di capochiave e perforazioni armate, saranno diffusamente collegati a mezzo di viti al secondo tavolato esistente sotto le pavimentazioni, di cui si sfrutterà così il significativo effetto irrigidente per contrastare la traslazione delle facciate.

- Per il contrasto della rotazione del corpo scale (punto 3), effettuato a mezzo di tiranti e cuciture di solidarizzazione al corpo principale, quanto previsto per il consolidamento statico appare efficace anche come miglioramento antisismico.

- Per contrastare il possibile ribaltamento fuori piano dei timpani murari del tetto (punto 4) si prevede la realizzazione di un cordolo tirante di sommità in lame

metalliche collegate tra loro e solidarizzate sia alle orditure principali (terzere) del tetto che ad un secondo tavolato di irrigidimento, posto in diagonale al di sopra di quello attualmente esistente. Alle teste delle terzere vengono collegati capochiave esterni a collare, per impedire lo sfilamento delle travature; collegate tra loro agli appoggi mediani da bandelle metalliche, le terzere divengono dei tiranti-puntoni che pongono in antagonismo gli spostamenti dei timpani a ovest e a est, maggiormente soggetti al ribaltamento.

- Per contrastare l'oscillazione discorde delle torri da camino (punto 5), vengono posti, nelle posizioni nascoste alla vista, elementi metallici collegati al cordolo-tirante di sommità; collegati a fasciature del fusto realizzate con cavi in acciaio posti nelle fugature, questi elementi aumentano la duttilità del fusto e riducono la possibilità di ribaltamento con crollo sulle strutture sottostanti.

- Interventi a contrasto della vulnerabilità alle azioni taglianti in direzione est-ovest (punto 6).

La complessiva solidarizzazione dei solai tra loro e con le murature ai piani, operata attraverso i cordoli tirante, è sicuramente l'intervento maggiormente utile, in quanto coinvolge diffusamente anche le strutture di facciata. Allo scopo di aumentare la duttilità del sistema e di ridurre gli spostamenti, le pareti divisorie leggere ai diversi piani con direzione est-ovest (formate da una struttura lignea intonacata) vengono rafforzate con un telaio irrigidente posto in traccia su un lato o affiancato e ricoperto da una parete in cartongesso. Il telaio presenta un elemento centrale aperto, per favorire la duttilità del sistema, ed è collegato con cuciture metalliche alle murature e con saldature ai cordoli-tirante.

Un sistema analogo è stato proposto da alcuni ricercatori a Pisa al Convegno 1991 del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, ed è già stato realizzato nel restauro di Palazzo Marzona a Venzone negli anni 1985-86, dopo i terremoti del 1976.

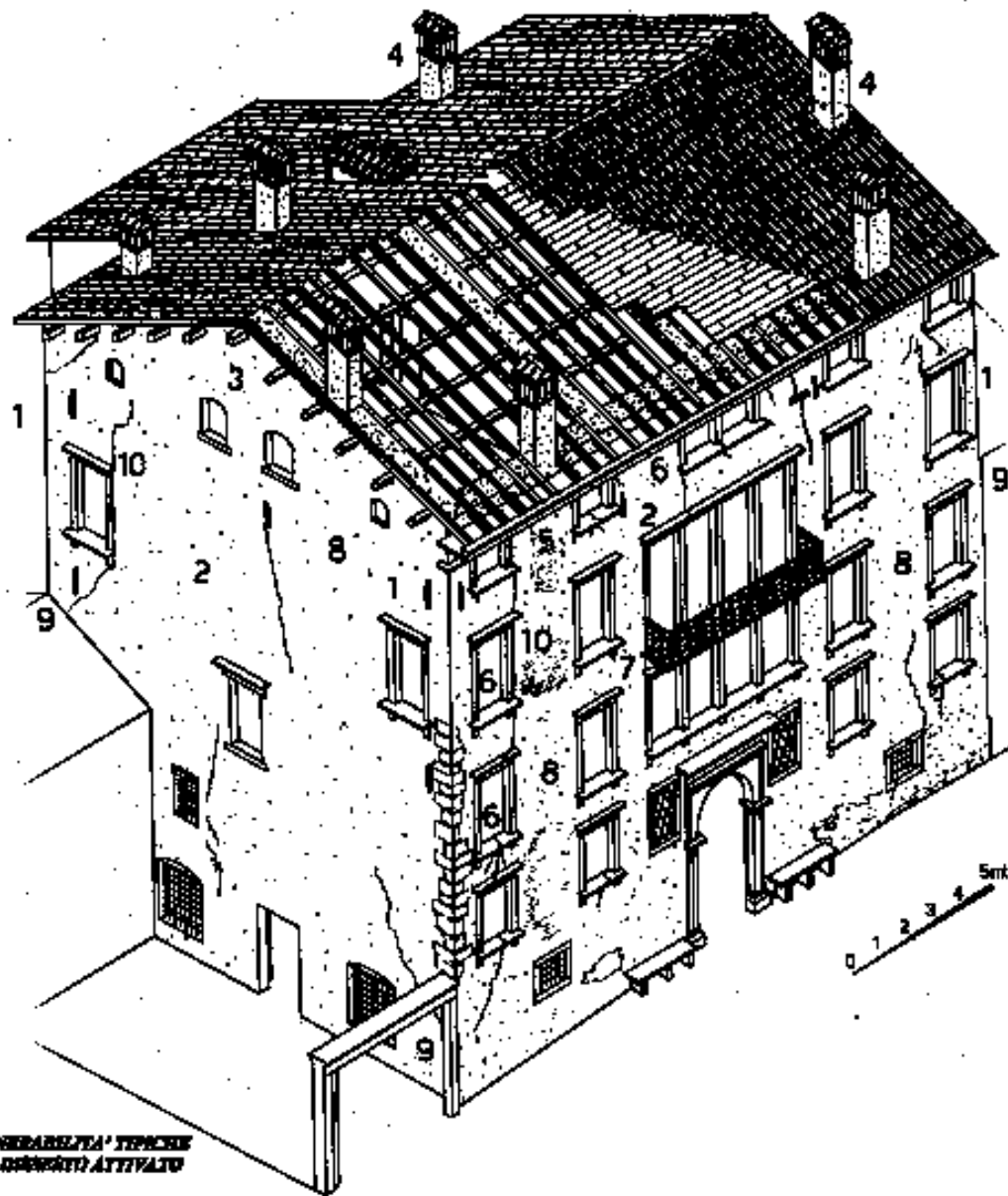
Vengono inoltre posti due tiranti a contrastare la spinta della volta ribassata presente nella parte ovest del piano terra.

10.3.11. Modalità esecutive per la riduzione degli impatti sulle strutture e superfici architettoniche

Per l'esecuzione dei cordoli-tirante a livello di piano è stata realizzata una traccia perimetrale larga circa 15 cm. eseguita a taglio mirato (a disco, con recupero a stacco degli elementi, per i pavimenti alla veneziana; con sollevamento accurato e recupero per i pavimenti in cotto, ecc.) fino a giungere al tavolato del solaio rimuovendo i sottofondi. Nel vano così formato, sono stati prima collocati i cordoli tirante in profilato metallico, fissati con viti strutturali ai travi sottostanti e ai tavolati, e successivamente posti in opera gli impianti di riscaldamento, elettrici e di sicurezza. A posa conclusa, sono stati ricollocati gli elementi rimossi.

(*) L'intervento è stato eseguito nel 1997-98 dal Comune di Feltre, su progetto dell'arch. Francesco Doglioni. Consulente strutturale è l'ing. Marco De Giacometti, che ha curato anche la direzione dei lavori.

PRINCIPALI FORME DI VULNERABILITA'



VULNERABILITA' TIPICHE (CON DISASTRO ATTIVATO)

FACCIATA:

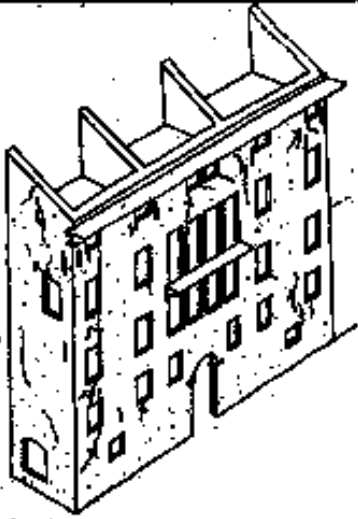
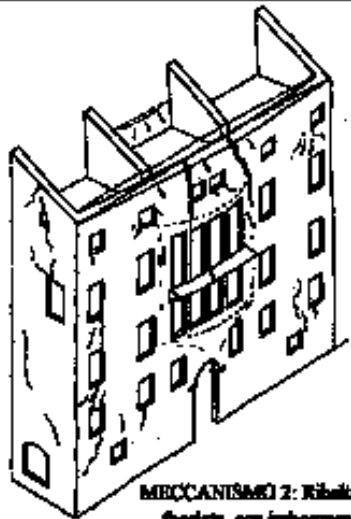
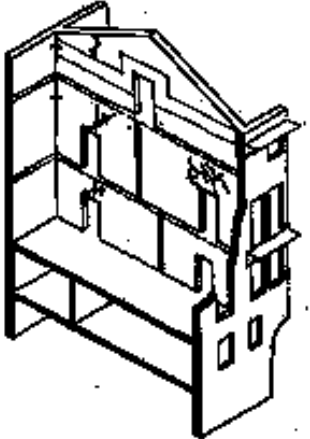
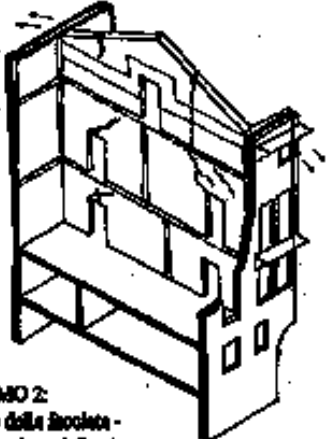
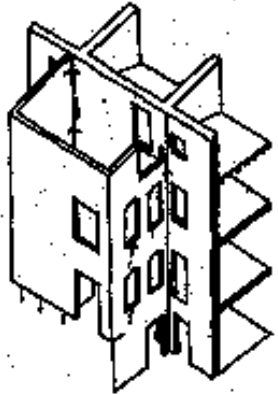
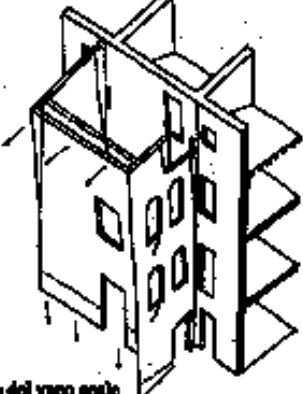
1. MECCANISMO DI ROTOTRANSLAZIONE DELLE ANGOLATE VERSO EST (PARTE EVETTANTE DALL'EDIFICIO CENTRALE) E VERSI OVEST, CON SEPARAZIONE IN CORRESPONDENZA DEI FORI DI FINESTRA (DISASTRO ATTIVATO)
2. MECCANISMO DI RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA, CON IMBOZZAMENTO CENTRALE, DOVUTO AD AZIONI FUORI PIANO (DISASTRO ATTIVATO)

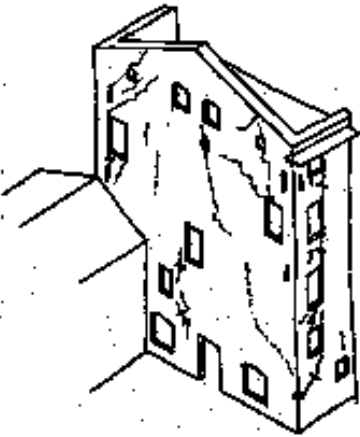
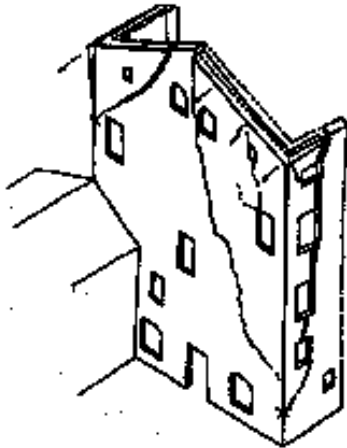
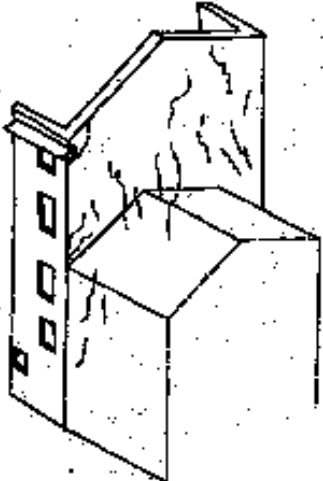
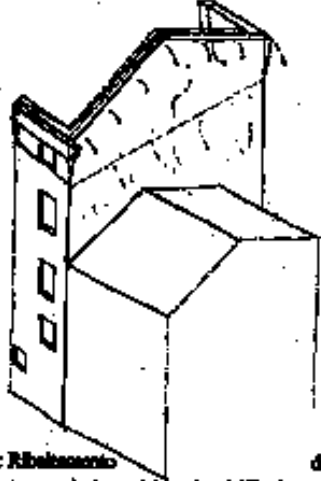
PARTE LATERALE:

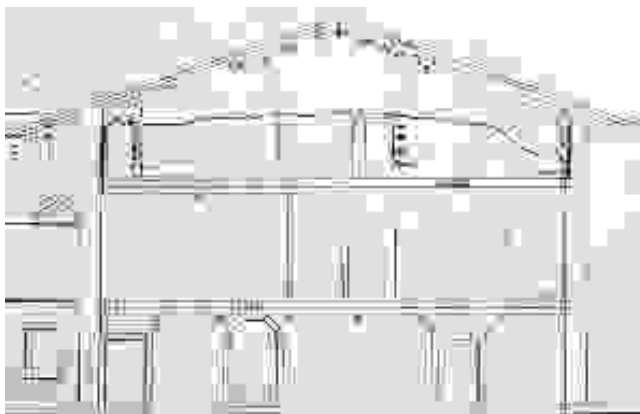
1. MECCANISMO DI ROTOTRANSLAZIONE DELLE ANGOLATE VERSO NORD E VERSO SUD (DISASTRO ATTIVATO)
2. MECCANISMO DI RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA LATERALE DOVUTO AD AZIONI FUORI PIANO (DISASTRO NON RICONOSCIBILE - MECCANISMO PROBABILE)
3. MECCANISMO DI RIBALTAMENTO DEL TIMPANO, DOVUTO AD AZIONI FUORI PIANO E SENZA DEL TETTO (DISASTRO NON RICONOSCIBILE - MECCANISMO PROBABILE)

VULNERABILITA' SPECIFICHE

4. INSTABILITA' DELLE TORRI DI CAMINO (h. m 2,50)
5. FRAGILITA' E TENDENZA AL RIBALTAMENTO DEL CORNICIONE A REALZO (sen 120) CON MENSOLE IN PIETRA CHE SOGGONO VOLTE IN MURATURA
6. DISCONTINUITA' TRA GLI ELEMENTI LITEICI (SPALLE DI FINESTRE) E LA MURATURA, IN PARTICOLARE NELL'ANGOLATA
7. FRAGILITA' DEL POGGIOLO SU MENSOLE IN PIETRA
8. PRESENZA DI DISCONTINUITA' VERTICALI DOVUTE ALLE CANNE DEI CAMINI
9. INTERAZIONE E MASSELLAMENTI LOCALI CON CORPI CONTIGUI DI ALTEZZA INFERIORE
10. LESIONAMENTI PROGRESSIVI, IN PARTICOLARE NELLE ANGOLATE

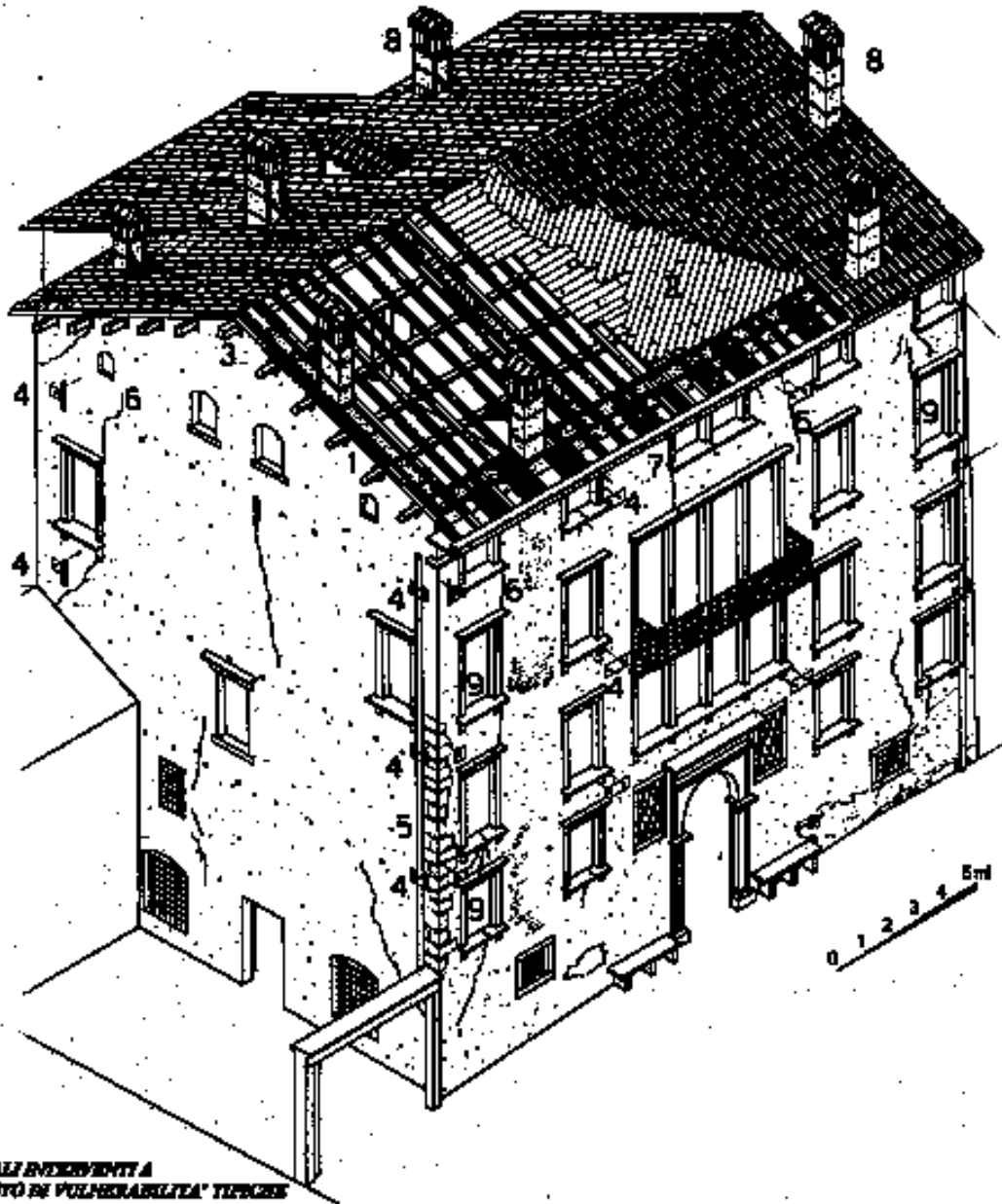
SUDDIVISIONE PER MACROELEMENTI		
	STATO DI DANNO	DANNO PROGREDIENTE
FACCIATA PRINCIPALE		 MECCANISMO 2: Ribaltamento della facciata, con ancoramento centrale
MURO DI SPINA INTERNO		 MECCANISMO 2: Ribaltamento della facciata - Inclinazione con i muri di spina e ancoramento in corrispondenza degli architravi
VANO SCALE		 Corpo aggettato del vano scale meccanismo di ribaltamento, con distacco in corrispondenza dell'appoggio sul muro di facciata (senza ancoramento e con probabile cedimento locale, vulnerabilità specifica)

SUDDIVISIONE PER MACROELEMENTI		
	STATO DI DANNO	DANNO PROGREDIENTE
FACCIATA LATERALE OVEST		 <p>MECCANISMO 2: Tendenza alla rototraslazione delle angolate favorite dall'allineamento dei fessii in prossimità delle angolate e delle discontinuità tra stipiti in pietra e muratura.</p>
FACCIATA LATERALE EST		 <p>MECCANISMO 3: Ribaltamento del timpano interno legato a variazioni simmetriche dell'angolo (danno probabile non attivato)</p>



A fianco: grafico del quadro fessurativo presente sul lato interno di un muro laterale a timpano svettante rispetto all'edificio contiguo. Si osserva la lesione orizzontale formata dall'apertura della cerniera innescata dal meccanismo di ribaltamento. Palazzo Marzona, Venzone (UD).

PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO ANTISISMICO

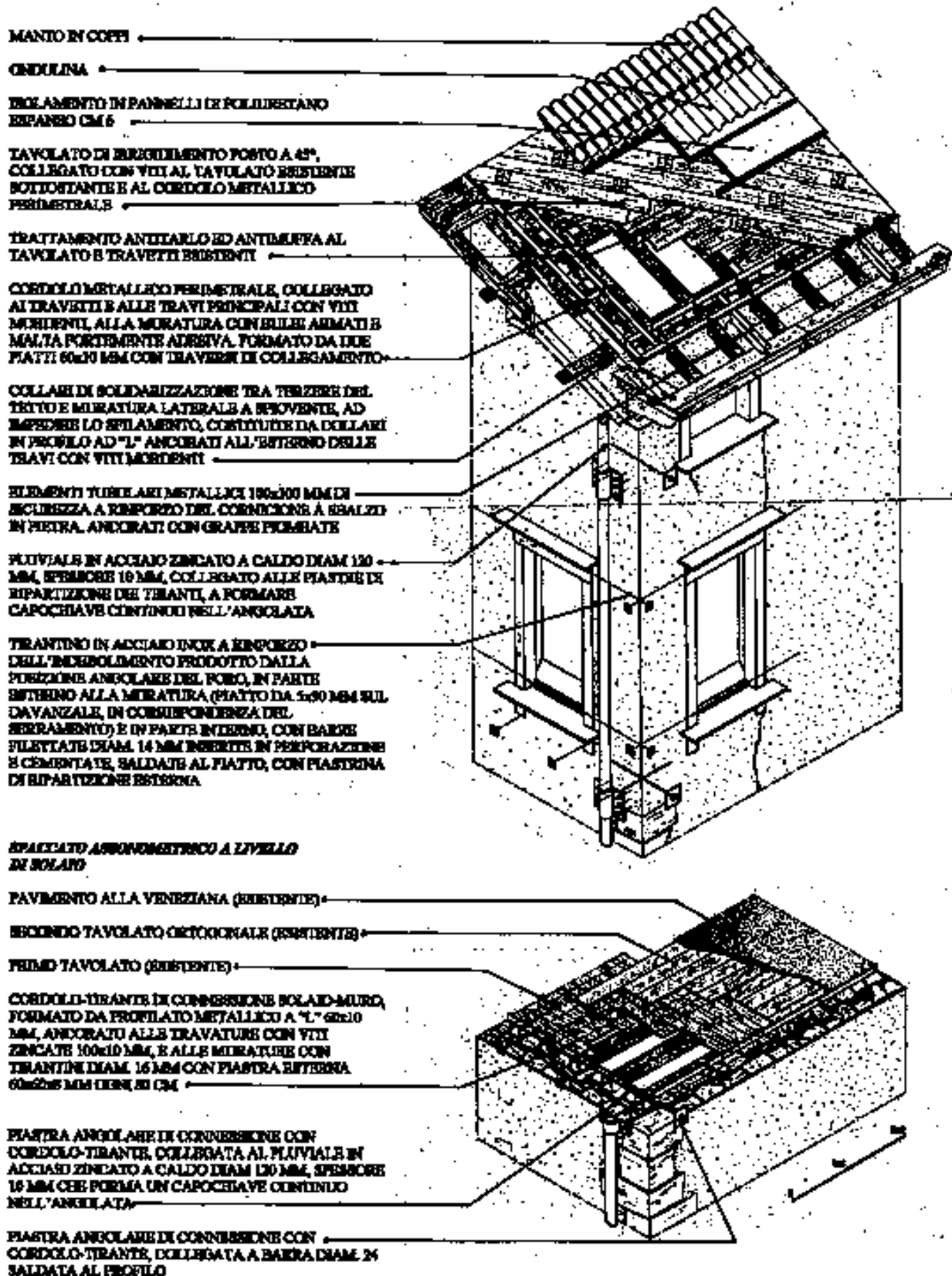


PRINCIPALI INTERVENTI A CONTRASTO DI VULNERABILITÀ TIPICHE

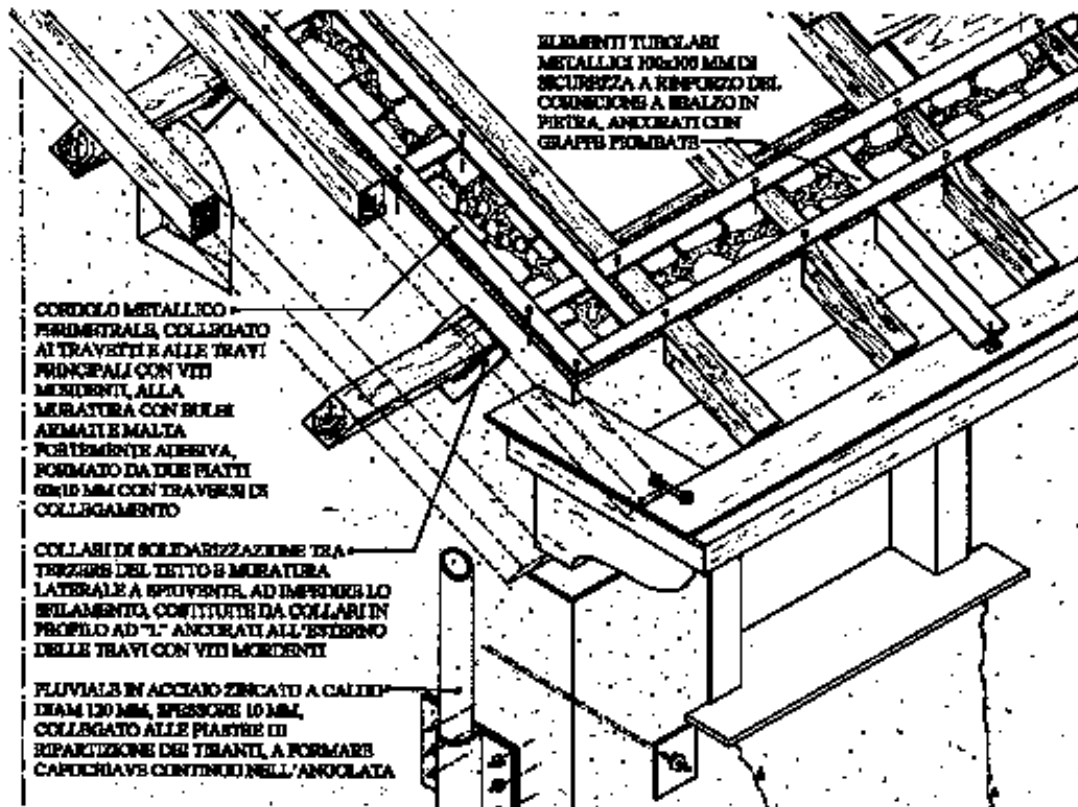
1. FORMAZIONE DI CORDOLO-TIRANTE PERIMETRALE A MIGLIORARE LA CONNESSIONE TRA LA MURATURA E IL TETTO (vedi particolare a lato)
2. RINCRONAMENTO DEL TETTO A MEZZO DI TAVOLATI INCROCIATI E CONNESSIONI AL CORDOLO-TIRANTE
3. CONNESSIONI TRA ORDITURA PRINCIPALE DEL TETTO (trave) E MURATURE DI APPICCHIE, A MEZZO DI COLLARI A CONTRASTO DELLO SFILAMENTO (vedi foto), LAME DI COLLEGAMENTO, ECC.
4. FORMAZIONE DI TIRANTI METALLICI CON PROFILATO AD "L" CONNESSI AI SOLAI IN LEGNO CON VITTE ALLE MURATURE CON TIRANTINI (vedi particolare), CON CAPOCHIAVE RETTIFERO A PIATTA.
5. FORMAZIONE DI PLUVIALE IN TUBO DI ACCIAIO CON FUNZIONE DI CAPOCHIAVE CONTINUI DEI TIRANTI E DI RINFORZO DELL'ANGOLATA

PRINCIPALI INTERVENTI A CONTRASTO DI VULNERABILITÀ SPECIFICHE:

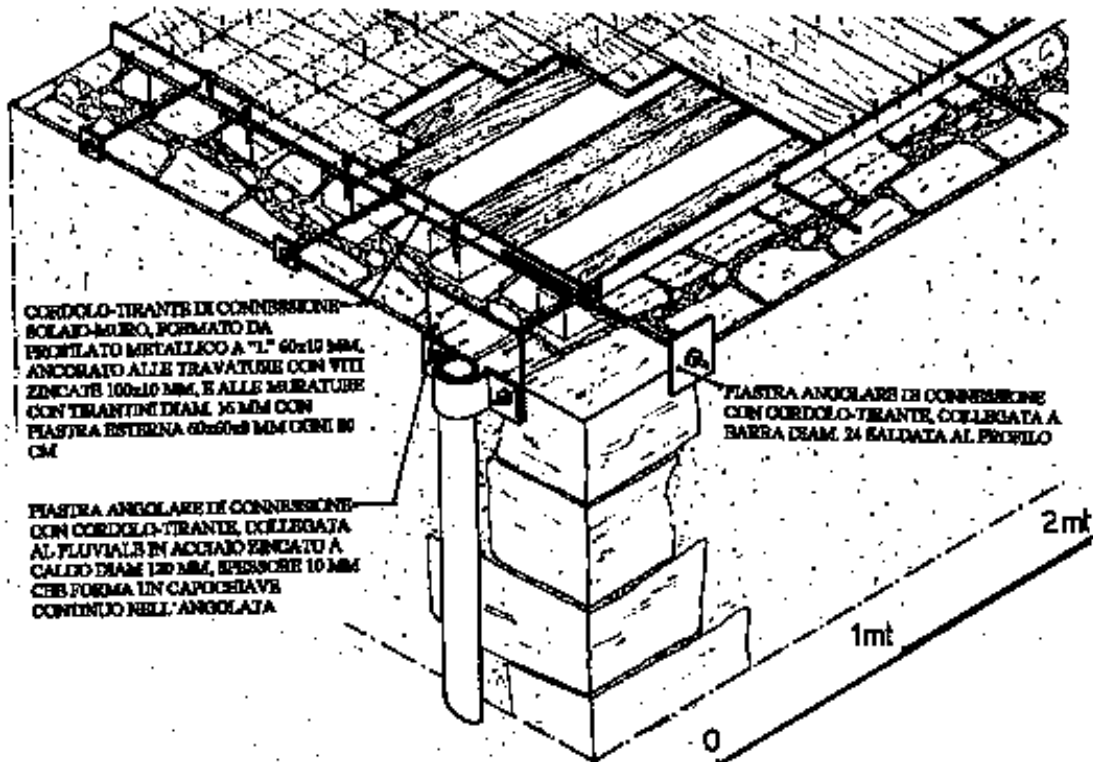
6. RIRARCHIMENTO DI LESIONI CON COLI DI MALTE IDRALICHE ADESSIVE
7. INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE E CONSOLIDAMENTI DEL CONNESSION IN PIETRA A SEALZO (VEDI FOTO E GRAFICA)
8. INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE DELLE TORRI DI CAMINO (vedi foto)
9. INTERVENTI A CONNESSIONE DELLE SPALLE IN PIETRA CON LA MURATURA A MEZZO DI TIRANTI INOX PARTE INTERNE E PARTE ESTERNE ALLA MURATURA (vedi grafico)



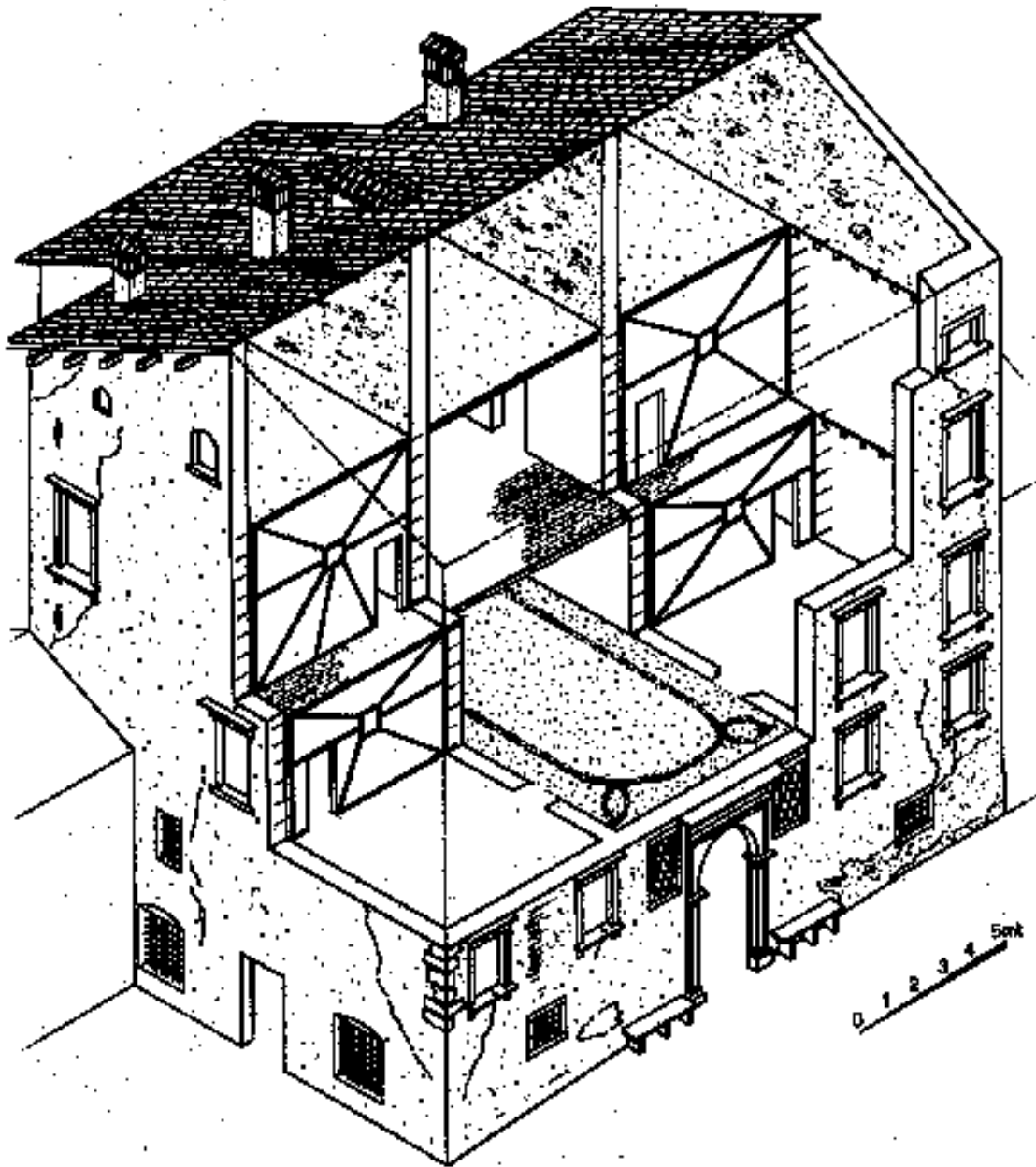
DETTAGLI A LIVELLO DEL TETTO



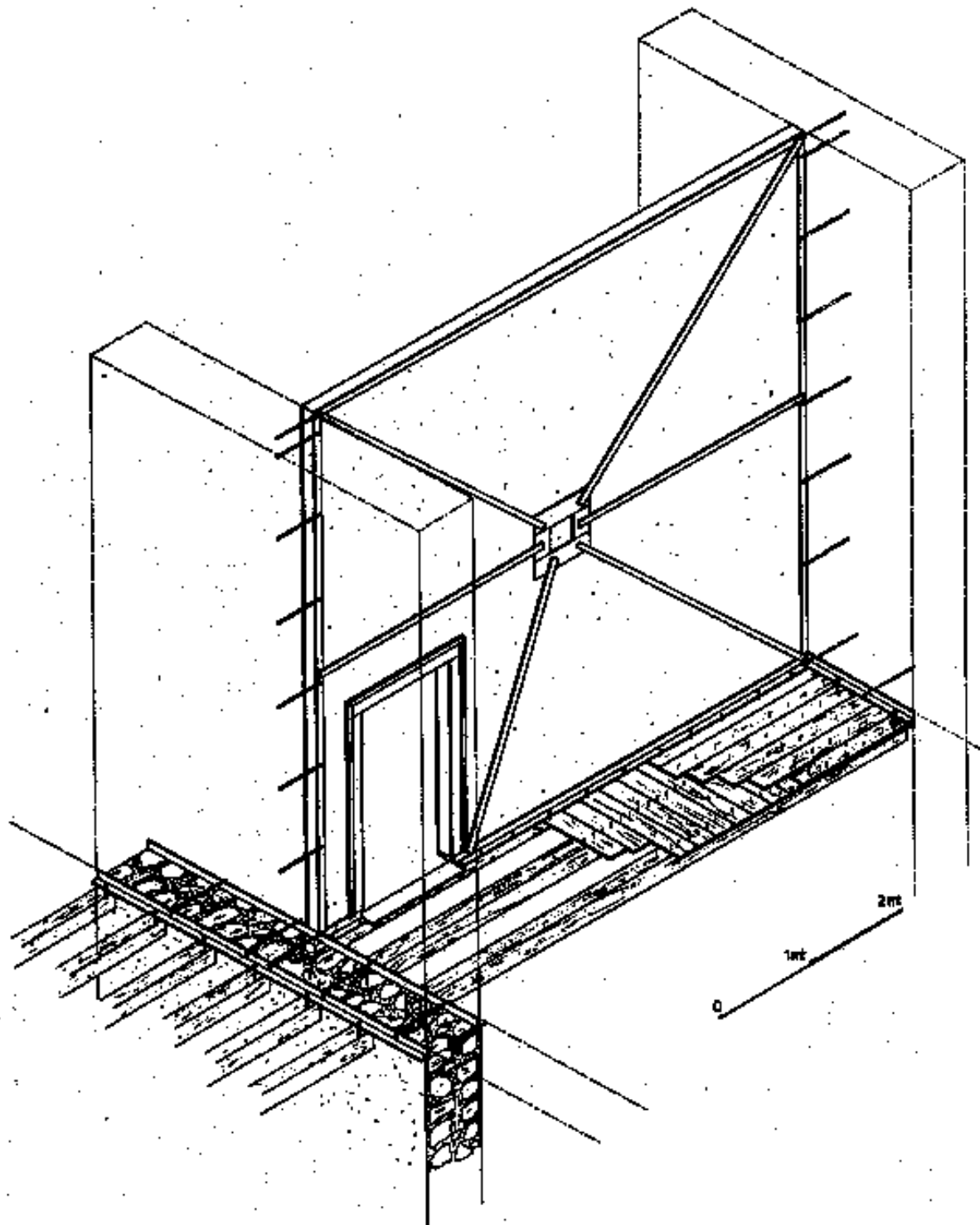
DETTAGLI A LIVELLO DEL SOLAIO



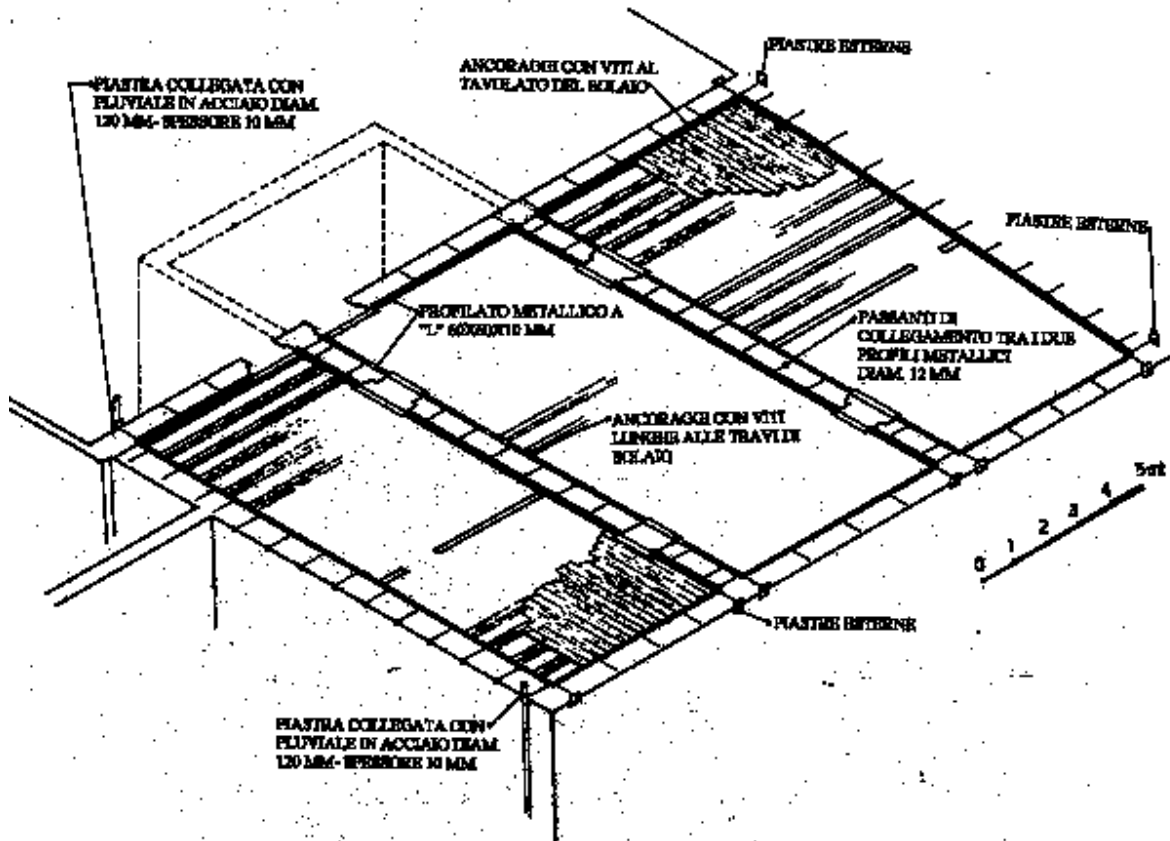
**SCHEMA ASSONOMETRICO DELLE PARETI LEGGERE DI
CONTROVENTAMENTO
(AFFIANCATE A PARETI ESISTENTI)**



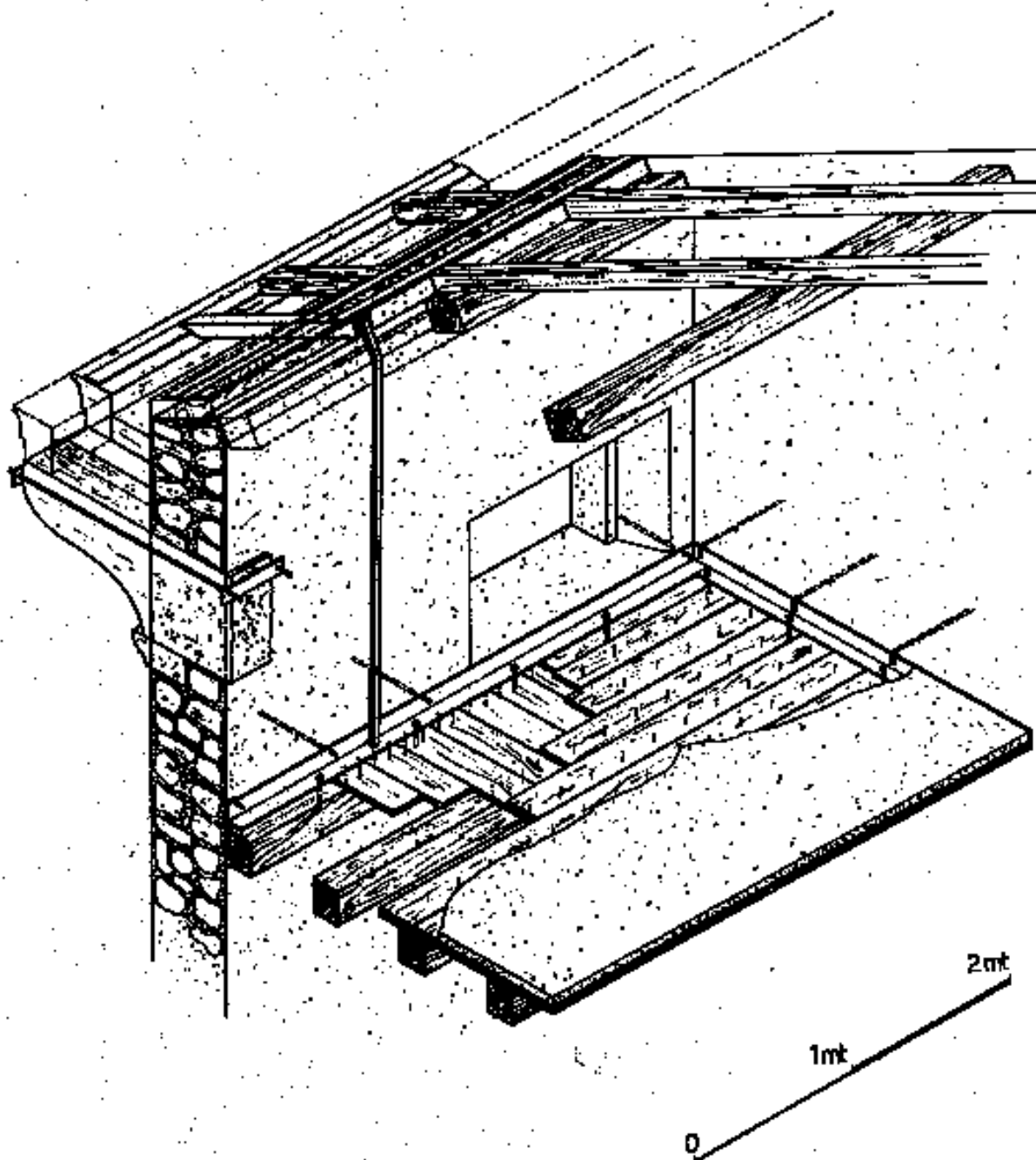
**DETTAGLIO DELLA PARETE DI CONTROVENTO
COLLEGATA AI SOLAI, AI CORDOLI-TIRANTE
E ALLE MURATURE**



**SCHEMA DI COLLOCAZIONE DEL CORDOLO-TIRANTE IN
PROFILATO METALLICO A LIVELLO DEL SOLAIO**



**INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DELLE MENSOLE E
STABILIZZAZIONE DELLO SPORTO IN PIETRA**





Elemento metallico a protezione dell'angolata formato in tubo di acciaio zincato, che funge da pluviale, collegato alle piastre esterne dei tiranti.

A sinistra: vista di insieme dell'angolata.

A destra: particolare della piastra di collegamento.

Consolidamento delle mensole del cornicione in pietra a sbalzo a mezzo di coppia di barre tese esterne in acciaio e testa di ripartizione.

Nella foto in basso a sinistra: vista di insieme del cornicione. Nella foto in basso a destra: dettaglio della mensola in pietra e del tirante.



10.4. LA PROGETTAZIONE DEL MIGLIORAMENTO SISMICO NEL CASO DELLA CHIESA DI SAN SAVINO A LICETO DI SASSOFERRATO

Pietro Regazzo

10.4.1. Caratteristiche costruttive e danno non dovuto al sisma

La chiesa ad aula unica fa parte di un fabbricato che comprende altri locali abbandonati, precedentemente destinati a sagrestia e canonica. L'intero complesso è a pianta rettangolare con la sola eccezione della parte in aggetto relativa al presbiterio che articola la facciata posteriore. La chiesa occupa la parte più a valle del fabbricato, sorge in un lieve pendio e, con la sua parete laterale, sostiene la falda di maggiore estensione tra le due che compongono la copertura.

Le caratteristiche geometriche e formali dell'edificio, il suo orientamento rispetto al sito in cui sorge, sono significative spie della distribuzione dei carichi e della maggiore predisposizione al danno dell'area dove è collocata la chiesa. Qui sono presenti, in prevalenza, danni tipici rispetto alla restante parte dove i danni, se pur maggiori, sono dovuti spesso a patologie pregresse legate alla mancata manutenzione.

La muratura verticale, di notevole spessore, è costituita da corsi di pietrame alternati a corsi di mattoni, quest'ultimi con funzione di regolare i livelli di posa. Sono presenti conci di grande dimensione, ben squadriati, disposti nelle angolate e ammorsati in modo irregolare e discontinuo.

Il tipo di apparecchiatura e lo stato del legante rendono la muratura relativamente resistente anche alle azioni fuori dal piano; tuttavia questa caratteristica viene a mancare completamente lì dove il processo di degrado è particolarmente avanzato, ossia dove i crolli delle parti sommitali hanno favorito l'accesso diretto dell'acqua e i conseguenti fenomeni di degrado delle murature. Tale fenomeno è maggiormente diffuso nell'area della canonica dove l'inefficacia del sistema di allontanamento delle acque piovane della copertura ha portato al degrado delle travi e al parziale crollo del tetto. A terra manca completamente la rete di smaltimento delle acque e c'è il pericolo che l'acqua ristagni a ridosso delle murature per effetto della contropendenza del terreno.

Molti dei dissesti sono dovuti a fattori precedenti all'azione del sisma e nella maggioranza dei casi sono riconducibili al cedimento della fondazione in corrispondenza delle angolate del macroelemento "parete laterale" della chiesa.

10.4.2. Conseguenze delle modificazioni subite in seguito alle trasformazioni edilizie e agli interventi recenti

Sono presenti discontinuità murarie causate nelle fasi costruttive iniziali o in seguito a trasformazioni costruttive, quali ad esempio: tamponamenti di grandi aperture lungo i due lati più lunghi dell'aula unica della chiesa, ammorsamenti poco efficaci in nodi murari, ecc.. Tali condizioni sono talmente diffuse da

creare una notevole frammentazione e disomogeneità delle murature perimetrali e dei setti interni, rendendo molto complessa e difficile l'interpretazione dei danni. Di particolare rilevanza, per il comportamento dell'edificio, è il rifacimento recente della copertura della chiesa realizzata con doppia orditura lignea, pannelle, coppi e con la predisposizione di una banchina in mattoni, alta circa 8 corsi, nei due lati esterni. Essa risulta solamente appoggiata alla parte originaria sottostante, senza un adeguato ingranamento. Le due parti, molto eterogenee tra di loro, non contrastano adeguatamente la spinta fuori piano provocata dalla copertura. Lo dimostrano la presenza, nel punto di appoggio, di fenomeni deformativi e lesioni orizzontali all'interno. Nei due lati interni dell'aula, lo stesso meccanismo ha dato origine ad un diverso effetto del danno localizzato subito a ridosso dell'innesto della copertura nella parete, non essendoci in questo l'interposizione della banchina in mattoni.

Nella muratura esterna della chiesa si è provveduto in passato alla stesura di uno spesso strato di intonaco di cemento, creando così le condizioni più sfavorevoli alla naturale traspirazione della muratura.

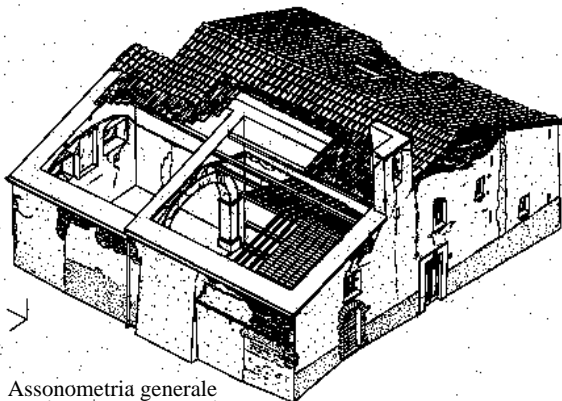
10.4.3. Diagnosi di vulnerabilità e stato di danno

La descrizione del dissesto statico e sismico (secondo le modalità indicate nel cap. 4), le vulnerabilità tipiche e specifiche correlate ai macroelementi e allo studio dei relativi meccanismi, sono riportate più in dettaglio nelle successive schede.

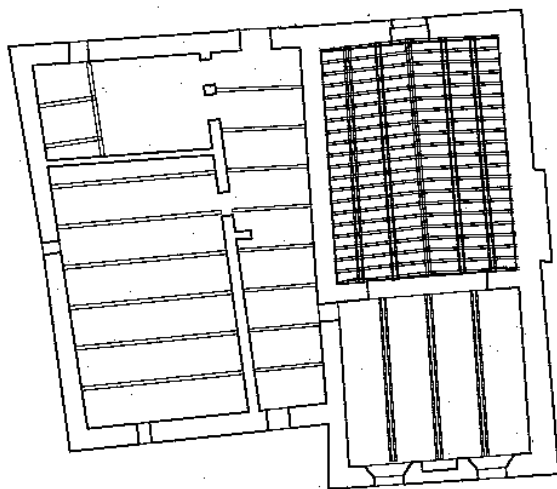
La composizione dei grafici nelle schede relative ai singoli macroelementi rispecchia il metodo di analisi utilizzato, teso alla sistematica comparazione di tutti i dati relativi ai diversi rilievi, verificati ogni volta nelle tre modalità di rappresentazione principali (pianta sezione e assonometria). In particolare si incrociano le informazioni relative ai rilievi delle deformazioni, alle configurazioni delle lesioni, alla lettura delle trasformazioni costruttive ed alle elaborazioni in tre dimensioni dei dati geometrici e topografici. Operativamente nel sito si è proceduto attraverso una puntuale analisi a vista delle superfici, supportata dall'utilizzo del binocolo e da un supporto grafico e fotografico sul quale sono stati annotate tutte le osservazioni. Sono stati utilizzati gli strumenti classici per le misurazioni (distanziometro laser per il rilievo delle deformate, strumenti topografici per il controllo dei punti interni ed esterni). Dalla conoscenza iniziale dell'oggetto, data dai primi rilievi, si sono potuti stabilire i temi da approfondire e le specifiche misurazioni strumentali ancora necessarie per poter formulare una corretta valutazione di diagnosi della vulnerabilità.

10.4.4. Impostazione e criteri di progetto

Le peculiarità proprie della muratura costituiscono il più significativo tra i caratteri superstiti, e sono un'importante testimonianza di cultura materiale che va conservata. Tuttavia riportare a vista le parti di muratura attualmente coperte è stato ritenuto ammissibile solamente per ragioni funzionali alla conservazione, ossia in presenza di intonaco recente di cemento che ne impedisce la traspirazione.



Assonometria generale



Pianta del piano terra con proiezione delle travi

Foto della facciata principale



L'insieme delle trasformazioni costruttive, successive all'edificazione, hanno reso irricognoscibile l'assetto iniziale, apportando manomissioni alla struttura originaria e compromettendone la stabilità. Per questi motivi gli interventi individuati si limitano a ristabilire le condizioni di continuità perdute, recuperando ciò che resta dell'originaria concezione strutturale e privilegiando l'intervento conservativo dell'assetto stratificato attuale.

Anche per ciò che riguarda gli interventi sulle parti di recente realizzazione, si adottano gli stessi criteri con l'accortezza di risolvere, dopo averle riconosciute, le conseguenze/influenze delle opere adottate rispetto alla permanenza delle patologie pregresse non ancora risolte. L'inopportunità di rimuovere le strutture recenti, quali ad esempio la nuova copertura, la banchina di muratura e il contrafforte nella parete laterale, riduce notevolmente la sfera delle possibili soluzioni progettuali. Ciò determina il prevalere delle soluzioni di miglioramento antisismico strettamente utili a risolvere locali fenomeni di discontinuità rispetto alle ridefinizioni integrali dei sistemi costruttivi. Le inadeguatezze delle strutture recenti sono risolte attraverso il contenimento degli effetti negativi da esse prodotte, tentando di ricomprenderle nel comportamento organico dell'intera struttura.

Alla copertura viene affidato un ruolo chiave per il contenimento delle spinte fuori piano di pareti contrapposte mediante la realizzazione di un tavolato di irrigidimento. Il funzionamento a contrasto delle azioni sismiche della copertura dipende, in larga misura, dall'efficacia del collegamento con le pareti, realizzato attraverso un cordolo metallico al quale viene associata la funzione di tirante. Molti dei tiranti esistenti sembrano dislocati per fronteggiare locali danni piuttosto di rispondere ad un progetto unitario che consideri tutte le interazioni tra le parti.

E' necessario apportare alcune integrazioni alla disposizione degli incatenamenti fino al raggiungimento delle condizioni minime indispensabili per resistere ai meccanismi del primo modo di danno.

L'analisi ha avuto tra i suoi scopi quello di accertare l'attivazione e lo stato di avanzamento dei meccanismi di danno tipici e specifici, per stabilirne i limiti di sicurezza accettabili e per definire le conseguenti variabili integrative all'intervento di miglioramento d'insieme per impedire la progressione del danno.

Le soluzioni per il miglioramento sismico sono calibrate rispetto agli obiettivi e principi propri del restauro per cui si adotta l'impiego di materiali tradizionali con tecniche parzialmente o completamente innovative rispetto alle tradizioni costruttive o con l'attribuzione di funzioni rinnovate. L'orientamento è quello di ricercare gli interventi meno invasivi e favorire la sovrapposizione delle strutture nuove senza intaccare le parti originarie.

Le debolezze delle strutture che derivano da particolari condizioni relative alla geometria e alla forma proprie o al rapporto pieni/vuoti, richiedono soluzioni specifiche che, senza modificare queste condizioni, riescano ad attribuire nuovi requisiti di resistenza. Ne

sono un esempio gli elementi di tenuta previsti per riconnettere le due parti di facciata separate dalle aperture allineate verticalmente.

Un altro esempio è costituito dalla vela i cui requisiti di particolare forma e snellezza, uniti alla posizione molto alta, devono essere opportunamente controllati. L'intervento su questa parte mira soprattutto a rinforzare la base dei piedritti collegandola alle parti contigue della facciata e della parete di spina per contenere la oscillazione e il ribaltamento della vela.

Altra problematica simile è costituita dalle grandi aperture sulle pareti laterali dell'aula della chiesa, caratterizzate da una discretizzazione delle esili parti murarie poste al di sopra delle stesse. La patologia che permane ancora oggi, malgrado si sia provveduto in passato alla chiusura delle aperture, va rimarginata consolidando le parti discretizzate e migliorando il collegamento con il tamponamento.

Completa il quadro degli interventi la ricostruzione delle parti crollate. Di esse è ancora presente a terra parte del materiale costitutivo, per il quale è auspicabile un reimpiego ristabilendo, dove le tracce lo consentono, la posizione iniziale. La ricostruzione è facilitata dalla contenuta entità del materiale crollato e dalla semplice configurazione.

Le condizioni più favorevoli alla conservazione dell'edificio sono legate alla ripresa della funzione della parte abbandonata, dotando dei requisiti minimi di abitabilità gli ambienti e recuperando l'utilizzo dei vari locali.

Non può mancare l'attenzione per la continuità delle opere di manutenzione per la quale si deve ristabilire al meglio la funzione di protezione dagli agenti atmosferici e le condizioni di efficienza degli elementi attualmente degradati.

L'elenco generale degli obiettivi di progetto, esposto nella lista di controllo, fornisce una chiara sintesi degli interventi adottati rispetto alla diagnosi compiuta.



Foto del prospetto interno della facciata - 27/6/98
(Foto Bolzan, IRRS. Milano)



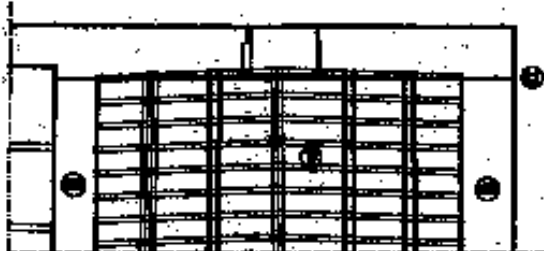
Foto dell'arco trionfale
26/6/98
(Foto Bolzan, IRRS. Milano)

SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO MACROELEMENTO FACCIATA

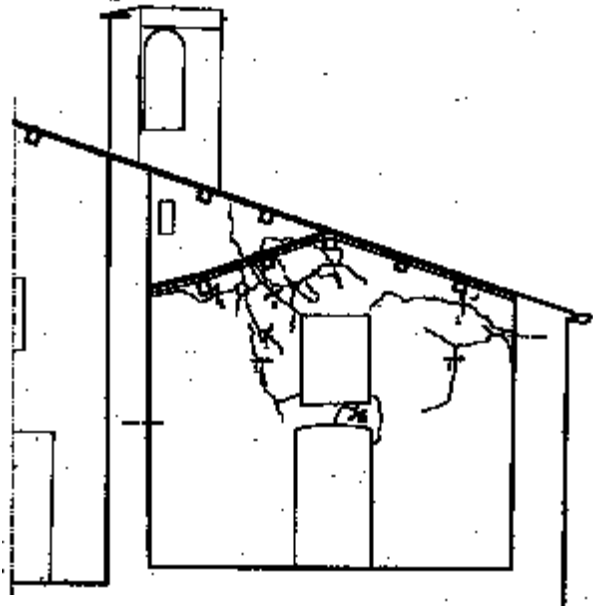
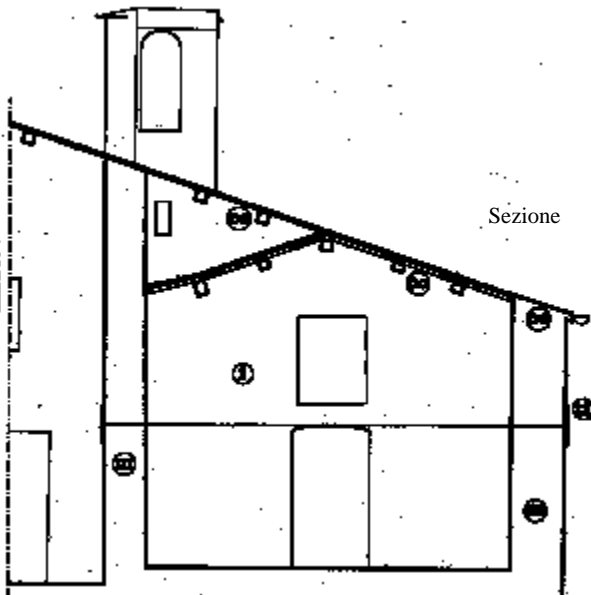
RILIEVO METRICO, ARCHITETTONICO-COSTRUTTIVO E DEL DEGRADO

DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI DEL DISSESTO SULLA MATERIA DELLA COSTRUZIONE (DANNI FISICI)

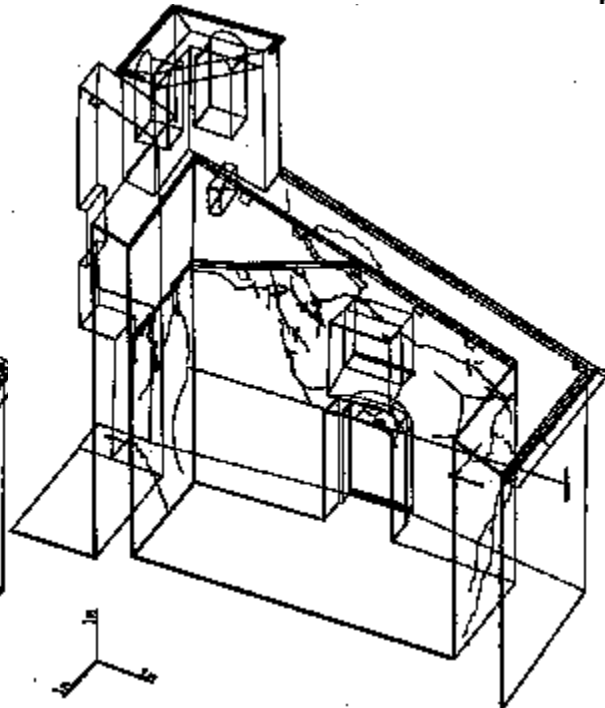
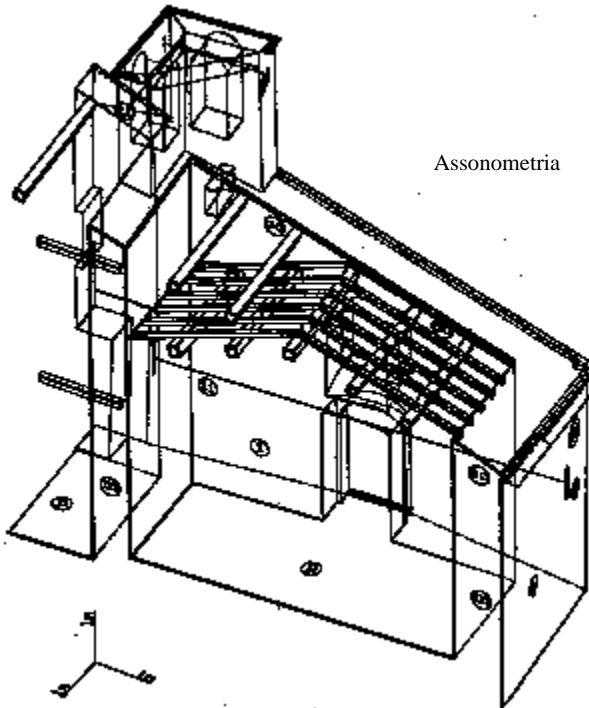
Pianta



Sezione

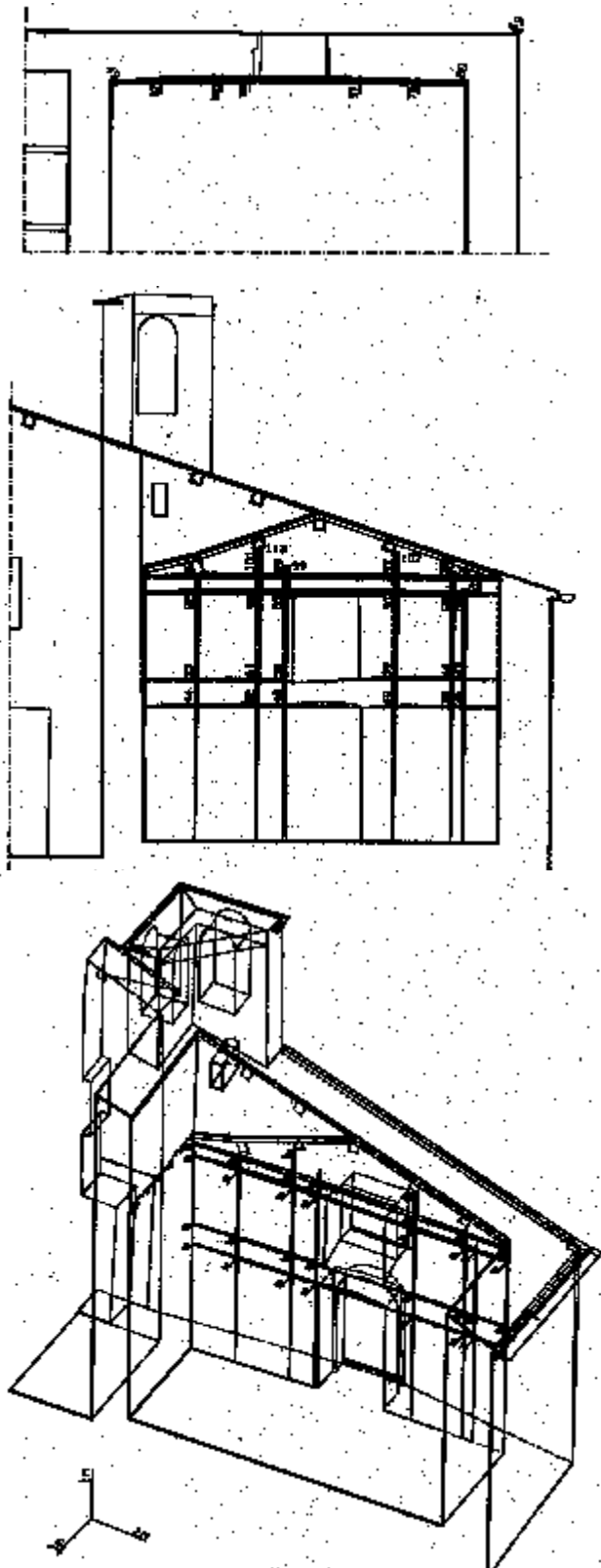


Assonometria



SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO MACROELEMENTO FACCIATA

DESCRIZIONE E MISURA DEGLI SPOSTAMENTI RICONDUCEBILI AL DISSESTO (MODIFICAZIONI GEOMETRICHE)



Le modificazioni della geometria del macroelemento facciata sono principalmente quelle conseguenti ad uno spostamento fuori piano della parete, facilitato dalla assenza di incatenamenti trasversali e da una accertata spinta unitaria della copertura. Gli spostamenti, rilevati all'interno, aumentano progressivamente verso l'alto e i valori maggiori si riscontrano in prossimità all'asse verticale di simmetria della facciata. I valori degli sfilamenti delle travi confermano, in parte, questa tendenza, azzerandosi in prossimità del lato destro. La diffusione delle lesioni, sulla superficie della parete, si riduce notevolmente in prossimità dei lati, dando origine a cerniere a partire dalla base della finestra con andamento obliquo verso gli angoli.

Tali conformazioni del danno costituiscono delle variabili al meccanismo di spostamento fuori piano della facciata e sono dovute all'azione di vincolo dei due muri ortogonali e alla debolezza della parete in corrispondenza delle due aperture allineate verticalmente. Quest'ultima condizione deve aver consentito una maggiore oscillazione della copertura e delle travi più vicine al colmo. L'effetto lastra del tetto ha prodotto una marcata lesione che segue l'andamento delle falde. All'esterno è riconoscibile il limite di appoggio del cordolo murario sulla sottostante muratura (indicato in tratteggio nei grafici). E' evidente la sua totale inadeguatezza dovuta all'interruzione netta a ridosso della veletta senza il necessario collegamento alla parte successiva.

PRINCIPALI FORME DI VULNERABILITA'



VULNERABILITA' TIPICHE CON MECCANISMO ATTIVATO:

T1 Meccanismo di spostamento fuori piano, per flessione, della parte sommitale della facciata (timpano) e relativo crollo della parte più esterna, favorito da spinte localizzate delle travi della copertura. Profili di crollo con andamento simmetrico e obliquo

T2 Meccanismo di ribaltamento fuori piano della parte centrale della facciata che coinvolge il muro di spina dove si forma una lesione inclinata. Tale conformazione del danno è dovuta al buon collegamento nel nodo murario

T3 Presenza della vela sveltante:

t1 Lesione alla base dei piedritti

s1 Copertura pesante e a sbalzo su uno dei tre lati

s2 Piedritti snelli

VULNERABILITA' SPECIFICHE:

S1 Discontinuità da trasformazione: la parte superiore, in mattoni (h= 60 cm) è stata realizzata successivamente alla parte sottostante, in muratura mista, durante la fase di rifacimento del tetto

S2 Discontinuità verticale da trasformazione: (la probabile presenza di ammorsamento è da verificare con saggio sull'intonaco coprente)

S3 Presenza di fascia verticale di malta di cemento, probabile traccia di una riparazione della canna fumaria

S4 Comportamento monolitico a lastra del tetto. All'interno sono presenti lesioni lungo l'innesto della copertura e in alcuni punti, dove il tetto è solidale con il cordolo murario, la lesione si manifesta più in basso nel punto di interfaccia tra cordolo e muratura sottostante

S5 Presenza di fori allineati verticalmente in facciata

S6 Cedimento fondale dell'angolata

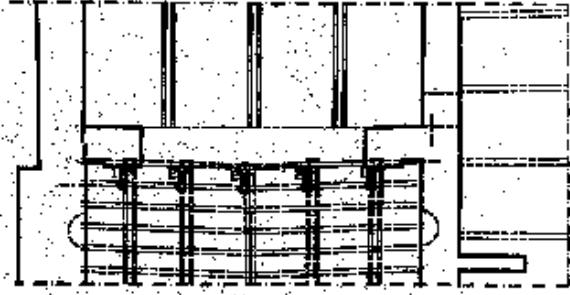
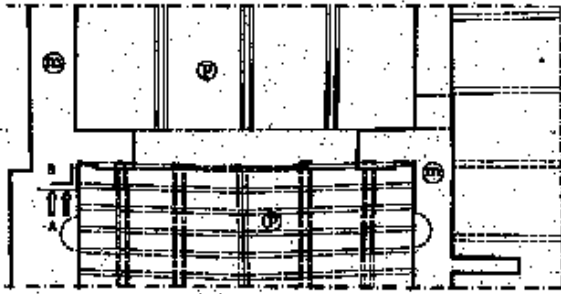
PARTE PRIMA

SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO MACROELEMENTO ARCO TRIONFALE

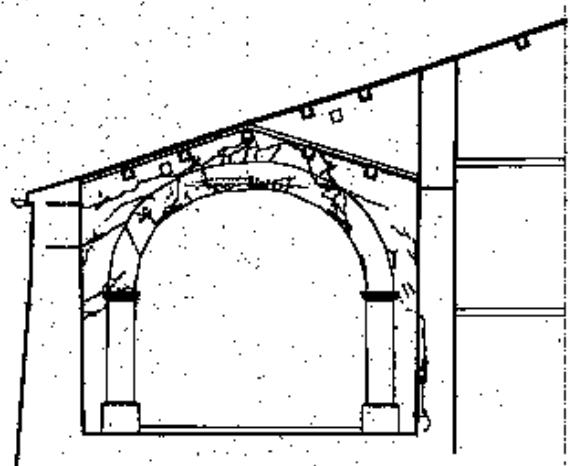
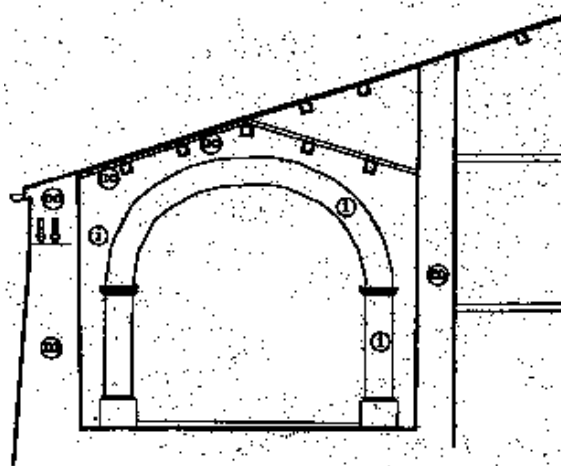
RILIEVO METRICO, ARCHITETTONICO-COSTRUTTIVO E DEL DEGRADO

DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI DEL DISSESTO SULLA MATERIA DELLA COSTRUZIONE (DANNI FISICI)

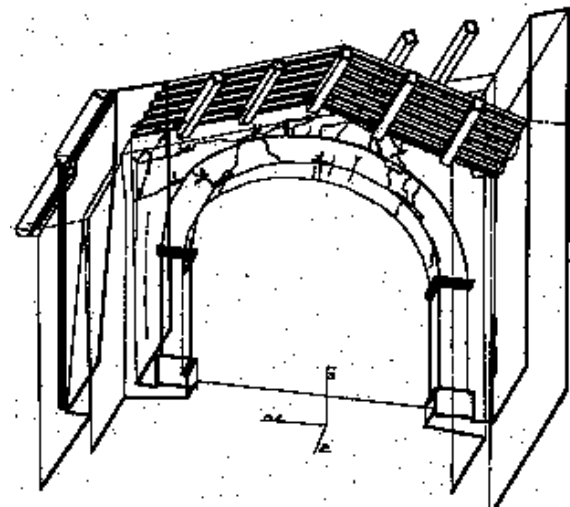
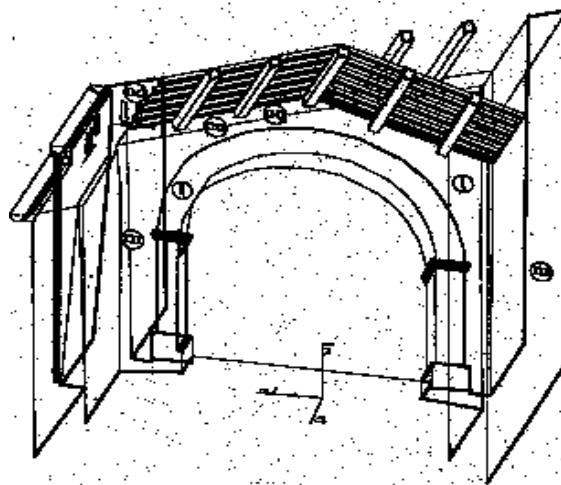
Pianta



Sezione

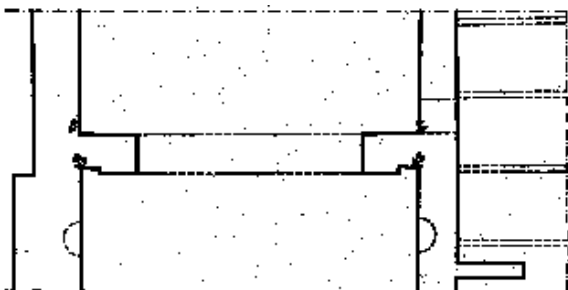


Assonometria

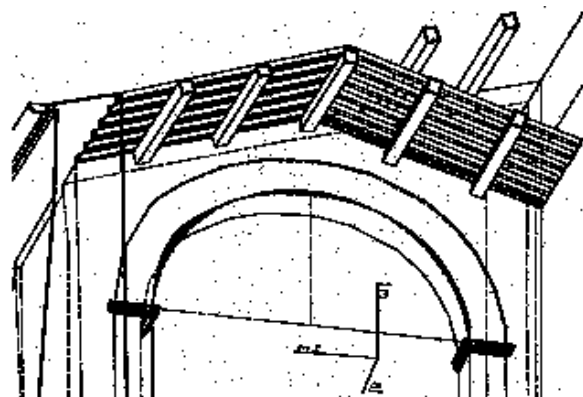
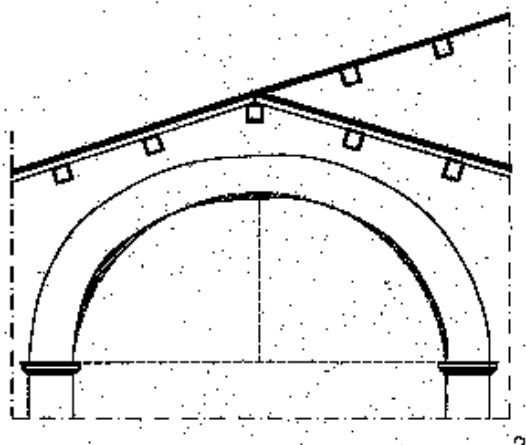


SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO MACROELEMENTO ARCO TRIONFALE

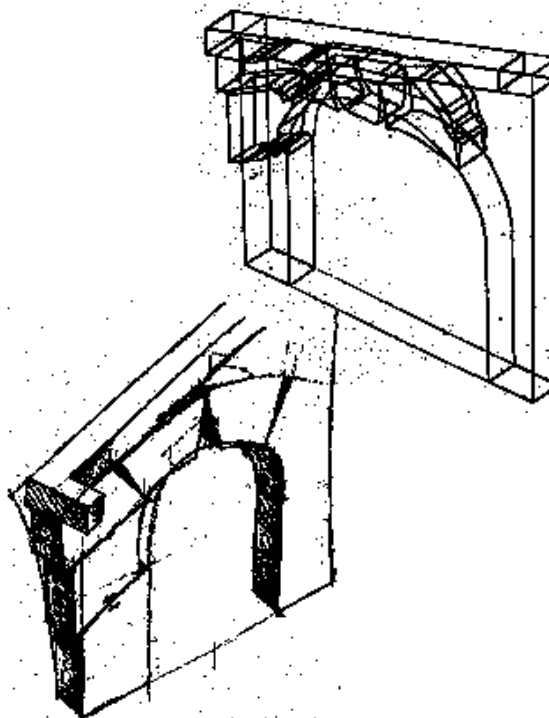
DESCRIZIONE E MISURA DEGLI SPOSTAMENTI RICONDUCEBILI AL DISSESTO (MODIFICAZIONI GEOMETRICHE)



La localizzazione delle lesioni e di punti di cerniera, interpretati rispetto alla deformazione della ghiera dell'arco, consentono di verificare l'abbassamento in chiave rispetto alla geometria originale. I piedritti non sembrano interessati da deformazioni e i punti di imposta dell'arco non hanno subito spostamenti. Il piedritto laterale sinistro accusa un lieve fenomeno di rottura dovuto alla forte spinta e al peso della copertura. L'effetto che ne deriva è visibile nel piedritto al di sotto della quota dell'imposta dove sono presenti due lesioni parallele e oblique indicate in tratteggio. La maggiore deformazione è localizzata a sinistra (vedi grafico) in coincidenza con una cerniera mentre uno spostamento più contenuto ma più esteso riguarda la parte destra con cerniera poco più in alto dell'imposta. Altre valutazioni derivano dalla lettura della morfologia del danno combinata alla lettura stratigrafica delle murature come emerge dal confronto tra i diversi rilievi. Un esempio è costituito dall'osservazione della presenza, nella sezione muraria, di due discontinuità orizzontali che si protraggono lungo la parete dell'arco (vedi parete sezionata di sinistra nel grafico relativo al quadro fessurativo). Una di esse coincide con l'interfaccia tra cordolo murario e muratura sottostante, evidenziando un punto di debolezza preesistente aggravato dal sisma. Una situazione simile si può riscontrare nel piedritto di sinistra dove due lesioni verticali, localizzate nel nodo di collegamento del setto con la parete laterale, sono spia di un non efficace collegamento tra le parti, realizzato in fasi costruttive diverse.



PRINCIPALI FORME DI VULNERABILITA'



VULNERABILITA' TIPICHE CON MECCANISMO ATTIVATO:
T1 Meccanismo di abbassamento in chiave dell'arco e formazione di due cerniere alle reni e due lesioni all'imposta (quella di dx più alta). Presenza di lievi segni di inizio della rottura a taglio delle spalle

VULNERABILITA' SPECIFICHE:

S1 Comportamento monolitico a lastra del tetto, con lesionamento della muratura di appoggio lungo la direzione delle falde in corrispondenza dell'interfaccia tra la banchina in muratura e la sottostante muratura originaria. L'effetto del danno è combinato a quello prodotto dalle spinte localizzate delle travi della copertura.

S2 Discontinuità da trasformazione in nodo murario con la parete laterale

PARTE PRIMA

SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO MACROELEMENTO PARETE LATERALE DX
DESCRIZIONE E MISURA DEGLI SPOSTAMENTI RICONDUCEBILI AL DISSESTO (MODIFICAZIONI GEOMETRICHE)

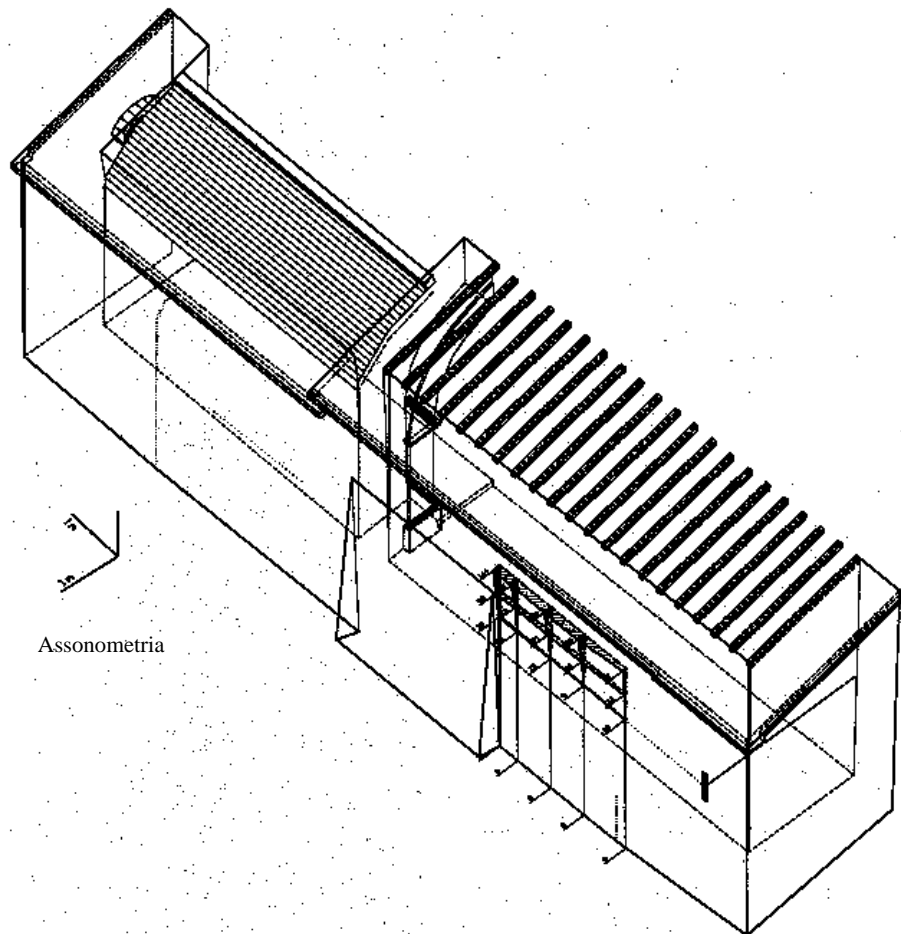
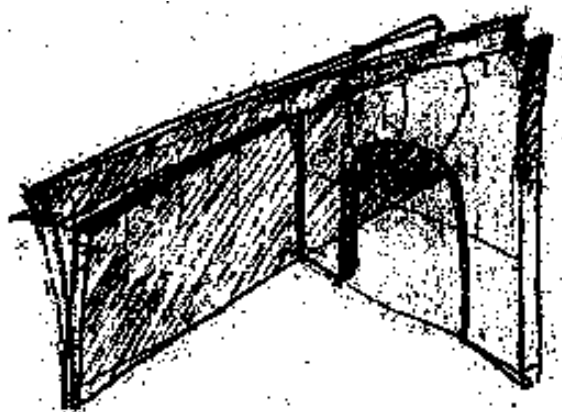
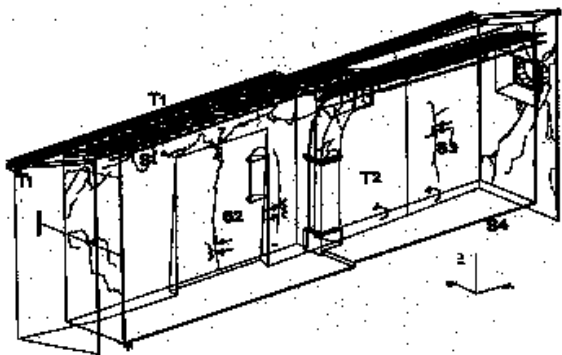
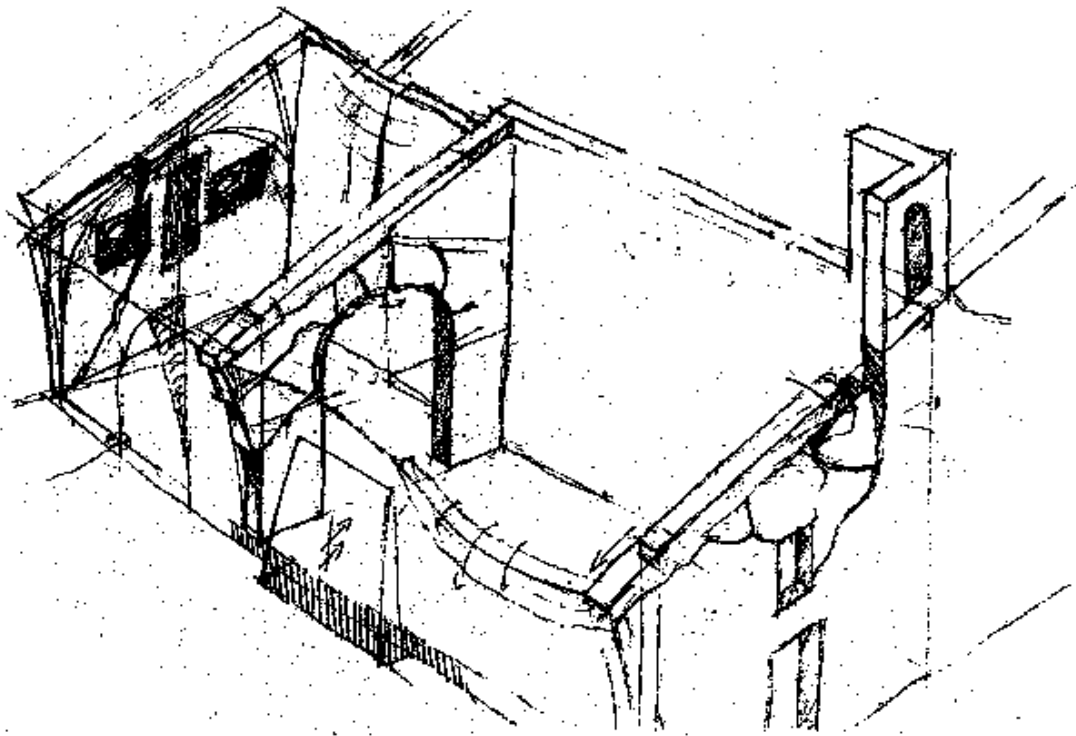


Foto della parete laterale dx - 26/6/98



I valori di spostamento aumentano progressivamente avvicinandosi al contrafforte e si riducono verso l'angolata di destra che risulta perfettamente a piombo. Tale andamento è riscontrabile, per simmetria, nel lato opposto del contrafforte dove ci sono valori di spostamento più contenuti che tendono ad appiattirsi in corrispondenza del coronamento. Quindi risulta chiaro che tale modificazione della geometria originaria è imputabile ad una grossa deformazione della muratura, in parte stabilizzata, forse dovuta ad un crollo. Se tale ipotesi fosse vera, il crollo potrebbe essere avvenuto dove la spinta della copertura era considerevole e la relativa parete che si contrapponeva era indebolita dalla presenza della vecchia apertura. La realizzazione del tamponamento della apertura, la forse contestuale realizzazione del contrafforte e la realizzazione della banchina muraria nella fase di rifacimento della copertura, si contrappongono alla deformazione correggendone in parte l'andamento, ma lasciando alla struttura una vulnerabilità data dalla disomogeneità tra gli elementi. L'unico tirante a contrapporsi allo spostamento fuori piano della parete, situato nell'angolata destra, sembra essere in buono stato e il relativo capochiave non è eccessivamente sollecitato.

SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO MACROELEMENTO PARETE LATERALE DX
PRINCIPALI FORME DI VULNERABILITA'



VULNERABILITA' TIPICHE CON MECCANISMO ATTIVATO:

T1 Meccanismo di spostamento fuori piano della parte alta della parete, libera in sommità e vincolata su tre lati con formazione di lesione orizzontale (all'interno in corrispondenza al punto di appoggio del cordolo murario) e obliqua verso il lato dx in corrispondenza dell'innesto con l'arco trionfale.

T2 Meccanismo di spostamento fuori piano del pannello murario, lato del presbiterio, con formazione di cerniera alla base del lato interno (ipotesi da verificare in relazione alla presenza di rotazione alla fondazione)

VULNERABILITA' SPECIFICHE:

S1 Discontinuità da trasformazione: la parte superiore, in mattoni (h= 60 cm) è stata realizzata successivamente alla parte sottostante, in muratura mista, durante la fase di rifacimento del tetto

S2 Discontinuità da trasformazione: il tamponamento della grande porta è privo di ammorsamento. I dissesti si sono manifestati lungo i bordi dell'addossamento accentuandone la separazione

S3 Discontinuità verticale da trasformazione: la parte terminale del presbiterio è stata realizzata successivamente alla chiesa (da verificare con saggio stratigrafico)

S4 Cedimento fondale delle due angolate. Modificazione del cedimento innescata con la realizzazione del contrafforte (vanno verificati gli effetti)

S5 All'esterno, nella parte centrale del fronte, imbozzamento alla quota al di sotto del cordolo murario precedente al sisma e parzialmente contenuto dall'azione del contrafforte

S6 L'azione di contrapposizione locale del contrafforte crea contrasti con le zone laterali. In particolare il contrafforte non copre esternamente la parte di muratura in corrispondenza del nodo con la parete dell'arco trionfale e tale disallineamento crea sollecitazioni al sotto compreso tra le due parti

PARTE PRIMA

SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO MACROELEMENTO PARETE POSTERIORE lato dx
DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI DEL DISSESTO SULLA MATERIA DELLA COSTRUZIONE (DANNI FISICI)

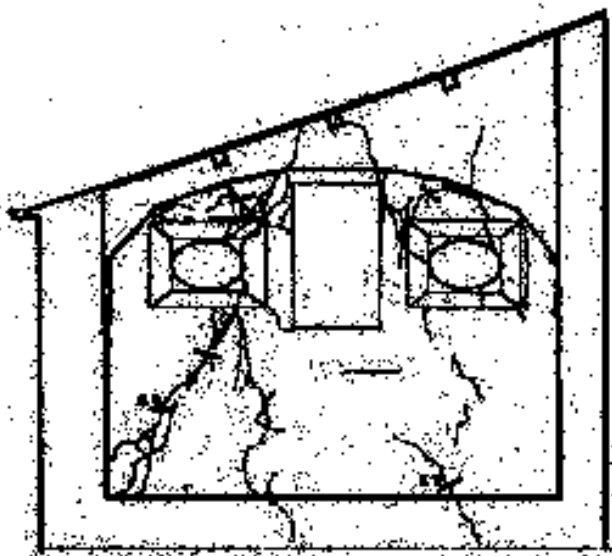
Dalle elaborazioni in tre dimensioni del rilievo del quadro fessurato si sono potuti confrontare gli andamenti delle lesioni registrati sulle due opposte superfici della parete, relazionando le caratteristiche geometriche e qualitative delle lesioni e verificandone gli allineamenti reciproci e le continuità con le pareti ortogonali. La lesione indicata con ampiezza 2 risulta essere la discontinuità più marcata di questo macroelemento e in parte passante in quanto presenta uno sviluppo analogo alla corrispondente lesione all'interno.

Dall'interno si sono rilevati spostamenti dei relativi cigli crescenti con l'aumentare dell'altezza e con direzioni riconducibili, tendenzialmente ad un unico asse di rotazione. In questo caso il meccanismo di ribaltamento della parete laterale ha formato nella parete posteriore una configurazione di danno tipica. Gli effetti sono dovuti all'estendersi del dissesto prodotto dal ribaltamento della parete laterale dx in cui si trovano i relativi riscontri nella lesione a quota pavimento e nei fuori piombo.

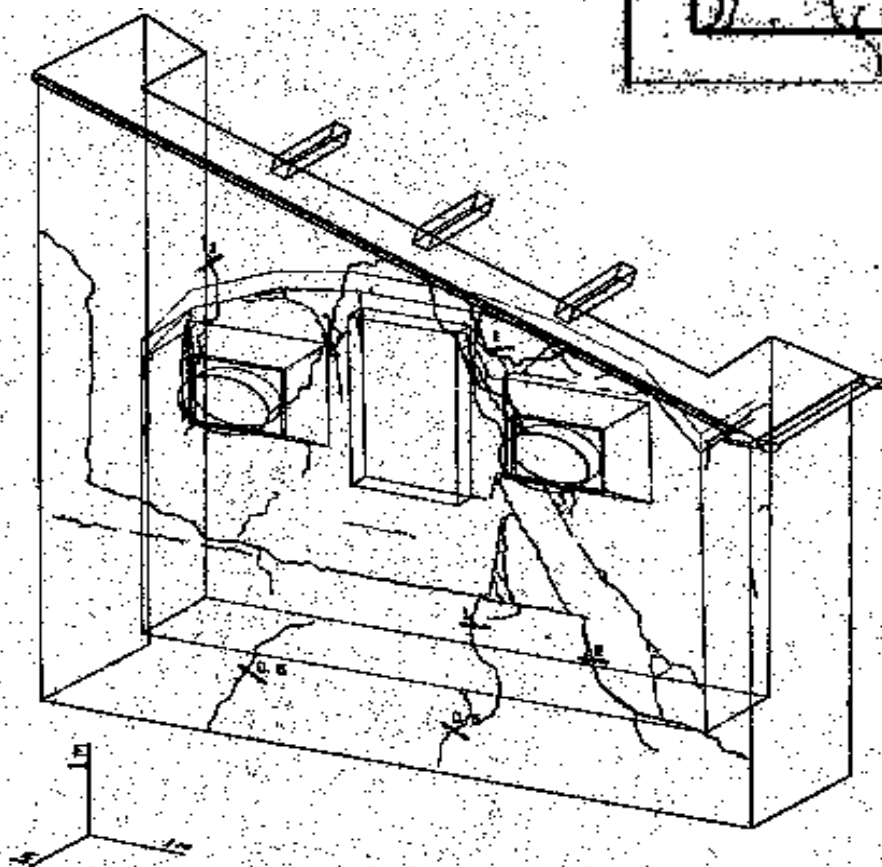
Le lesioni nella parte bassa indicate con ampiezza 0.5 hanno un andamento opposto alla precedente lesione e si manifestano solo all'esterno. Tali prerogative comprovano la presenza di rotazioni o cedimenti della fondazione probabilmente ancora attivi poiché i segni compaiono su di un intonaco di cemento di recente realizzazione.



Pianta



Sezione

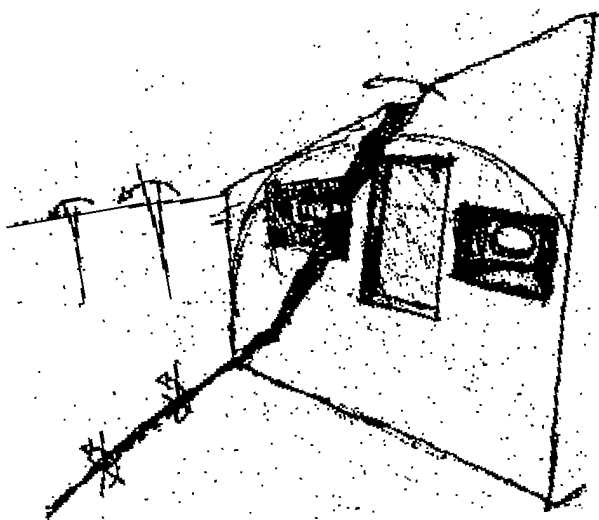


Assonometria

SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO MACROELEMENTO PARETE POSTERIORE lato dx
PRINCIPALI FORME DI VULNERABILITA'



Foto della parete interna
 posteriore del presbiterio
 27/6/98



VULNERABILITA' TIPICHE CON MECCANISMO ATTIVATO:

T1 Il meccanismo di ribaltamento con rotazione intorno ad un asse orizzontale della parete laterale dx genera nel macroelemento una lesione esterna con andamento prevalente verticale/obliquo e una lesione obliqua all'interno.

T2 Lesioni oblique partono dal limite superiore e terminano ai lati delle aperture ellittiche in parte dovute all'effetto delle spinte localizzate delle travi del tetto

VULNERABILITA' SPECIFICHE:

S1 Discontinuità da trasformazione: il macroelemento è parte dell'ampliamento realizzato successivamente alla chiesa

S2 Cedimento fondale dell'angolata

SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO

PRINCIPALI FORME DI VULNERABILITA'

VULNERABILITA' TIPICHE CON MECCANISMO ATTIVATO:

MACROELEMENTO A - FACCIATA

T1 Meccanismo di spostamento fuori piano, per flessione, della parte sommitale della facciata (timpano) e relativo crollo della parte più esterna

T2 Meccanismo di ribaltamento fuori piano della parte centrale della facciata

T3 Presenza della vela svettante

MACROELEMENTO B – PARETE LATERALE DX

T1 Meccanismo di spostamento fuori piano della parte alta della parete, libera in sommità e vincolata su tre lati

T2 Meccanismo di spostamento fuori piano del pannello murario, lato del presbiterio, con formazione di cerniera alla base

MACROELEMENTO C – ARCO TRIONFALE

T1 Meccanismo di abbassamento in chiave dell'arco e formazione di due cerniere alle reni e due lesioni all'imposta (quella di destra più alta). Presenza di lievi segni di inizio della rottura a taglio delle spalle

MACROELEMENTO D – PARETE DI SPINA

T1 Effetti del meccanismo di ribaltamento fuori piano della parte centrale della facciata in relazione al buon collegamento realizzato nel nodo murario

MACROELEMENTO E – PARETE LATERALE SX

T1 Spostamento fuori piano della parte alta e centrale della parete, discretizzata in blocchi e parzialmente crollata assieme alla relativa copertura

MACROELEMENTO F – PARETE POSTERIORE lato SX

T1 Spinte della copertura e rotture in corrispondenza dei muri di spina interni

MACROELEMENTO G – PARETE POSTERIORE lato DX

T1 Meccanismo di ribaltamento con rotazione intorno ad un asse orizzontale della parete laterale destra

T2 Spinte localizzate delle travi del tetto

VULNERABILITA' SPECIFICHE:

MACROELEMENTO A - FACCIATA

S1 Discontinuità orizzontale da trasformazione: fase di rifacimento del tetto

S2 Discontinuità verticale da trasformazione

S3 Presenza di canna fumaria

S4 Comportamento monolitico a lastra del tetto

S5 Presenza di fori allineati verticalmente in facciata

S6 Cedimento fondale dell'angolata

MACROELEMENTO B – PARETE LATERALE DX

S1 Discontinuità da trasformazione: fase di rifacimento del tetto

S2 Discontinuità da trasformazione: il tamponamento della grande porta è privo di ammorsamento

S3 Discontinuità verticale da trasformazione: la parte terminale del presbiterio è stata realizzata successivamente alla chiesa (ipotesi da verificare con saggio stratigrafico)

S4 Cedimento fondale delle due angolate. Modifica del cedimento innescata con la realizzazione del contrafforte (vanno verificati gli effetti)

S5 All'esterno, nella parte centrale del fronte, imbozzamento alla quota al di sotto del cordolo murario, precedente al sisma e parzialmente contenuto dall'azione del contrafforte

S6 L'azione di contrapposizione locale del contrafforte crea contrasti con le zone laterali

MACROELEMENTO C – ARCO TRIONFALE

S1 Comportamento monolitico a lastra del tetto, con lesionamento della muratura di appoggio lungo la direzione delle falde, in corrispondenza dell'interfaccia tra la banchina in muratura e la sottostante muratura originaria. L'effetto del danno è combinato a quello prodotto dalle spinte localizzate delle travi in seguito all'effetto spingente a "lastra" della copertura

S2 Discontinuità da trasformazione nei nodi murari con le pareti laterali

MACROELEMENTO D – PARETE DI SPINA

S1 Discontinuità da trasformazione: grande apertura tamponata priva di adeguato ammorsamento e con parte soprastante discretizzata

S2 Discontinuità da trasformazione in nodo murario creata nella fase di ampliamento

S3 Effetti residui del cedimento fondale della facciata (Cfr. AS6)

MACROELEMENTO E – PARETE LATERALE SX

S1 Discontinuità verticali da trasformazione

S2 Cedimenti della fondazione

S3 Insufficienza strutturale da degrado: perdita di adesione e coesione tra gli elementi della muratura, crollo nella parte sommitale della muratura

MACROELEMENTO F – PARETE POSTERIORE lato SX

S1 Cedimenti della fondazione

S2 Insufficienza strutturale da degrado

S4 Discontinuità verticale da trasformazione

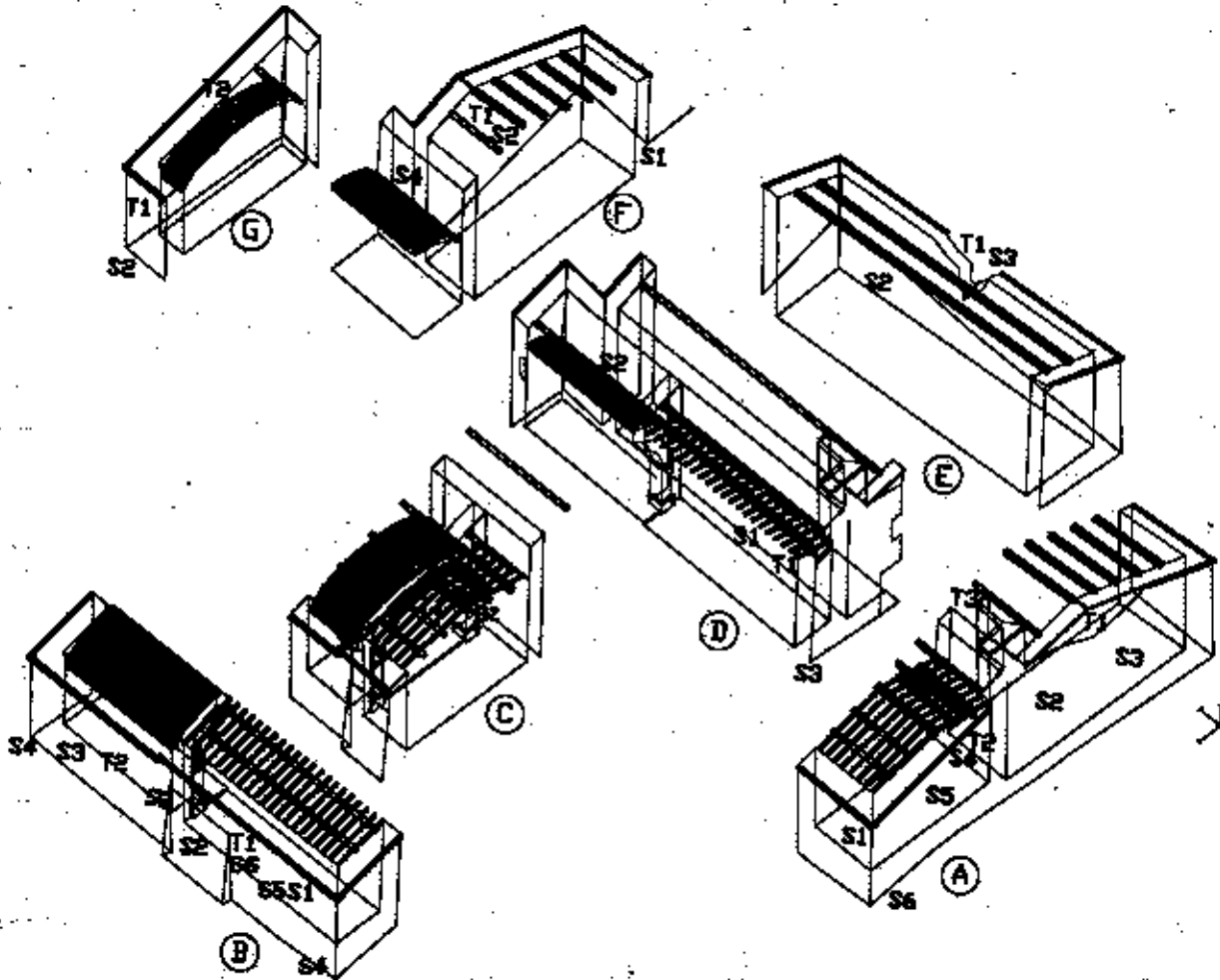
MACROELEMENTO G – PARETE POSTERIORE lato DX

S1 Discontinuità da trasformazione: il macroelemento è parte dell'ampliamento realizzato successivamente alla chiesa (ipotesi da verificare con saggio stratigrafico)

S2 Cedimento fondale dell'angolata

TETTO – H

S1 Insufficienza strutturale da degrado: marcata flessione delle travi della copertura con affossamento del manto di copertura



Schema della scomposizione della fabbrica in macroelementi con localizzazione delle vulnerabilità

SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO

ELENCO GENERALE DEGLI OBIETTIVI DI PROGETTO DELLA LISTA DI CONTROLLO

RIPARAZIONE

1 Ristabilimento della continuità tra parti di muratura separate o prive di adeguato ammorsamento a causa di trasformazioni costruttive

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **GS1-FS4-ES1-DS2-BS2-BS3-AS2-DS1**

2 Ricostruzione di continuità muraria della parte soprastante alla grande apertura tamponata

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **DS1**

3 Ripristino dell'adesione e coesione tra gli elementi che costituiscono la muratura

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **ES3-FS2-AT1**

4 Verifica della funzione del contrafforte in muratura e riparazione delle lesioni create da contrasti con parti laterali

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **BS6**

5 Risarcimento delle lesioni e degli effetti del danno

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **DT1-GT1-FT1-AT1-GT2**

CONSOLIDAMENTO STATICO

6 Rinfiaccio esterno della fondazione per contenere i cedimenti

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **AS6 – BS4-DS3 –ES2-FS1-GS2**

7 Consolidamento della muratura decoesa

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **ES3-FS2**

8 Consolidamento dei solai della canonica

9 Consolidamento del tetto e sostituzione delle travi ammalorate

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **HS1**

MANUTENZIONE

10 Revisione sistematica del sistema di copertura con sostituzioni di impalcati, media e minuta orditura, rimozione e ricollocazione manti. Verifica efficienza di grondaie e pluviali ed eventuali integrazioni

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **HS1**

11 Costruzione di un sistema di smaltimento acque meteoriche attraverso pozzetti di raccolta a terra

12 Rimozione intonaco di cemento, risanamento ed eventuale desalinizzazione delle superfici di muratura scoperte. Risarcitura dei giunti di malta degradati

13 Tinteggiatura e ripresa di intonaci

RICOSTRUZIONE

14 Reintegrazione della parte esterna del timpano crollata

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **AT1**

15 Reintegrazione della parte crollata

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **ET1-ES3**

Verifica eventuale presenza e natura della caldana.

(/a=indica gli interventi possibili in assenza di caldana. Nel

caso contrario questi interventi sono limitati al rinforzo delle sole parti raggiungibili senza la rimozione della caldana)

MIGLIORAMENTO SISMICO

16/a Contrasto dei meccanismi di spostamento fuori piano mediante verifica dei tiranti trasversali esistenti, realizzazione del cordolo con funzione di tirante, collegato al tavolato incrociato di irrigidimento

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **AT1- AT2 –DT1-ET1-FT1**

17 Solidarizzazione delle teste delle travi alla muratura per contenere lo sfilamento. Collegamento tra teste delle travi contrapposte e sostenute dallo stesso muro

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **GT2-AT1-CS1-AT2-FT1**

18 Solidarizzazione della vela sveltante alla muratura sottostante

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **AT3**

19/a Contenimento del comportamento monolitico a lastra del tetto attraverso il miglioramento della connessione tra tetto, muratura e l'eventuale interposta banchina in muratura. Realizzazione di cordolo ben ancorato alle parti sottostanti e collegato al tavolato incrociato di irrigidimento

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **AS4-CS1-BS1-AS1-BS7**

20/a Contrasto del meccanismo di spostamento fuori piano del pannello murario e miglioramento della connessione tra le murature e il tetto mediante inserimento di tirante trasversale nell'arco trionfale, realizzazione del cordolo tirante collegato al tavolato incrociato di irrigidimento e verifica del tirante trasversale esistente

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **BT1**

21/a Contrasto del meccanismo di spostamento fuori piano del pannello murario e miglioramento della connessione tra le murature e il tetto mediante inserimento di tirante trasversale e realizzazione del cordolo collegato al tavolato incrociato di irrigidimento

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **BT2 - GT1**

22 Contrasto del meccanismo di abbassamento in chiave dell'arco con l'inserimento di tirante. Connessione dei piedritti alle pareti perimetrali mediante tirantini

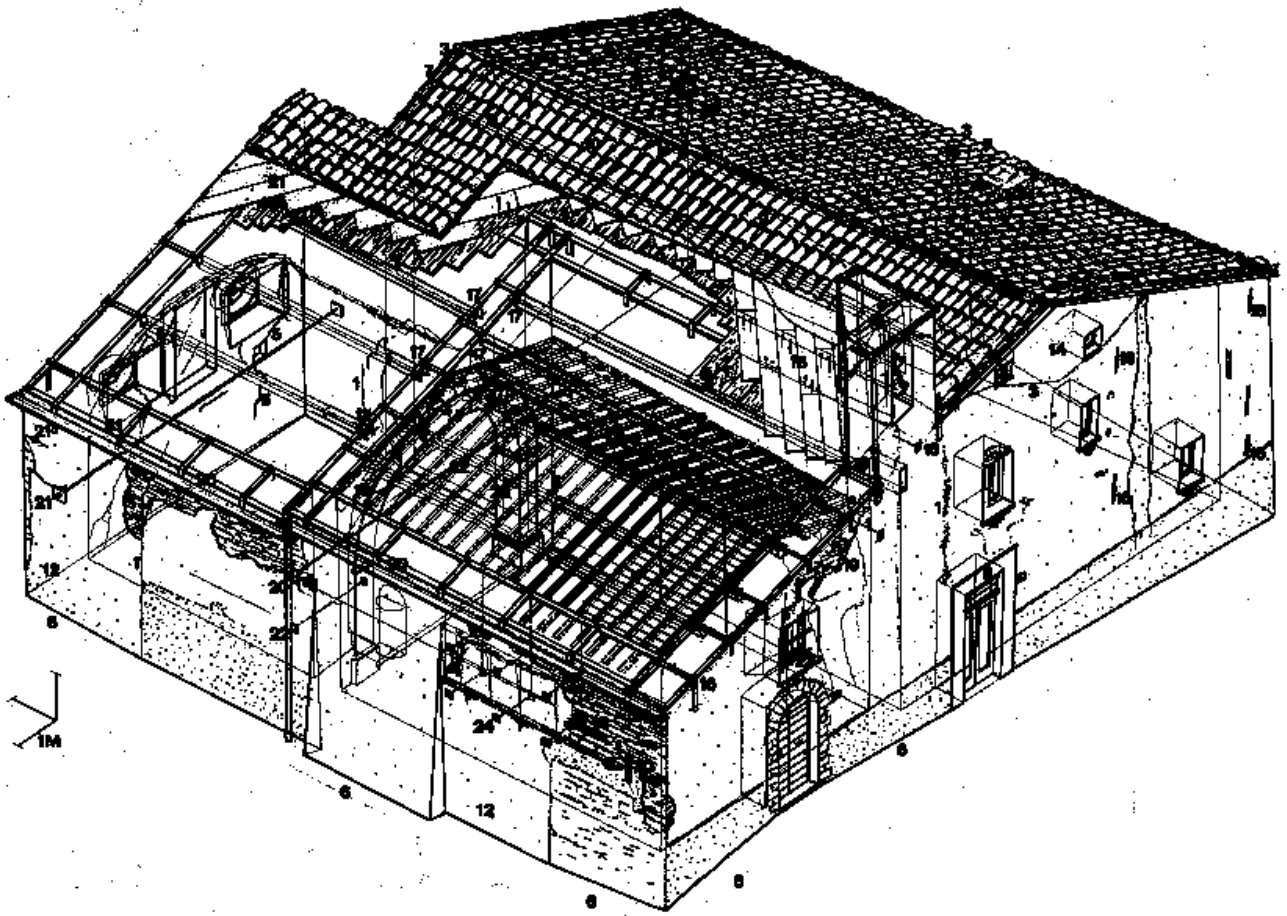
Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **CT1 – CS2**

23 Predisposizione, nel perimetro delle aperture, di elementi di tenuta per attenuare l'indebolimento della parete dovuta alla presenza di fori allineati verticalmente

Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **AS5**

24 Inserimento di elementi puntuali di tenuta orizzontale, nella sezione muraria a contenimento della progressione delle deformazioni e dei relativi imbozzamenti presenti sotto al cordolo murario

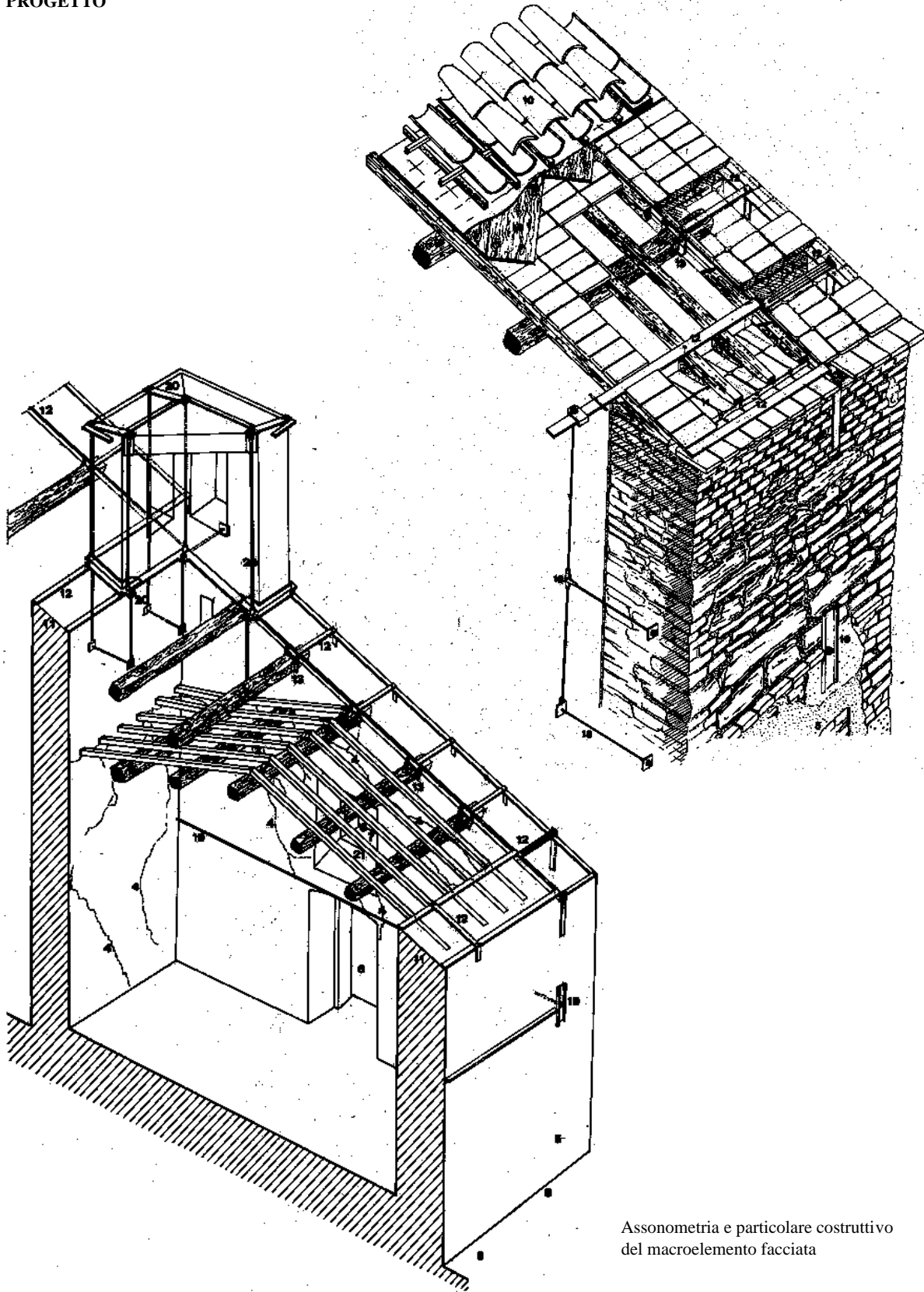
Rif. Vuln. tipiche e specifiche: **BS5**



Assonometria complessiva della fabbrica
con localizzazione degli interventi principali

SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO

PROGETTO



Assonometria e particolare costruttivo del macroelemento facciata

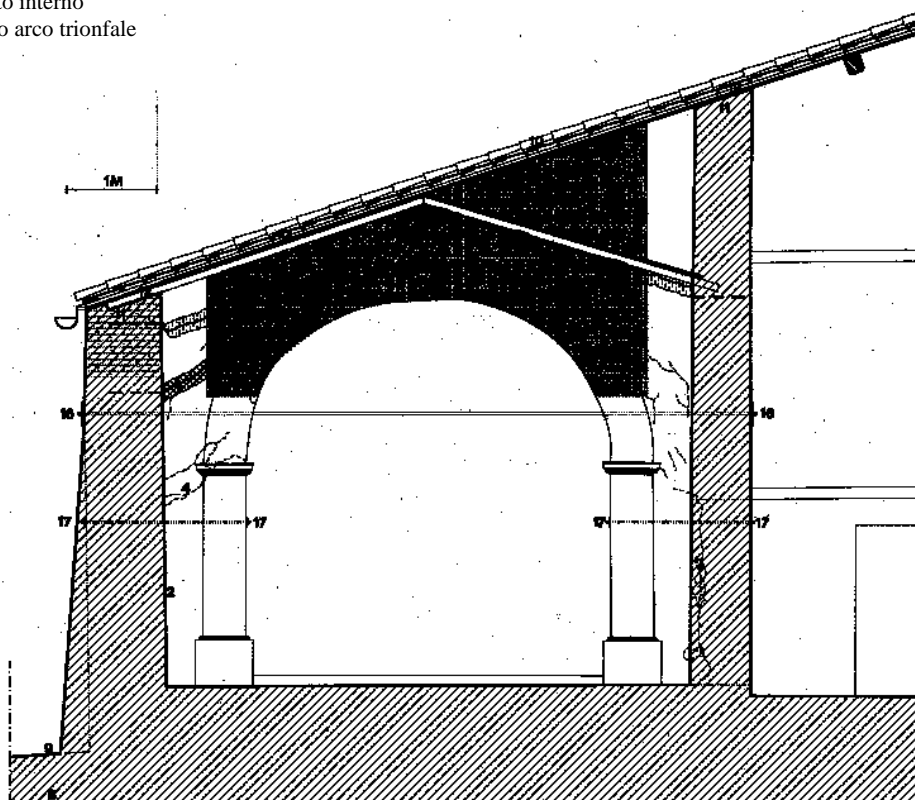
SASSOFERRATO – Fraz. LICETO – CHIESA DI S. SAVINO

PROGETTO

REF. Lista contiz.	Ref. Interv.	Codice	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI
			1 Rimozione dell'intonaco decesso. Scurittura ed asporto della malta degradata dei giunti Pulitura delle superfici con spazzole e/o acqua
1		2	2 Iniezioni adesive all'interfaccia tra parti della muratura non adeguatamente ammassate
2		3	3 Individuazione di cavità o vuoti all'interno della muratura e successive delimitazione di aree da sottoporre a colla di malta idraulica adesiva
3			
7			
4		4	4 Riarmo di lesioni attraverso iniezioni di malta adesive
5			
12		5	5 Rimozione dell'intonaco di cemento Verifica della presenza di umidità o sali nella superficie scoperta dalla muratura Eventuale desalinizzazione mediante: a) applicazione di impacchi di saponi con acqua b) eliminazione dell'umidità con pannelli morbidi e poca acqua
		6	6 Pulitura e risarcimento dei serramenti
		7	7 Pulitura delle infestazioni metalliche e trattamento protettivo
8		8	8 Rifianco esterno della fondazione, realizzato in muratura, lungo il lato dx e a ridosso. Lungo i lati di facciata a posteriori
11		9	9 Costruzione di un sistema di smaltimento acque meteoriche attraverso rete di canali e pozzi di raccolta a terra
10		10	10 Revisione sistemazione del sistema di copertura: Rimozione manti e smontaggio delle travi e delle tavole da risanare Rimozione manuale arbo infestanti e del materiale di deposito Spolveratura delle superfici scoperte del pianellato, scurittura ed asporto dell'eventuale malta degradata Lavaggio con acqua Trattamento antitero ed antimuffa delle tavole Rimontaggio e integrazione tavole (cfr. codice 14) Posa di guaina impermeabilizzante Doppie ordinate di listelli costruite da: a) listelli in legno dimensioni 4x4cm b) listelli in legno sagomato dimensionali 4x4/5cm Posa coppi precedentemente smontati e di eventuali nuovi in colto dimensioni uguali agli elementi esistenti: lunghezza 43 cm, larghezza ant. 20 cm, larghezza post. 15cm, altezza 6cm Staffa di supporto del listello di colmo, ganassi ferma colmi, profilo microforato sottocolmo, Rete antivotabile

REF. Lista contiz.	Ref. Interv.	Codice	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI
			1 Rimozione dell'intonaco decesso. Scurittura ed asporto della malta degradata dei giunti Pulitura delle superfici con spazzole e/o acqua
1		2	2 Iniezioni adesive all'interfaccia tra parti della muratura non adeguatamente ammassate
2		3	3 Individuazione di cavità o vuoti all'interno della muratura e successive delimitazione di aree da sottoporre a colla di malta idraulica adesiva
3			
7			
4		4	4 Riarmo di lesioni attraverso iniezioni di malta adesive
5			
12		5	5 Rimozione dell'intonaco di cemento Verifica della presenza di umidità o sali nella superficie scoperta dalla muratura Eventuale desalinizzazione mediante: a) applicazione di impacchi di saponi con acqua b) eliminazione dell'umidità con pannelli morbidi e poca acqua
		6	6 Pulitura e risarcimento dei serramenti
		7	7 Pulitura delle infestazioni metalliche e trattamento protettivo
8		8	8 Rifianco esterno della fondazione, realizzato in muratura, lungo il lato dx e a ridosso. Lungo i lati di facciata a posteriori
11		9	9 Costruzione di un sistema di smaltimento acque meteoriche attraverso rete di canali e pozzi di raccolta a terra
10		10	10 Revisione sistemazione del sistema di copertura: Rimozione manti e smontaggio delle travi e delle tavole da risanare Rimozione manuale arbo infestanti e del materiale di deposito Spolveratura delle superfici scoperte del pianellato, scurittura ed asporto dell'eventuale malta degradata Lavaggio con acqua Trattamento antitero ed antimuffa delle tavole Rimontaggio e integrazione tavole (cfr. codice 14) Posa di guaina impermeabilizzante Doppie ordinate di listelli costruite da: a) listelli in legno dimensioni 4x4cm b) listelli in legno sagomato dimensionali 4x4/5cm Posa coppi precedentemente smontati e di eventuali nuovi in colto dimensioni uguali agli elementi esistenti: lunghezza 43 cm, larghezza ant. 20 cm, larghezza post. 15cm, altezza 6cm Staffa di supporto del listello di colmo, ganassi ferma colmi, profilo microforato sottocolmo, Rete antivotabile

Sezione e prospetto interno del macroelemento arco trionfale



PARTE PRIMA

10.5. CASA CASTELLANI A S. IPPOLITO (PS)

Giovanna Minardi

10.5.1. Descrizione dei caratteri del manufatto

L'edificio padronale, legato alla presenza di possedimenti fondiari, presenta riferimenti aulici espressi con materiali e tecniche locali. Nell'insieme il complesso fonde, riunificandoli, tratti della cultura borghese cittadina del XIX secolo ad aspetti dell'abitazione rurale.

Componenti strutturali

Strutture verticali

Pietra arenaria, laterizio, pietra rosa del Furlo sono i materiali utilizzati per la costruzione delle murature. Si tratta di materiali reperibili nelle vicinanze, a ribadire, come altrove, il forte legame tra architettura e materiale localmente disponibile.

La muratura presenta una tessitura a corsi orizzontali con disposizione non sempre regolare, legata con malta di calce che ha in parte perduto le caratteristiche di adesione-coesione tra i giunti murari.

L'analisi stratigrafica permette di individuare due principali fasi costruttive, caratterizzate dall'utilizzo di materiali diversi: muratura mista, con prevalenza di mattoni, nella prima fase, già documentata nel XVIII secolo; arenaria nella seconda fase di ampliamento, documentata come già realizzata al 1875.

Strutture orizzontali

Solai

I solai, in legno, sono diversamente orditi nei vari ambienti, secondo le seguenti tipologie costruttive:

- orditura doppia, con travi principali, travetti secondari, piano di mattoni;
 - travi principali, tavolato in legno, pavimento a mattoni;
 - soffitto in "camorcanna" decorato a tempera.
- La pavimentazione è costituita da mattoni, disposti a corsi orizzontali o a spina di pesce.

Volte

Al piano terra, la volta "a ombrello" strutturale è costituita da mattoni in foglio, su cui poggia il solaio, e presenta scarsi ammorsamenti alla muratura verticale. Ha subito alcuni crolli parziali ed è complessivamente pericolante.

Nella chiesetta annessa alla casa padronale la volta è costituita da stuoia di canne intonacata collegata alla struttura portante di copertura, formata da travi principali, travetti in legno e mattoni su cui poggia il manto in coppi; in pessime condizioni di conservazione, presenta crolli di parti.

Copertura

Il tetto è formato a quattro spioventi con orditura in legno, costituita da puntoni, travi principali e travetti



secondari; si trova in condizioni al limite del crollo complessivo, essendo già crollata la trave di colmo e altre orditure principali e secondarie.

10.5.2. Descrizione dello stato di degrado e delle carenze manutentive

L'edificio versa in uno stato di grave degrado, in larga parte dovuto a forti carenze manutentive, che hanno esposto l'edificio ad attacchi di vario tipo.

Le murature presentano diffusi fenomeni di degrado proprio dei singoli componenti lapidei o laterizi, quali "polverizzazioni, erosioni, esfoliazioni, scagliature" (vedi Lessico contenuto nelle raccomandazioni Normal 1/88), fino a giungere a significative perdite di sezione; processi causati, oltre che dagli agenti atmosferici e dalla gelività, dallo sviluppo di microrganismi. I giunti murari risultano fortemente decoesi ed erosi, a causa di azioni combinate di tipo chimico, fisico e biologico, oltre che per la composizione propria della malta, con scarsa presenza di legante.

Gli intonaci che coprono le pareti degli ambienti interni, a base di malta di calce, presentano in più punti fenomeni di distacco. Le pitture murali a tempera, eseguite su base di intonaco e gesso, risultano fortemente degradate, con fenomeni di distacco, lacune e alterazioni cromatiche. Le strutture orizzontali versano in stato di degrado, con attacco di funghi, insetti e fenomeni di marcescenza. Il crollo della trave di colmo della copertura e di alcune travi causa l'ingresso di acqua meteorica all'interno dell'edificio, aggravando i danni.

10.5.3. Descrizione del dissesto statico-sismico con livello di danno

Vulnerabilità tipiche e specifiche Descrizione dei meccanismi

Il danno presente è in gran parte dovuto a dissesti strutturali pregressi, di origine statica e sismica. Tali dissesti riguardano le fondazioni, la struttura muraria, le strutture orizzontali (solai, volte e copertura).

Lesioni profonde nei macroelementi testimoniano la presenza di dissesti di fondazione per traslazione verticale e orizzontale, riconducibili, rispettivamente, a cedimenti e contrazioni verticali del terreno e a contrazioni e dilatazioni alternate del terreno argilloso. Il livello più alto di danno alle fondazioni è rilevabile in corrispondenza del nucleo più antico (parete laterale nord).

Le strutture orizzontali presentano inflessioni delle travi principali e cedimento degli appoggi; l'impalcato non rigido e la mancanza di connessione efficace tra strutture verticali e orizzontali, facilitano gli spancamenti e i fuoripiombo, rilevabili sulle pareti esterne. Il livello maggiore di danno raggiunto, nel nucleo più antico, è pari a 4.5, con "evidenza macroscopica di dissesti e di meccanismi prossimi alla fase di ultimo spostamento, con parti al limite del crollo, a seguito di dissesti di forte entità, con crolli".

Il corpo della chiesa versa in pessimo stato, con crolli ed espulsioni di materiali, raggiungendo un livello di danno pari a 4.5.

In generale, nell'edificio le lesioni tendono a disporsi in ampi fasci, con fenomeni di deformazione associati a decoesioni diffuse, come solitamente accade in caso di murature formate da pietrame di pezzatura variabile, legate con malte povere. In questi casi l'interpretazione del danno attraverso i meccanismi appare più difficoltosa, per la disgregazione diffusa che ne deriva. Tra le vulnerabilità specifiche si individuano:

- mancanza di connessioni efficaci tra strutture orizzontali e verticali, in grado di trattenere le parti (impalcato non rigido);
- modalità costruttive iniziali, con materiali poveri;
- trasformazioni successive (riprese costruttive con ammorsamenti in rottura, tamponamenti di aperture,...);
- degrado proprio dei materiali e degli elementi costitutivi.

I dissesti strutturali diffusi nell'edificio potrebbero portare, in assenza di opportuni interventi atti ad arrestare e contrastare i processi in atto, ad un progressivo peggioramento dello stato di danno del manufatto, con successiva, probabile perdita dello stesso. In particolare, i meccanismi probabili o possibili in caso di sisma, che riguardano i macroelementi "pareti portanti" e "pareti di spina", sono: "rotazione fuori piano delle pareti con distacco dalle pareti ortogonali"; "spinte localizzate del tetto e delle strutture orizzontali", "deformazioni nel piano" (lesionamento per taglio).

10.5.4. Descrizione del danno presente

1. Lesioni a lembi complanari inclinate dalla parte del cedimento, tendenti alla verticalità verso il profilo superiore.
2. Lesioni inclinate a lembi complanari, manifestano locali espulsioni di intonaco; interessano il pannello murario e proseguono nel soffitto in "camorcanna".
3. Lesione profonda nella muratura; si innesca in corrispondenza del pavimento e interessa l'altezza del pannello murario; presenta lembi sullo stesso piano ma visibilmente distaccati, con tendenza all'espulsione e al crollo dell'angolata della chiesa.
4. Lesioni diffuse, a lembi complanari, in prossimità delle teste delle travi lignee, dovute all'azione di martellamento dei solai e del tetto.
5. Crollo di solaio per il cedimento di trave in legno.
6. Dissesto della volta in "cannucciato" con crollo parziale di intonaco, travi, pianelle in cotto.
7. Dissesto della volta a crociera in foglio, con crollo di parte della stessa: mattoni, travetti e materiale di riempimento.
8. Crollo di parte della copertura per il cedimento della trave di colmo.
9. Decoesione totale della muratura interessata da espulsioni locali di materiale e distacco del paramento esterno dal sacco murario.
10. Lesione ad andamento obliquo, presenta lembi su piani diversi, denunciando una traslazione di parte del blocco murario, dovuta alla spinta delle travi di copertura.
11. Lesione profonda ad andamento obliquo, con lembi complanari ma visibilmente staccati, denuncia

una rottura prevalente nel piano del pannello murario, ma con tendenza alla traslazione verso l'esterno di parte del pannello stesso.

12. Lesioni in corrispondenza dei travetti di copertura della chiesa; i lembi delle lesioni, su piani diversi, fanno intuire il movimento fuori piano, dovuto alla spinta localizzata del tetto.

10.5.5. Ipotesi interpretativa del danno osservabile Meccanismi attivati

a1. Probabile cedimento della fondazione per traslazione verticale. Le fessurazioni prediligono le zone di minore resistenza, come le aperture e sono inclinate dalla parte del cedimento.

a2. Probabile cedimento della fondazione per traslazione orizzontale; l'inclinazione della lesione volge dalla parte del cedimento.

a3. Probabile meccanismo di rotazione secondaria come conseguenza della traslazione; esso determina il moto di una parte della struttura, diretto dalla parte dell'osservatore.

a 4. Dissesto della volta, causato da una spinta eccessiva della stessa contro i muri di fabbrica, unita ad un probabile dissesto delle fondazioni.

a 5. Dissesto delle strutture orizzontali in legno (solai

e copertura) per la marcata inflessione dell'orditura portante e il cedimento degli appoggi.

10.5.6. Meccanismi probabili o possibili

b1. Dissesto dei solai in legno e della copertura per inflessione delle travi e cedimento degli appoggi.

b2. Rotazione fuori piano delle pareti con distacco dalle pareti ortogonali.

b3. Spinte localizzate del tetto e delle strutture orizzontali (solai e volte) per la presenza di impalcato non rigido.

b4. Deformazioni angolari nel piano (lesionamento per taglio) determinate dall'azione nel piano delle pareti.

10.5.7. Forme di vulnerabilità specifica

c1. Connessione tra elementi del tetto e muratura e tra strutture orizzontali e muratura: la struttura in legno del tetto e dei solai é priva di connessioni efficaci, in grado di trattenere le parti; impalcato deformabile.

c2. Modalità costruttive iniziali: muratura mista in pietra arenaria e laterizio secondo la tradizione costruttiva locale.

c3. Processi di trasformazione edilizia: sono presenti due nuclei costruiti in epoche differenti (XVIII secolo, il più antico, metà del XIX il secondo)



c4. Dissesti pregressi: numerosi i dissesti pregressi: in fondazione, in copertura, nei solai e nella volta, nelle murature.

c5. Degrado proprio dei materiali e degli elementi costitutivi: la mancata manutenzione è causa del forte degrado dei materiali di cui è costituito il manufatto: pietra, laterizio, legno, che contribuisce all'indebolimento della struttura; il comportamento delle strutture lignee è influenzato dallo stato di conservazione.

c6. Interventi di restauro eseguiti: negli anni '70 è stato rifatto il solaio di un ambiente al piano primo, con travi in legno e tavelle in laterizio.

10.5.8. Criteri di progetto

Gli obiettivi principali del progetto di restauro consistono nell'arresto dei processi di degrado e dissesto in atto, nel conferire una maggiore resistenza statica e sismica all'edificio al fine di consentirne l'uso, operando per quanto possibile nel rispetto delle strutture e finiture esistenti, con interventi ad invasività controlla-

ta in rapporto alla patologia da risolvere. Si tende a ridurre le sostituzioni delle parti strutturali, puntando per quanto possibile al consolidamento e/o all'affiancamento con strutture collaboranti, mirando alla conservazione materiale e alla valorizzazione dei caratteri presenti.

Tali obiettivi vengono realizzati mediante un insieme di opere, ciascuna delle quali rivolta ad una precisa finalità e tematicità, pur essendo tra loro connesse e complementari.

Si individuano così le seguenti categorie di intervento:

- Riparazione (es. ricostituzione di continuità muraria in corrispondenza di lesioni, risarcimento di crolli parziali, ecc.);
- Consolidamento statico (es. interventi di allargamento fondale in presenza di dissesti accertati, aumento delle caratteristiche meccaniche delle murature a mezzo di iniezioni con calce idrauliche, aumento di capacità portante di solai e volte);
- Manutenzione (es. risarcitura dei giunti perduti,



Foto: degrado della pietra arenaria, con significative perdite di sezione.



Foto: distacco e crollo parziale del paramento in mattoni e pietra dal nucleo interno. Si osserva all'interno della muratura un elemento ligneo in parte degradato, probabilmente con funzioni iniziali di cordolo-tirante.



Foto: degrado della pietra arenaria, con significative perdite di sezione.



Foto: distacchi del paramento dal nucleo. Si osserva la testa esterna di un elemento ligneo principale, priva di elementi metallici di ritegno.

manutenzione manti di copertura, infissi, sistemi di protezione e allontanamento delle acque, ecc.);

- Miglioramento antisismico (es. apposizione dei tiranti ai vari piani, cordolo-tirante terminale, connessioni tra elementi lignei di solai e tetto con le murature, parziale irrigidimento di impalcati e falde con sovrapposizione di nuovi impalcati collaboranti, ecc.);

- Arresto del degrado. Interventi conservativi sulle parti e sui materiali (es. trattamenti consolidanti e idrorepellenti su arenarie e cotto, con silicato di etile e silossani, ecc.);

- Restauro e finitura di superfici (es. fissatura e restauro di decorazioni a tempera interne agli ambienti, risarcitura di superfici esterne con malta di calce a raso, ecc.)

- Dotazioni per l'uso e la fruizione (es. realizzazione di servizi igienici nelle zone a minor impatto, dotazioni impiantistiche con tracciati affiancati ai consolidamenti, ecc.).

Gli interventi saranno mirati e differenziati, in rapporto allo stato di ogni macroelemento e delle sue parti. Gli interventi sono localizzati nel progetto apponendo la sigla della voce di elenco prezzi corrispondente, sui grafici di insieme e sui particolari costruttivi (vedi esemplificazione alle pagine successive).

RELIEVO METRICO, ARCHITETTONICO - COSTRUTTIVO E DEL DEGRADO

parti sezionate in pianta e in alzato	parti viste in pianta e in alzato	RELIEVO METRICO
		Quota di riferimento e linea di livellazione orizzontale corrispondente
		Quote altimetriche
		Principali quote planimetriche

RELIEVO DEI CARATTERI ARCHITETTONICI E COSTRUTTIVI

PARTI STRUTTURALI DI ANTICA COSTRUZIONE

- A architravi
- C cornicioni
- M murature
- B solai: 1, in legno monoordito - 2, in legno biordito...
- T tetti
- TI Tiranti metallici: 1, in ferro forgiato - 2, collegati a elementi lignei
- V volte

SUPERFICIE E ELEMENTI DI FINITURA

- MV muratura e vista
- I intonaco
- A affreschi
- P pavimenti
- AF arredi fissi
- AM arredi mobili
- PM pilure murali e tempera

RELIEVO DEI FENOMENI DI DEGRADO O FATTONI CHE RIDUCONO L'EFFICIENZA STRUTTURALE

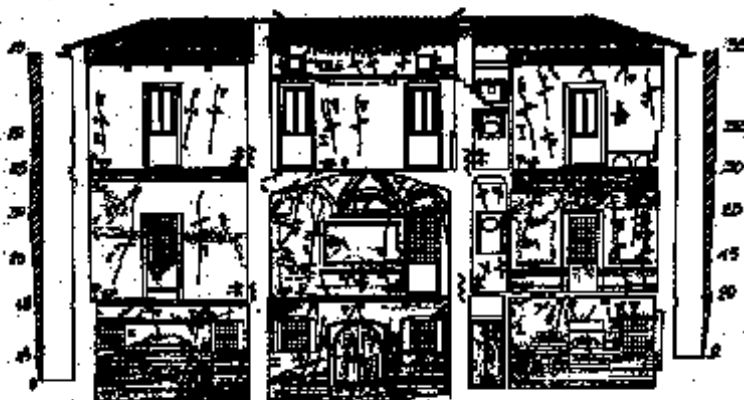
DECONTINUITA' COSTRUTTIVE	
	Angolo o spalto con riprese costruttive accostate senza armamentamento
	Discontinuita' costruttiva in nodo murario (trauo accostato senza moesa)
	Riprese costruttive con armamentamento in rottura
	Riprese costruttive per sopraelevazione
	Presenza di canna fumaria
	Rapporto di appoggi e... di sostegno a... copre, ecc... indica posteriorita'

RELIEVO DEL QUADRO FESSURATIVO E DEFORMATIVO

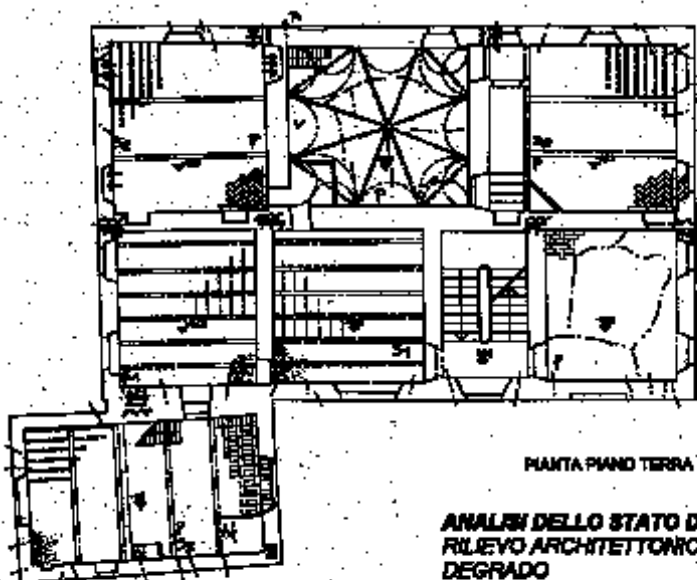
parti sezionate in pianta e in alzato	parti viste in pianta e in alzato	DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI DEL DASSISTO SULLA MATERIA DELLA COSTRUZIONE (DANNI FRICI)
		Fessurazioni, fratture e lesioni di vario tipo: inserire nei grafici (sulle superfici viste) i tracciati reali, con segno tendenzialmente proporzionale all'entita' della lesione (es. tratto 0,15: ampiezza fino a 3mm., 0,3 da 3 mm. a 1 cm., 0,5 da 1 cm. A 3 cm., doppio tratto oltre 3 cm.). Nelle parti sezionate in pianta e in sezione verticale, segnare il punto di incidenza della lesione su ciascuna delle due superfici murarie
		Proiezione in pianta di lesioni su volte o archi soprastanti
		Fessurazioni concentriche, discazioni localizzate con o senza separazione di parti, conguanti di intonaco (in genere riconducibili a fenomeni di schiacciamento, mazzellamento, punzonamento di travi all'appoggio, ecc.)
		Decollazione diffusa di muratura (perdita di aderenza tra malta e supporti), cavillature diffuse e lesioni ravvicinate non descrivibili graficamente, sconnessori di impalcati in cotto
		Sfilamento (di elemento ligneo dalla sede nella muratura), sfilamento o scostamento con giunto chiuso (tra elementi in pietra o blocchi in muratura) - in mm. la dislocazione
		Rottura di tiranti in metallo o in legno, deformazione grave di capofila
		Crolli di parti e/o caduta di elementi da paramenti (segnare bordo di crollo e ricostruzione virtuale della parte crollata, in base a rilievi, documentazione fotografica, ecc.)
ELEMENTI DESCRITTIVI E DI MISURA LOCALE:		
		Rilevamento locale dell'ampiezza della lesione e valore di spostamento relativo tra i cigli di lesione (tratto che unisce i punti complementari di distacco dei due cigli)
		Idem, con dislocazione fuori dal piano dei muri dei cigli di lesione (la parte inferiore appella verso l'esterno)
CONFIGURAZIONE COMPLESSIVA DEL RAMO DI LESIONE		
		a cigli paralleli, con vettore ortogonale ad essi (simbolo: rettangolo)
		a cigli paralleli, con vettore non ortogonale (simbolo: rombo)
		a simboli che si divergono partendo dall'apice della lesione (simbolo: triangolo)
		a cigli che si divergono partendo già separati (simbolo: trapezio)
Variazione di piano in corrispondenza di lesioni		
DESCRIZIONE E MISURA DEGLI SPOSTAMENTI RICONDUCEBILI AL DASSISTO (MODIFICAZIONI GEOMETRICHE)		
		Rilevo dello spostamento dalla verticalita' o dalla orizzontalita', come misura in mm. dello spostamento dei punti rilevati dalla linea verticale o orizzontale di riferimento ed enfatizzazione (x 5 o x 10) della scala dello spostamento. Lo spostamento rilevato dalla congiunzione dei punti rilevati puo' essere ruotato di 90° per rendere apprezzabili in prospetto gli spostamenti fuori piano.



PROSPETTO NORD



SEZIONE D - D



PIANTA PIANO TERRA

**ANALISI DELLO STATO DI FATTO :
RILEVO ARCHITETTONICO - COSTRUTTIVO E DEL
DEGRADO
RILEVO DEL QUADRO FESSURATIVO E
DEFORMATIVO**

ELenco dei principali interventi**PE-STRUTTURE DI FONDAZIONE**

PE.1 b2-Ricavo di terreno per la ricerca dei piani originali. PE.2 b2-Scavo di sottosuolo all'interno del vano. PE.2b4-Concedimento moderato edificatorio con cortiletti in cemento senza aereni alla muratura esistente. PE.2b4-Correttivo/moderato moderato edificatorio da impianti all'interno del vano.

PE-MURATURE

PE.1b-c2-Rinforzo, parete esistente esistente della muratura della muratura in pietra e mattoni. PE.2 b2- Per-correttivo/moderato con integrali di malta di calce bianca esistente. PE.2b-c2-Rinforzo e consolidamento murature esistente in malta di calce bianca. In-pietra e mattoni. PE.2 b2- Ripresa di rinvio in malta di calce bianca con integrali. PE.2 b-c2-Opera di abbeveramento in malta e pietra. PE.2 g1-Montare in legno, con malta fessile. PE.2b g1-Rinforzo di pareti in malta (piani)

PE-MATERIE ALIACIDE-INTERVENTI CONSERVATIVI

PE.1a7-Intarsi di intonaco da scampati su scampati di cemento e di malta. PE.2a2-Pittura di passanti nuovi in pietra e mattoni.

PE.2a2-Concedimento di passanti nuovi in pietra e mattoni.

PE.2a2-Trattamento protettivo di passanti in pietra e mattoni.

PE.6 a2-Trattamento di muratura senza fessure

PE-OPERE INTERIORE

PE.2 T1-Rinforzo di malta esistente. PE.2 T1-Rinforzo di intarsi su pareti e soffitti scampati in cemento. PE.2 T1-Rinforzo, parete esistente, di intonaco per intarsi. PE.2 T1-Rinforzo a tutto di calce. PE.2 e-T1-Rinforzo con malta di cemento in pietra e mattoni

PE-OPERE ALTERNATIVE, STRUTTURE MOLTE E COPERTURE

PE.1a2-Rinforzo di malta esistente con malta protettiva in legno.

PE.2a2-Rinforzo calce bianca sopra malta di calce. PE.2b-c2-Concedimento di malta in legno, malta sovrapposizione di malta esistente sul travaso esistente. PE.2 b-c2-Rinforzo di malta sopra esistente. PE.2 a2- Pitture di calce in legno del vano. PE.2 b-c2-Opera e consolidamento del tetto in "cemento" "spina".

PE.2b-c2-Concedimento e dipintura di volte e archi con travasi fessili e senza. PE.2b c2-Rinforzo della parte esistente. dal. tutto con pezzi in opera di legno di recupero. PE.2b c2-Disegnare la struttura esistente al muro di appoggio esistente in sostituzione di malta esistente in malta.

PE-PANNELLI-OPERE

PE.1 T1-Fornire e posa in opera di pavimenti in calce. PE.2 e-T1-Rinforzo esistente in malta, muratura, cemento e travaso.

PE.2 T1-Rinforzo di pavimentazione in calce. PE.2 g2-Operazioni di rete e calce in legno. PE.2 e-T1-Rinforzo di gronda in pietra. PE.2 a1-Rinforzo e dipintura delle parti esistenti e recupero della ruggine.

PE-TETTI

PE.2b-c2-Concedimento di cemento moderato applicazione di tinte esistente

PE-OPERE MANI

PE.2a2-Rinforzo di superfici di malta moderato rinforzo e consolidamento della poltrona esistente

PE-OPERE DI MANI-OPERE

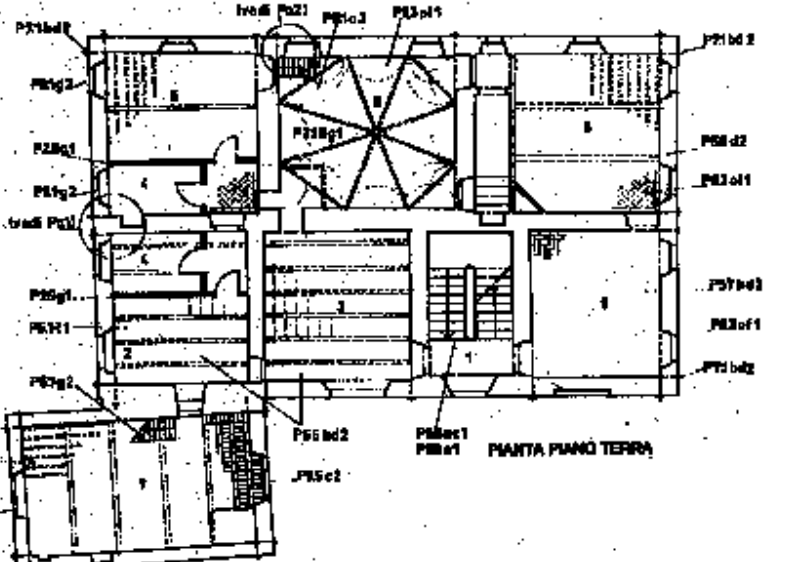
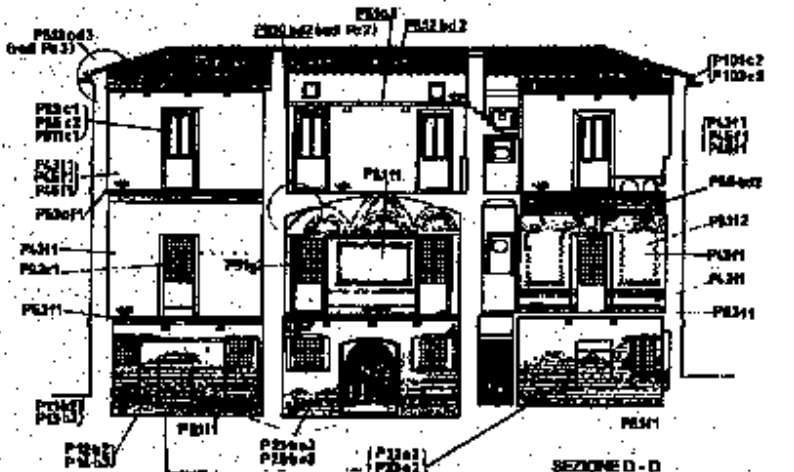
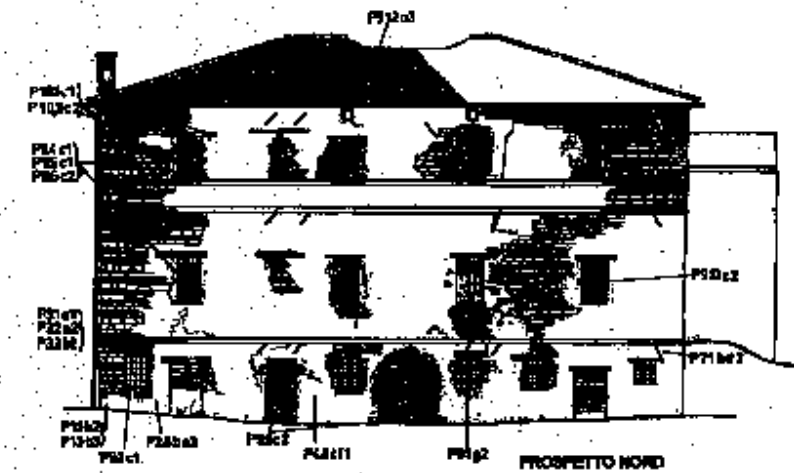
PE.2g2-Riparare le parti in opera. PE.2 e1-Trattamento di elementi in ferro di protezione fessure. PE.2c1-Rinforzo di intarsi e cementi esistenti e intarsi degradati. PE.2c1-Rinforzo di intarsi e cementi esistenti e intarsi degradati non recuperabili. PE.2c1-Rinforzo di intarsi esistenti o intarsi degradati. PE.2c1-Rinforzo di pavimenti in legno: travaso, rivestimento, malta e travaso. PE.2c1-Rinforzo e posa in opera di pavimenti esistenti d'intonaco in legno e due pezzi. PE.2c1-Rinforzo e posa in opera di pavimenti in legno d'abete con volte normali. PE.2c1-Rinforzo e posa in opera di pavimenti in legno d'abete.

PE-COPERTURE E COPERTURE MANI

PE.1a2-Rinforzo di canali di gronda e relativi dispendi piccoli degradati. PE.2a2-Rinforzo e posa in opera di canali di gronda e dispendi piccoli in opera

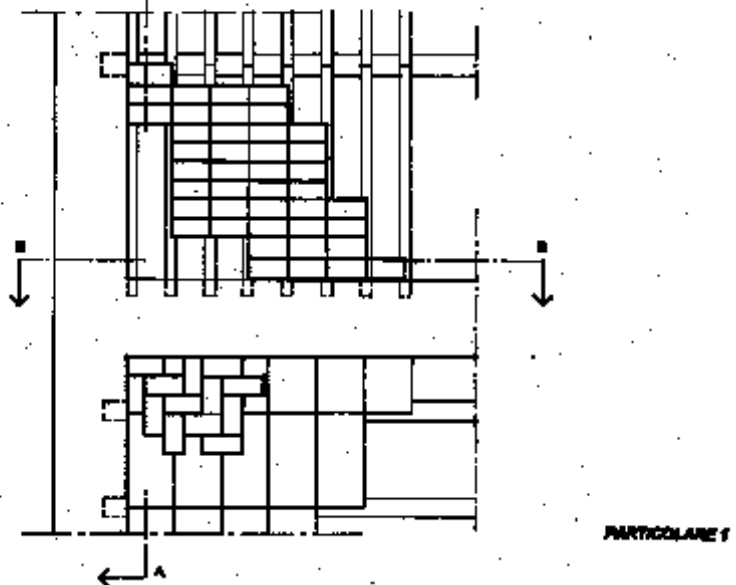
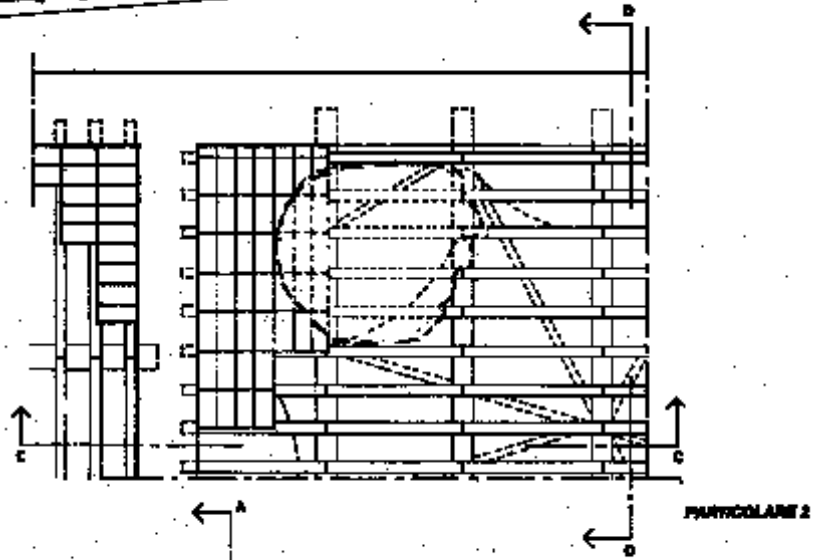
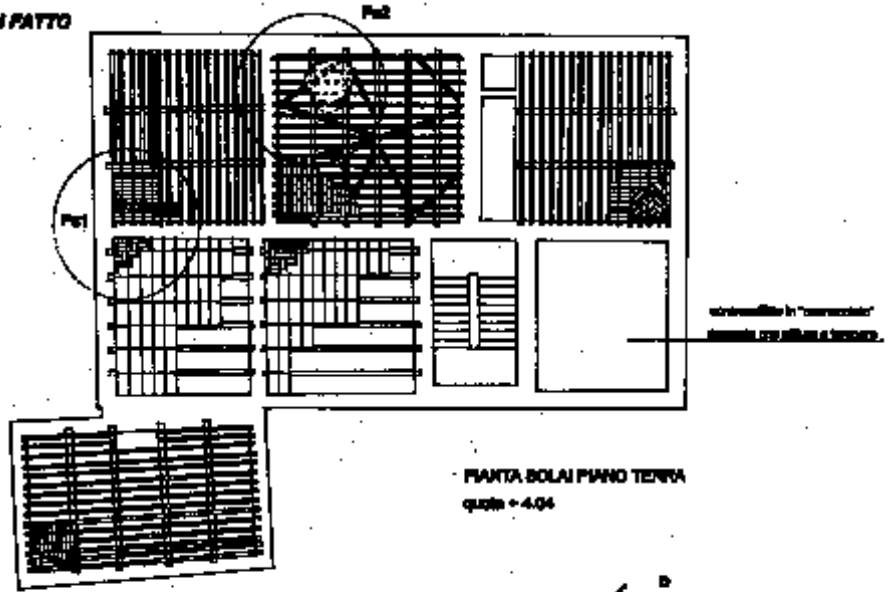
PROGETTO GENERALE DI INTERVENTO
(PROGETTO DEFINITIVO)

simbolo	simbolo	LEGGI, PROFILI E QUOTE DI PROGETTO
		Profilo in sezione di traliccio a vista presso il lato stato di fatto con accorciamento in progetto (considerare come ricostruzione)
		Profilo in sezione di muratura a vista presso il lato stato di fatto e completato in progetto
		Analisi di tutti le parti strutturali di cemento, acciaio o acciaio-inferri
		Distribuzione degli scalari
+4.00	+4.00	Quota allineata dello stato di fatto esistente in progetto
+4.00 (+0.00)	+4.00 (+0.00)	Quota allineata di progetto diversa dallo stato di fatto
		Tiranti
Pa 4	Pa 4	Muro a paramenti sovrapposti
PLA 2	PLA 2	Segno di riferimento per l'individuazione e descrizione degli interventi fuori di norma pratici. Preveduto il tipo di intervento di tipo preventivo e non di tipo di intervento

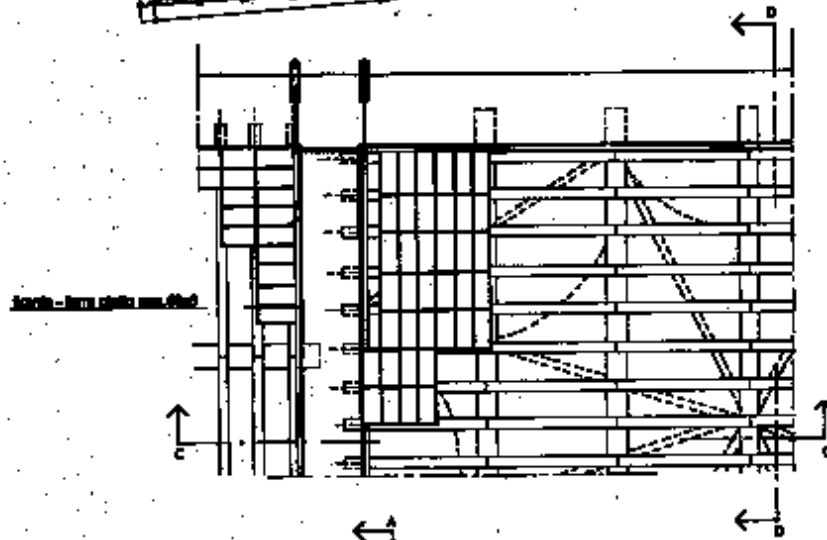
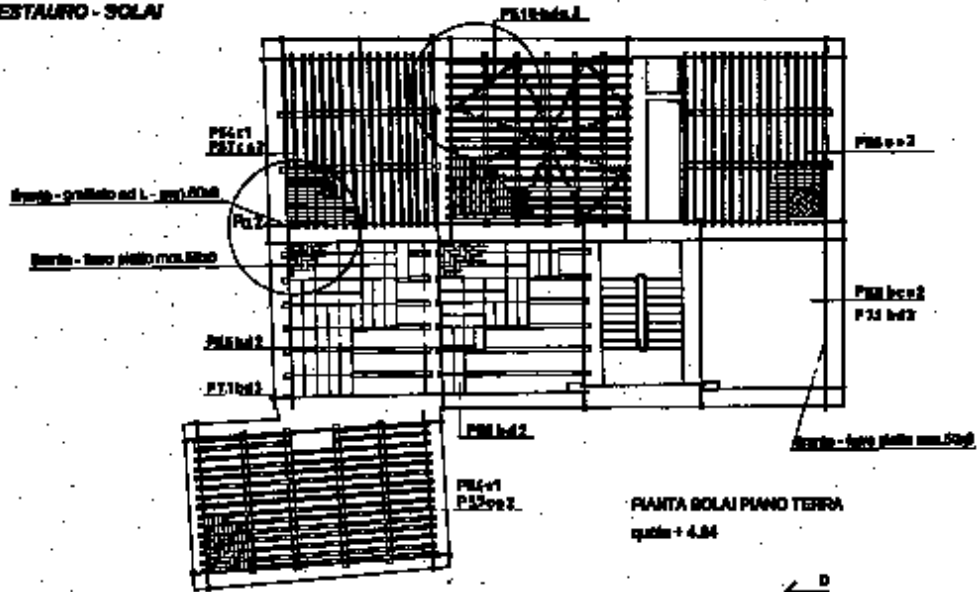


- Distribuzione degli ambienti**
1. ingresso principale
 2. ingresso secondario
 3. salotto
 4. bagno
 5. ambiente con piano rialzato
 6. Camera da letto
 7. studio - biblioteca

**ANALISI DELLO STATO DI FATTO
SOLAI**

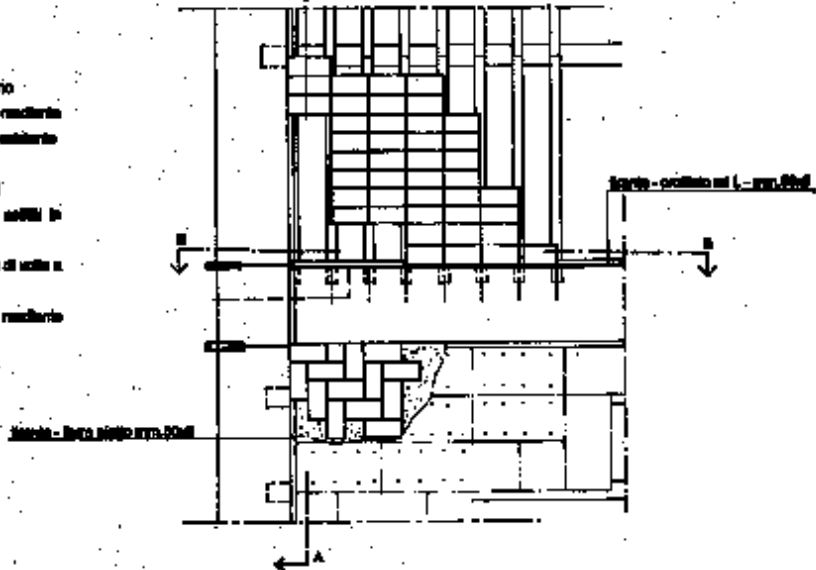


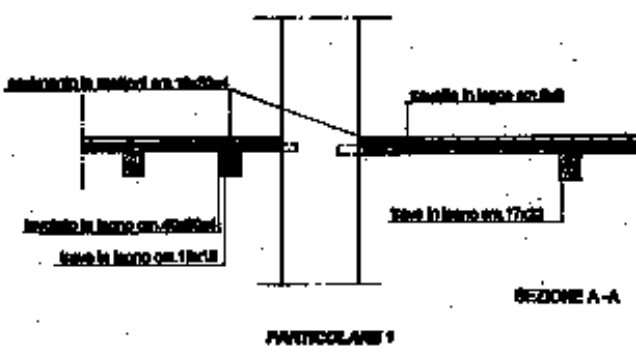
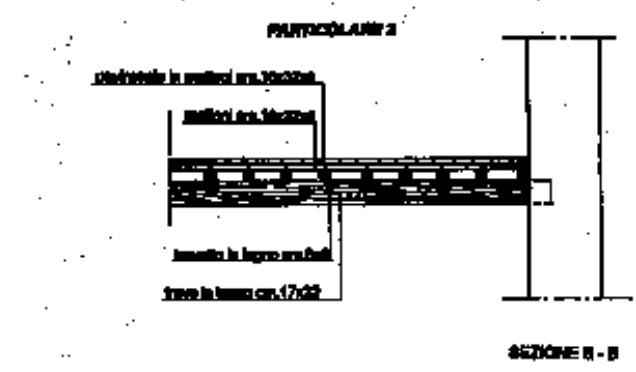
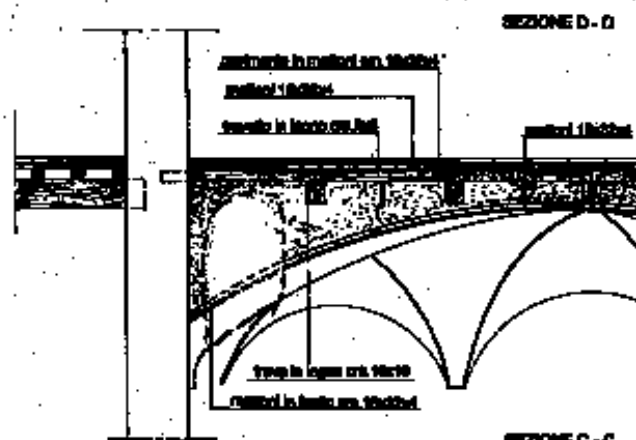
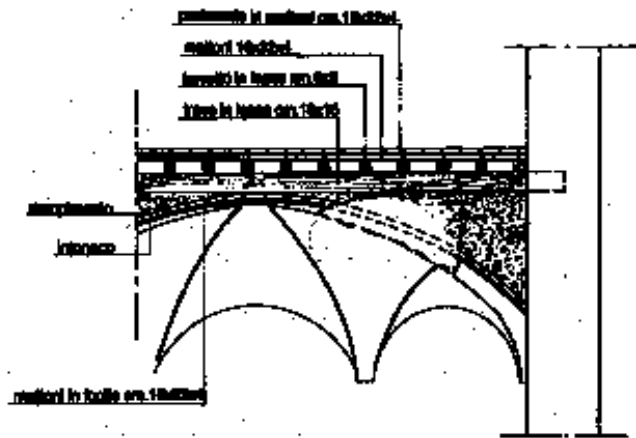
PROGETTO DI RESTAURO - SOLAI



Stile delle principali lavorazioni

- P14 a1 - Restaura strutture lignee esisto di piano
- P14 b-d1 - Consolidamento di esisto in legno, mediante iniezioni di resina epossidica sul modello esistente
- P14 b-d2 - Restaura di esisto legno decorato
- P14 b-d3 - Pulitura di esisto in legno dai sali
- P14 b-d4 - Restaura e consolidamento di esisto in "serramenti" lignei
- P14 b-d5 - Consolidamento e risegonatura di esisto a sezione con tralicci in ferro
- P14 b-d6 - Consolidamento di strutture murarie applicando di "tutti" resine





PROGETTO DI RESTAURO - SOLAI

Lista delle principali lavorazioni

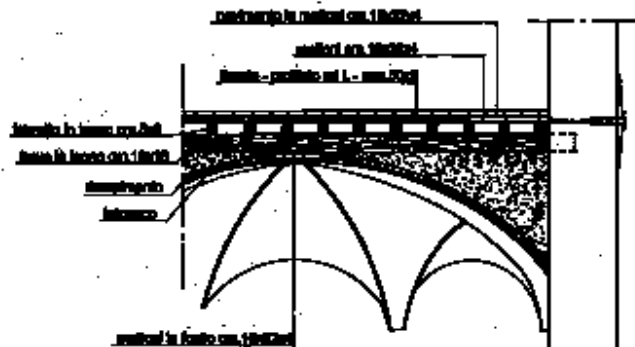
- FS.4.01 - Restituisce struttura lignea esposta di piano
- FS.5.1-02 - Consolidamento di volte in legno, mediante sovrapposizione di nuovo intonaco sul rivestimento esistente
- FS.6.0-02 - Realizzazione di soffitti lignei decorati
- FS.7.0-02 - Pulitura di soffitti in legno del solaio
- FS.8.1-02-03 - Restituisce e consolidamento di soffitti in "cassonetti" dipinti
- FS.11.1-02 - Consolidamento di strutture murarie mediante applicazione di tiranti metallici

Il consolidamento delle volte in foglio si presenta particolarmente delicato e complesso.

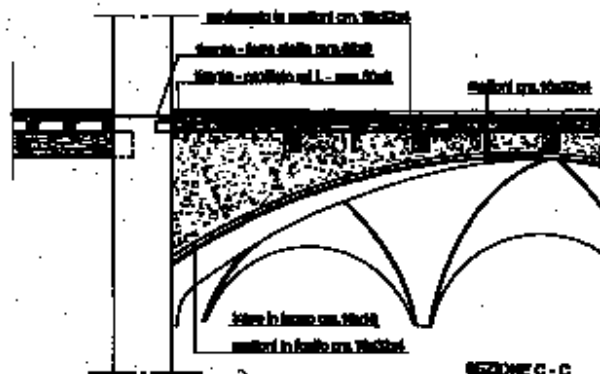
Le operazioni necessarie, da precisare inevitabilmente in corso d'opera, quando potranno essere valutate le condizioni di sicurezza per gli operatori e sarà possibile una completa ispezione all'estradosso, possono essere così indicate:

- puntellazione intradosale, con formazione di centine su appoggi, apposizione di manti a protezione delle decorazioni e iniezione tra centina e manto di poliuretano espanso allo scopo di creare un supporto diffuso e adattato;
- rimozione degli strati di pavimento (con eventuale recupero per la successiva ricollocazione) e asporto dei riempimenti incoerenti, con pulizia dell'estradosso della volta;
- risarcitura e ricostruzione in modo analogo, con mattoni in foglio, delle parti crollate o irrecuperabili;
- consolidamento estradosale realizzato con uno o più sistemi in combinazione: rasatura con malta di calce e malta idraulica armata con rete di plastica; consolidamenti a fasce di materiali fibrorinforzati (fibre di carbonio, fibre di vetro) legati con resina epossidica; frenelli in muratura di rinfiaccio; riparazione di lesioni con sigillature di materiali idonei.

La decisione di appoggiare direttamente l'impalcato in legno e pannelle soprastante sui frenelli della volta, oppure di realizzare una autonoma struttura di solaio in legno o mista, va assunta in rapporto alle sezioni disponibili, ai carichi richiesti, alle condizioni della volta consolidata.



SEZIONE D - D



SEZIONE C - C

PARTICOLARE 2



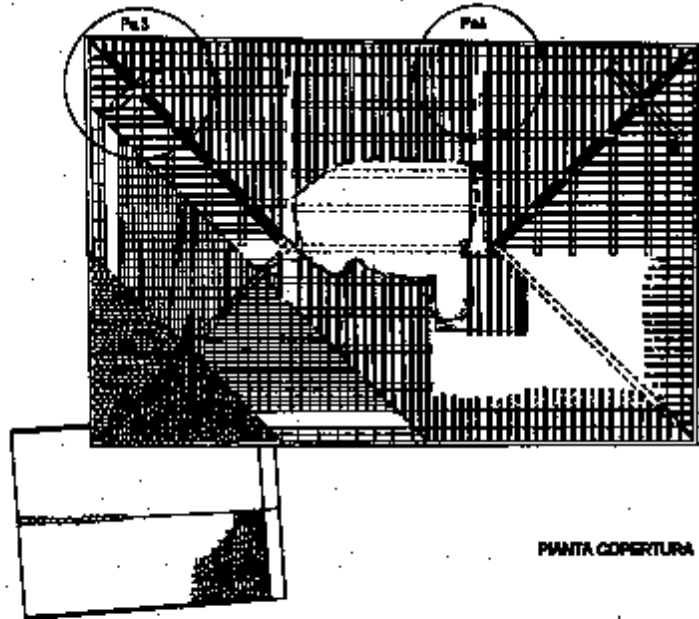
SEZIONE B - B



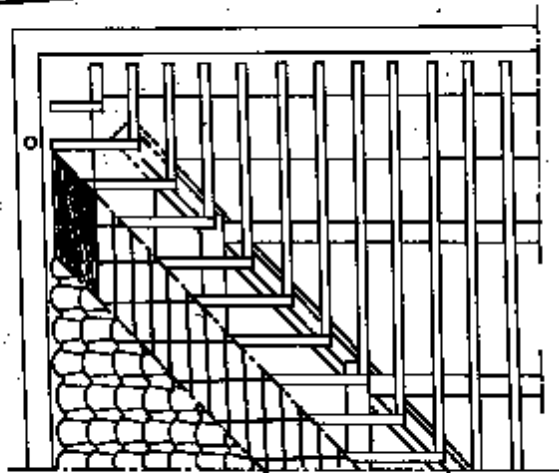
SEZIONE A - A

PARTICOLARE 1

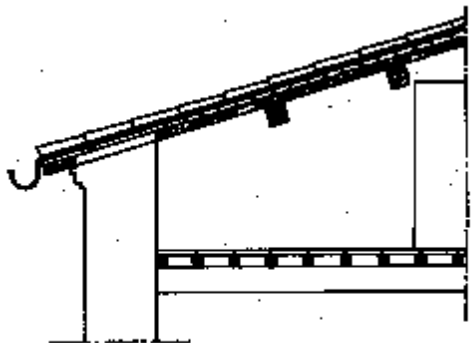
**ANALISI DELLO STATO DI FATTO -
COPERTURA**



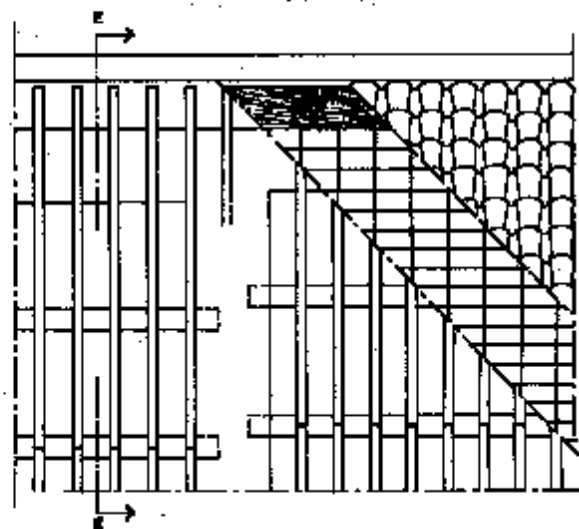
PANTA COPERTURA



PARTICOLARE 3



SEZIONE E-E



PARTICOLARE 4

BIBLIOGRAFIA

Si indicano di seguito alcuni testi utili a sviluppare ed approfondire gli argomenti trattati nei diversi capitoli.

Come testo generale di riferimento sugli aspetti teorico-applicativi del restauro architettonico, si segnala:

Trattato di Restauro Architettonico, diretto da G. CARBONARA, vol. I,II,III, IV, ed. UTET, Torino, 1996

Testi che illustrano posizioni teorico-operative del restauro:

BELLINI, A., (a cura di), Tecniche della conservazione, Milano, 1986,

TORSELLO, B.P., La materia del restauro, ed Marsilio, Venezia, 1988.

MARCONI, P., Il restauro e l'architetto, ed. Marsilio, Venezia, 1993.

Altri testi di carattere teorico-pratico sul restauro architettonico e sul consolidamento

F. GIOVANNETTI, (a cura di), Manuale del recupero del Comune di Città di Castello, Roma, 1992.

S. MASTRODICASA, Dissesti statici delle strutture edilizie. Diagnosi e consolidamento, ed. Hoepli, Milano.

Testi con specifico riferimento alla protezione sismica del patrimonio monumentale

BALLARDINI, R., CAPPELLARO, M.R., MATTIUSSI, D., Il restauro architettonico nella ricostruzione del Friuli, Udine, 1990.

G. SIROVICH, (a cura di), La protezione del patrimonio culturale- La questione sismica- Istituzioni e ricerca universitaria", atti del I Seminario di studi, Roma, 1988.

GIUFFRE', A., Letture sulla meccanica delle murature storiche, ed. Kappa, Roma, 1990.

GIUFFRE', A., ZAMPILLI, M., CERADINI, V., JACOVONI, F., PUGLIANO, A., Centri storici in zona sismica- Analisi tipologica della danneggiabilità e tecniche di intervento conservativo- Codice di pratica per il recupero dei centri storici soggetti al sisma-Castelvetere sul Calore, in : "Studi e ricerche sulla sicurezza sismica dei monumenti", n. 8, Roma, 1988.

GIUFFRE', A., (a cura di), Sicurezza e conservazione dei centri storici -Il caso Ortigia, Bari, 1993.

PROIETTI, G., (a cura di), Dopo la polvere. Rilevazione degli interventi di recupero del patrimonio artistico-monumentale danneggiato dal terremoto del 1980-81, ed. Poligrafico dello Stato, Roma, 1994.

BALLARDINI, R., GUCCIONE, M., (a cura di), La protezione del Patrimonio Culturale- La questione sismica, Atti del II Seminario Nazionale di Studio tenuto a Roma il 9-10 aprile 1997, Gangemi editore, Roma 1998.

GUCCIONE, M., NAPPI M.R., RECCHIA, A.P., Patrimonio culturale e disastri- L'impatto del sisma sui beni monumentali- Prospettive di prevenzione, Gangemi editore, Roma, 1998.

AA. VV., (a cura di F. GURRIERI), Manuale per la riabilitazione e ricostruzione post-sismica degli edifici, Regione dell'Umbria, ed. DEI-Tipografia del Genio Civile, Roma, 1999.

Testi sul rilevamento architettonico, del dissesto e del degrado

Raccomandazione NORMAL 1/88, Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei, CNR- ICR, 1988.

TORSELLO, B.P., Tecniche per il rilievo di opere in muratura interessate da fenomeni di dissesto sismico, in: BALLARDINI, R., GUCCIONE, M., (a cura di), La protezione del Patrimonio Culturale- La questione sismica, Atti del II Seminario Nazionale di Studio tenuto a Roma il 9-10 aprile 1997, Gangemi editore, Roma 1998, pp. 201-216.

BLASI, C. CENTAURO, G.A., CHIMENTI, M., PAPI, R., La rilevazione dell'edificio danneggiato, in: AA. VV., (a cura di F. GURRIERI), Manuale per la riabilitazione e ricostruzione post-sismica degli edifici, Regione dell'Umbria, ed. DEI- Tipografia del Genio Civile, Roma, 1999, pp. 157-226.

Testi sulla lettura stratigrafico-costruttiva dell'edificio e sulla storia sismica

F. DOGLIONI, Stratigrafia e Restauro -Conoscenza e conservazione dell'architettura, ed. LINT, Trieste, 1997.

DOGLIONI, F., PETRINI, V., Problemi di identificazione dei quadri di dissesto di origine sismica in

costruzioni antiche. Considerazioni preliminari, in "Conoscenze e sviluppi teorici per la conservazione di sistemi costruttivi tradizionali in muratura", atti del Convegno di Bressanone, Padova, 1987.

BOSCHI, E., GUIDOBONI, E., FERRARI, G., VALENSISE, G., I terremoti dell'Appennino Umbro- Marchigiano - Area sud-orientale dal 99 a.C. al 1984, Editrice Compositori, Bologna, 1998.

Testi sullo studio della vulnerabilità sismica di edifici monumentali

ANGELETTI, P., PETRINI, V., Confronto fra danni rilevati e vulnerabilità sismica, Atti III Conferenza Nazionale sull'Ingegneria Sismica in Italia, Roma, 1987, vol. I, pp. 637-648.

A. GIUFFRÈ, a cura di, Monumenti e terremoti- Aspetti statici del restauro, ed. Kappa, Roma, 1988.

DOGLIONI, F., MORETTI, A., PETRINI, V. (a cura di), Le chiese e il terremoto- Dalla vulnerabilità constatata nel terremoto del Friuli al miglioramento antisismico nel restauro, verso una politica di prevenzione, ed. LINT, Trieste, 1994.

Testi che documentano nel suo sviluppo un progetto di restauro, con discussione dei fondamenti teorici ed illustrazione grafica delle diverse fasi analitiche e di intervento:

P. REGAZZO, S. SPADA, Oratorio di S. Daniele- Bagnoletto- Contributi alla conoscenza e al restauro, ed. Comune e Biblioteca di Bagnoli di Sopra, 1996.

B.P. TORSELLO, Il castello di Rapallo- Progetto di restauro, ed. Marsilio, 1999, Venezia

Aspetti teorico-operativi legati alla ricostruzione di edifici monumentali parzialmente distrutti da terremoto

DOGLIONI, F., Il progetto e il cantiere di restauro, in "Per il restauro della chiesa dei Ss. Giacomo e Anna", Bollettino dell'Associazione "Amici di Venzone", anno X, Udine, 1982.

AA.VV., Relazione sul progetto culturale per la ricostruzione del Duomo di Venzone, in Bollettino dell'Associazione "Amici di Venzone", n. XII-XIII, Udine, 1984.

BELLINA, A., L'anastilosi nella ricostruzione del Friuli- Limiti e modi del restauro per anastilosi in alcune applicazioni a Gemona e Venzone dopo il sisma del 1976, in Bollettino dell'Associazione "Amici di Venzone", anno XV, Udine, 1988.

DOGLIONI, F., Progetto di restauro per anastilosi del Duomo di S. Andrea Apostolo a Venzone, in "Problemi del restauro in Italia", atti del Convegno Nazionale del C.N.R. a Roma il 3-6 novembre 1986, Udine, 1988.

Aspetti relativi a materiali, tecniche e modalità operative

MALESANI, P. CECCHI, G., Aspetti geologici, geomorfologici e geologico-tecnici, in: AA. VV., (a cura di F. GURRIERI), Manuale per la riabilitazione e ricostruzione post-sismica degli edifici, Regione dell'Umbria, ed. DEI- Tipografia del Genio Civile, Roma, 1999, pp. 25-87.

BINDA, L., (a cura di), Effectiveness of injection techniques for retrofitting of stone and brick masonry walls in seismic areas, Milano 1992.

BINDA, L., BARONIO, G., MOLINA, C., Studio teorico e sperimentale dei materiali e delle tecnologie con riferimento alla durabilità, in: BALLARDINI, R., GUCCIONE, M., (a cura di), La protezione del Patrimonio Culturale- La questione sismica, Atti del II Seminario Nazionale di Studio tenuto a Roma il 9-10 aprile 1997, Gangemi editore, Roma 1998, pp. 741-758.

ZANON, P., Analisi teorico-sperimentale del materiale legno per applicazioni strutturali in edifici di importanza storico-monumentale, in: BALLARDINI, R., GUCCIONE, M., (a cura di), La protezione del Patrimonio Culturale- La questione sismica, Atti del II Seminario Nazionale di Studio tenuto a Roma il 9-10 aprile 1997, Gangemi editore, Roma 1998, pp. 773-786.

SPARACIO, R., Strengthening of masonry structures with innovative techniques and materials, n: Learning from practice, Damage assesment for design decision and Effeciveness of Tecniques, joint USA/Italy Workshop July 21-25, 1996, Los Angeles, USA, a cura di Comerio, M., Binda L., Milano 1997, pp. 123-158.

