

EVENTO SISMICO DEL 26.11.2001

COMUNI DI: ANGIARI, AREZZO, BADIA TEDALDA, BIBBIENA, CAPRESE MICHELANGELO, CASTEL FOCOGNANO, CHITIGNANO, CHIUSI DELLA VERNA, MARCIANO DELLA CHIANA, MONTERCHI, PIEVE S. STEFANO, POPPI, SANSEPOLCRO, SESTINO, SUBBIANO, TALLA

Ordinanza Ministero dell'Interno Dip. Protezione Civile n° 3193 del 29 marzo 2002
*Interventi urgenti diretti a fronteggiare i danni conseguenti alla crisi sismica del 26.11.2001
nel territorio della provincia di Arezzo ed altre disposizioni di protezione civile*

D.4.7

ISTRUZIONI TECNICHE

**PER L'INTERPRETAZIONE ED IL RILIEVO PER
MACROELEMENTI DEL DANNO E DELLA
VULNERABILITÀ SISMICA DELLE CHIESE**

A cura di: M. Ferrini⁽¹⁾ , A. Moretti⁽²⁾

con il contributo di:

D. Cecconi⁽¹⁾ , M. Di Marco⁽¹⁾ , F. Papini⁽¹⁾ , C. Pieri⁽¹⁾

F.Marino⁽²⁾ , G.Canofeni⁽²⁾ , G.Carlig⁽²⁾ , M.Ianich⁽²⁾ , M.Deganutti⁽²⁾ , V.Fadi⁽²⁾

⁽¹⁾ REGIONE TOSCANA – Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali
SETTORE – SERVIZIO SISMICO REGIONALE

⁽²⁾ COOP. ARX – VENZONE (UD)

Ordinanza del Ministero dell'Interno – Dip.to della Protezione Civile – n.3193 del 29/03/2002

Il presente lavoro è stato redatto utilizzando la documentazione fotografica conservata presso il Centro di Documentazione su Terremoto e Beni Culturali del Comune di Venzone (UD)

INDICE

INTRODUZIONE.....	4
1. IL COMPORTAMENTO SISMICO DELLE CHIESE	5
1.1 Analisi tipologico-strutturale	7
1.1.a Caratteri formali e costruttivi delle chiese	7
Configurazione geometrico-spaziale (tipologia) e concezione strutturale	7
Caratteristiche fisico-meccaniche	9
1.1.b Fattori condizionanti il comportamento sismico	11
Storia del manufatto (fasi costruttive e trasformazioni).....	11
Patologie strutturali	12
Degrado strutturale e condizioni manutentive.....	15
1.2 Caratteristiche del danneggiamento sismico.....	17
1.2.a Modi di collasso delle strutture in muratura	17
1.2.b Analisi del danneggiamento pregresso	19
1.2.c Meccanismi di collasso – Riconoscimento dei meccanismi attivati e quelli attesi	20
2. ANALISI DELLA VULNERABILITA' SISMICA	23
2.1 Concetto di macroelemento.....	24
2.2 Forme di vulnerabilità specifiche per le chiese	26
2.3 Meccanismi di danno per le chiese.....	59

Allegato 1 - Legenda per la redazione degli elaborati grafici dell'edificio nello stato di fatto e nello stato di progetto

Allegato 2 - Scheda per il rilievo della vulnerabilità e del danno sismico delle chiese

Allegato 3 - Istruzioni generali per la redazione di progetti di restauro nei beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica

INTRODUZIONE

Nell'ambito di applicazione dell'Ordinanza Ministero dell'Interno Dip. Protezione Civile n° 3193 del 29 marzo 2002, al fine di agevolare la progettazione degli interventi di riparazione danni e miglioramento sismico su edifici di culto, la Regione Toscana ha redatto le presenti "D.4.7 - Istruzioni Tecniche per l'interpretazione ed il rilievo per macroelementi del danno e della vulnerabilità sismica delle chiese".

La fase preliminare di rilievo ed interpretazione della vulnerabilità sismica delle chiese dovrà essere sviluppata in conformità con tali direttive D.4.7., per quanto riguarda gli elaborati richiesti ed i contenuti del progetto di miglioramento si rimanda a quanto indicato nelle "D.2.7 – Istruzioni tecniche per la redazione degli elaborati di indagine, documentazione e progetto di miglioramento antisismico" ed utilizzando la "Legenda per la redazione degli elaborati grafici dell'edificio nello stato di fatto e nello stato di progetto" riportata in allegato (All. 1).

Per gli edifici di culto, in particolare, dovrà essere valutato, anche attraverso la compilazione della "Scheda per il rilievo della vulnerabilità e del danno sismico alle chiese" predisposta dal C.N.R./G.N.D.T. (All. 2), il comportamento sismico individuando:

1. la tipologia strutturale (caratteri formali e costruttivi, fattori condizionanti il comportamento)
2. caratteristiche del danneggiamento sismico (meccanismi di collasso, analisi del danneggiamento pregresso)

ed analizzando la vulnerabilità sismica attraverso l'individuazione di:

1. macroelementi
2. forme di vulnerabilità specifiche
3. meccanismi di danno.

Si richiama inoltre l'osservanza delle "*Istruzioni generali per la redazione di progetti di restauro nei beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica*" (All. 3).

Tali normative sono state predisposte nell'ottobre 1996 dal Comitato Nazionale per la prevenzione del Patrimonio Culturale dal rischio sismico, il quale ha rielaborato ed aggiornato la Circolare n. 1841 del 12/03/1991 del Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali contenente "Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di miglioramento e manutenzione nei complessi architettonici di valore storico-artistico in zona sismica". Esaminato da un gruppo di lavoro, è stato approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, con integrazioni e specificazioni, nella seduta del 28/11/1997 prot. 564.

In questo documento è stato indicato il concetto di miglioramento sismico in luogo dell'adeguamento sismico, come l'unica impostazione concettuale e normativa adatta, e certamente compatibile, per i monumenti.

1. IL COMPORTAMENTO SISMICO DELLE CHIESE

L'esigenza primaria che si pone nell'affrontare il problema della protezione sismica delle chiese è quello della conservazione, affinché le caratteristiche storiche del monumento siano consapevolmente rispettate.

Fin troppo spesso accade che l'obiettivo della "sicurezza" viene anteposto a quello della "conservazione" con risultati controproducenti; si realizzano interventi stravolgenti l'identità del bene con tecniche che, senza alcun riferimento a quelle storiche originali, si rivelano incompatibili e inefficaci finendo per disattendere anche l'obiettivo della sicurezza che si intende perseguire.

Già nel lontano 1945 Gustavo Giovannoni, proponendo il concetto di "restauro scientifico", aveva ben presente tale problematica: «... 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»¹.

Il problema è dunque quello di non perseguire un unico obiettivo, la "sicurezza" piuttosto che la "conservazione" o viceversa, ma è invece necessario coniugare i due aspetti.

In tal senso il problema della protezione

sismica si pone come un particolare problema di restauro, il "restauro antisismico" appunto, e ne deve seguire le metodologie tipiche. Il primo passo è quello di analizzare e conoscere l'oggetto dell'azione di tutela e da tale conoscenza deve scaturire l'indicazione di come conservare con sicurezza. E' necessario tendere ad un intervento "minimo", sia dal punto di vista dell'impatto sul monumento sia sotto il profilo economico, che riduca la vulnerabilità nel rispetto delle caratteristiche del monumento.

I due capitoli che seguono, proprio prendendo spunto dalla necessità della conoscenza, descrivono sia gli aspetti oggetto di osservazione attraverso i quali è possibile trarre indicazioni sulla vulnerabilità sismica delle chiese, sia il tipo di approccio diagnostico e critico necessario per comprendere e rappresentare il danno sismico, per ipotizzare le possibili evoluzioni dei danni presenti e ipotizzarne altri futuri che potrebbero attivarsi a fronte di successivi eventi.

1.1 Analisi tipologico-strutturale

La stima della vulnerabilità sismica delle chiese non può prescindere dalla comprensione del comportamento atteso in caso di sisma; tale comprensione è direttamente legata alla capacità di lettura delle caratteristiche tipologico-strutturali.

Il significato attribuito a questo termine è piuttosto ampio e comprende tutti gli aspetti, di seguito descritti, che concorrono a condizionare la risposta sismica della fabbrica.

E' da notare come alcuni di questi aspetti sono legati a "tipicità" riscontrabili nelle chiese, quali ad esempio la tipologia, la concezione spaziale o i materiali e le tecniche costruttive; altri aspetti, invece, sottolineano "specificità" proprie della singola chiesa e fanno riferimento alle vicende costruttive, ai terremoti subiti nel passato, al degrado strutturale.

1.1.a Caratteri formali e costruttivi delle chiese

Configurazione geometrico-spaziale (tipologia) e concezione strutturale

In una classe di edifici quali le chiese l'aspetto tipologico-formale riveste una notevole importanza; il valore simbolico stesso dell'edificio fa sì che alcune caratteristiche morfologiche siano invariante, a meno del fattore dimensionale.

Appare evidente, ai fini della comprensione del comportamento sismico, l'utilità di analizzare la tipologia delle chiese se si pensa quanto sia stretta la connessione tra essa e la struttura statica in edifici a struttura muraria; la tipologia architettonica, sviluppatasi nel corso di secoli, è un tutt'uno con la configurazione statico-strutturale.

Proprio la ripetuta osservazione di chiese colpite da eventi sismici e con stati di danneggiamento rilevanti ha mostrato, pur nelle specificità di ciascun caso, delle similitudini di comportamento all'interno delle classi tipologiche (chiese ad aula unica, a tre o più navate, ecc.).

Si analizzano ora alcune caratteristiche strutturali tipiche delle chiese che risultano significative ai fini della vulnerabilità.

In primo luogo risulta fondamentale la distribuzione degli elementi sismoresistenti.

La definizione dello spazio è ottenuta con pannelli murari di grande estensione, sia longitudinalmente sia in altezza, che generalmente presentano carenza di collegamenti trasversali. Questi sono costituiti solo dalla parete di facciata, di fondo e, quando è presente, dall'arco trionfale; le distanze reciproche a cui sono posti questi elementi, però, rendono quasi influente l'azione di trattenimento che dovrebbero svolgere.

In generale è possibile affermare che, rispetto all'edilizia ordinaria, si ha

un'incidenza di elementi di collegamento molto ridotta; si è cioè lontani dal cosiddetto "comportamento scatolare" che risulta determinante ai fini della sopravvivenza dell'edificio durante il sisma.

Si ricorda che per "comportamento scatolare" d'insieme si intende la capacità di un edificio di resistere efficacemente alle azioni sismiche in virtù di murature di buona qualità, ortogonali fra loro e poste a distanze limitate, e collegate nelle intersezioni con ammorsature efficaci; risulta fondamentale anche la presenza di solai intermedi e copertura rigidi nel loro piano e ben collegati alle murature verticali.

La tendenza al comportamento "per parti" assume dunque una particolare rilevanza nelle chiese in cui gli elementi (facciata,



1

timpano, pareti laterali, ecc.) oltre che compositivamente sono riconoscibili come autonomi anche strutturalmente.



2

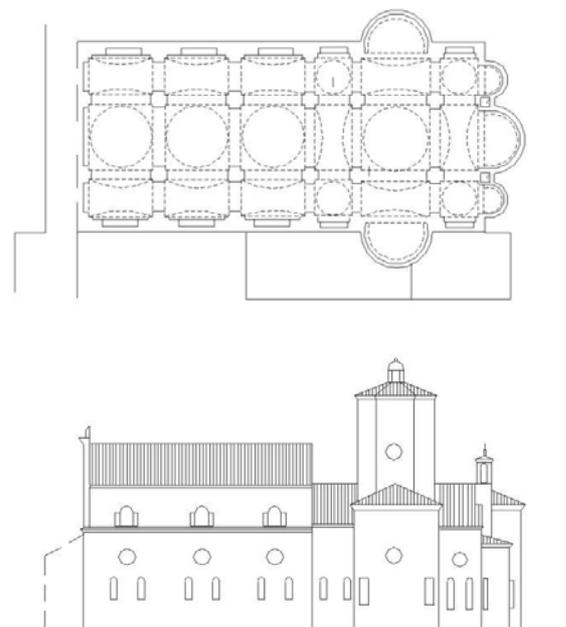
Ne consegue una spiccata debolezza delle chiese nei confronti delle azioni fuori piano che tendono ad innescare rotazioni dei pannelli murari.

Con particolare riferimento alla geometria delle masse, tra gli elementi positivi che migliorano il comportamento sismico di un edificio in muratura vi è senz'altro la planimetria regolare. Nelle chiese, invece, sono quasi la norma i casi di edifici con irregolarità planimetriche che associano ad un impianto originario quasi sempre simmetrico una serie di parti aggiunte con semplice giustapposizione (cappelle, sagrestia, canonica, ecc.). Queste situazioni generano amplificazioni delle sollecitazioni, martellamenti ed effetti torsionali che innalzano il livello di vulnerabilità generale.

Anche in relazione alla distribuzione delle

masse in altezza si riconosce un'elevata vulnerabilità dovuta a parti del fabbricato considerevolmente più alte rispetto alle altre (cupole, campanili, parti svettanti, ecc.); queste, in presenza di azioni sismiche, oscillano liberamente e producono in corrispondenza del confine fra pieno e vuoto lesioni importanti; nel contempo i corpi bassi contigui subiscono azioni di martellamento. Inoltre possono sorgere problemi fondali, a causa di pressioni non uniformi sul terreno, che danno luogo a cedimenti differenziali, più evidenti su suoli compressibili.

Un ulteriore fattore di vulnerabilità tipico delle chiese è costituito dalla presenza di elementi di copertura, anche con volte, di grandi dimensioni e conseguentemente di notevole pesantezza. Tale circostanza aggrava la situazione, descritta in precedenza, delle grandi pareti murarie che oltre ad essere scarsamente trattenute sono



anche gravate dalla spinta loro trasmessa dalla copertura. In presenza di volte è da tener presente anche l'effetto negativo della spinta orizzontale agente nella zona alta della parete.

Caratteristiche fisico-meccaniche

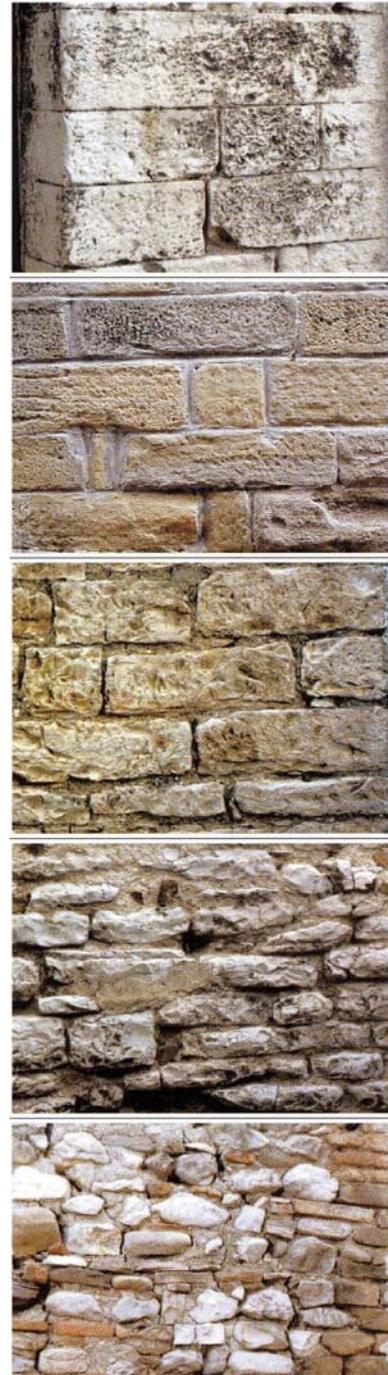
Le caratteristiche fisico-meccaniche sono determinate dalla scelta dei materiali e dall'utilizzo di tecniche costruttive peculiari. E' da notare che negli edifici monumentali si riscontrano, in genere, materiali e tecniche di realizzazione di migliore qualità rispetto all'edilizia ordinaria. Nel tempo, in relazione allo stato di conservazione, si possono rilevare variazioni sensibili dovute al decadimento della qualità dei materiali.

Significativa ai fini della valutazione del comportamento sismico è la composizione dell'apparecchio murario. Le maggiori capacità di sopravvivenza dell'edificio sono legate alla capacità della parete di resistere alle azioni di taglio ma, soprattutto, di mantenere la monoliticità (comportamento tipo "blocco rigido") anche in presenza di azioni che tendono a ribaltarla fuori del piano. Questa caratteristica dipende essenzialmente dal tipo di materiale e dalle tecniche esecutive.

Per ciò che concerne il materiale, affrontando il problema al negativo, possiamo osservare che fra i fattori che più di altri influiscono negativamente sulle caratteri-

stiche delle murature vi è senz'altro la piccola dimensione degli elementi lapidei. In tal caso, infatti, aumenta la quantità di malta (legante) rispetto al volume degli elementi (parte resistente) e ciò costituisce un elemento di debolezza. Altrettanto importante è la lavorazione dei blocchi: passando dai blocchi squadrati ai ciottoli di fiume il comportamento della parete scade in maniera evidente. Ciò è dovuto, principalmente, alla scarsa adesività dei ciottoli alla malta, per effetto della levigatura delle superfici. Infine, un problema che riguarda il materiale costituente le murature è l'eterogeneità dimensionale; elementi lapidei con grosse differenze non garantiscono un'efficace ingranamento fra le parti.

A livello di tecniche costruttive fra le più diffuse vi è senz'altro l'apparecchio cosiddetto "a sacco", costituito da due murature laterali con un nucleo interno riempito di materiali vari legati da malta. Il cattivo comportamento di questo tipo di muratura è dovuto alla frequente mancanza di "diatoni", cioè elementi disposti trasversalmente a legare le due facce, e alla scarsa qualità del nucleo interno quasi privo di legante. Questo tipo di muratura, in presenza di azioni sismiche, tende a disgregarsi comportandosi come costituita da due paramenti autonomi. Negli edifici di maggior pregio si riscontrano spesso murature in pietra squadrata con spessori ri-



3

levanti e letti di posa orizzontali e ben preparati; il comportamento sismico di queste pareti è buono con mantenimento della monoliticità anche in presenza di legante inefficace.

Una riflessione a parte merita il problema

delle malte. La coesione delle membrature e la stessa efficacia dell'apparecchio murario variano in funzione delle malte adoperate e del loro stato di conservazione. Molto spesso le malte più degradate si presentano polverose e senza più alcun potere coesivo; il problema è tanto più grave tanto più è scarsa la qualità della parete (elementi piccoli e non squadri). La cattiva qualità dei leganti e degli inerti influisce negativamente anche sulla durabilità della malta che risulta debole nei confronti degli agenti esterni (acque meteoriche).

Volendo riassumere le caratteristiche a cui deve tendere un muro realizzato "a regola d'arte" si possono elencare i seguenti punti:

- preponderanza di pietre di grandi dimensioni;
- accurata ammorsatura tra le pietre nel piano del muro ma soprattutto attraverso lo spessore;
- riempimento dei vuoti con pietre minute.

In un muro che presenti queste caratteristiche la malta gioca un ruolo inessenziale; la resistenza è realizzata dal sapiente incastro delle pietre. La resistenza della malta è chiamata in causa allorché l'apparecchio murario si discosta dalla regola dell'arte.

1.1.b Fattori condizionanti il comportamento sismico

Le caratteristiche del comportamento sismico, analizzate nel precedente paragrafo, che risultano comuni a classi di edifici con analoga concezione strutturale, possono essere influenzate da molteplici fattori. Tali fattori, che di seguito si analizzano, hanno l'effetto di condizionare il comportamento sismico della fabbrica e di indirizzarne il danneggiamento verso forme specifiche.

Storia del manufatto (fasi costruttive e trasformazioni)

Molto raramente gli edifici antichi presentano strutture caratterizzate da un'unica fase costruttiva; in genere le vicissitudini storiche hanno prodotto più fasi costruttive, protratte anche per secoli, e trasformazioni della struttura originaria.

Tale complesso di trasformazioni compiute nel tempo ha lasciato negli edifici un reticolo di eterogeneità costruttive, dovute al variare dei materiali e delle tecniche costruttive.

Dal punto di vista della continuità strutturale risulta rilevante l'imperfetto collegamento fra murature appartenenti ad epoche diverse leggibile, ad esempio, nelle angolate inglobate senza ammorsamento. Tali situazioni sono tipiche di murature che hanno subito accrescimenti nel tempo con semplice accostamento della nuova

muratura alla vecchia o con zone di ripresa muraria insufficiente.

Un'altra condizione potenzialmente negativa è quella dovuta all'apertura o chiusura di fori nella compagine muraria. Anche in questo caso il tamponamento di un foro è in genere realizzato semplicemente accostando la nuova muratura alla preesistente. In caso di sisma il pannello murario deformandosi nel piano causa lo scorrimento della muratura di tamponamento che, priva di ammorsamenti, si distacca con possibile espulsione.



4

In definitiva, le superfici di interfaccia fra murature con diverse caratteristiche e senza adeguato ammorsamento rappresentano delle linee preferenziali per la formazione delle lesioni.

Patologie strutturali

In questa categoria di fattori, condizionanti il comportamento sismico, rientra lo studio delle carenze strutturali proprie dell'edificio; le patologie principali, in quanto favorevoli al ribaltamento delle pareti, sono senza dubbio quelle riguardanti le connessioni e gli elementi spingenti. Significativi risultano anche le carenze nei presidi e gli interventi strutturali recenti che, se mal eseguiti, possono rivelarsi dannosi.

Nell'analisi di un edificio in muratura assume fondamentale importanza lo studio delle connessioni strutturali; ad esse infatti è direttamente legata, come accennato in precedenza, la possibilità di sopravvivenza al sisma.

Rispetto ad uno schema ideale di edificio, per il quale è possibile parlare di "comportamento scatolare", le caratteristiche, e quindi l'efficacia, delle connessioni (muro-muro, muro-copertura) determinano il reale comportamento e la resistenza dell'edificio nei confronti delle azioni sismiche.

Le connessioni muro-muro costituiscono nodi strutturali particolarmente delicati sot-

to il profilo del comportamento sismico. Si verificano condizioni diverse di aggregazione tra murature; tali condizioni discendono principalmente dalla storia del manufatto. La pericolosità della carenza di connessione è rappresentata dal fatto che in caso di sollecitazioni sismiche si può verificare uno scorrimento fra le due diverse parti con separazione delle stesse in prossimità dell'interfaccia di appoggio. In sostanza è come se l'edificio fosse suddiviso in parti che si comportano autonomamente. Sono inoltre possibili effetti di "martellamento" tra le due diverse murature con formazione di lesioni e crolli localizzati.



5

La connessione muro-copertura, che coinvolge la struttura del tetto (orditura principale e secondaria) e le murature d'ambito, quando non efficacemente realizzata produce, sotto l'azione sismica, spinte localiz-

zate che tendono ad allontanare le murature tra loro con sfilamento dagli appoggi e conseguenti crolli. Le caratteristiche tipologiche delle chiese, che mancano di murature di controvento e presentano pareti snelle e prive di solai intermedi, aggravano la pericolosità della connessione muro-copertura; una volta perso il legame di solidarizzazione alla sommità le murature opposte oscillano autonomamente fuori del piano.



6

Particolare attenzione deve essere posta alla presenza di elementi strutturali spingenti che trasmettono alle murature forze localizzate nelle zone alte, tali da favorire la rotazione verso l'esterno. Gli elementi capaci di determinare questi effetti sono le strutture della copertura (travi di colmo e puntoni) non efficacemente vincolati oppure gli archi e le volte prive di idonei sistemi di contenimento della spinta.

La stragrande maggioranza delle chiese che sorgono in zona sismica presentano elementi strutturali di presidio, quali tiranti metallici e contrafforti, che nel tempo sono



7

8



stati aggiunti alla struttura originaria. Tali elementi se ben posizionati e dimensionati dimostrano una notevole efficacia nei confronti delle azioni sismiche; in particolare i tiranti svolgono una doppia funzione: solidarizzazione di

parti all'interno dello stesso macroelemento e stabilizzazione reciproca fra macroelementi diversi. I contrafforti, invece, hanno la funzione di opporsi alle rotazioni fuori piano delle murature a cui sono addos-

sate. L'azione positiva dei presidi può essere vanificata se questi presentano caratteristiche carenti; i tiranti metallici, ad esempio, sono inefficaci per mancato tensionamento o inadeguati in presenza di sezione ridotta, capichiave sottostimati o errato posizionamento. I contrafforti possono rivelarsi inadeguati per errato dimensionamento o per forma o per insufficiente base di appoggio a terra.

Fra le patologie strutturali, un discorso a parte meritano gli interventi strutturali recenti; si tratta, in genere, di opere di consolidamento realizzate con tecniche eccessivamente invasive, sia in termini di materiali che di dimensioni. In molti casi si osservano murature interessate da crolli alla cui sommità era posizionato un cordolo in cemento armato di notevole entità.



9

Per le modalità di realizzazione tra cordolo e muratura si viene a formare una vera e propria discontinuità da costruzione che,

a fessurazione avvenuta, consente alla muratura stessa di traslare indipendentemente dal cordolo. Inoltre, il peso e la rigidità del cordolo inducono nella muratura sollecitazioni che possono produrre gravi lesioni a taglio.

Degrado strutturale e condizioni manutentive

Un'ulteriore categoria di fattori in grado di condizionare il comportamento sismico di un edificio è rappresentata dalle forme di degrado degli elementi strutturali e dalle condizioni manutentive degli elementi di protezione.

La prima categoria si riferisce agli effetti del tempo che riducono l'efficienza meccanica della struttura. In definitiva, anche in assenza di eventi perturbatori (danneggiamento dovuto a sisma, cedimenti fondali, ecc.), si assiste, per il solo trascorrere del tempo, all'insorgenza di problematiche che affliggono parti strutturali di fondamentale importanza. A titolo di esemplificazione si citano di seguito due esempi di degrado strutturale che si identificano come fattori capaci di condizionare il comportamento sismico dell'edificio.

A proposito delle caratteristiche fisico-meccaniche delle murature si è accennato alla problematica che investe il degrado della malta. L'erosione dei giunti – dovuta ad un degrado causato da diversi fattori quali: qualità del legante, agenti atmosferici,



10

ci, 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.

Analoghe problematiche legate al degrado possono investire gli elementi lignei facenti parte della copertura dell'edificio. In conseguenza a fattori di naturale invecchiamento, attacco biologico, presenza d'acqua, mancata manutenzione degli strati di tenuta, le strutture lignee delle capriate in corrispondenza dell'appoggio possono giungere, già in condizioni statiche, al limite della resistenza. L'incremento delle sollecitazioni dovute al sisma causa il collasso per perdita dell'appoggio; venendo a mancare la connessione muro-copertura non è più assoluta neanche la funzione di solidarizzazione

tra le murature. Un'ulteriore forma di degrado che investe le strutture di copertura è la deformazione della trave di colmo tale da indurre spinte localizzate nelle murature d'ambito e condizionare, in tal modo, il comportamento in fase sismica.



11

Per quanto riguarda le condizioni manutentive degli elementi di protezione, rivestono importanza, ai fini del condizionamento del comportamento sismico, quelle situazioni che possono causare o favorire la perdita di efficienza strutturale. In definitiva, quindi, si tratta di quelle carenze che hanno una funzione scatenante rispetto al degrado strutturale a cui si è appena accennato. I principali fattori negativi risultano la presenza di infiltrazioni di acqua meteorica dai manti di copertura, che vanno a deteriorare le strutture lignee, e la permeabilità all'acqua battente dei paramenti murari con conseguenti effetti di dilavamento delle malte.

L'obiettivo che si vuole perseguire è quello di comprendere le caratteristiche del danneggiamento sismico delle chiese al

fine di poter ipotizzare, in situazione precisa, quali potranno essere i meccanismi di collasso attivati da futuri eventi.

Attraverso le informazioni desunte dalle osservazioni descritte nel capitolo precedente e le considerazioni, che nel seguito saranno sviluppate, sul possibile innesco di fenomeni di danneggiamento, è possibile giungere al cosiddetto "progetto di danno", ossia la schematizzazione dei danni attesi, in relazione al quale si progetta l'intervento di consolidamento.

Il primo passo è dunque quello di analizzare le forme di danneggiamento tipiche che si osservano in edifici storici a tipologia specialistica quali le chiese.

1.2 Caratteristiche del danneggiamento sismico

L'obiettivo che si vuole perseguire è quello di comprendere le caratteristiche del danneggiamento sismico delle chiese al fine di poter ipotizzare, in situazione pre-sisma, quali potranno essere i meccanismi di collasso attivati da futuri eventi.

Attraverso le informazioni desunte dalle osservazioni descritte nel capitolo precedente e le considerazioni che, nel seguito saranno sviluppate, sul possibile innesco di fenomeni di danneggiamento, è possibile giungere al cosiddetto "progetto di danno", ossia la schematizzazione dei danni attesi, in relazione al quale si progetta l'intervento di consolidamento.

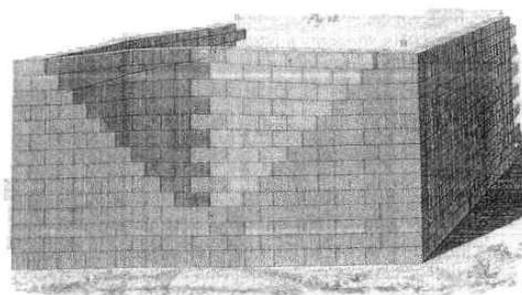
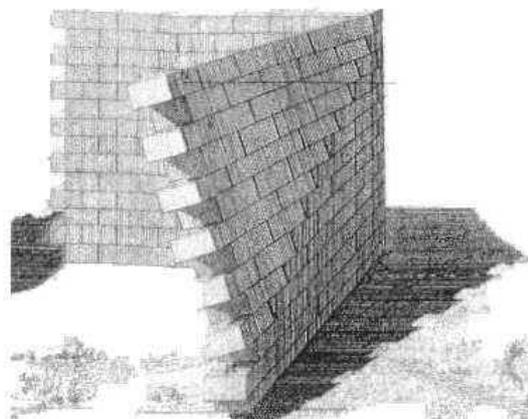
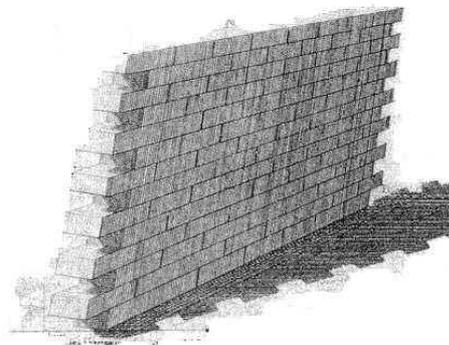
Il primo passo è dunque quello di analizzare le forme di danneggiamento tipiche che si osservano on edifici storici a tipologia specialistica quali le chiese.

1.2.a Modi di collasso delle strutture in muratura

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

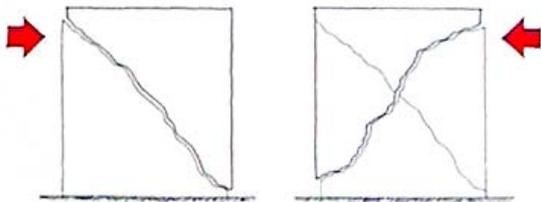
Il *primo modo* prevede il ribaltamento del muro fuori del proprio piano ed è dovuto alla componente dell'azione sismica ortogonale alla parete. Il collasso non dipende

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

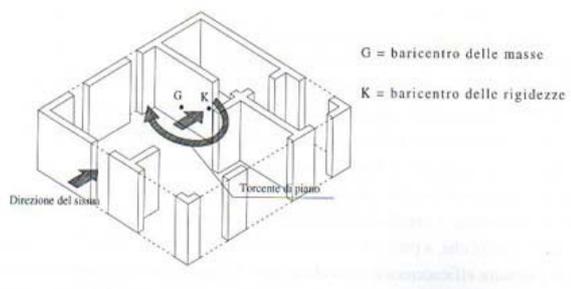
(rottura “a taglio”) dovuta alle azioni parallele al piano della parete. Questo meccanismo, dipendente direttamente dalla resistenza meccanica del muro, seppur frequente è raramente responsabile del collasso completo dell’edificio. La “duttilità” delle murature, infatti, consente alle porzioni murarie 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. Tale tipo di collasso è accompagnato dalla perdita di appoggio delle travi dei solai o della copertura che porta ad un collasso globale dell’edificio. L’osservazione ripetuta dei danni subiti da chiese in occasione di terremoti del passato confermano 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.

A fronte di quanto fin qui detto va rilevato come la cultura dominante in ambito professionale faccia riferimento a modelli di calcolo, utilizzati anche per l’analisi del comportamento sismico di edifici in muratura storici, le cui ipotesi nulla hanno a che vedere con le reali condizioni degli edifici.

Ci si riferisce in particolare all’uso del metodo POR², imposto in passato anche dalla normativa per la verifica degli interventi di consolidamento. Va detto innanzitutto che il metodo tiene conto solo del meccanismo di rottura di *secondo modo* che, come detto, non è in genere quello responsabile della maggior parte dei collassi. Inoltre, gli assunti di base del metodo – perfetto “comportamento scatolare” della struttura muraria e comportamento elastoplastico del materiale – non sono riscontrabili nelle strutture murarie storiche; i risultati che si ottengono hanno un significato relativo, conducendo ad una quantificazione di carattere formale-amministrativo più che tecnico.



E’ interessante leggere il giudizio negativo che Antonino Giuffrè ha espresso a proposito del metodo POR: «...Nella moderna

muratura armata questo metodo di analisi può essere ragionevolmente adoperato, ma le murature antiche, di grosso spessore, hanno sempre dimostrato la loro maggiore debolezza per le azioni che le sollecitano ortogonalmente al loro piano. Il POR non esegue questa verifica. Il risultato è che le verifiche eseguite con quel modello di calcolo erano quasi sempre prive di senso...»³.

In definitiva si può affermare che operare utilizzando il metodo POR, o con metodi equivalenti, allontana il progettista dalla comprensione degli effettivi meccanismi resistenti dell'edificio che sta analizzando. E' dunque necessario procedere secondo schemi che tengano conto delle peculiarità della costruzione, nella quale i vari elementi tendono a comportarsi autonomamente. Come si è osservato la vulnerabilità sismica degli edifici storici è significativamente condizionata dalla tipologia e dalla qualità delle connessioni che hanno poco rilievo in fase statica ma divengono fondamentali in fase dinamica.

La metodologia di analisi, che a seguito di queste considerazioni appare la più efficace, è quella che a partire dallo studio dell'edificio individua i *meccanismi di collasso* attivati e attesi.

Prima di approfondire tale metodo è però indispensabile introdurre la problematica dell'analisi del danneggiamento pregresso che riveste un'importanza fondamentale

proprio ai fini del riconoscimento dei meccanismi in atto.

1.2.b Analisi del danneggiamento pregresso (lesioni e deformazioni)

Fase fondamentale del percorso che conduce alla definizione del danno atteso è l'analisi del quadro fessurativo e deformativo presente nell'edificio in condizioni precisissime; da esso è possibile trarre utili informazioni sul comportamento dinamico dell'edificio.

Andranno considerati sia gli effetti di dissesti statici, esauriti o in atto, sia i danni connessi a dissesti di origine dinamica causati da terremoti verificatesi in passato. Questa necessità nasce dalla considerazione che ogni danno esistente costituisce un allontanamento dall'efficienza strutturale e induce caratteri di vulnerabilità; pertanto anche i danni di origine statica dovranno essere analizzati e diagnosticati.

Il danneggiamento presenta in genere due tipi di manifestazioni visibili che occorre considerare per poter comprendere con completezza i fenomeni in atto: le *lesioni* e le *deformazioni* (intese come mutamenti dell'assetto geometrico).

Le lesioni si manifestano come perdite di continuità della struttura muraria con formazione di separazioni macroscopiche tra parti; possono anche rilevarsi decoesioni della muratura, corrugamenti e distacchi

di intonaco o, nei casi di maggior gravità, crolli di parti. Le lesioni vanno analizzate oltre che per il loro tracciato anche in termini di ampiezza e caratterizzazione; l'entità e il verso di spostamento relativo dei due cigli in diversi punti della lesione sono elementi indispensabili per comprendere appieno il fenomeno di dissesto in atto.

Analoga attenzione deve essere posta nell'analisi delle deformazioni che devono descrivere le modificazioni della geometria strutturale dell'edificio. Le difficoltà risiedono nella minore evidenza, rispetto alle lesioni, che alcune volte presentano le deformazioni tanto da non essere facilmente visibili (si pensi alle deformazioni plastiche nel piano della muratura). Inoltre, molto spesso, non si dispone di rilievi precisi precedenti al danno tramite i quali stimare il differenziale di spostamento.

A livello pratico è utile che tutte le informazioni desunte dall'analisi del quadro fessurativo e deformativo confluiscono in elaborati di rilievo, sia d'insieme che di dettaglio, in maniera che sia possibile valutare esaustivamente tutti i dati rilevati nella fabbrica.

1.2.c Meccanismi di collasso - Riconoscimento dei meccanismi attivati e di quelli attesi

La corretta interpretazione dei dati rilevati dall'analisi del danneggiamento pregresso, secondo quanto descritto al paragrafo precedente, conduce alla possibilità di riconoscere gli eventuali *meccanismi di collasso* già attivati nella fabbrica.

In questo paragrafo verrà introdotto il concetto di meccanismo e se ne illustrerà in linea generale l'utilizzo nella descrizione e schematizzazione del processo di danneggiamento.

Con il termine *meccanismo* si intende il modello di rappresentazione cinematica con cui si interpreta e si descrive il comportamento al sisma di una parte strutturale unitaria e il danno conseguente.

Al meccanismo è affidato sia il ruolo di interpretazione dinamico-meccanica del

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO			
M1.1 Rotazione fuori piano della facciata con formazione di cerniera cilindrica alla base	M1.2 Rotazione fuori piano della facciata con formazione di cerniera cilindrica orizzontale nella fascia bassa	M1.3 Rotazione fuori piano della facciata con formazione di cerniera cilindrica obliqua nella fascia alta	M1.4 Rotazione fuori piano del timpano con formazione di cerniera cilindrica orizzontale
M1.5 Articolazione della parte sommitale della facciata con formazione di cerniera cilindrica obliqua	M1.5.a Rottura a taglio della facciata	M1.5.b Rottura a taglio della facciata	M1.5.c Rottura a taglio della facciata
M1.5.d Rottura a taglio della facciata a salienti nelle fasce laterali	M1.7 Espulsione dell'angolo	M1.8 Separazione della facciata in base	M1.9 Interazione tra torre campanaria e facciata

danno accaduto che di previsione del danno ulteriore, in quanto il comportamento futuro è ipotizzabile come progressione del meccanismo già attivato con il relativo danno atteso. I meccanismi di danno innescati dalle azioni sismiche ed associati a determinate carenze strutturali tendono a riproporsi in occasione di altri eventi sismici con le stesse modalità e con maggior ampiezza.

E' interessante osservare che questo concetto di ripetitività dei meccanismi di collasso era stato evidentemente compreso dalle maestranze che nel passato procedevano al consolidamento delle murature. Le tecniche antisismiche pre-moderne, supportate dall'esperienza e dall'intuito, proponevano soluzioni basate sull'idea di contrastare l'evoluzione dei meccanismi già attivati; i risultati in molti casi si sono dimostrati particolarmente affidabili.

A seconda delle modalità di collasso i meccanismi possono presentarsi come unidirezionali, cioè una volta attivati tendono a indurre spostamenti progressivi che si sommano a quelli precedenti (è il caso del ribaltamento fuori piano di una facciata), oppure bidirezionali, come ad esempio quelli indotti da sollecitazioni a taglio alternate nelle due direzioni nel piano di una parete. Questi ultimi tendono a produrre spostamenti di entità minore.

Va osservato che il concetto stesso di meccanismo tende a ricondurre e rappresentare il comportamento sismico delle

parti di manufatto in analogia a quello di blocchi rigidi, una volta avvenuta la discretizzazione iniziale. In realtà, come accennato a proposito delle caratteristiche delle murature, un simile comportamento è riscontrabile solo in alcuni tipi murari che mantengono la monoliticità in presenza di rotazioni e in cui il danno è costituito da un numero limitato di lesioni di grande dimensione. Ciò comporta che, in presenza di tali tipi di murature, la lettura dei meccanismi è molto più immediata.

Un'ulteriore considerazione riguarda la possibilità di una sovrapposizione di più meccanismi; ciò può comportare qualche difficoltà nella lettura dei meccanismi in quanto si sovrappongono le evidenze fisiche (lesioni e deformazioni) sulla stessa parte dell'edificio.

A partire dai meccanismi che è possibile riconoscere come già innescati nella fabbrica e combinando tali dati con le indicazioni che scaturiscono dalle analisi descritte al punto 1. il successivo passo è quello della individuazione dei meccanismi di collasso attesi.

Il metodo consiste nell'individuare quali sconnessioni, oltre quelle individuate in quanto appartenenti a meccanismi già attivati, possono formarsi nella muratura e, quindi, quali meccanismi di collasso possono rendersi possibili in caso di eventi futuri.

In altri termini si può dire che il supera-

mento della resistenza a trazione nella muratura a causa delle azioni sismiche conduce al formarsi di fessurazioni; queste, insieme alle sconessioni già esistenti (per fasi costruttive, trasformazioni e patologie), dividono la struttura muraria in elementi che, nel caso di murature di buona qualità, si comportano monoliticamente, cioè possono seguire l'evoluzione del meccanismo senza sconnettersi internamente.

In corrispondenza delle fessurazioni così formatesi sono possibili rotazioni e scorrimenti ed il moltiplicatore dei carichi orizzontali, che induce la perdita di equilibrio, o, in altri termini l'innescò del meccanismo, è il moltiplicatore di collasso.

Il problema operativo consiste nell'individuare tutti i meccanismi di collasso possibili, o quanto meno i più probabili, ovvero quelli cui corrispondono i più piccoli valori del moltiplicatore. L'intervento di consolidamento, per essere efficace, dovrà introdurre quegli elementi necessari ad evitare la formazione dei suddetti meccanismi.

In realtà l'esperienza, data dall'osservazione del danneggiamento subito in occasione di sismi del passato, guida nella scelta dei meccanismi possibili, riducendone la casistica, in considerazione della tipicità che assume il danneggiamento all'interno delle classi di edifici.

Nei successivi capitoli, attraverso l'introduzione del concetto di *macroele-*

mento, saranno individuate ed analizzate classi di meccanismi di collasso desunte da osservazioni prolungate sugli effetti di sismi del passato su edifici religiosi.

Riferimenti bibliografici

DOGLIONI F., *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 199-7*, Regione Marche-IUAV, BUR Marche ed.str. N. 15 del 29.09.00.

DOGLIONI F., MORETTI A. e PETRINI V. (a cura di), *Le chiese e il terremoto*, Trieste, 1994.

GIUFFRÈ A., *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Roma 1988.

GUERRIERI F. (a cura di), *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici – Regione dell'Umbria*, Roma, 1999.

¹ GIOVANNONI G., *Il restauro dei monumenti*, Roma, 1945.

² Il metodo POR è stato introdotto dopo il terremoto del Friuli del 1976 e consiste in una analisi numerica al passo di un sistema di mensole elastoplastiche in parallelo, connesse alla estremità libera da un diaframma rigido il cui moto è descritto da due componenti di traslazione ed una componente di rotazione.

³ GIUFFRÈ A., *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Roma, 1988.

2. ANALISI DELLA VULNERABILITA' SISMICA

Con il termine di vulnerabilità sismica si intende la propensione di un edificio a subire danni durante un terremoto.

La vulnerabilità è quindi utilizzata ai fini di prevenzione per formulare delle previsioni sul comportamento sismico atteso per la fabbrica, sia come progressione dei meccanismi di danno già attivati, sia come possibile insorgenza di nuovi meccanismi di collasso. In questo contesto si fa riferimento al concetto di macroelemento come parte strutturale che è sede dei potenziali meccanismi.

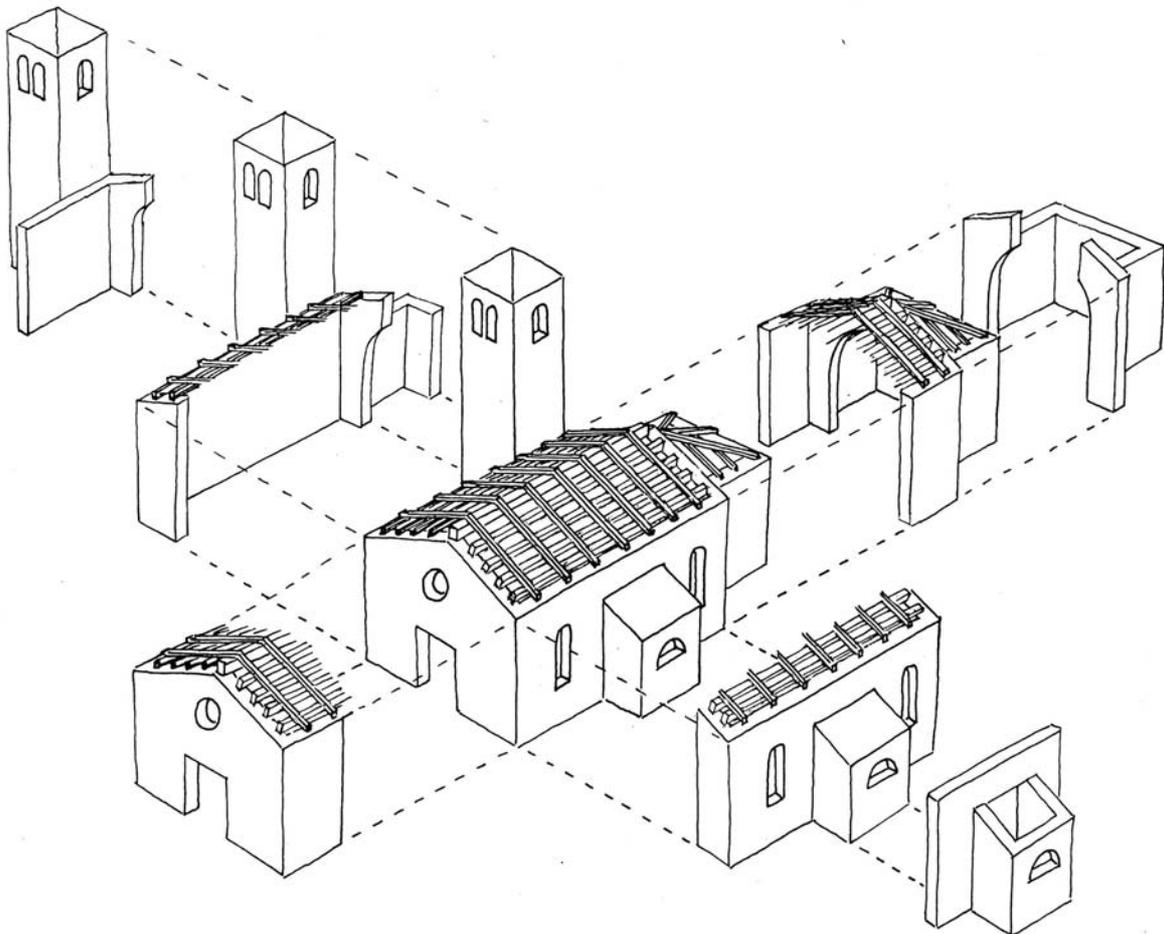
Nelle parti seguenti verranno presi in esame in forma di abachi i fattori di debolezza

locali che possono favorire l'insorgenza dei cinematismi di collasso., denominati forme specifiche di vulnerabilità.

Verranno inoltre rappresentati, sempre in forma tabellare, i meccanismi tipici delle chiese utili sia ai fini dell'interpretazione del danno, sia ai fini progettuali per attuare le misure necessarie a contrastare o inibire l'insorgenza di tali meccanismi in occasione di terremoti futuri.

2.1 Concetto di macroelemento²

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.

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 sposta-

menti 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.

² Il testo è tratto da: DE COLLE A., DOGLIONI F., MAZZORANA L., *La definizione e l'utilizzo del concetto di macroelemento*, in: *Le chiese e il terremoto*, DOGLIONI F., MORETTI A., PETRINI V. a cura di, Trieste, 1994, pp.71-73.

2.2 Forme di vulnerabilità specifiche per le chiese²

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 il manufatto 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 ammortate 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 le chiese formando così un abaco di riferimento.

Nel primo gruppo tematico si sono osservate le **modalità costruttive iniziali**, in relazione alle condizioni nelle quali il ma-

nufatto 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 (timpani svettanti, 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/parzialmente 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 **il ruolo degli elementi di presidio esistenti** nella fabbrica.

I sistemi di collegamento (tiranti, contraforti) 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 riferimento 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 pregressi 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 tracciati 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.

² In questa sezione sono state utilizzate parti, a cura degli stessi autori, contenute in: MARINO F., *Forme di vulnerabilità specifiche*, in: DOGLIONI F., *Codice di Pratica*, cit., 2000, pp. 97 - 119.

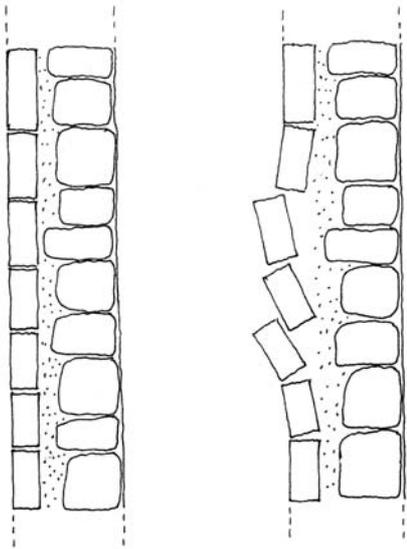
**SUDDIVISIONE PER GRUPPI TEMATICI DELLE
FORME DI VULNERABILITA' SPECIFICHE RICONDUCIBILI A:**

1	Modalità costruttive iniziali	Materiali e tecniche costruttive	- qualità dei supporti e leganti - adesione e/o coesione muraria
		Caratteri geometrico / dimensionali della muratura	- riferiti alla sezione muraria: posizionamento del paramento - riferiti all'elemento architett.-strutturale: snellezza
		Elementi che riducono la sezione muraria	- interruzione dovuta a condotti impiantistici - grondaie / pluviali in sezione muraria
		Elementi strutturali con sezione inadeguata	- snellezza - esiguo spessore - elementi svettanti
		Mancanza di connessione di elementi litici	- ancoraggi inadeguati - mancanza di adesione
2	Processi di trasformazione edilizia	Ampliamento	- non ammorsato - discontinuo
		Chiusura /apertura di fori	- eterogeneo per materiale
		Sottrazioni di elementi o parti murarie	- demolizione di setti - apertura grandi fori
		Soluzioni strutturali inadeguate o rischiose	- muri in falso - pilastri su volte
3	Ruolo degli elementi di presidio esistenti	Sistemi di collegamento inadeguati o danneggiati	- tiranti mancanti o inefficaci - contrafforti inadeguati
4	Degradato strutturale e debito manutentivo	Degrado della muratura	- perdita di legante tra i giunti - decoesione muraria - presenza di acqua - degrado degli elementi litici
		Degrado degli elementi lignei di copertura	- immarcimento delle teste - degrado struttura minuta 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 manto di copertura - gronde e pluviali non efficienti
5	Dissesti pregressi non efficacemente riparati	Sismici	- 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 dalla muratura, ... - iniezioni non distribuite e disomogenee - ...

FATTORI SPECIFICI DI VULNERABILITA' DOVUTI A:

V.1 - Modalità costruttive iniziali

V.1 MODALITA' COSTRUTTIVE INIZIALI

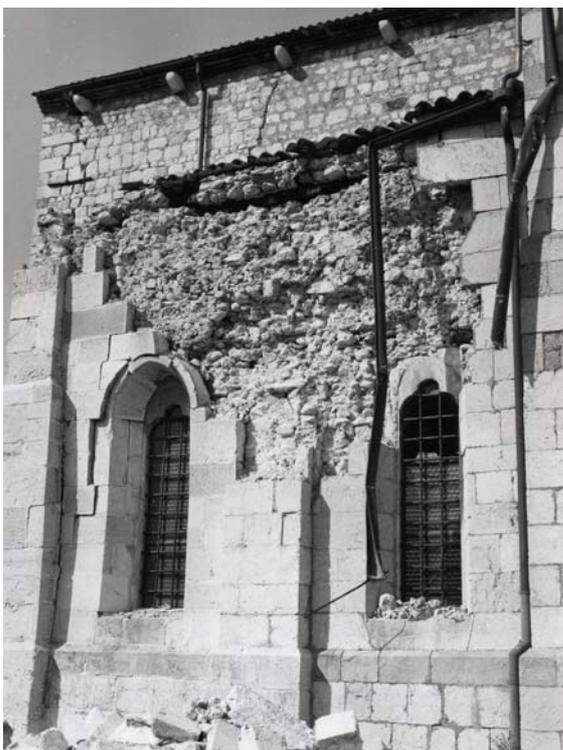


V.1.1 Muratura a paramento esterno in pietra squadrata (funzione di rivestimento) e quello interno in pietra sbozzata e/o semisbozzata collegati da nucleo murario scarsamente efficace

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 semi-sbozzata di varia pezzatura a corsi prevalentemente orizzontali di varia altezza. Essendo l'adesione tra le due superfici affidata al nucleo murario, qualora questi si riveli scarsamente coerente, sotto l'azione sismica, si produce uno scorcimento 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.

12. 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 con estesi crolli di parti



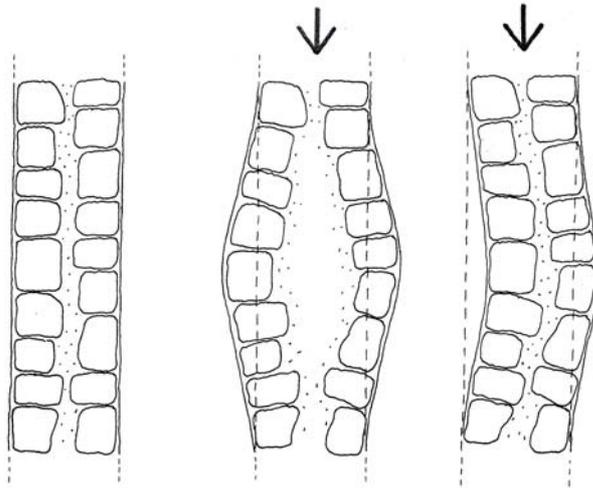
13. Venzone (UD) - Duomo di S.Andrea Apostolo -1976

Distacco del paramento esterno scollegato dal resto delle murature della sagrestia

ABACO DEI FATTORI SPECIFICI DI VULNERABILITA'

V.1 MODALITA' COSTRUTTIVE INIZIALI

V.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.

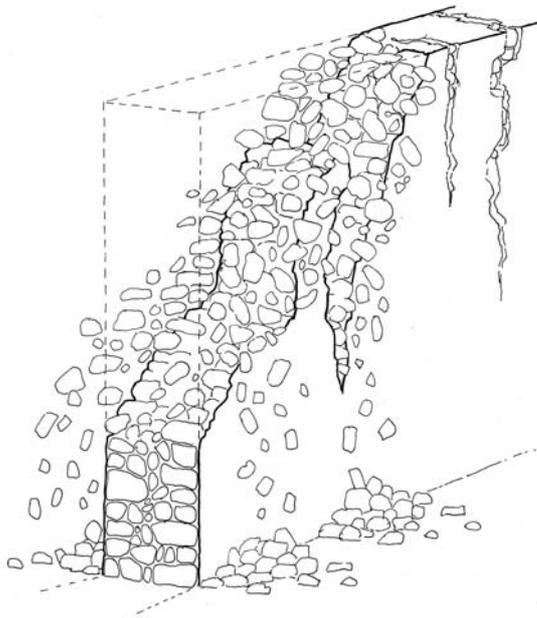
In caso di sisma la muratura tende a produrre un comportamento indipendente tra i due paramenti: per azione fuori piano può avvenire lo sgranamento del paramento esterno, anche con crolli parziali, mentre quello interno è generalmente trattenuto dal sistema degli orizzontamenti; per azione nel piano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

14-15. Pievebovigliana (MC) - Chiesa di S.Pietro a Frontillo - 1997

La muratura è costituita da pietra sbozzata e semisbozzata e malta di allettamento. 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: in questo caso si osservano notevoli deformazioni e sbandamenti laterali.



V.1 MODALITA' COSTRUTTIVE INIZIALI



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

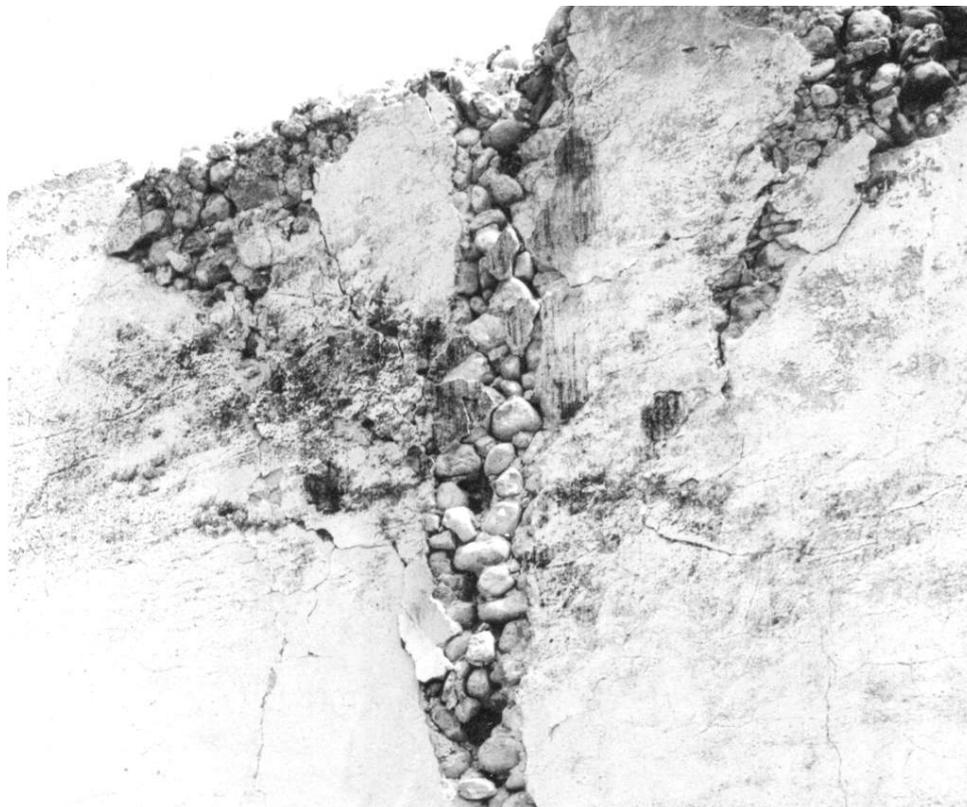
Muratura realizzata senza apparecchiatura regolare con impiego di pietrame prevalentemente informe e di varie dimensioni, dove non è riconoscibile un nucleo murario.

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.

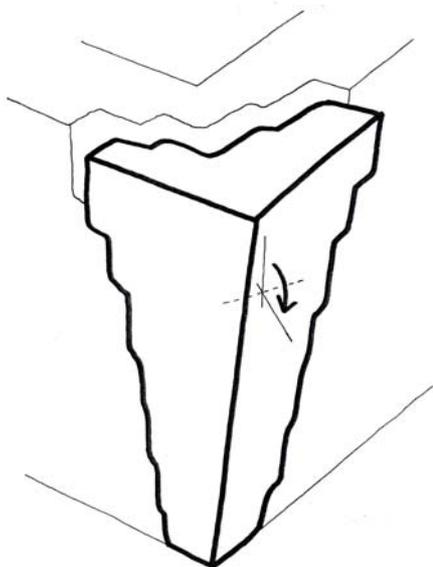
Tende, sotto l'azione del sisma, a discretizzarsi in piccoli blocchi, con formazione di fasci di lesioni diffuse che riducono la muratura in condizioni di equilibrio precario.

16. Valeriano (PN) - Chiesa di S.Stefano - 1976

Particolare del danno in facciata. Il pietrame impiegato nella costruzione della muratura è tondeggiante e di piccole dimensioni; si rileva uno stato di danno che mette in luce la disgregazione della muratura: i blocchi irregolari non hanno più ingranamento tra loro e si ha formazione di lesioni diffuse per l'intero pannello murario.



V.1 MODALITA' COSTRUTTIVE INIZIALI



V.1.4 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.

17. *Pievebovigliana (MC) - Chiesa di S.Pietro a Frontillo - 1997*

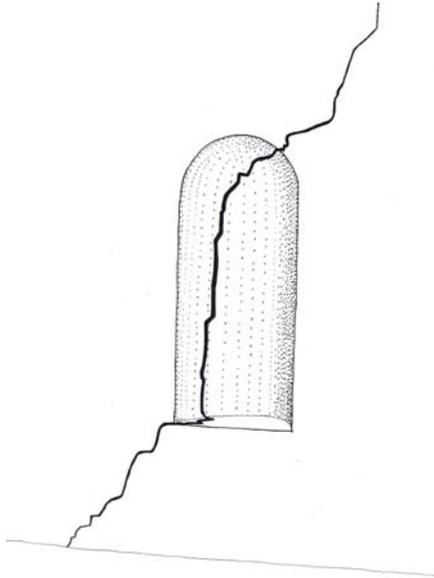
Distacco ed espulsione dell'angolata il cui paramento esterno non è adeguatamente collegato al resto della sezione muraria.

18. *Resia (UD) - Chiesa di S.Maria Assunta - 1976*

L'angolata in pietra dell'abside non ingranata con le pietre dei muri contigui determina una discontinuità muraria nell'angolata.



V.1 MODALITA' COSTRUTTIVE INIZIALI



V.1.5 Elementi che riducono la sezione muraria

Si tratta di elementi funzionali e di impiantistica realizzati nel corpo della muratura, ad esempio nicchie, presenza di 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.

19. Pieve S.Stefano (AR) di S.Lorenzo a Baldignano - 2001

Indebolimento del setto dell'arco trionfale per la presenza di un'apertura tamponata riutilizzata successivamente per il passaggio di impianti tecnologici. La foratura non ripristinata costituisce l'innescò per il lesionamento dell'elemento strutturale.

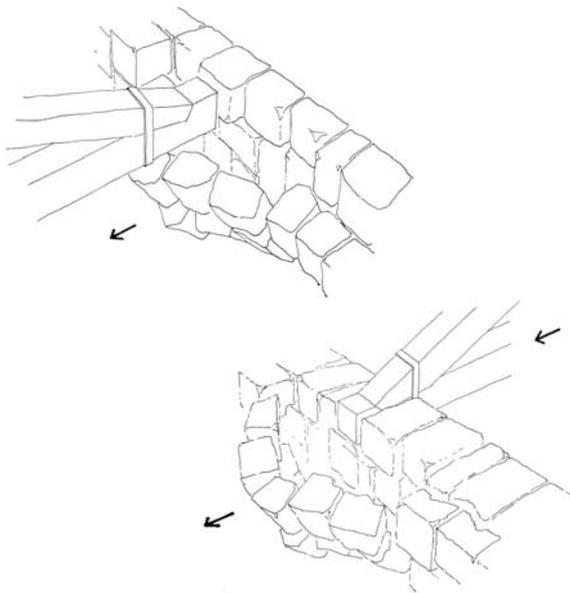
Il mancato accertamento di queste condizioni può portare a previsioni di comportamento sismico della struttura decisamente diverse da quelle reali.



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

Lesionamento a taglio del maschio murario a controvento della parete laterale provocato dalla riduzione di sezione conseguente all'apertura di una nicchia.

V.1 MODALITA' COSTRUTTIVE INIZIALI



V.1.6 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.



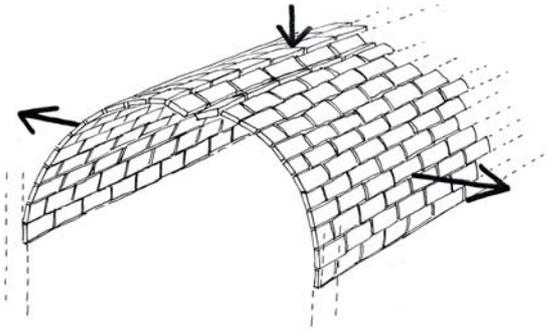
21. Anghiari (AR) - Chiesa di S. Giovanni Evangelista (sagrestia) a Ponte alla Pira - 2001

22. Pievebovigliana (MC) - Chiesa di S. Pietro a Frontillo - 1997

Particolare dell'appoggio della capriata (foto in basso): 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.



V.1 MODALITA' COSTRUTTIVE INIZIALI



V.1.7 Elementi strutturali con sezione inadeguata

Elementi strutturali con caratteristiche geometrico-dimensionali di snellezza e/o esigua sezione, quali: timpani sveltanti, 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.

23. Castel Focognano (AR) - Chiesa di S. Giovanni Evangelista - 2001

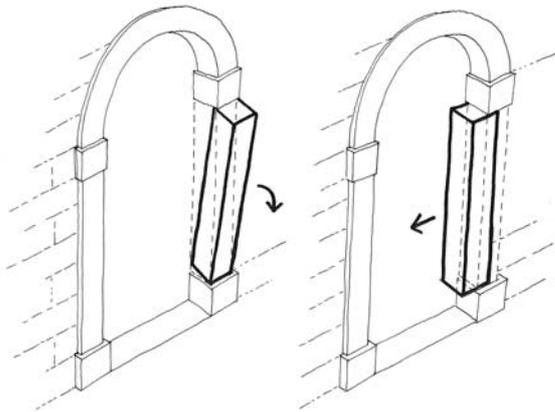
In questo caso l'arcareccio di copertura ha martellato la sottile volta in tavelle laterizie provocando il crollo esteso della volta stessa.



24. Ripabottoni (CB) - Chiesa di S. Maria della Concezione - 2002

Il timpano sveltante si configura come un elemento particolarmente vulnerabile alle sollecitazioni sismiche, specialmente quando si determinano condizioni quale quella rappresentata in figura: i due paramenti sono indipendenti, separati da una discontinuità costruttiva che ne aumenta la snellezza.

V.1 MODALITA' COSTRUTTIVE INIZIALI



V.1.8 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.

25. Sellano (PG) - Chiesa di S.Maria a Montesanto - 1997



26. 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.

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.

**FATTORI SPECIFICI DI VULNERABILITA'DOVUTI A:
V.2 - Processi di trasformazione edilizia**

V.2 PROCESSI DI TRASFORMAZIONE EDILIZIA

V.2.1 Eterogeneità dei materiali e diverse modalità costruttive

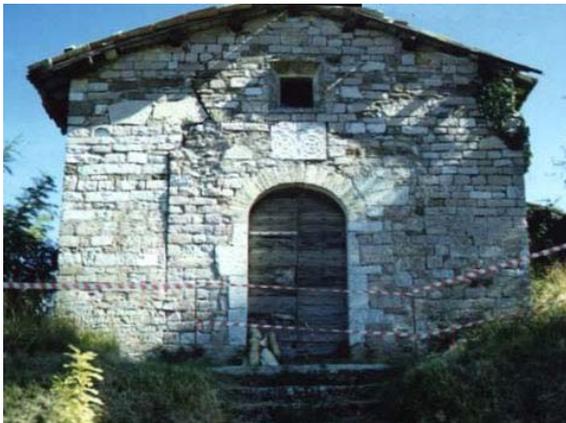
I processi di trasformazione edilizia di una fabbrica nel tempo possono coinvolgere una parte o l'intero assetto architettonico, rappresentando forme di vulnerabilità specifiche in quanto inducono la perdita di omogeneità e continuità costruttive iniziali.

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.

27. Sassoferrato (AN) - 1997

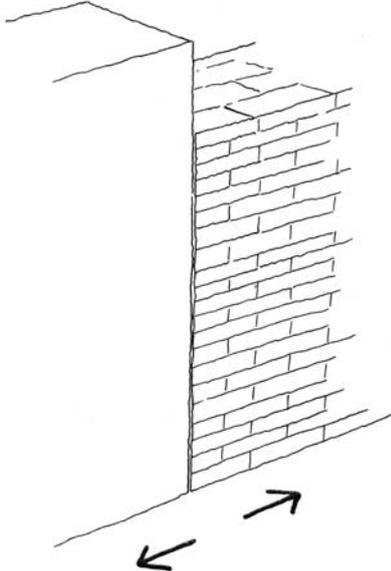
Le trasformazioni subite nel corso del tempo lasciano nella fabbrica tracce di eterogeneità costruttive dovute sia ai diversi materiali impiegati sia alle diverse tecniche utilizzate nel tempo. Le superfici di interfaccia fra murature con diverse caratteristiche meccaniche rappresentano delle linee preferenziali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



28. Castel Ritaldi (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 ecc.... L'alto grado di trasformazioni subite riduce l'efficacia degli elementi strutturali in grado di resistere al sisma.

V.2 PROCESSI DI TRASFORMAZIONE EDILIZIA



V.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.

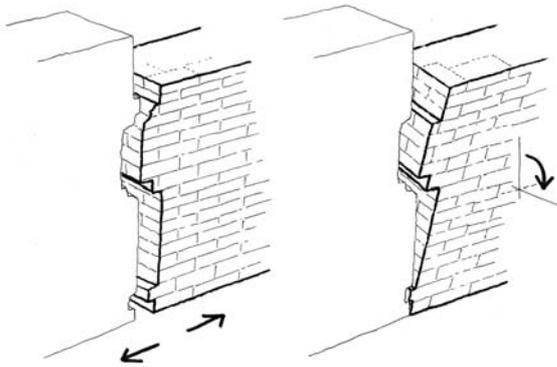
29. Moggio Udinese (UD) - Chiesa di S. Antonio a Ovedasso - 1976

Si nota la trasformazione della facciata conseguente all'addossamento di un corpo laterale alla navata. L'addossamento è stato realizzato senza alcun ammorsamento fra le murature esistenti e quelle di nuova costruzione. E' evidente il comportamento indipendente sotto sisma dei due pannelli murari separati dalla discontinuità e gli effetti del martellamento reciproco che si verifica nella parte alta della discontinuità.



V.2 PROCESSI DI TRASFORMAZIONE EDILIZIA

V.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.

30. Carpi (MO) - Chiesa di S. Giuliana Vergine Martire a Migliarina - 1986

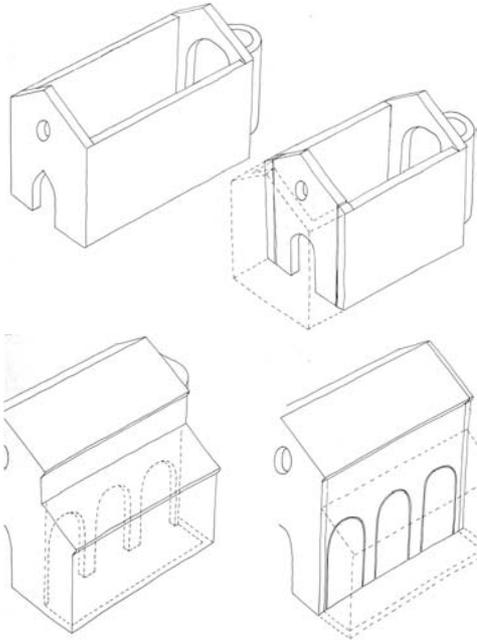
La parete laterale è stata addossata alla navata realizzando due ammorsamenti scarsamente efficaci per contrastare il distacco fra i due corpi di fabbrica in caso di azioni sismiche.



31. Anghiari (AR) - Chiesa di S. Giovanni Evangelista in Ponte alla Pira - 2001

La ripresa muraria fra parete laterale dell'aula e l'arco trionfale è scarsamente efficace. La superficie d'interfaccia fra le due parti è per diversi tratti disposta in verticale e la differenza fra le dimensioni delle pietre dell'angolata (a sinistra nell'immagine) e quelle del resto del pannello rendono inadeguato l'ingranamento fra i conci in pietra.

V.2 PROCESSI DI TRASFORMAZIONE EDILIZIA



V.2.4 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.

La sottrazione di parti strutturali alla fabbrica, pensata inizialmente come un organismo equilibrato nel suo insieme, priva quest'ultima di elementi resistenti che possono contrastare le azioni sismiche. Inoltre, eliminando elementi strutturali è possibile che si modifichi il comportamento dinamico d'insieme in quanto si rende possibile un maggior numero di articolazioni.

32. Camerino (MC) - Chiesa di S.Maria in Acquae Imbris a Colle d'Altino - 1997

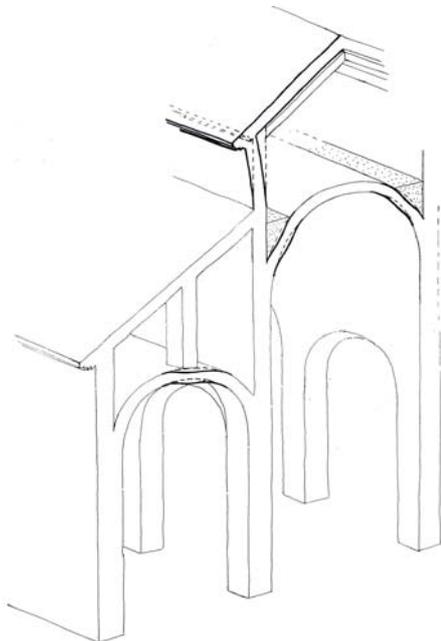
La riduzione in lunghezza dell'aula ha determinato una configurazione strutturale molto vulnerabile: la nuova facciata è completamente libera, senza collegamenti con le pareti laterali. Queste ultime sono inoltre sprovviste di angolate nella parte terminale (superficie verticale di rottura)



33. Campagnola Emilia (RE) - Abbazia della Santissima Trinità - 1996

La trasformazione della chiesa ha portato alla demolizione della navata laterale sinistra: si osservano gli archi di navata tamponati da nuove murature in mattoni senza ammorsamenti. La parete laterale ha una sezione resistente molto esigua ed è priva del contrasto al ribaltamento verso l'esterno che era garantito dalla navata laterale.

V.2 PROCESSI DI TRASFORMAZIONE EDILIZIA



V.2.5 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.

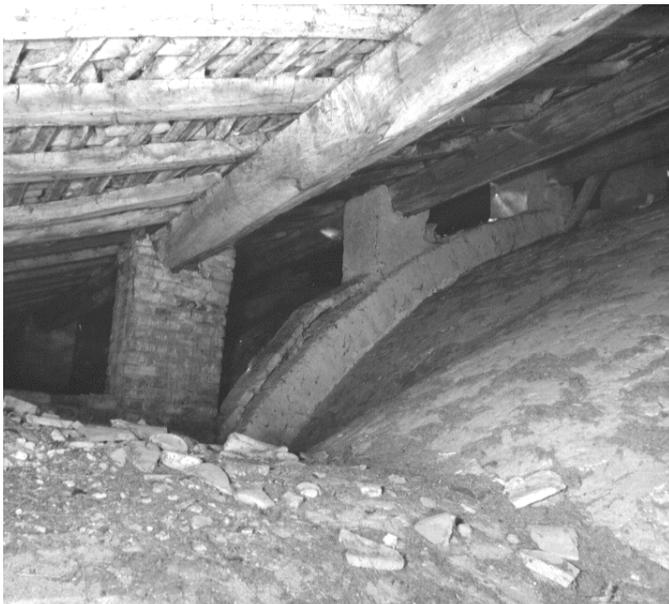
34. Anghiari (AR) - Chiesa di S. Giovanni Evangelista a Ponte alla Pira - 2001

La trave in legno del solaio scarica direttamente su un architrave in mattoni di sezione ridotta provocando fenomeni di danno localizzati.



35. Correggio (RE) - Chiesa di S. Martino - 1987

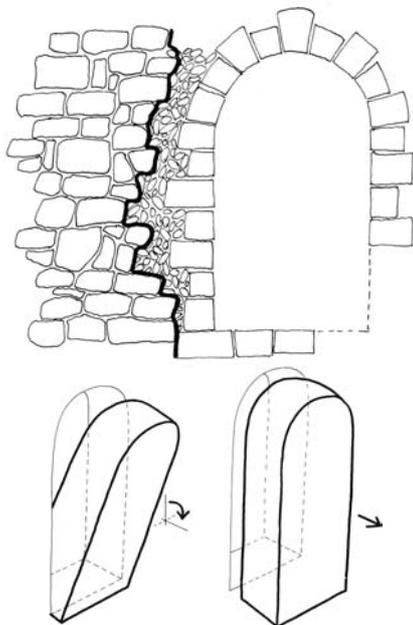
La copertura scarica mediante pilastri in mattoni sulle strutture ad arco e volte del sottotetto. Si noti l'assenza di collegamento efficace fra travi di copertura e pilastri e la giacitura della superficie d'appoggio di questi ultimi sull'arco sottostante.



36. Correggio (RE) - Chiesa di S. Francesco - 1996

Rottura localizzata di un arco di navata provocata dal carico concentrato esercitato da un pilastro di sostegno della copertura all'estradosso.

V.2 PROCESSI DI TRASFORMAZIONE EDILIZIA

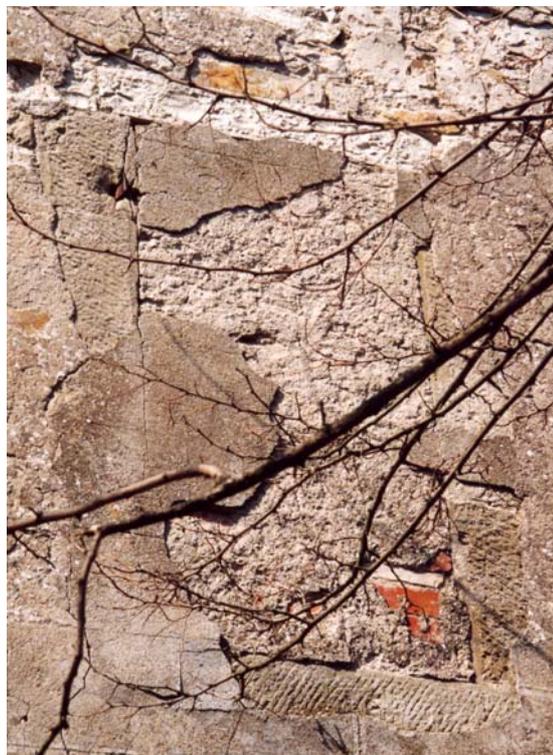
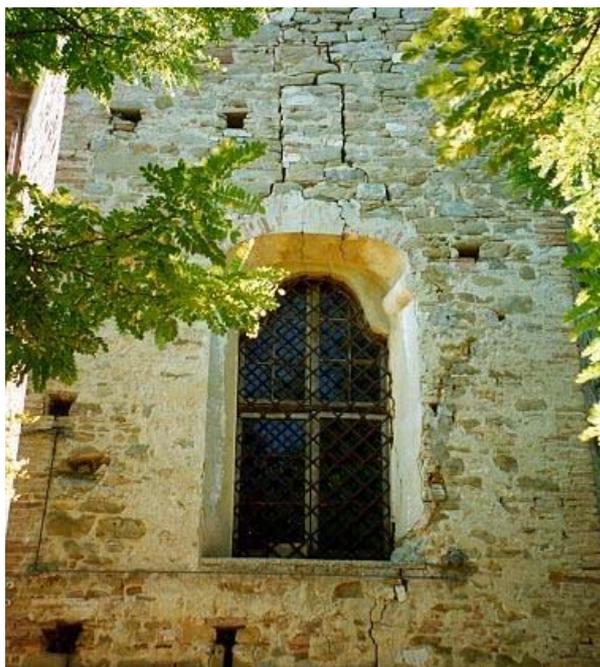


V.2.6 Chiusura e apertura di fori nella muratura

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.

37. *Pieve Santo Stefano (AR) - Chiesa di S. Giovanni Evangelista in Castelnuovo - 2001*

Foro tamponato nella muratura dell'abside: per valori elevati dell'azione sismica la tamponatura può venire espulsa dalla muratura entro la quale è inglobata.



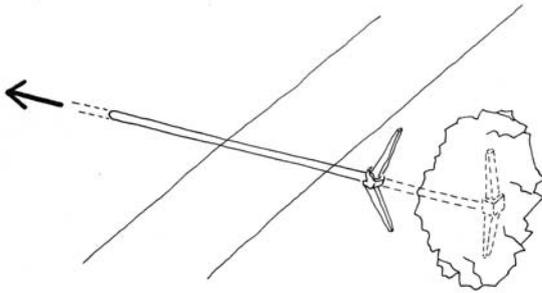
38. *Bevagna (PG) - Chiesa di S. Francesco - 1997*

L'apertura di un foro comporta lo strappo di parti di muratura e l'allentamento di quella circostante. Lo stato tensionale non viene ripristinato con la semplice costruzione della nuova cornice del foro.

**FATTORI SPECIFICI DI VULNERABILITA'DOVUTI A:
V.3 - Ruolo degli elementi di presidio esistenti**

V.3 RUOLO DEGLI ELEMENTI DI PRESIDIO ESISTENTE

V.3.1 Elementi di presidio: tiranti inefficaci o inadeguati

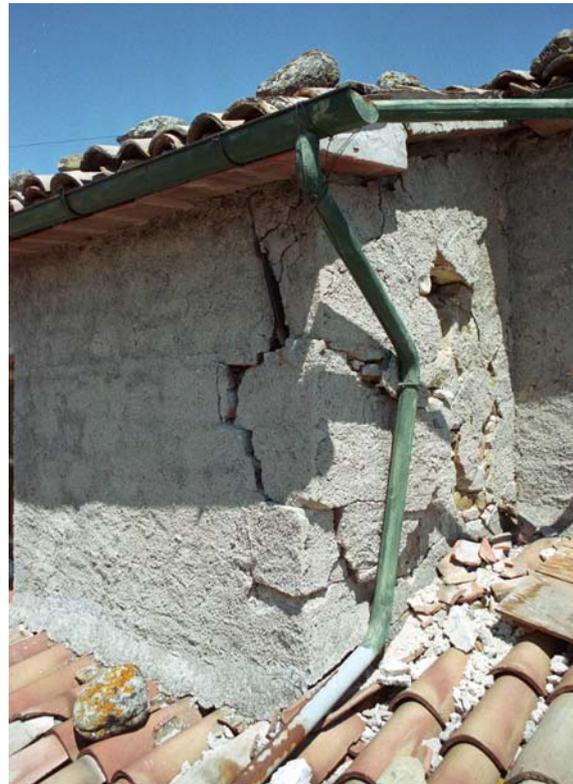
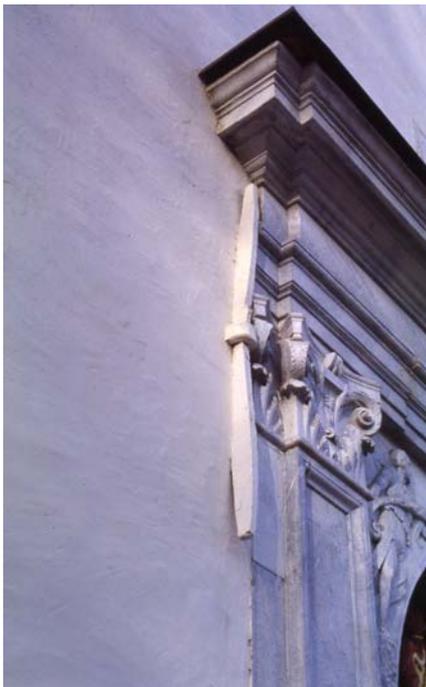


Elementi di presidio presenti nella fabbrica quali i tiranti metallici che risultano inefficaci per mancato tensionamento o inadeguati per altri fattori specifici (sezione ridotta, capochiave sottostimati per dimensione o forma, ..). Nella configurazione strutturale della fabbrica i tiranti svolgono 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 inadeguati, oltre al mancato beneficio in termini di stabilizzazione della fabbrica, si determinano condizioni di vulnerabilità specifica per rotture localizzate.

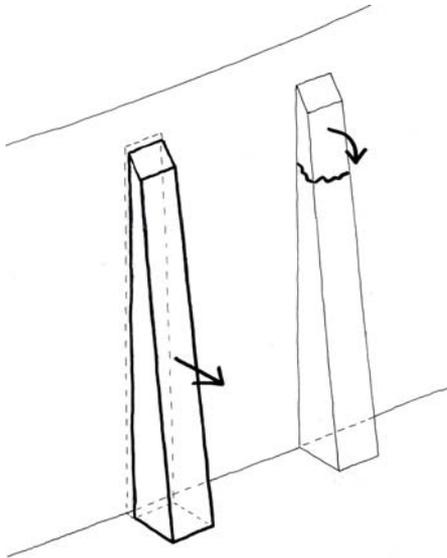
39. Pioraco (MC) - Chiesa di S.Maria delle Lacrime a Sepio - 1997

Si evidenzia il danno localizzato provocato dal tirante fortemente sollecitato con dimensioni del capochiave sottostimate e posto in prossimità dell'angolata. In questo caso i tiranti si è ritratto all'interno della muratura in quanto quest'ultima non è stata in grado di fornire una resistenza adeguata a diffondere e contrastare la sollecitazione trasmessa dal presidio.



40. Tirante con capochiave a paletto. Si nota la deformazione del paletto la cui sezione è inadeguata a resistere alle sollecitazioni trasmesse dal tirante. Per effetto della deformazione si ha inoltre una riduzione della parte di muratura sulla quale viene diffuso lo sforzo.

V.3 RUOLO DEGLI ELEMENTI DI PRESIDIO ESISTENTE



V.3.2 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.



41. Nocera Umbra (PG) - Chiesa di S. Gregorio e s. Romano a Colle - 1997

I contrafforti risultano semplicemente affiancati alla parete laterale e di dimensioni tali da non riuscire a contrastare rigidamente gli spostamenti fuori piano di quest'ultima.

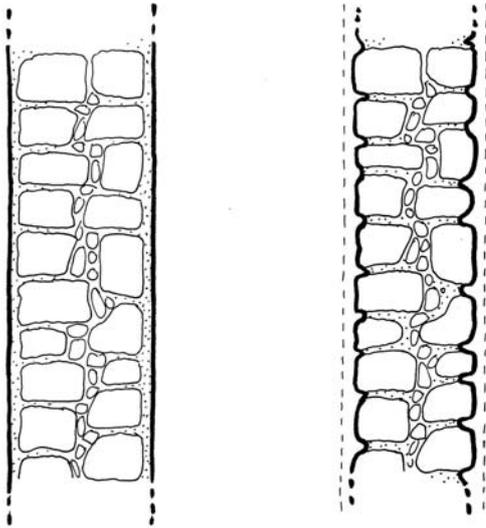
Le azioni trasmesse dalla parete rompono il contrafforte alla base e in sommità laddove il legante ha caratteristiche meccaniche più scadenti.

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

Il contrafforte addossato 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.

FATTORI SPECIFICI DI VULNERABILITA'DOVUTI A:
V.4 - Degrado strutturale e debito manutentivo

V.4 DEGRADO STRUTTURALE E DEBITO MANUTENTIVO



V.4.1 Degrado della muratura con perdita di legante tra i giunti

Degrado 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.



43. *Pieve Santo Stefano (AR) - Chiesa della SS. Trinità a Bulcianella - 2001*

L'erosione profonda dei giunti determina una riduzione della funzionalità strutturale della muratura. La perdita di legante tra i giunti induce forme di vulnerabilità muraria che costituiscono la sede privilegiata degli stati di danno (decoesione muraria, scorrimento dei supporti, formazione di lesioni, ecc.).



44. *Pieve Santo Stefano (AR) - Chiesa S. Lorenzo a Baldignano - 2001*

V.4 DEGRADO STRUTTURALE E DEBITO MANUTENTIVO

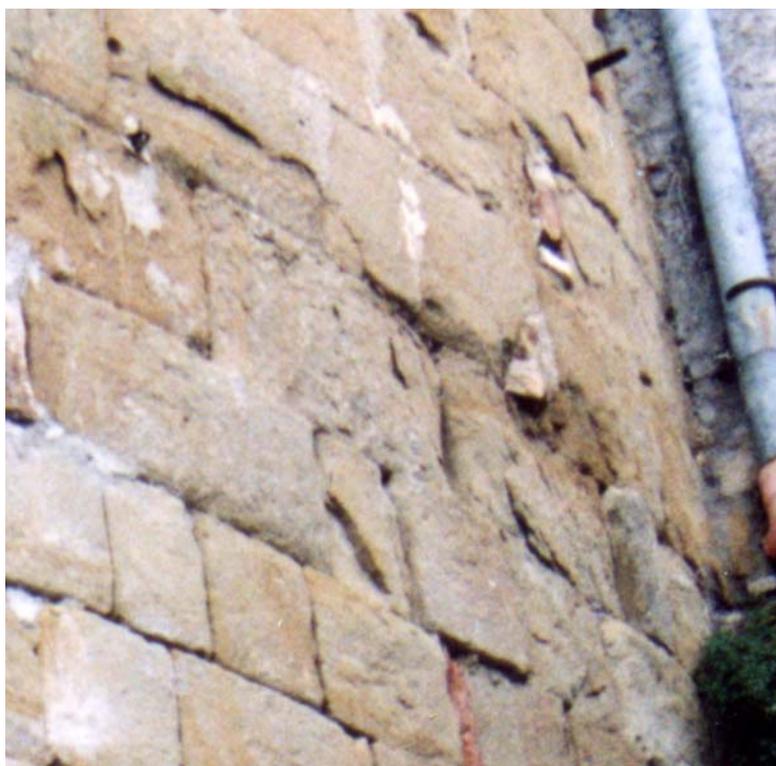
V.4.2 Degrado della muratura con perdita di materiale dei supporti

Degrado 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.

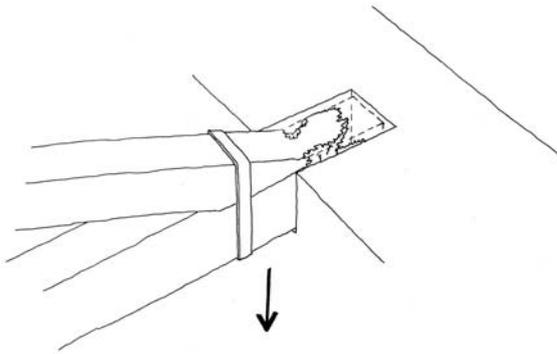
45. Pieve Santo Stefano (AR) - Chiesa S. Lorenzo in Badignano - 2001

Degrado della pietra con perdita di materiale costitutivo: progressivo peggioramento delle caratteristiche meccaniche originarie. Questo fenomeno di degrado si presenta, spesso, insieme con la perdita di legante tra i giunti che combinandosi determinano nella muratura un riduzione della sezione resistente.



V.4 DEGRADO STRUTTURALE E DEBITO MANUTENTIVO

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



Degrado 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.

46. Feltre (BL) - Chiesa di Ognissanti

Immarcamento parziale della testa lignea di una capriata all'interno della muratura. Questa forma di degrado strutturale si compone oltre che degli effetti di dissesto, dovuti alla perdita dell'appoggio, anche degli effetti di degrado proprio del materiale costitutivo.



V.4 DEGRADO STRUTTURALE E DEBITO MANUTENTIVO

V.4.4 Degrado degli elementi lignei di copertura per decadimento fisico

Degrado 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.



47. *Pieve Santo Stefano (AR) - Chiesa della SS. Trinità a Bulcianella - 2001*

Degrado del sistema di copertura che coinvolge sia l'orditura principale sia quella secondaria. Il danno sismico indotto da forme di degrado anche della sola orditura secondaria può essere causa di significativi dissesti o crolli più o meno estesi con gravi ripercussioni sulle strutture sottostanti. Il deterioramento degli elementi lignei di copertura può costituire la causa di riduzione di connessioni tra gli elementi costruttivi. A loro volta, le sconessioni dei manti di copertura conseguenti ad un terremoto possono innescare fenomeni di degrado che costituiscono un effetto differito potenzialmente pericoloso.

2.3 Meccanismi di danno per le chiese ³

Nelle pagine seguenti è riportato dapprima un abaco generale dei meccanismi di danno delle chiese raggruppati per macroelementi e successivamente le schematizzazioni corredate da esempi fotografici in cui i meccanismi vengono descritti singolarmente. In tali descrizioni si è cercato di mettere in luce, laddove possibile, quali siano i fattori che rendono maggiormente vulnerabile un macroelemento ad 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 oppure in generale degli stati deformativi che devono essere congruenti con i cinematismi di riferimento.

I macroelementi delle chiese presi in considerazione in questo studio complessivamente undici e sono: la facciata, la parete

laterale e di navata, l'arco trasversale, l'abside, la volta, la cupola e tamburo, la torre e la cella campanaria, gli aggetti con le vele campanarie; tali macroelementi risultano i più frequenti e quelli per i quali la casistica disponibile, derivante dallo studio dei reali effetti dei sismi sulle chiese (Friuli 1976; Irpinia 1980; Emilia 1987, 1996, 2000; Lunigiana 1995; Val Tiberina 1997, 2001; Umbria-Marche 1997; Slovenia 1998; Pollino 1998; Molise 2002), 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.

Le coperture non sono state prese in considerazione come macroelementi propri ma come strutture che subiscono danni dall'attivazione di meccanismi propri delle parti sottostanti pur svolgendo un ruolo essenziale nel determinare il comportamento sismico di queste ultime

La **facciata**, è il macroelemento per il quale l'interpretazione dei meccanismi è più agevole in quanto la casistica disponibile di comportamento 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** e la **parete di navata** 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 codifica-

bili 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 in fase sismica è su questi macroelementi che si concentrano puntualmente le forze sismiche 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.

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

Gli **archi trasversali**, 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 una parete curva o da un insieme di pannelli murari a pianta rettangolare/quadrata o poligonale. Generalmente la copertura è realizzata con puntoni che esercitano spinte verso l'esterno del macroelemento

lungo il perimetro o in corrispondenza delle angolate delle absidi poligonali che favoriscono i meccanismi propri delle stesse. Altri fattori vulnerabili sono rappresentati dalla presenza di aperture, che indeboliscono la struttura, e delle volte che esercitano delle spinte ad un'altezza intermedia della parete e che non vengono quindi contrastate dalla presenza di elementi strutturali come i cordoli volti a eliminare le spinte 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.

Per le **volte** valgono in parte le considerazioni sviluppate per la copertura, nel senso che questi elementi strutturali sviluppano dei danni indotti dai meccanismi che si attivano nelle strutture sottostanti, ad esempio i ribaltamenti delle pareti sulle quali poggiano. E' però vero che alcuni meccanismi coinvolgono le sole volte, specialmente nei casi di volte sottili: si pensi, ad esempio ad eventuali carichi trasmessi direttamente dalla copertura, alla presenza di rinfianchi molto pesanti ecc... In ogni caso, le volte costituiscono - come insegnano gli eventi sismici più recenti - uno degli elementi strutturali a maggiore vulnerabilità in una chiesa, e possono arrivare al crollo anche per bassi livelli

dell'intensità sismica; lo studio delle modalità di collasso di questi macroelementi, l'interazione fra le volte e le strutture verticali di sostegno rappresentano quindi un passo imprescindibile ai fini della redazione di progetti che perseguano consapevolmente gli obiettivi primari della sicurezza sismica. Il comportamento sismico è fortemente influenzato dalla tipologia architettonica, dai materiali costitutivi e dalle modalità costruttive (mattoni in foglio, a spina di pesce).

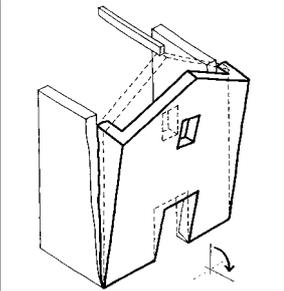
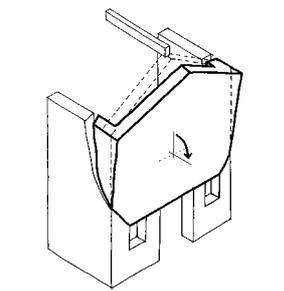
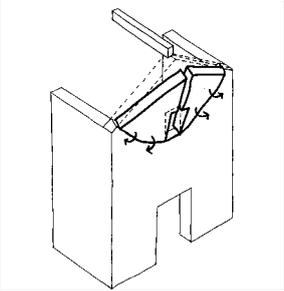
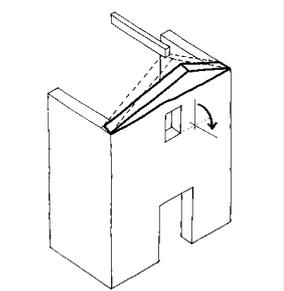
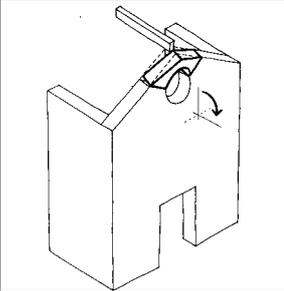
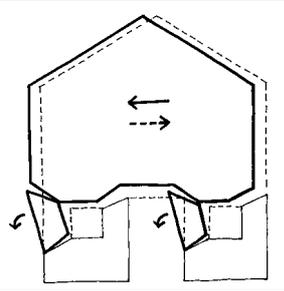
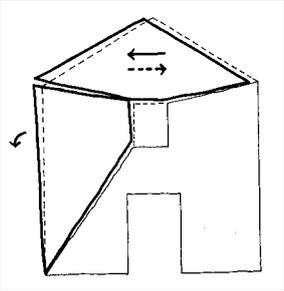
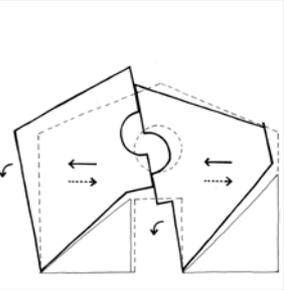
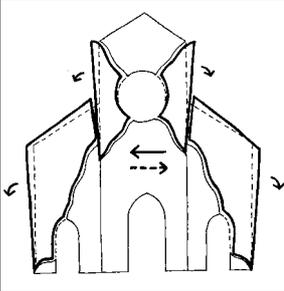
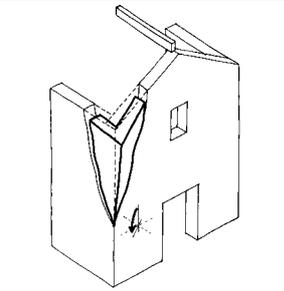
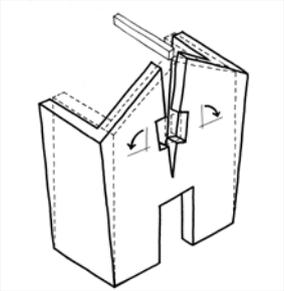
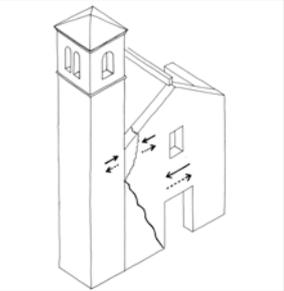
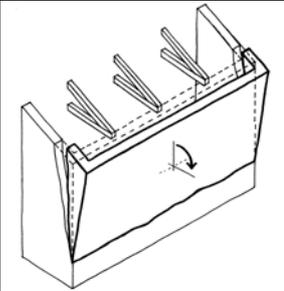
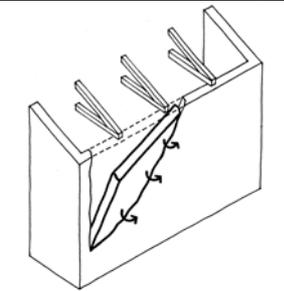
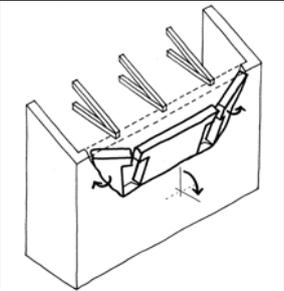
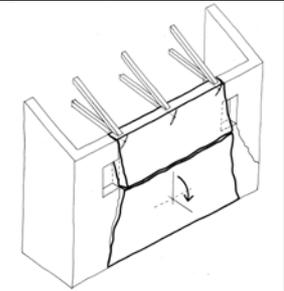
A differenza degli altri macroelementi, la **cupola e tamburo** e/o **tiburio** sono presenti in un numero ridotto di chiese. Questi macroelementi hanno la caratteristica negativa per la fabbrica di costituire delle masse oscillanti ad altezze spesso considerevoli, che scaricano a terra mediante pilastri, elementi strutturali in sé poco adatti a resistere ad azioni orizzontali. Le sollecitazioni sismiche sono quindi assorbite dagli altri elementi strutturali della chiesa: pareti di navata, del transetto, dell'abside ecc... Oltre alle azioni indotte, tali macroelementi sono strutturalmente penalizzati dalla presenza al loro interno di superfici forate, indispensabili per l'illuminazione degli edifici di culto. Inoltre per le cupole vanno menzionati gli sforzi di trazione presenti nei paralleli anche in condizioni statiche, amplificati dalle azioni sismiche.

In merito ai campanili si sono distinti i meccanismi relativi al macroelemento torre campanaria, cella campanaria e vela campanaria. Per quanto riguarda la **torre campanaria** si sono esaminate solo quelle a pianta chiusa, ovvero riconoscibili in pianta fin dalla base, e si sono trascurate tutte le altre situazioni, considerando che un campanile poggiante alla base su uno o più pilastri agli spigoli debba necessariamente essere studiato con strumenti analitici più approfonditi. La torre campanaria non sempre è stata considerata macroelemento unico, bensì quando la lettura del comportamento complessivo ha rilevato una particolare interazione con la **cella campanaria** con danni significativi si è ritenuto distinguere le due parti come elementi distinti. Infatti spesso si sono osservati dissesti riguardanti separatamente i due macroelementi, ma in certi casi i danni ai due macroelementi sono chiaramente riconducibili alla mutua interazione.

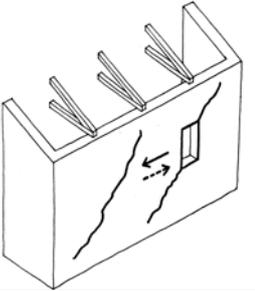
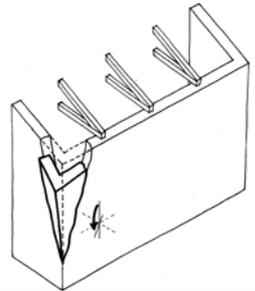
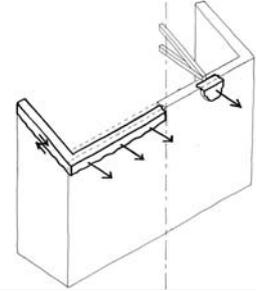
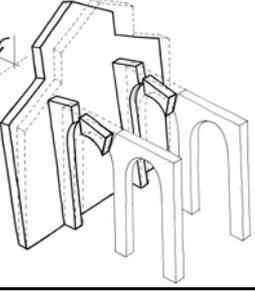
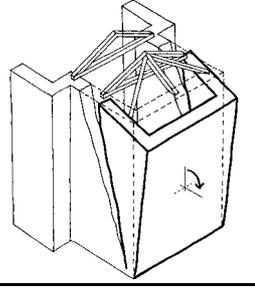
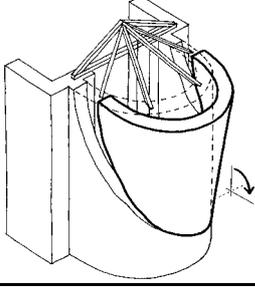
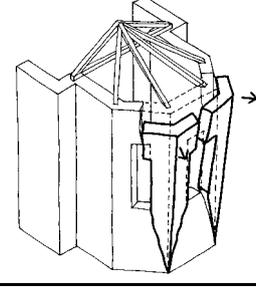
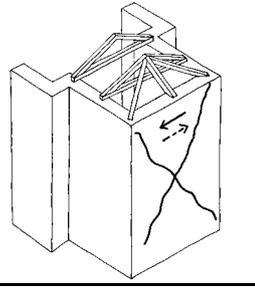
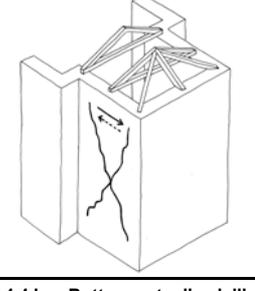
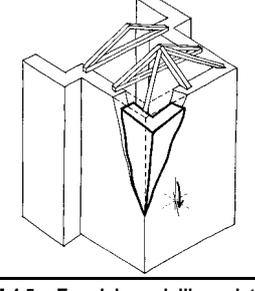
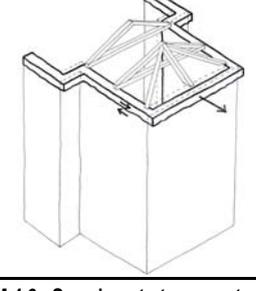
Da ultimo si sono considerati i macroelementi costituiti da **aggetti** e **vele campanarie** che, pur nella varietà tipologica, rappresentano comunque delle parti caratterizzate da elevate snellezze e dotati di scarse risorse strutturali per resistere alle azioni sismiche.

³ In questa sezione sono state utilizzate parti, a cura degli stessi autori, contenute in: MORETTI A., *Vulnerabilità tipica e meccanismi di danno delle chiese*, in: DOGLIONI F., *Codice di Pratica*, cit., 2000, pp. 54 - 75.

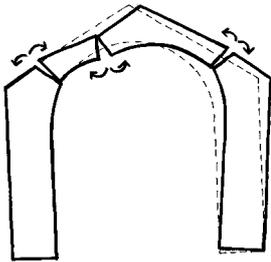
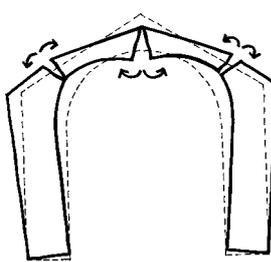
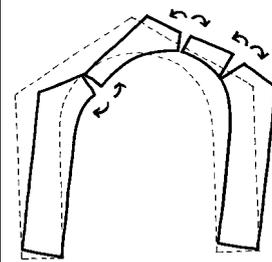
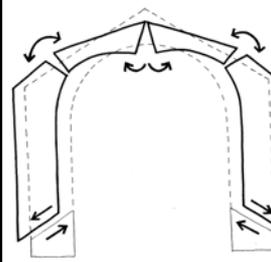
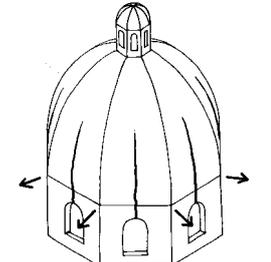
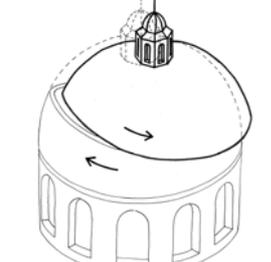
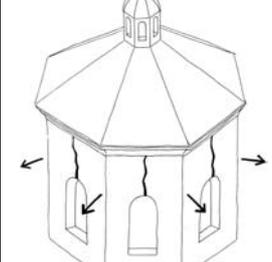
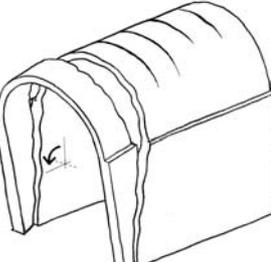
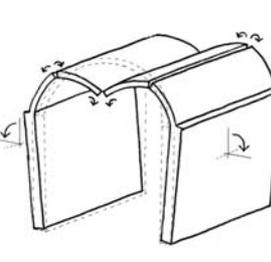
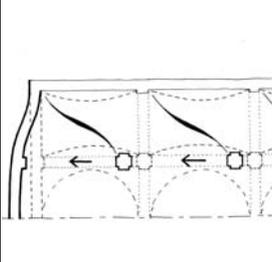
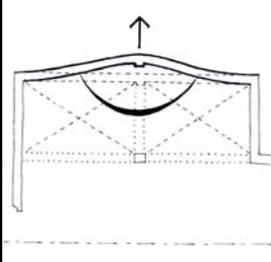
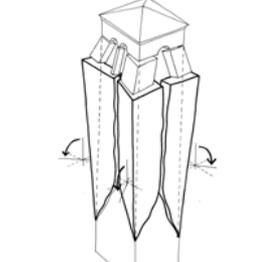
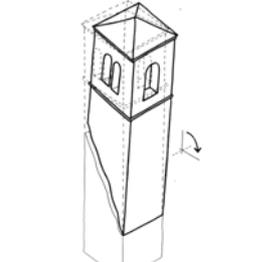
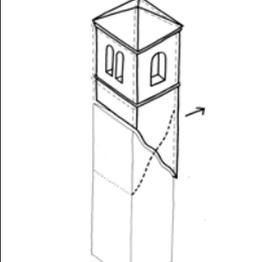
ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 FACCIATA					
	M.1.1 Rotazione fuori piano della facciata con formazione di cerniera cilindrica alla base	M.1.2 Rotazione fuori piano della facciata con formazione di cerniera cilindrica orizzontale nella fascia bassa	M.1.3 Rotazione fuori piano della facciata con formazione di cerniere cilindriche oblique nella fascia alta	M.1.4 Rotazione fuori piano del timpano con formazione di cerniera cilindrica orizzontale	
					
	M.1.5 Articolazione della parte sommitale della facciata con formazione di cerniere cilindriche oblique	M.1.6.a Rottura a taglio della facciata	M.1.6.b Rottura a taglio della facciata	M.1.6.c Rottura a taglio della facciata	
					
	M.1.6.d Rottura a taglio della facciata a salienti nelle fasce laterali	M.1.7 Espulsione dell'angolata della facciata	M.1.8 Separazione della facciata in asse	M.1.9 Interazione tra torre campanaria e facciata	
	M.2 PARETE LATERALE				
		M.2.1 Rotazione fuori piano della parete laterale con formazione di cerniera cilindrica orizzontale alla base	M.2.2 Rotazione fuori piano della parete laterale libera in sommità e vincolata efficacemente su due lati con formazione di cerniera cilindrica obliqua	M.2.3 Rotazione fuori piano della parete laterale libera in sommità e vincolata efficacemente su tre lati con formazione di una cerniera cilindrica orizzontale e due oblique	M.2.4 Rotazione fuori piano della parete laterale vincolata efficacemente su quattro lati con formazione di una o due cerniere cilindriche orizzontali

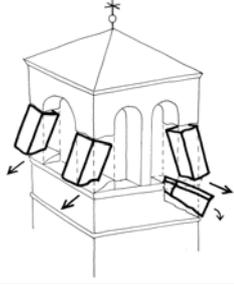
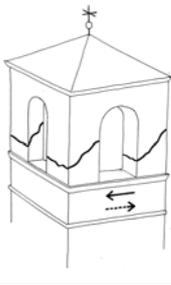
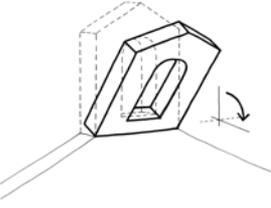
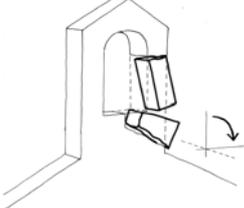
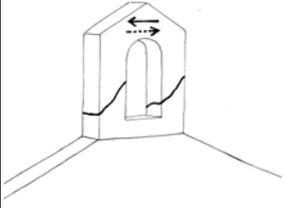
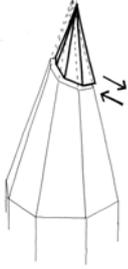
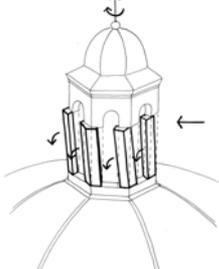
ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.2 PARETE LATERALE				
	M.2.5 Rottura a taglio della parete laterale	M.2.6 Espulsione dell'angolata della parete laterale	M.2.7 Scorrimento tra copertura e parete laterale	
M.3 PARETE DI NAVATA				
	M.3.1 Spostamento verso l'esterno della parte terminale della parete di navata			
M.4 ABSIDE				
	M.4.1 Rototraslazione della parete di estremità dell'abside	M.4.2 Rototraslazione o traslazione della parte superiore dell'abside con distacco lungo un piano inclinato	M.4.3 Rotazione o rototraslazione fuori piano delle angolate o di fasce verticali dell'abside	M.4.4.a Rottura a taglio dell'abside
				
	M.4.4.b Rottura a taglio dell'abside	M.4.5 Espulsione dell'angolata dell'abside	M.4.6 Scorrimento tra copertura e abside	

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

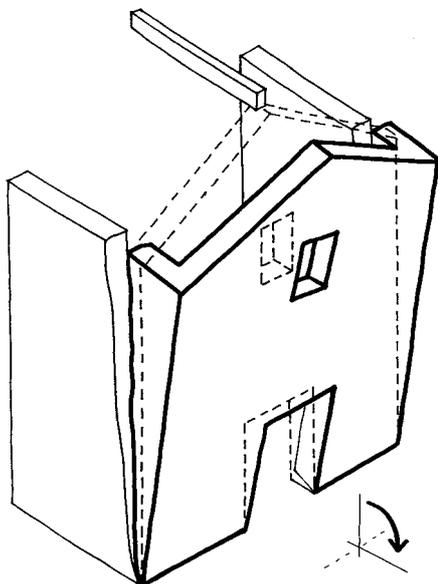
M.5 ARCO TRASVERSALE					
	M.5.1 Rotazione monolaterale nel piano di una spalla dell'arco trasversale	M.5.2 Rotazione bilaterale simmetrica nel piano delle spalle dell'arco trasversale	M.5.3 Rotazione concorde nel piano delle spalle dell'arco trasversale	M.5.4 Rottura a taglio bilaterale simmetrico nelle spalle dell'arco trasversale	
	M.6 CUPOLA E TAMBURO				
		M.6.1 Separazione fra i meridiani della cupola	M.6.2 Rototraslazione o traslazione della parte superiore della cupola con distacco lungo un piano inclinato	M.6.3 Rotazione o rototraslazione fuori piano delle angolate o di fasce verticali del tamburo	
M.7 VOLTA					
	M.7.1 Distacco fra gli archi elementari della volta	M.7.2 Rottura degli archi elementari della volta	M.7.3 Rottura a taglio della volta	M.7.4 Rottura localizzata per allontanamento di un punto d'appoggio della volta	
	M.8 TORRE CAMPANARIA				
		M.8.1 Espulsione di una o più angolate della torre campanaria	M.8.2 Rototraslazione della torre campanaria con cerniera cilindrica ad asse orizzontale o cerniera sferica in corrispondenza di uno spigolo	M.8.3 Traslazione della parte superiore della torre campanaria	

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.9 CELLA CAMPANARIA			
	M.9.1 Traslazione o rototraslazione dei ritti della cella campanaria	M.9.2 Traslazione con rottura a taglio nei ritti della cella campanaria	
M.10 VELA CAMPANARIA			
	M.10.1 Rotazione fuori piano della vela campanaria con formazione di cerniera cilindrica orizzontale alla base	M.10.2 Traslazione o rototraslazione nel piano di uno o più ritti della vela campanaria	M.10.3 Rottura a taglio della vela campanaria
M.11 AGGETTI			
	M.11.1 Rototraslazione o traslazione della parte superiore della guglia con distacco lungo un piano inclinato	M.11.2 Rotazione dei ritti della lanterna	

**MECCANISMI DI DANNO DEL:
M.1 - Macroelemento facciata**

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.1 Meccanismo di rotazione fuori piano della facciata con formazione di cerniera cilindrica alla base

La formazione del meccanismo presuppone lo scollamento della facciata dalla copertura e dal corpo dell'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 ammortamento inefficace e/o dalla presenza di discontinuità fra le parti.

L'andamento delle lesioni caratteristiche, che generalmente nel primo caso sono inclinate e nel secondo pressoché verticali, può essere 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.

48. Gemona del Friuli (UD) - Chiesa del SS. Nome di Maria del Fossale - 1976

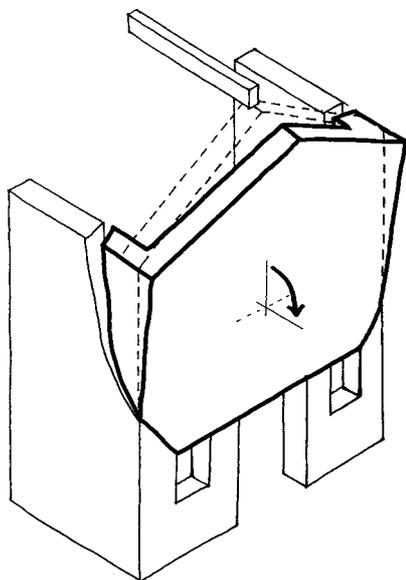
L'attivazione del meccanismo è dovuta alla carenza dei vincoli al contorno: si può infatti osservare la scarsa consistenza della muratura della parete laterale in rapporto a quella della facciata; quest'ultima ha avuto un comportamento rigido rispetto alle azioni fuori piano e il vincolo costituito dalle pareti laterali dell'aula non ha garantito una resistenza sufficiente.

Oltre all'inefficacia dell'ammorsatura muraria e alla discontinuità tra le pareti (causata dai diversi materiali da costruzione utilizzati), ha favorito l'attivazione del meccanismo anche la presenza di una apertura nella parete laterale.



ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.2 Meccanismo di rotazione fuori piano della facciata con formazione di cerniera cilindrica orizzontale nella fascia bassa

La fascia muraria bassa della facciata costituisce una sezione preferenziale per la formazione di cerniera di rotazione quando è indebolita per la presenza di aperture ravvicinate.

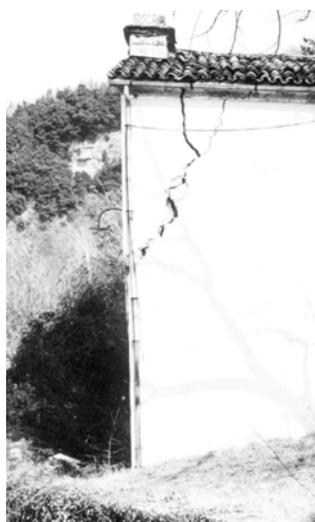
Come nel caso del meccanismo M.1.1 vengono coinvolte le fasce di sovrapposizione con le pareti laterali che risultano lesionate.

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.

49, 50. *Osoppo (UD) - Chiesa di S. Giacomo - 1976*

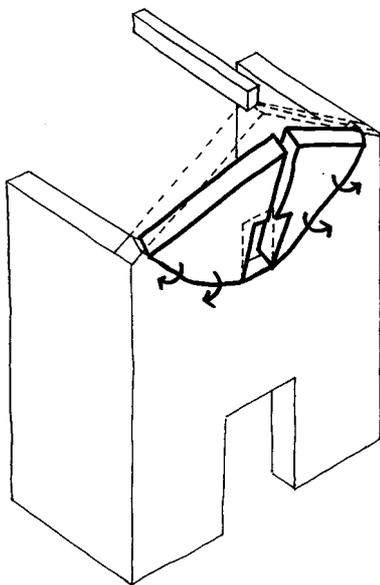
La presenza di un'alta percentuale di fori alla base della parete di facciata costituisce una linea preferenziale per la formazione della cerniera cilindrica a seguito dell'attivazione del meccanismo di rotazione fuori piano.

La parte di muratura al di sopra dei fori è trattenuta da una sezione resistente ridotta appartenente alla parete laterale, nella quale si concentrano gli sforzi che generano lesioni.



ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.3 Meccanismo di rotazione fuori piano della facciata con formazione di cerniere cilindriche oblique nella fascia alta

L'insorgenza del meccanismo è determinata dalla presenza di una foratura, aperta 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 tra il foro centrale e il portale.

51. Forgia (UD) - Chiesa di S.Lorenzo - 1976

Il meccanismo di rotazione ha determinato il crollo della porzione di muratura nella zona centrale delimitata da profili obliqui convergenti al foro superiore della facciata.

Si possono inoltre osservare lesioni che dalle estremità superiori della parete convergono al portale e che evidenziano la progressione del meccanismo.



52. Nocera Umbra (PG) - Chiesa di S.Felice e Costanzo - 1997

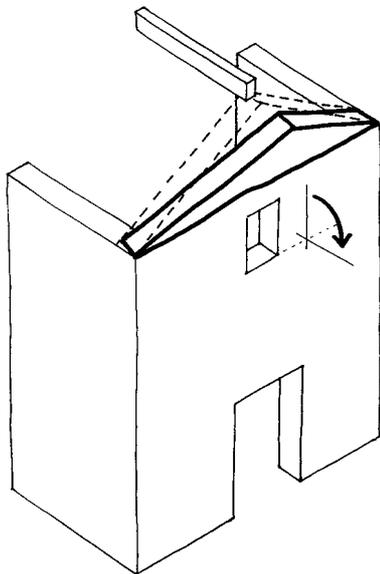
In seguito al sisma del 26 settembre 1997 era crollata la parte sommitale della facciata al di sopra di un foro rettangolare presente nella parte centrale.

In questa fotografia, scattata dopo nove mesi dall'evento principale, si osserva come il profilo superstite converga 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 tra foro e portale.



ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.4 Meccanismo di rotazione fuori piano del timpano con formazione di cerniera cilindrica orizzontale

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

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



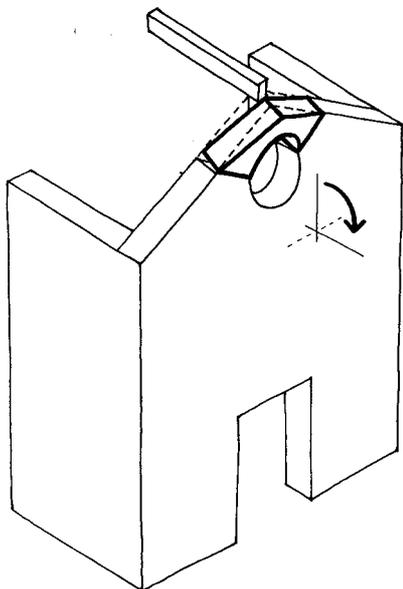
53. Angri (SA) - Chiesa di S. Maria del Carmine - 1980

La formazione di una cerniera orizzontale netta (ben individuata dal profilo di crollo) induce a 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 tra il timpano e la copertura costituisce un'ulteriore condizione sfavorevole per il ribaltamento della parte alta della facciata.

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.5 Meccanismo di articolazione della parte sommitale della facciata con formazione di cerniere cilindriche oblique

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.

54. Gemona del Friuli (UD) - Chiesa del SS. Nome di Maria a Fossale - 1976

La spinta della trave di colmo ha provocato l'articolazione della porzione di timpano al di sopra del foro centrale che in seguito è crollato; questa porzione era scarsamente collegata alla muratura della facciata proprio a causa della presenza dell'apertura.

Si può osservare come, a seguito del crollo, nella porzione di facciata a sinistra si sia innescato un meccanismo di rotazione nel piano.

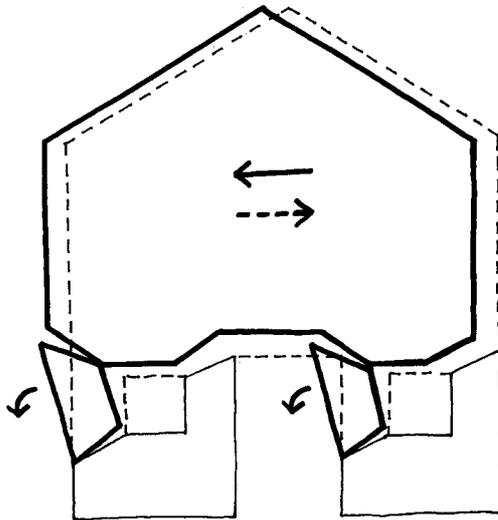


55. Serravalle di Chienti (MC) - Abbazia di S. Salvatore ad Acquapagana - 1997

La parte muraria soprastante l'ampio rosone è di esiguo spessore, non è in grado di collegare efficacemente tra loro le fasce murarie laterali; queste in fase sismica si sono mosse in modo indipendente e hanno determinato la formazione di gravi lesioni nella parte muraria sopra il rosone. Si osserva il nucleo in calcestruzzo all'estremità della trave di colmo che può aver svolto un'azione di martellamento nei confronti della parte sommitale.

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.6.a Meccanismo di rottura a taglio della facciata

La rottura a taglio nella fascia bassa della facciata si manifesta a causa dell'indebolimento determinato dalla presenza di diverse aperture.

La tipologia che determina il meccanismo è la stessa del meccanismo M.1.2, con la differenza che in questo caso l'attivazione del meccanismo fuori piano è inibita dalla presenza di qualche presidio (cordoli efficaci, tiranti, elementi di connessione con la copertura ecc.).

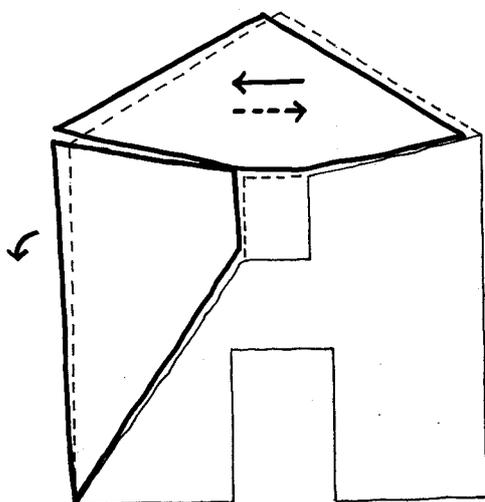


56. Cerreto di Spoleto (PG) - Chiesa di S. Maria delle Grazie a Triponzo - 1997

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 rotazione fuori piano con formazione di cerniera cilindrica orizzontale nella fascia bassa (meccanismo M.1.2), ma in questo caso la ridotta altezza della facciata e la presenza di una coppia di tiranti longitudinali che contrastano le azioni fuori piano innescano il meccanismo di rottura a taglio.

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.6.b Meccanismo di rottura a taglio della facciata

La rottura a taglio è innescata da un'apertura nella parte alta che determina la formazione di due fasce murarie. La parte alta, costituita dal timpano e limitata inferiormente dal 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.

57. Nocera Umbra (PG) - Chiesa di Nocera Scalo - 1997

Lo sviluppo di questo meccanismo è condizionato dalla presenza di un timpano rigido che impedisce i meccanismi fuori piano all'interno del macroelemento.

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

L'andamento delle lesioni è simmetrico rispetto all'asse della facciata a causa dell'alternarsi del verso dell'azione sismica.



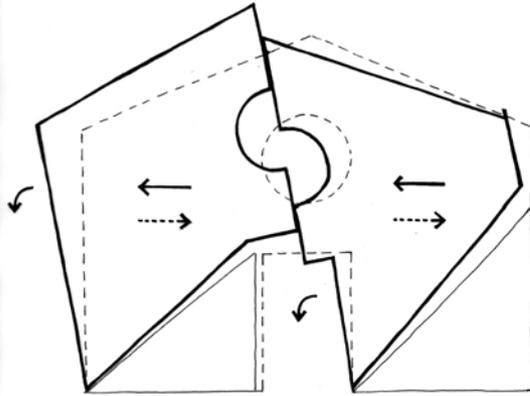
58. Atella (PZ) - Chiesa del Cimitero - 1980

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.

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.6.c Meccanismo di rottura a taglio della facciata

La rottura a taglio nelle fasce murarie laterali è causata dal fatto che esse non sono collegate tra loro per effetto delle aperture in asse. Il comportamento delle fasce laterali tozze è simile a quello di due setti murari indipendenti.



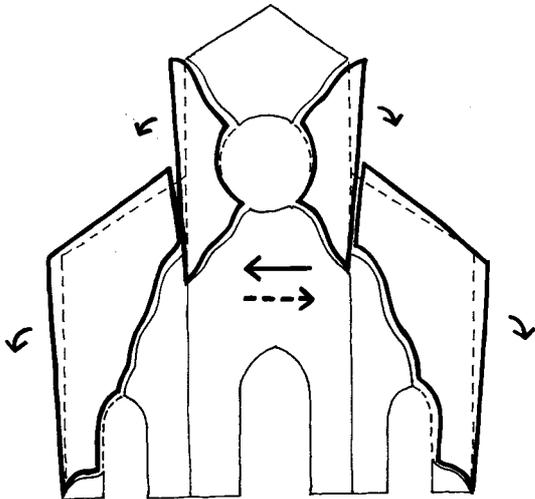
59. Serravalle di Chienti (MC) - Abbazia di S. Salvatore ad Acquapagana - 1997

La facciata della chiesa è interessata da un meccanismo di taglio nelle fasce laterali tozze (le cui lesioni sono visibili nella parte alta e in quella centrale); queste si separano per effetto del sisma in quanto non sono efficacemente collegate tra loro a causa della presenza delle aperture in asse.

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.

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.6.d Meccanismo di rottura a taglio della facciata a salienti

È un meccanismo proprio delle chiese a tre navate con facciata a saliente.

La presenza del foro centrale favorisce il meccanismo di rottura a taglio nella parte centrale che sollecita ulteriormente le pareti delle navate laterali nel proprio piano.

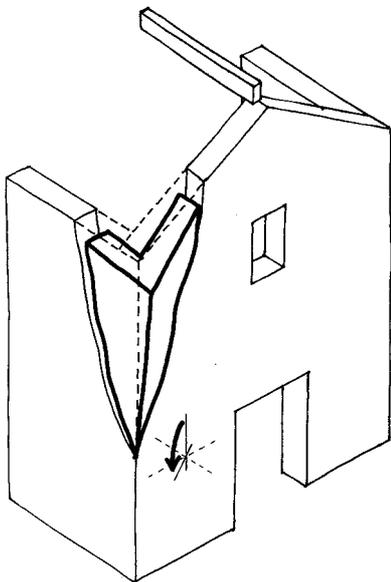


60. Forgaria del Friuli (UD) - Chiesa di S. Giuliana - 1976

Il fronte della navata centrale presenta una rottura a taglio con lesioni oblique incrociate convergenti nel grande rosone centrale; queste determinano la separazione della muratura in quattro porzioni che spingono verso i lati provocando il lesionamento nelle fasce laterali.

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.7 Meccanismo di espulsione dell'angolata della facciata

È un meccanismo localizzato nella fascia di collegamento tra due pareti contigue ed è originato dalla forza esercitata dall'azione sismica nelle due direzioni ortogonali.

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.

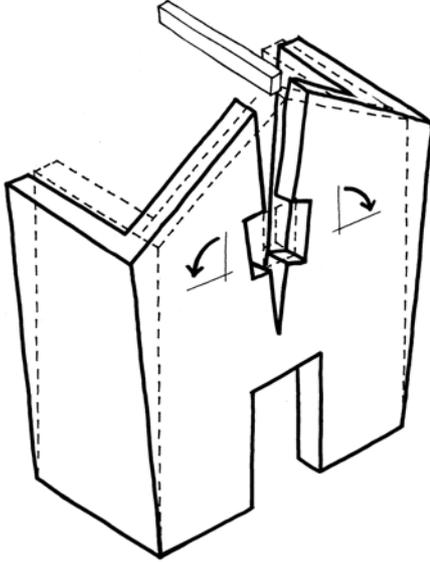
61, 62. *Castelnovo (PN) - Chiesa della Beata Vergine del Zucco - 1976*

Si osserva il meccanismo di espulsione dell'angolata, favorito dallo scarso ingranamento degli inerti costituenti la muratura (si distinguono infatti le pietre di forma tondeggianti) e dalla scadente qualità della malta.



ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.8 Meccanismo di separazione della facciata in asse

Si genera una linea di rottura con andamento pressoché verticale e in posizione centrale.

L'azione principale è generata dallo spostamento fuori piano delle pareti laterali.

L'attivazione del meccanismo è favorita sia dalla presenza di una discontinuità dovuta a diverse forature in linea che dalla presenza di terreni soffici che possono provocare cedimenti fondazionali delle pareti laterali.

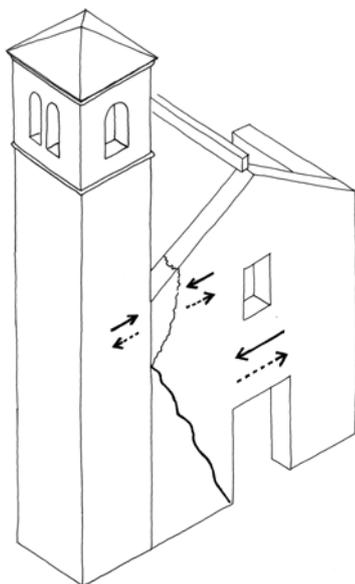
63. Moggio Udinese (UD) - Chiesa di S. Gallo - 1976

L'azione di rotazione fuori piano delle pareti laterali ha determinato la rottura per trazione del pannello murario di facciata nella zona in corrispondenza dell'asse, indebolita dalla presenza dei fori.



ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.1 MACROELEMENTO FACCIATA



M.1.9 Meccanismo dovuto all'interazione tra torre campanaria e facciata

Il meccanismo è specifico delle facciate 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 a contatto.

Le lesioni tipiche sono costituite da una zona di sgregata (dovuta al martellamento) nel punto di vincolo più alto 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.).

Analogo meccanismo si può anche verificare nelle chiese a tre navate con facciata a saliente.

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



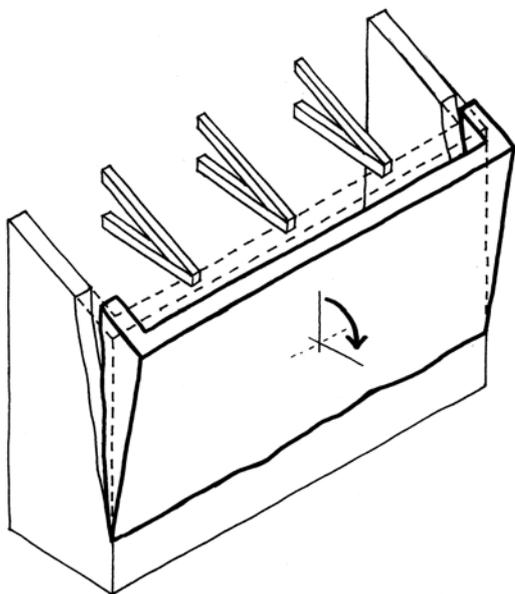
In entrambi i casi si osserva la formazione di una biella compressa nel pannello murario di facciata adiacente al campanile e la disgregazione della zona di muratura nel punto di contatto più alto tra i due macroelementi. In queste zone gli spostamenti relativi sono di maggiore entità e l'azione di martellamento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

65. Pievevitorina (MC) - Chiesa di S. Vito a Valsantangelo - 1997

**MECCANISMI DI DANNO DEL:
M.2 - Macroelemento parete laterale**

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.2 MACROELEMENTO PARETE LATERALE



M.2.1 Meccanismo di 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; per effetto del meccanismo si formano delle lesioni in corrispondenza delle fasce di sovrapposizione laterali con andamento inclinato e/o verticale nel caso di discontinuità tra le parti.

L'attivazione del meccanismo è fortemente influenzata dalla eventuale presenza nell'aula di una volta che esercita una spinta orizzontale sull'intera lunghezza della parete.

66. Venzone (UD) - Chiesa di S. Chiara - 1976

La parete laterale non è ammorsata alla facciata e il suo comportamento è simile a quello di una mensola incastrata alla base.

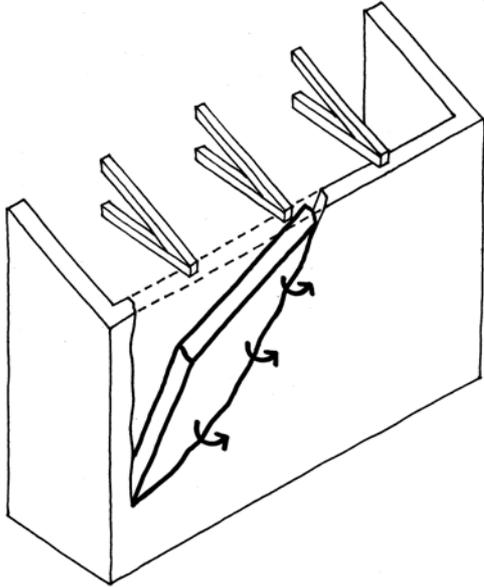


67. Pinzano al Tagliamento (PN) - Chiesa di S. Giuseppe a Campeis - 1976

In questo caso la parete laterale è bene ammorsata alla facciata e durante il meccanismo di rotazione fuori piano trascina con sé una porzione cuneiforme della muratura della facciata.

La presenza dell'apertura costituisce una via preferenziale per il percorso della lesione da distacco.

M.2 MACROELEMENTO PARETE LATERALE



M.2.2 Meccanismo di rotazione fuori piano della parete laterale libera in sommità e vincolata efficacemente su due lati con formazione di cerniera cilindrica obliqua

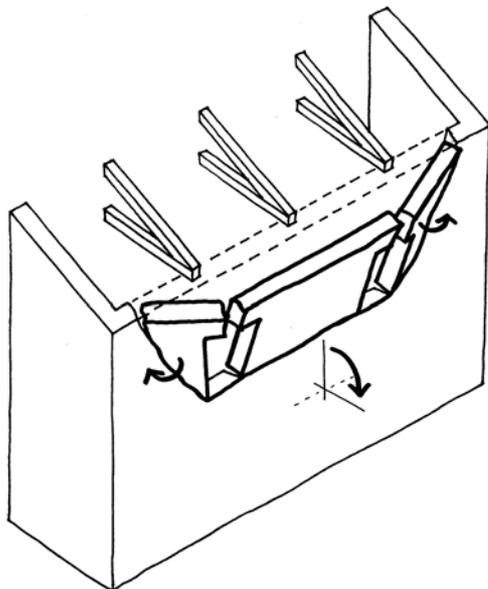
Il meccanismo insorge in seguito alla perdita di un vincolo di estremità (generalmente quello verso la facciata) successivamente al crollo dell'angolata o per il distacco della facciata. Il cinematismo prevede la formazione di una cerniera cilindrica obliqua con spostamenti massimi sul bordo libero.



68. Colloredo di Monte Albano (UD) - Chiesa dei Santi Andrea e Mattia Apostoli - 1976

A seguito del crollo del fronte della navata laterale la parete laterale si è trovata vincolata solo alla base e al transetto e si è sviluppato un meccanismo che ha portato alla formazione di una cerniera cilindrica obliqua con rotazione verso l'esterno.

M.2 MACROELEMENTO PARETE LATERALE

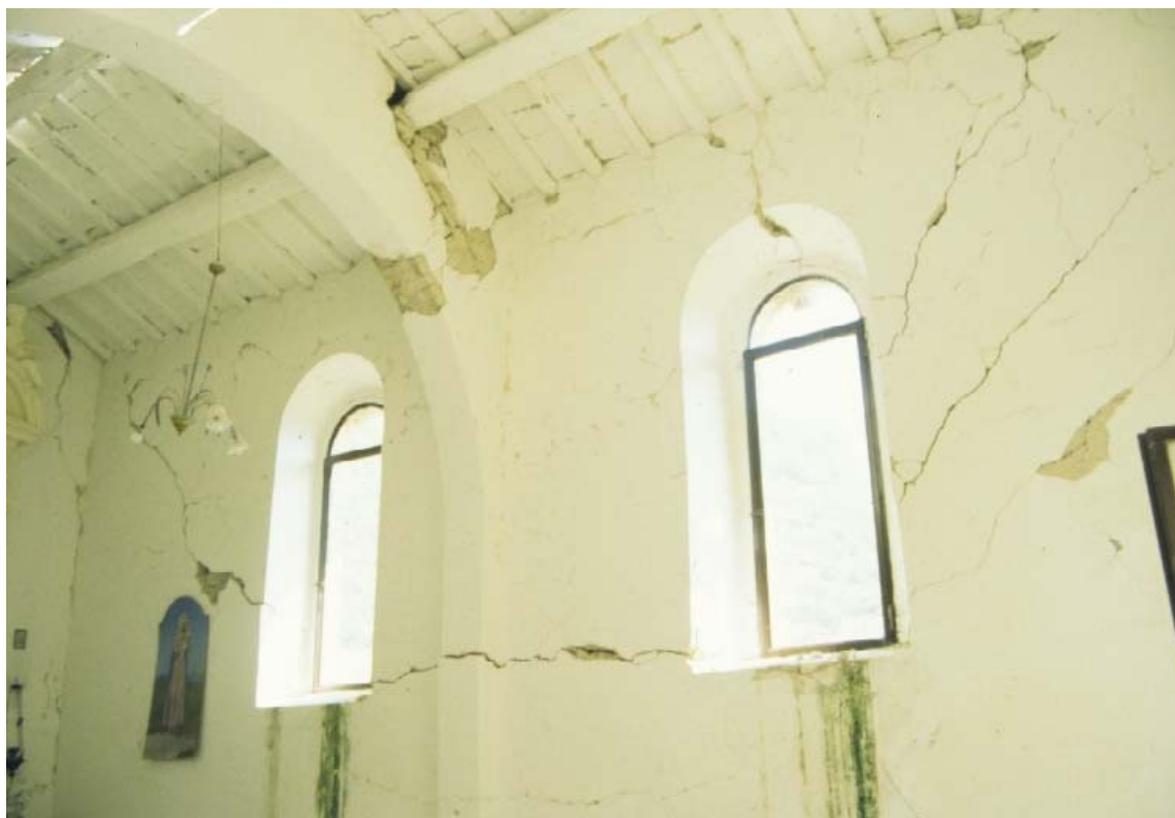


M.2.3 Meccanismo di rotazione fuori piano della parete laterale libera in sommità e vincolata efficacemente su tre lati con formazione di una cerniera cilindrica orizzontale e due oblique

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.

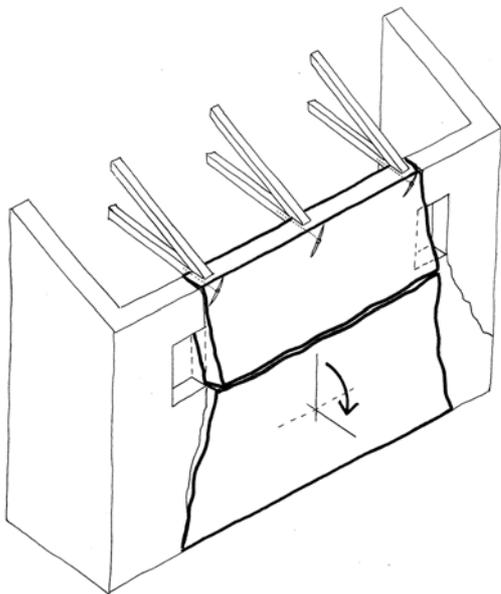


69. Valtopina (PG) - Chiesa di S.Maria della Presentazione a Poggio - 1997

È evidente l'effetto della spinta dell'arco non incatenato: il piedritto, insieme alla parte muraria tra le due finestre si inflette verso l'esterno nella sezione di minore resistenza.

Nella parete, vincolata su tre lati, sono visibili le lesioni diagonali e orizzontale a metà del pannello caratteristiche del meccanismo, in questo caso influenzato dalla presenza delle aperture.

M.2 MACROELEMENTO PARETE LATERALE



M.2.4 Meccanismo di rotazione fuori piano della parete laterale vincolata efficacemente su quattro lati con formazione di una o due cerniere cilindriche orizzontali

La parete laterale ha un comportamento simile a una piastra vincolata su quattro lati. Il vincolo di sommità può essere esercitato da tiranti o cordoli che garantiscono un efficace collegamento tra orditura principale del tetto e parete laterale.

Il meccanismo prevede la formazione di una o due cerniere orizzontali intermedie.

Le lesioni tipiche sono orizzontali in corrispondenza delle cerniere cilindriche e pressoché verticali alle estremità delle parti in rotazione.

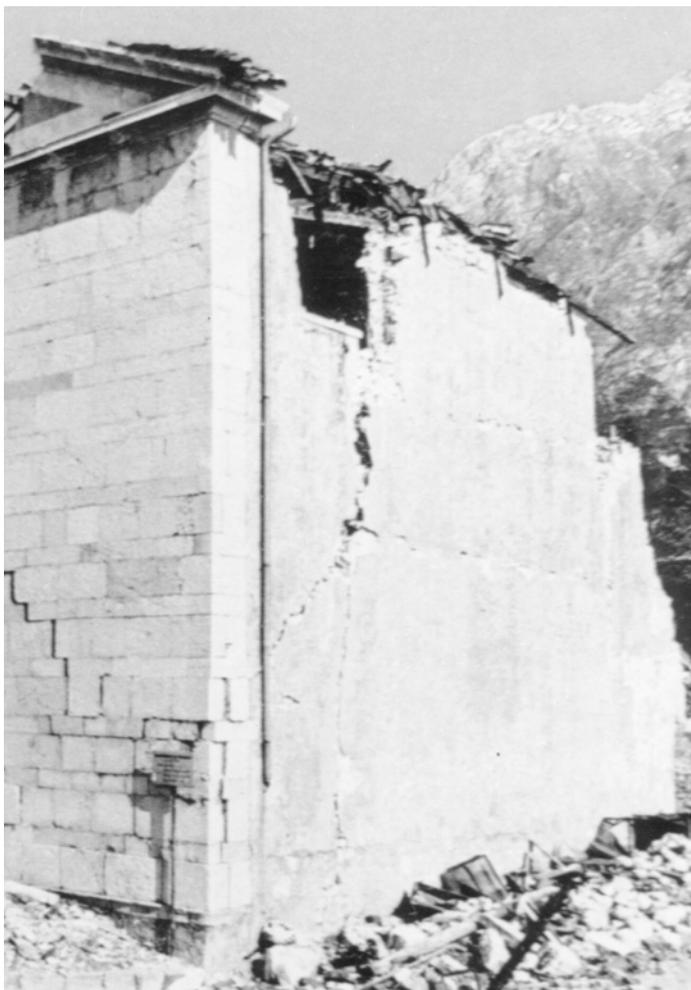
L'insorgenza del meccanismo è fortemente condizionata dalla presenza di forature che comportano una maggiore deformabilità della parete.

70. Gemona del Friuli (UD) - Chiesa del SS. Nome di Maria del Fossale - 1976

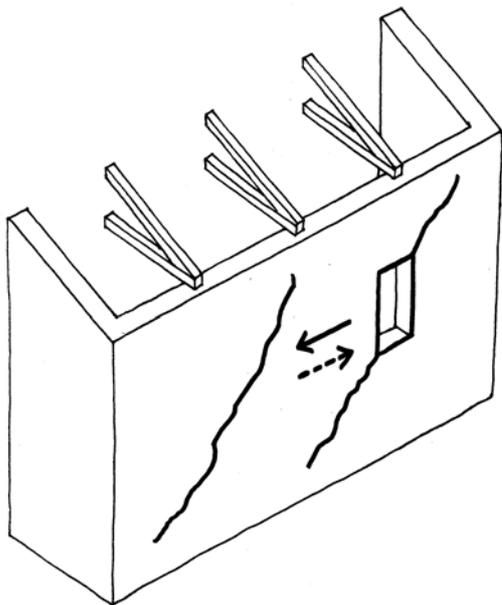
La parete è vincolata su quattro lati: si possono infatti osservare i tre capochiave dei tiranti alle capriate che garantiscono un efficace collegamento della copertura con la parete laterale.

Il meccanismo di spostamento fuori piano si innesca con la formazione di due cerniere orizzontali intermedie: quella più in basso comporta una rotazione verso l'esterno mentre quella più in alto comporta una rotazione verso l'interno.

Si può inoltre osservare l'innescò del meccanismo di rotazione fuori piano sia della facciata (con lesioni inclinate nella fascia di sovrapposizione tra le pareti) sia dell'arco trionfale (degenerato nel collasso dell'intera zona absidale).



M.2 MACROELEMENTO PARETE LATERALE



M.2.5 Meccanismo di rottura a taglio della parete laterale

Il meccanismo comporta la rottura a taglio per azioni nel piano della muratura 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 alla scarsa qualità del legante della muratura.

Eventuali forature presenti costituiscono una via preferenziale per il percorso delle lesioni.

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

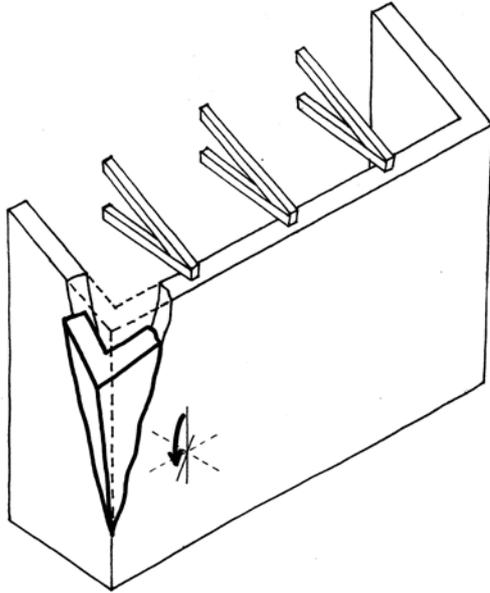
Nella porzione di parete laterale destra compresa tra la facciata e l'arco trasversale si è attivato un meccanismo di rottura a taglio per effetto delle azioni sismiche nel piano della parete. Si possono osservare le caratteristiche lesioni inclinate.



72. Buja (UD) - Chiesa di S. Stefano - 1976

In questo caso la presenza dei fori (che riduce la sezione resistente) nella parete laterale ha favorito il meccanismo di rottura a taglio: si può infatti osservare come le lesioni oblique e incrociate nelle due direzioni si concentrino fra le aperture.

M.2 MACROELEMENTO PARETE LATERALE



M.2.6 Meccanismo di espulsione dell'angolata della parete laterale

È lo stesso meccanismo descritto per la facciata e che si può verificare anche all'intersezione con l'arco trionfale.

È localizzato nella fascia di collegamento tra due pareti contigue ed è originato dalla forza esercitata dall'azione sismica nelle due direzioni ortogonali.

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.

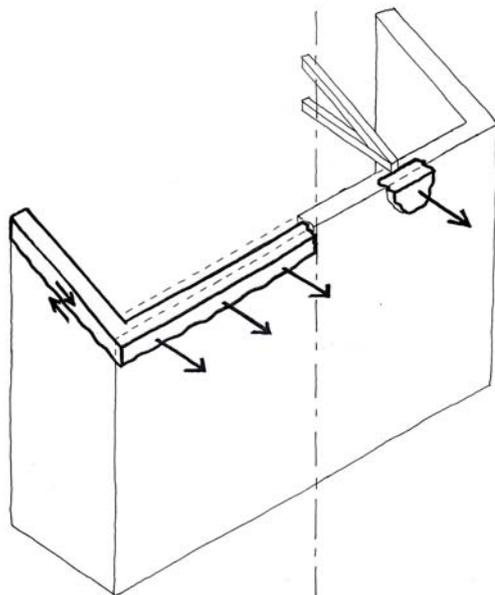
73, 74. *Pievotorina (MC) - Abbazia di S.Michele Arcangelo - 1997*

Il meccanismo di espulsione dell'angolata è completamente attivato nell'angolata adiacente alla zona absidale crollata.

La spalla, nonostante la snellezza, non crolla completamente grazie alla qualità muraria dell'angolata in pietra che sostiene la capriata.



M.2 MACROELEMENTO PARETE LATERALE



M.2.7 Meccanismo di scorrimento tra copertura e parete laterale

Il meccanismo consiste in uno scorrimento localizzato in corrispondenza dell'interfaccia tra la copertura e la muratura della parete laterale.

Si verifica se la copertura è stata semplicemente appoggiata alla sommità del muro oppure se è stato realizzato un intervento di cordatura scarsamente ammortato alle murature sottostanti. Se l'intervento ha comportato un incremento di carico (ad esempio per la realizzazione di una cappa 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 in sommità.

75, 76. *Serravalle di Chienti (MC) - Chiesa di Madonna del Piano - 1997*

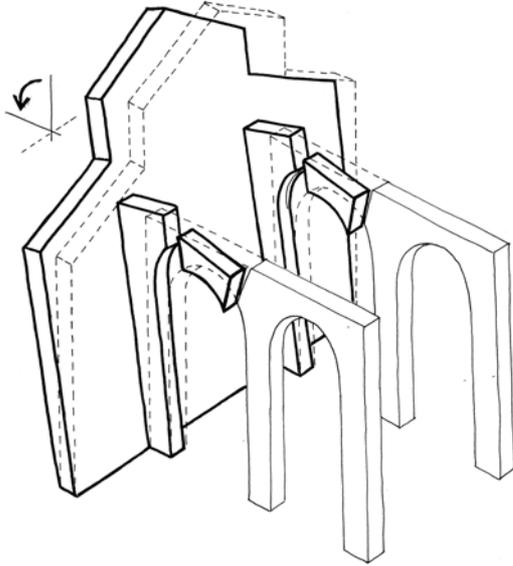
La copertura della chiesa è irrigidita da una cappa in calcestruzzo e da una cordatura di coronamento di spessore esiguo.

In fase sismica fra la copertura e la parete si verificano degli scorrimenti a causa della mancanza di connessioni adeguate; gli spostamenti relativi sono comunque contenuti grazie all'azione svolta dai capochiave esterni delle capriate.



**MECCANISMI DI DANNO DEL:
M.3 - Macroelemento parete di navata**

M.3 MACROELEMENTO PARETE DI NAVATA



M.3.1 Meccanismo di spostamento verso l'esterno della parte terminale della parete di navata

È un meccanismo proprio delle chiese a tre navate con la presenza di un colonnato che separa l'aula dalle navate laterali 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.

Il fenomeno si verifica sia nella parte terminale verso la facciata sia in quella verso la zona absidale in presenza del transetto ed è determinato dalle spinte non contrastate degli archi estremi della parete di navata.

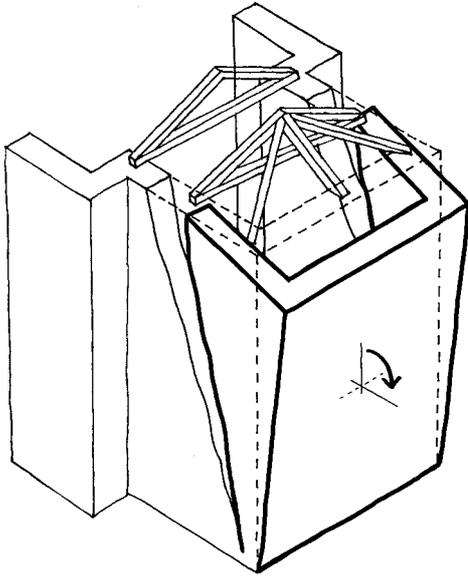


77. Sellano (PG) - Chiesa di S. Maria Assunta - 1997

La spinta non contrastata dell'arco terminale del colonnato ha determinato il distacco della facciata, la discretizzazione del blocco murario tra quest'ultima e la prima colonna della navata e la formazione di una cerniera nella ghiera dell'arco.

**MECCANISMI DI DANNO DEL:
M.4 - Macroelemento abside**

M.4 MACROELEMENTO ABSIDE



M.4.1 Meccanismo di rototraslazione della parete di estremità dell'abside

Il meccanismo si sviluppa in modo analogo a quello del ribaltamento di facciata: la parete si comporta come una mensola incastrata alla base; per effetto del meccanismo si formano delle lesioni in corrispondenza delle fasce di sovrapposizione laterali con andamento inclinato e/o verticale nel caso di discontinuità tra le parti.

L'attivazione del meccanismo è fortemente influenzata dalla eventuale presenza nell'abside di una volta che esercita una spinta orizzontale.

78. Cavazzo Carnico (UD) - Chiesa di S.Valentino a Somplago - 1976

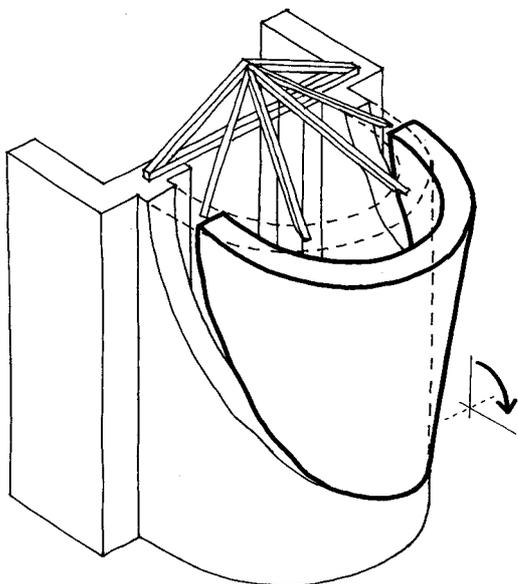
Il catino absidale ha attivato un meccanismo di rototraslazione verso l'esterno dell'abside.

L'ammorsamento tra i pannelli murari dell'abside è efficace e di conseguenza la rotazione dei pannelli di estremità avviene con il trascinarsi di una porzione cuneiforme dei pannelli laterali.

L'andamento della lesione è fortemente influenzato dalla presenza dell'apertura.



M.4 MACROELEMENTO ABSIDE



M.4.2 Meccanismo di rototraslazione o traslazione 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 maggior parte dei casi, esercitano spinte non compensate sui bordi dell'abside che favoriscono l'attivazione del meccanismo.

79, 80. *Pievebovigliana (MC) - Chiesa allo stato di rudere danneggiata da sisma antecedente a quello del 1997*

Il catino absidale si è distaccato in sommità ed è parzialmente crollato.

Nella parte alta si può osservare una superficie di distacco verticale, indice di una scarsa ammorsatura tra le parti; nella porzione sottostante invece la curva di distacco assume un andamento lungo un piano inclinato caratteristico di questo meccanismo.



81. *Gemona del Friuli (UD) - Chiesa della Madonna delle Grazie - 1976*

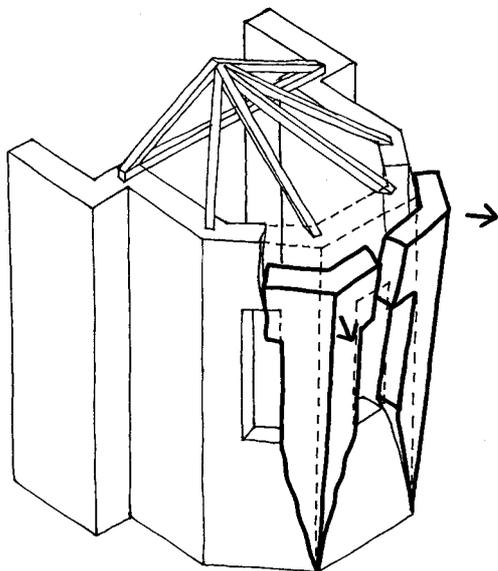
Le cappelle laterali, che sono assimilabili al catino absidale per forma e dimensione, presentano un comportamento analogo durante l'evento sismico.

Nella cappella in primo piano si può infatti osservare il distacco in sommità in corrispondenza dell'aula secondo un profilo inclinato che chiude verso il basso.

La cappella centrale, che ha sviluppato un meccanismo analogo, è crollata.

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.4 MACROELEMENTO ABSIDE



M.4.3 Meccanismo di rotazione o rototraslazione fuori piano delle angolate o di fasce verticali dell'abside

Il meccanismo si osserva prevalentemente nelle absidi circolari o poligonali.

Le lesioni caratteristiche hanno andamento verticale, ma la presenza di aperture può favorire il congiungimento delle lesioni in corrispondenza degli spigoli fra i pannelli murari.

L'attivazione del meccanismo è favorita dalle spinte generate dalle travi della copertura o dalla presenza di eventuali volte interne.

82. *S. Giacomo di Ragogna (UD) - Chiesa di S. Giacomo - 1976*

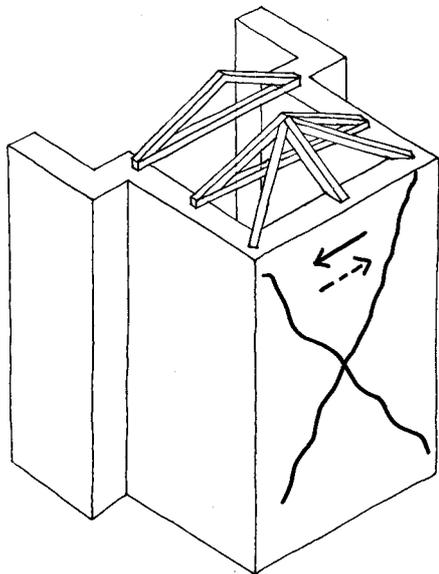
I puntoni della copertura hanno esercitato una spinta localizzata nella sommità delle angolate fra i pannelli dell'abside poligonale.

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. Le lesioni quindi si raccordano sotto i fori in corrispondenza degli spigoli fra i pannelli murari.



ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.4 MACROELEMENTO ABSIDE

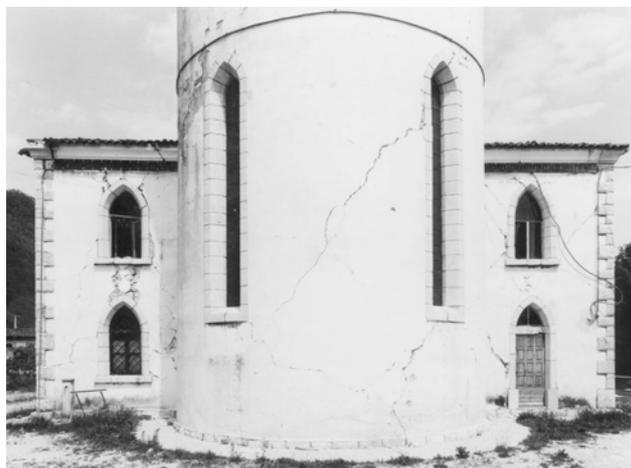


M.4.4.a Meccanismo di rottura a taglio dell'abside

Il meccanismo è prevalente nelle absidi rettangolari e può interessare anche il presbitero. In alcuni casi (in particolare in presenza di absidi poligonali) si possono osservare lesioni inclinate che suggeriscono la comparsa di azioni torsionali nel macroelemento.

83. Pignano di Ragogna (UD) - Chiesa della Natività della Beata Vergine Maria - 1976

Le lesioni incrociate evidenziano il meccanismo di rottura a taglio subito dalla parete dell'abside. Tale meccanismo ha interessato anche la parete di estremità di una delle navate laterali.

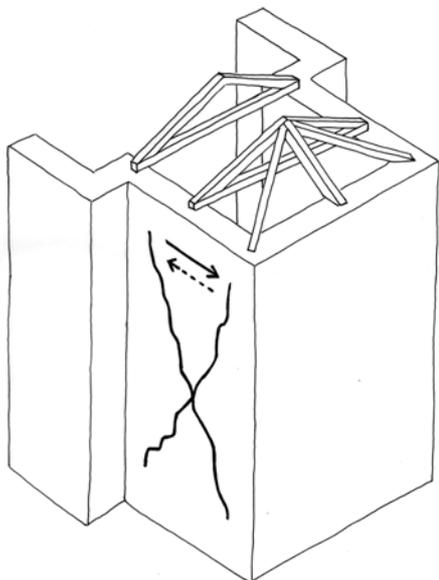


84. Cornino (UD) - Chiesa di S. Giuliana - 1976

Anche in questo caso le murature dell'abside circolare hanno manifestato un comportamento a taglio con la formazione di lesioni inclinate. Si può osservare come la presenza dei fori influenzi il percorso delle lesioni.

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.4 MACROELEMENTO ABSIDE



M.4.4.b Meccanismo di rottura a taglio dell'abside

Il meccanismo è analogo al meccanismo M.4.4.a, ma anziché interessare la parete di estremità dell'abside, si manifesta nelle pareti laterali e può coinvolgere anche il presbiterio.

Il meccanismo si può attivare ad esempio in presenza di presidi che impediscono i meccanismi di ribaltamento.

85. Raveo (UD) - Chiesa di S.Maria - 1976

L'insorgere di un meccanismo a taglio è dovuta alla presenza di catene (apposte dopo il sisma del 1928) che impediscono i meccanismi di ribaltamento.

Si possono osservare le lesioni incrociate da taglio sulle pareti laterali dell'abside.

La presenza delle aperture determina la formazione delle lesioni lungo una linea preferenziale che termina sugli spigoli dei fori stessi.



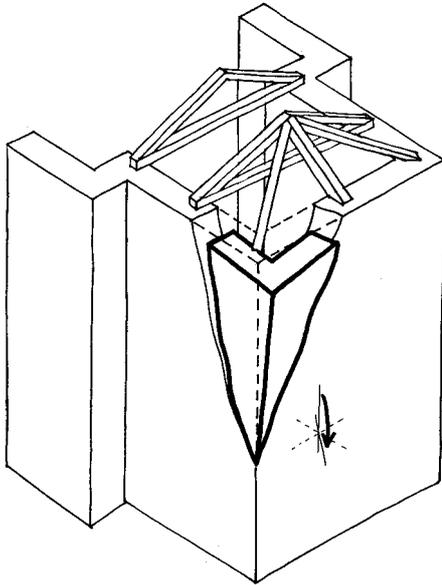
86. Rivello (PZ) - Chiesa di S.Maria del Poggio - 1998

Anche le cappelle interne presentano una rottura a taglio simile a quella dell'abside e delle cappelle esterne.

In questo caso i setti trasversali della navata laterale hanno assorbito una parte considerevole dell'azione sismica (ed in particolare di quella trasmessa dalle volte) e si è attivato un meccanismo di rottura a taglio.

In occasione del sisma del 1998 il meccanismo, già attivato in misura significativa nel 1980, ha subito un'ulteriore progressione.

M.4 MACROELEMENTO ABSIDE



M.4.5 Meccanismo di espulsione dell'angolata dell'abside

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 che per altri macroelementi.

87. Lusevera (UD) - 1976

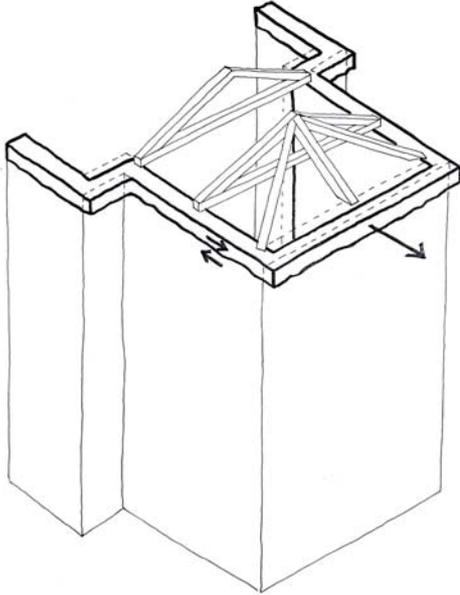
La copertura spingente, costituita da travi diagonali, ha contribuito all'innesco del meccanismo di espulsione dell'angolata.

Sono evidenti le lesioni inclinate convergenti negli spigoli dell'abside poligonale.



ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.4 MACROELEMENTO ABSIDE



M.4.6 Meccanismo di scorrimento tra copertura e abside

Il meccanismo si manifesta con le stesse modalità descritte per la parete laterale.



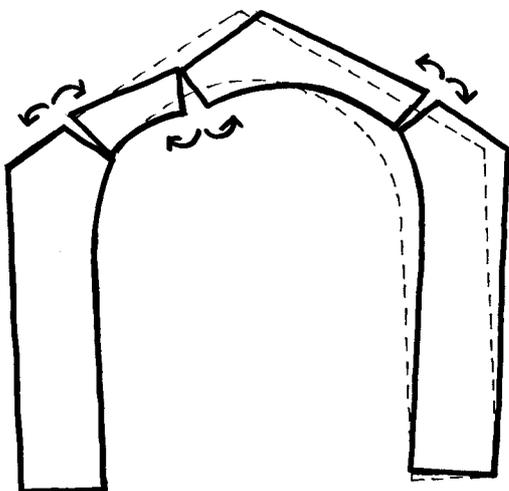
88. *Zuglio (UD) - Chiesa di S. Leonardo - 1976*

La presenza della copertura spingente e lo scarso ingranamento delle pietre costituenti la muratura dell'abside hanno determinato lo scorrimento tra la copertura e la parete dell'abside e l'espulsione dell'intonaco oltre che della malta dei giunti esterni.

**MECCANISMI DI DANNO DEL:
M.5 - Macroelemento arco trasversale**

M.5 MACROELEMENTO ARCO TRASVERSALE

M.5.1 Meccanismo di rotazione monolaterale nel piano di una spalla dell'arco trasversale



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 (ad esempio negli intagli nella muratura per il posizionamento dell'orditura della copertura) con la conseguente diversità di comportamento fra le varie tipologie di arco.

89. Valtopina (PG) - Chiesa di S.Maria della Presentazione a Poggio - 1997

Sul lato destro si è verificata la rotazione della spalla, mentre il lato sinistro non ha subito rotazioni in quanto parte di un complesso edilizio adiacente.

Lo spessore esiguo dell'arco consente di distinguere i punti di cerniera.

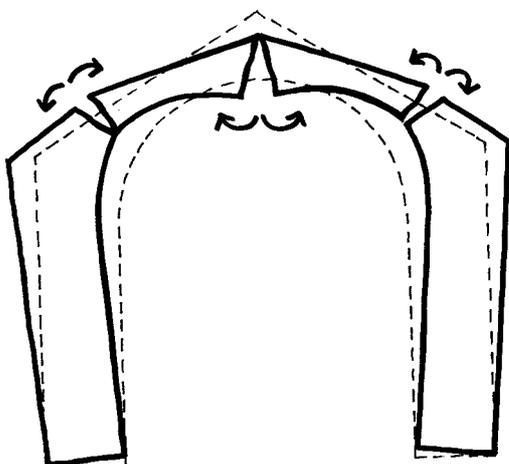


90. Cingoli (MC) - Chiesa di S. Esuperanzio - 1997

La rotazione fuori piano della parete laterale a destra nella foto ha attivato il meccanismo di rotazione monolaterale della spalla.

Si tratta di effetti di sismi precedenti a quello del 1997: infatti non sono visibili lesioni, ma l'attivazione del meccanismo è evidenziata dalla consistente deformazione dell'arco che si abbassa in corrispondenza della sezione tesa all'intradosso.

M.5 MACROELEMENTO ARCO TRASVERSALE



M.5.2 Meccanismo di rotazione bilaterale simmetrica nel piano delle spalle dell'arco trasversale

Il meccanismo si può verificare quando l'arco e i piedritti hanno una sezione resistente confrontabile.

Il meccanismo è simmetrico e prevede che entrambi i piedritti subiscano una rotazione verso l'esterno.

Questo meccanismo di collasso è tipico dell'arco anche in condizioni statiche, per cui è possibile una sua attivazione anche per effetto dei soli carichi verticali. In fase sismica il meccanismo tende a progredire secondo un cinematismo predefinito.

91. Fabriano (AN) - Chiesa di S. Giovanni - 1997

La rotazione fuori piano di entrambe le pareti laterali ha determinato l'abbassamento in chiave dell'arco con la conseguente formazione di tre cerniere, due alle reni e una in chiave. Il meccanismo è favorito dalla snellezza delle spalle.

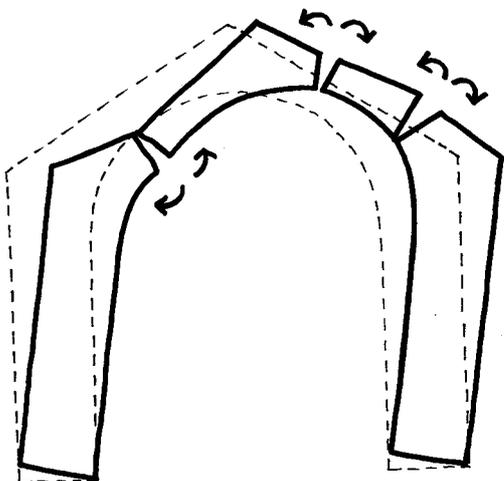


92. Venzona (UD) - Chiesa di S. Caterina - 1976

Le spalle laterali dell'arco subiscono rotazioni simmetriche alla base per effetto della spinta dell'arco.

Il meccanismo si sviluppa anche se l'arco è tozzo rispetto ai piedritti perché la sezione in chiave è indebolita dalla presenza del foro; in sua assenza infatti l'arco tenderebbe a sviluppare un comportamento monolitico lesionandosi unicamente in prossimità dei piedritti.

M.5 MACROELEMENTO ARCO TRASVERSALE



M.5.3 Meccanismo di rotazione concorde nel piano delle spalle dell'arco trasversale

Il meccanismo si può verificare in situazioni nelle quali i piedritti sono snelli e le pareti laterali offrono scarsa resistenza.

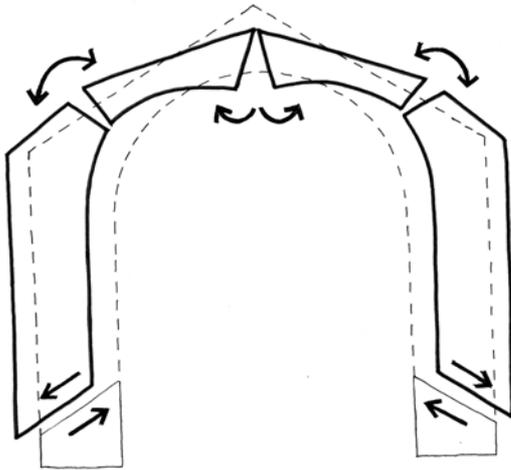
Il cinematismo che si genera comporta la deformazione della ghiera, ma non l'allontanamento significativo delle imposte dell'arco per cui l'eventuale presenza di una catena non risulta particolarmente efficace nel contrastare l'attivazione del meccanismo.

93. Tramonti di Sotto (PN) - Chiesa di S.Maria Assunta - 1976

L'azione sismica ha provocato la rotazione concorde di tutti i piedritti degli archi trasversali dell'aula. Il fenomeno è particolarmente evidente nell'arco centrale della foto, nel quale si riconoscono le caratteristiche lesioni.



M.5 MACROELEMENTO ARCO TRASVERSALE



M.5.4 Meccanismo di rottura a taglio bilaterale simmetrico nelle spalle dell'arco trasversale

Il meccanismo è attivato dalla rottura a taglio in entrambi i piedritti che si allontanano provocando la deformazione dell'arco (che si abbassa in chiave) e l'attivazione di un meccanismo con la formazione di tre cerniere nell'arco stesso.

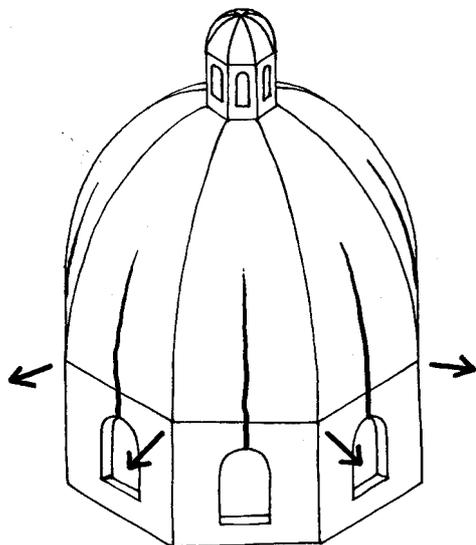
94. *Artegna (UD) - Chiesa di S. Stefano - 1976*

L'allontanamento delle imposte causato dalla rottura a taglio delle spalle ha determinato l'abbassamento della chiave e il lesionamento dell'arco in chiave e alle reni.



MECCANISMI DI DANNO DEL:
M.6 - Macroelemento cupola e tamburo/tiburio

M.6 MACROELEMENTO CUPOLA E TAMBURO/TIBURIO

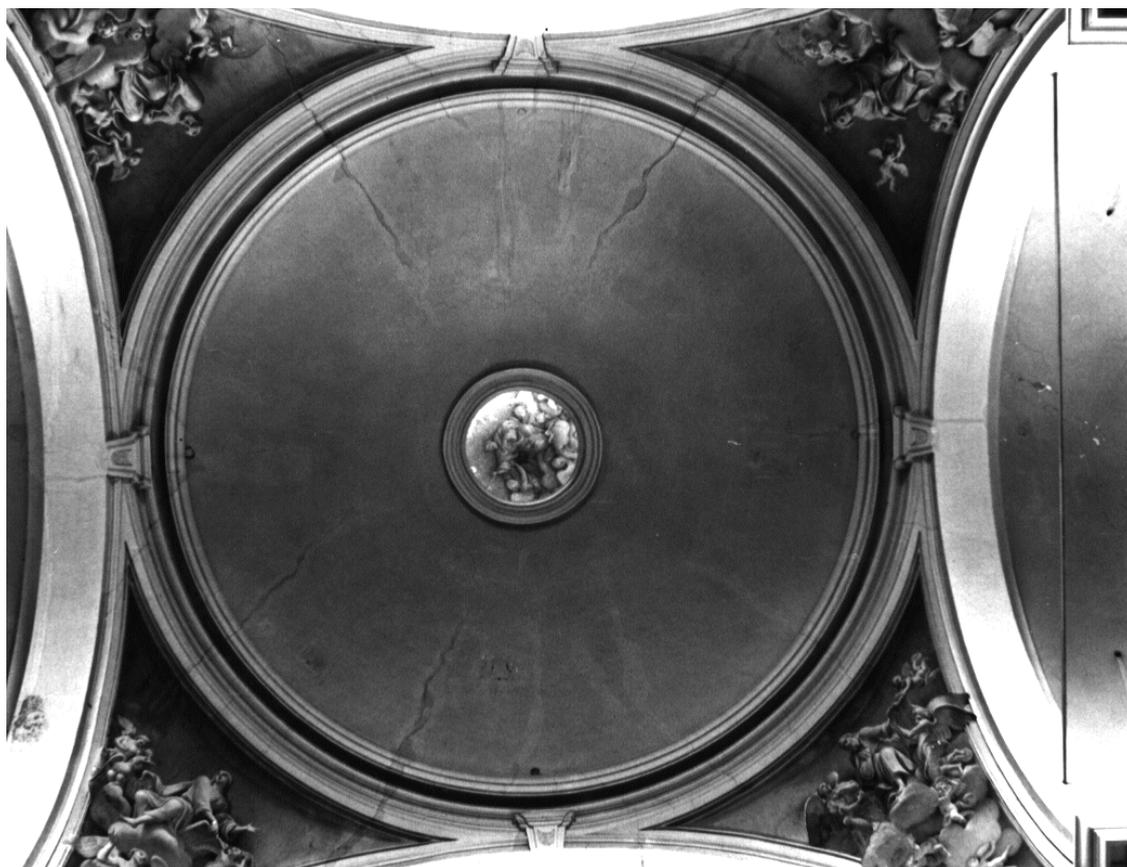


M.6.1 Meccanismo di separazione fra i meridiani della cupola

Il meccanismo è tipico della cupola anche in condizioni statiche e si attiva a causa dallo stato tensionale caratterizzato da tensioni di trazione lungo i paralleli.

Nelle cupole emisferiche le lesioni, che seguono l'andamento dei meridiani, si generano alla base nelle sezioni meno vincolate; nelle cupole a base poligonale le lesioni si formano invece nelle sezioni di minore resistenza, ossia in asse alle unghie.

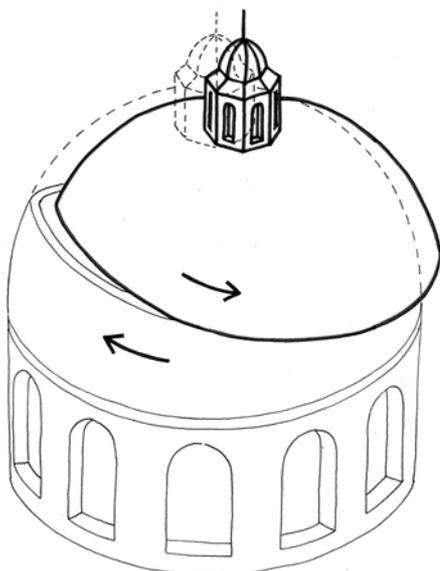
Il meccanismo può anche manifestarsi nel caso di allontanamento degli appoggi.



95. Reggio Emilia (RE) - Chiesa di S.Domenico - 1987

La spinta alla base della cupola determina la formazione di lesioni convergenti alla sommità e di ampiezza maggiore alla base. Queste lesioni discretizzano la muratura in "spicchi" ed incrementano ulteriormente la spinta puntualmente.

M.6 MACROELEMENTO CUPOLA E TAMBURO/TIBURIO



M.6.2 Meccanismo di rototraslazione o traslazione della parte superiore della cupola con distacco lungo un piano inclinato

Una cupola può essere idealmente pensata come un insieme formato da una serie di corsi circolari o poligonali sovrapposti, di raggio decrescente verso l'alto. Quando il collegamento fra i corsi non è molto efficace, l'azione sismica può farli traslare reciprocamente. L'effetto è la comparsa di lesioni orizzontali, particolarmente visibili all'intradosso della volta.

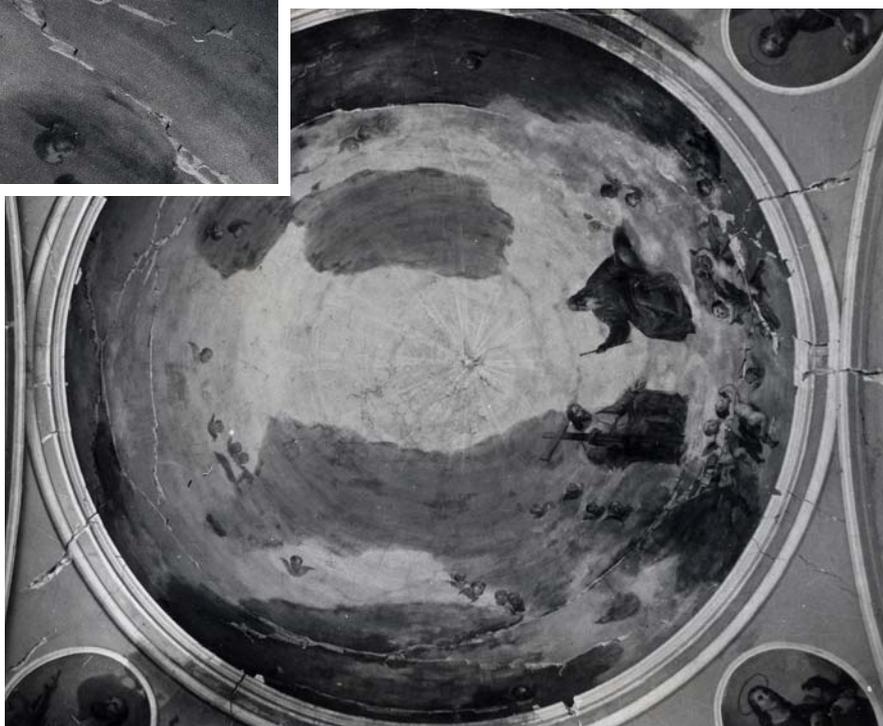


96, 97. *Venezia (UD) - Chiesa di S. Bartolomeo a Portis - 1976*

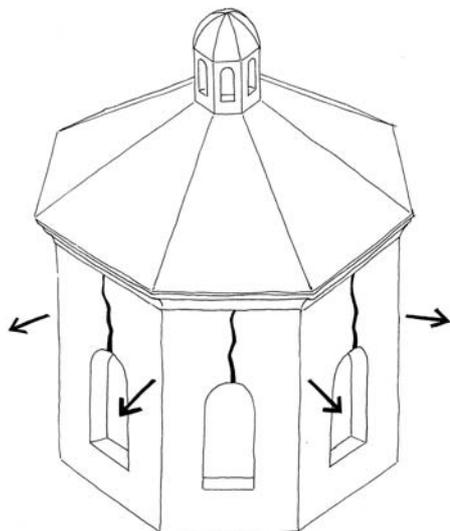
Sono riconoscibili quattro linee di lesione ad andamento ellittico e corrispondenti a diverse superfici di rottura della cupola generatesi durante il moto sismico.

La cupola era costruita in mattoni il che consente di osservare agevolmente i versi degli spostamenti e gli scorrimenti che si sono verificati lungo i letti di malta.

Sono inoltre visibili le lesioni radiali di schiacciamento nei punti in cui la cupola scarica alle strutture sottostanti le sollecitazioni sismiche.



M.6 MACROELEMENTO CUPOLA E TAMBURO/TIBURIO



M.6.3 Meccanismo di rotazione o rototraslazione fuori piano delle angolature o di fasce verticali del tamburo

Il meccanismo è analogo a quello descritto per l'abside.

Le lesioni caratteristiche hanno andamento verticale e sono favorite dalle aperture generalmente presenti nel tamburo.

L'attivazione del meccanismo è favorita dalle spinte generate dalle travi della copertura o dalla presenza di eventuali cupole del tiburio.

98. Carpi (MO) - Chiesa di S.Nicolò - 1987

La formazione di lesioni verticali nel tamburo è favorita dalla presenza di delle aperture circolari. Nonostante il sisma del 1987 nelle province di Modena e Reggio Emilia abbia fatto registrare modeste intensità, l'entità delle sollecitazioni in questo tiburio e nelle strutture che lo sostengono (archi) è stata rilevante per le grandi dimensioni per l'elevata altezza rispetto al terreno.



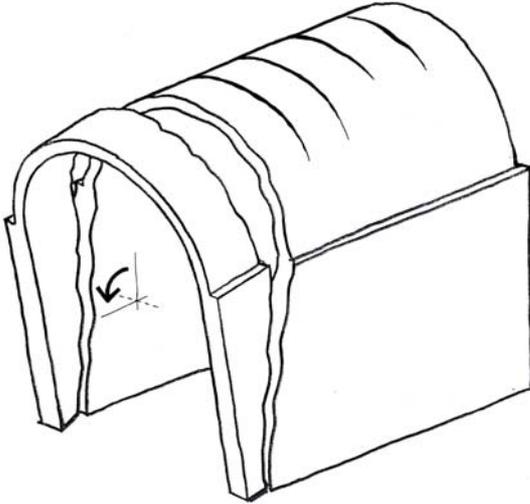
99. Anghi (SA) - 1980

Meccanismo analogo a quello del caso precedente che interessa l'apertura tamponata.

**MECCANISMI DI DANNO DEL:
M.7 - Macroelemento volta**

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.7 MACROELEMENTO VOLTA



M.7.1 Meccanismo di distacco fra gli archi elementari della volta

Una volta può essere idealmente pensata come un insieme formato da una serie di archi elementari. Quando il collegamento fra questi archi ideali è inefficace può verificarsi la separazione della volta parallelamente all'orditura degli archi.

Il meccanismo si può attivare, ad esempio, per effetto del meccanismo di rotazione fuori piano della parete di testa e le lesioni seguono la sagoma dell'arco elementare.

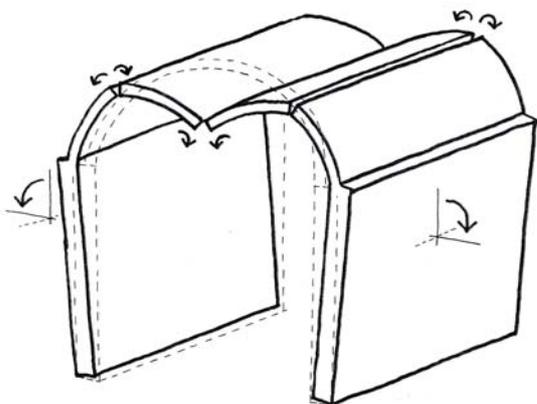


100. Bonifro (CB) - Chiesa di S. Maria delle Rose - 2002

Sono visibili le lesioni in direzione ortogonale alla generatrice della volta sia nella volta a botte che nelle lunette laterali; le fessurazioni testimoniano la separazione tra gli archi elementari ideali.

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.7 MACROELEMENTO VOLTA



M.7.2 Meccanismo di rottura degli archi elementari della volta

Il meccanismo è conseguente all'allontanamento degli appoggi e si manifesta con le stesse modalità descritte per il macroelemento arco trasversale (rotazione monolaterale, bilaterale simmetrica ecc...).

Si la formazione di cerniere cilindriche con andamento rettilineo, orientate ortogonalmente agli archi elementari.

101. Pinzano (PN) - Chiesa di S.Maria dei Battuti a Valeriano - 1976

La rotazione fuori piano delle pareti laterali dell'aula ha causato lo snervamento dei tiranti e la rottura degli archi elementari con la formazione di tre cerniere ed il conseguente crollo della volta a botte.



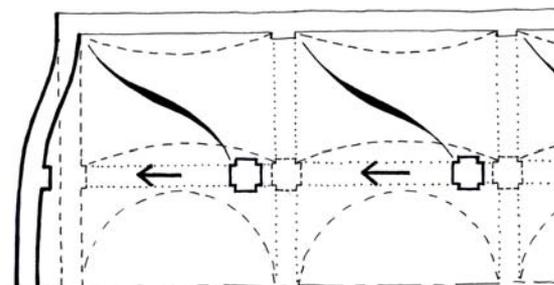
102. Cingoli (MC) - Chiesa di S.Esuperanzio - 1997

Le lesioni incrociate parallele alle pareti sulle quali si imposta la volta evidenziano la rottura in chiave degli archi elementari. Il dissesto è chiaramente riconducibile ad eventi sismici antecedenti a quello del 1997.

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.7 MACROELEMENTO VOLTA

M.7.3 Meccanismo di rottura a taglio della volta

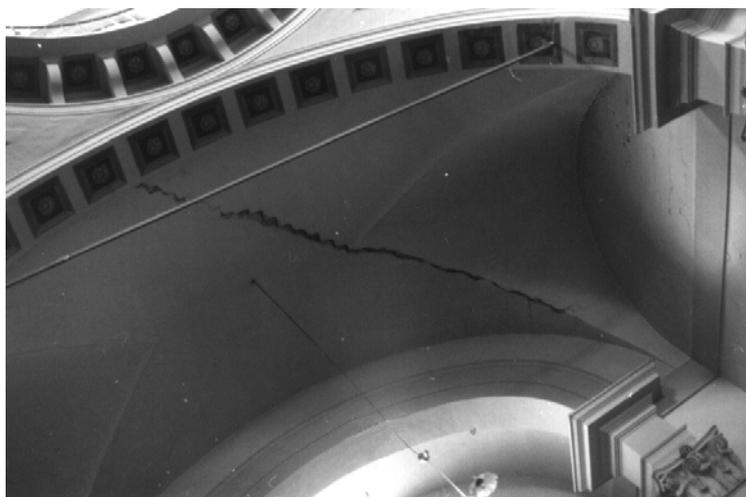


Il meccanismo si attiva per effetto della traslazione relativa (deformazione angolare del perimetro) di due pareti opposte sulle quali si imposta la volta.

Per effetto dello spostamento reciproco degli appoggi le volte sono soggette a sforzi di trazione e compressione lungo le diagonali che producono l'apertura delle lesioni disposte parallelamente alla diagonale compressa.

103. *Campo Galliano (MO) - Chiesa della Purificazione della Beata Vergine a Panzano - 1987*

La traslazione relativa tra la parete esterna della navata laterale e il corpo dell'aula ha determinato la formazione di un arco diagonale compresso all'interno della volta in laterizio come evidenziato dalla lesione. Questa si è propagata attraverso le fughe fra i mattoni costituenti la volta, indice di una scadente qualità della malta.

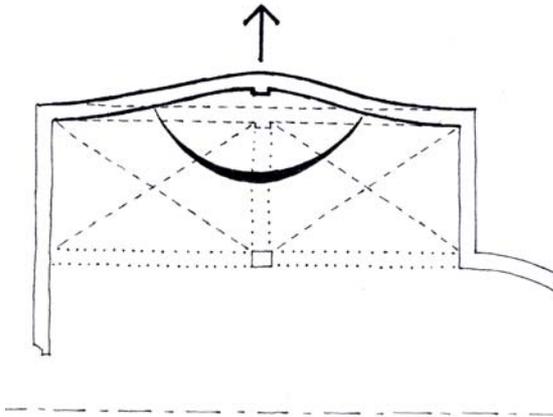


104. *Correggio (RE) - Chiesa di S. Paolo a Canolo - 1987*

In questo caso la rottura diagonale si è verificata in corrispondenza della linea di contatto fra le unghie

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

M.7 MACROELEMENTO VOLTA



M.7.4 Meccanismo di rottura localizzata per allontanamento di un punto d'appoggio della volta

Il meccanismo è tipico per le volte a crociera o a vela e si attiva per effetto dell'allontanamento di un punto sul quale scarica la volta. Può riguardare un appoggio intermedio o un'angolata che subiscono una traslazione o una rotazione verso l'esterno.

Il meccanismo si manifesta con una lesione che evidenzia il distacco dell'imposta degli archi diagonali e/o del pennacchio dal resto della volta.

105. Apiro (MC) - Chiesa di S. Urbano a S. Urbano - 1997

Il meccanismo è riconoscibile dalle lesioni in corrispondenza dell'imposta dell'arco diagonale (a sinistra in primo piano): si tratta di effetti di sismi antecedenti a quello del 1997

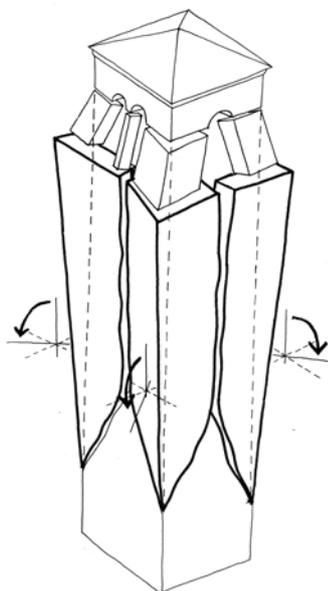


106. Visso (MC) - Chiesa di S. Lorenzo Martire a Riofreddo - 1997

In questo caso il meccanismo si è innescato per effetto dell'attivazione del meccanismo di rotazione fuori piano della parete laterale: si notano le lesioni sulle pareti conseguenti al ribaltamento e le lesioni di distacco dell'angolo dal resto della volta.

**MECCANISMI DI DANNO DEL:
M.8 - Macroelemento torre campanaria**

M.8 MACROELEMENTO TORRE CAMPANARIA



M.8.1 Meccanismo di espulsione di una o più angolate della torre campanaria

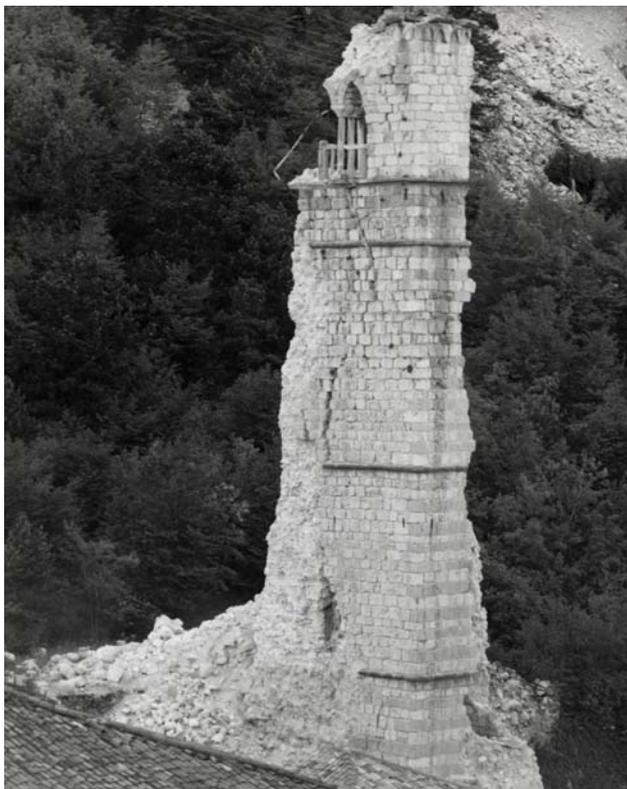
Il meccanismo consiste nella separazione di una o più angolate con la rotazione o rototraslazione verso l'esterno di queste ultime.

Nella zona centrale dei pannelli murari si formano delle lesioni ad andamento verticale: ogni coppia di lesioni verticali delimita un'angolata che si comporta come elemento indipendente dal resto della struttura.

Il meccanismo è favorito della presenza di fori in asse ai pannelli murari e dalla mancanza di incatenamenti efficaci lungo il corpo della torre campanaria.

107. Trasaghis (UD) - Chiesa di S. Bartolomeo ad Alesso - 1976

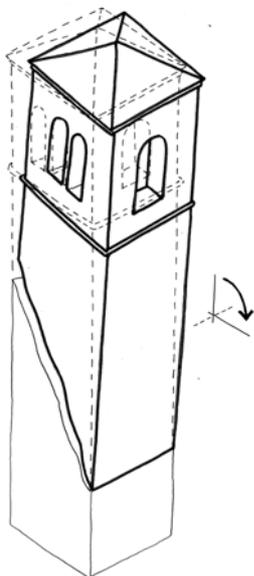
La presenza di una lesione al centro della parete non inclusa nel perimetro della chiesa e il distacco dell'angolo murario dalla cella campanaria evidenziano l'attivazione del meccanismo di espulsione dell'angolata.



108. Gemona del Friuli (UD) - Duomo di S. Maria Assunta - 1976

L'azione sismica ha provocato il crollo di tre delle quattro angolate. Si nota l'assenza di un sistema di incatenamenti adeguati per trattenere la massa strutturale del campanile di considerevoli dimensioni.

M.8 MACROELEMENTO TORRE CAMPANARIA



M.8.2 Meccanismo di rototraslazione della torre campanaria con cerniera cilindrica ad asse orizzontale o cerniera sferica in corrispondenza di uno spigolo

Il meccanismo, nella sua manifestazione più semplice, consiste nella rototraslazione della torre campanaria con la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale su uno dei lati.

In una forma più articolata il meccanismo può derivare dalla sovrapposizione degli effetti generata dal moto del suolo in due direzioni fra loro ortogonali: in questo caso la rotazione può avvenire attorno ad un punto di cerniera situato sullo spigolo di una delle angolate (cerniera sferica) e gli spostamenti della parte superiore sono diretti nella direzione della diagonale della torre.

109. Moggio Udinese (UD) - Abbazia di S. Gallo - 1976

La componente rotatoria del cinematismo è resa evidente dall'assetto a "V" delle lesioni inclinate che si chiudono verso il basso.

La parte della torre che subisce la rototraslazione è quella libera dai vincoli alla base costituiti dalle pareti della chiesa e del chiostro.

Si nota la presenza di diversi livelli di cerchiatura realizzati da tiranti con capochiave a paletto.

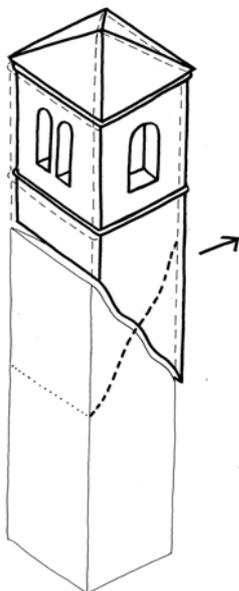


110. Nocera Umbra (PG) - Chiesa dei Santi Gregorio e Romano - 1997

Lo spostamento più significativo si è verificato verso la parte con le puntellazioni in legno e la parte lesionata è alla base della torre. La dislocazione quasi parallela dei lembi delle lesioni fa pensare ad una componente di traslazione significativa, ma lo schiacciamento subito dalle pietre lungo un corso orizzontale sul lato puntellato (non visibile in foto), testimonia dell'avvenuta rotazione.



M.8 MACROELEMENTO TORRE CAMPANARIA



M.8.3 Meccanismo di traslazione della parte superiore della torre campanaria

Il meccanismo consiste nella traslazione della parte superiore della torre con la formazione di lesioni diagonali (taglio) nei pannelli paralleli alla direzione dello spostamento.

La fascia muraria che si lesiona può trovarsi a diverse altezze in ragione delle caratteristiche costruttive specifiche della torre (variazioni di spessore delle murature, orizzontamenti e/o incatenamenti ecc...).

Anche in questo caso le componenti delle azioni sismiche in due direzioni perpendicolari possono causare lesioni diagonali su tutti quattro i pannelli murari della torre



111. Serravalle di Chienti (MC)
1997

La presenza della parete dell'abside in aderenza alla struttura a formare un vincolo monolatero, ha inibito la formazione del meccanismo di traslazione orizzontale della parte bassa della torre campanaria.

La parte alta invece, libera di muoversi, si è separata dalla base scorrendo in direzione orizzontale; lo spostamento finale è testimoniato dalla posizione relativa dei lembi di lesione che, nelle parti inclinate risultano essere traslati orizzontalmente.

112. Majano (UD) - Chiesa dei Santi Pietro e Paolo - 1976

In questo caso la rottura a taglio è avvenuta nella parte alta della torre, favorita anche dalla presenza del foro.

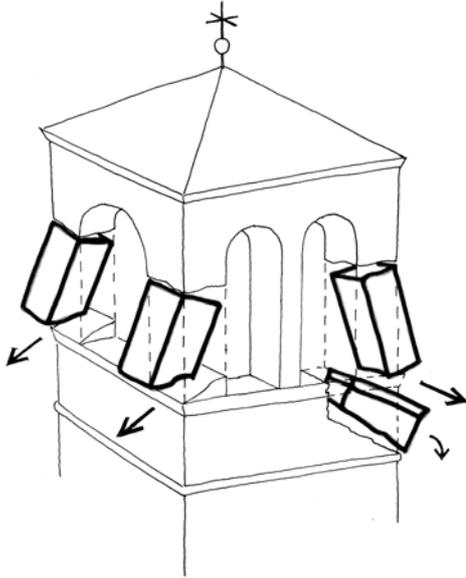
Si nota la formazione di lesioni in entrambi i versi, con il caratteristico andamento incrociato.

La muratura, avendo il paramento esterno realizzato con blocchi regolari e di notevole dimensione, si è fessurata lungo i letti di malta; la direzione e l'entità degli spostamenti si legge chiaramente dall'apertura delle fughe verticali



**MECCANISMI DI DANNO DEL:
M.9 - Macroelemento cella campanaria**

M.9 MACROELEMENTO CELLA CAMPANARIA

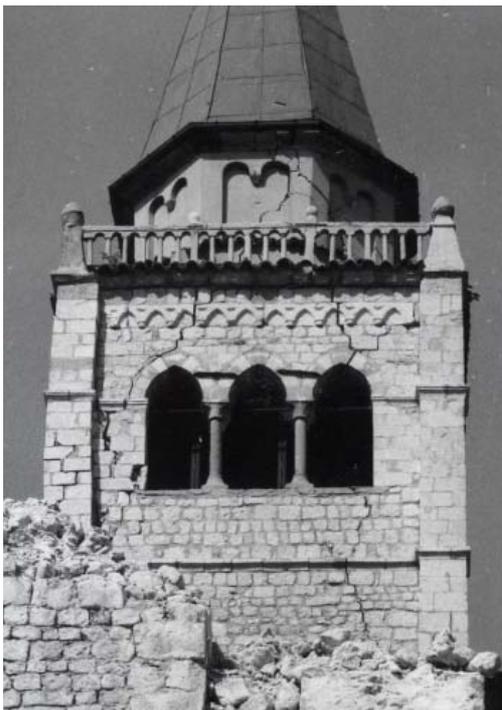


M.9.1 Meccanismo di traslazione o rototraslazione dei ritti della cella campanaria

Il meccanismo si sviluppa con la rotazione di uno o più ritto i quali possono trascinare nel loro moto anche l'architrave fino a giungere al collasso. La rotazione del ritto può coinvolgere anche parte dell'appoggio.

113. *Moggio Udinese (UD) - Chiesa di S. Antonio Abate a Ovedasso - 1976*

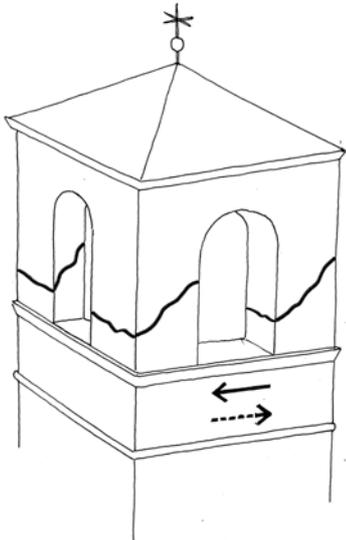
Il meccanismo si è attivato con lo scivolamento e l'espulsione alla base dei ritto d'angolo.



114. *Venzona (UD) - Duomo di S. Andrea Apostolo - 1976*

In questo caso il meccanismo di rototraslazione della cella campanaria interessa il ritto d'angolo a sinistra nella foto ed è legato al meccanismo di separazione delle angolate che si è attivato nella torre campanaria.

M.9 MACROELEMENTO CELLA CAMPANARIA



M.9.2 Meccanismo di traslazione con rottura a taglio nei ritti della cella campanaria

Il meccanismo si sviluppa con la rottura a taglio dei piedritti che in seguito possono scorrere o ruotare causando il crollo di parte dell'architrave. Questo meccanismo si può manifestare anche con la traslazione orizzontale fra i blocchi causata dallo scorrimento reciproco.

115. Sellano (PG) - Chiesa di S.Maria Assunta a Montesanto - 1997

La presenza dei tiranti nelle due direzioni ortogonali e le dimensioni proprie dei ritti hanno impedito l'insorgenza di meccanismi localizzati di rotazione fuori piano dei ritti. Questi però hanno subito una rottura a taglio resa evidente dall'osservazione delle caratteristiche lesioni inclinate.

Si nota il comportamento rigido del corso di pietre al di sotto del manto in coppi e la formazione di una cerniera con disgregazione del materiale in corrispondenza della chiave d'arco.



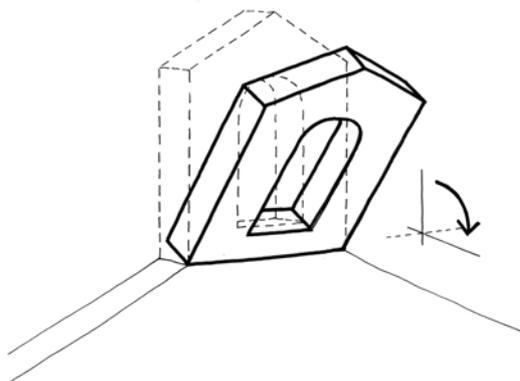
116. Vito d'Asio (PN) - Chiesa di Anduins - 1976

La scarsa qualità della malta che collega gli elementi lapidei che costituiscono la cella campanaria ha reso possibile la sconnessione e lo scorrimento tra le pietre costituenti la cella: è infatti visibile lo spostamento relativo tra le parti.

Si può inoltre osservare l'attivazione un principio di rotazione fuori piano del cornicione sommitale.

**MECCANISMI DI DANNO DEL:
M.10 - Macroelemento vela campanaria**

M.10 MACROELEMENTO VELA CAMPANARIA



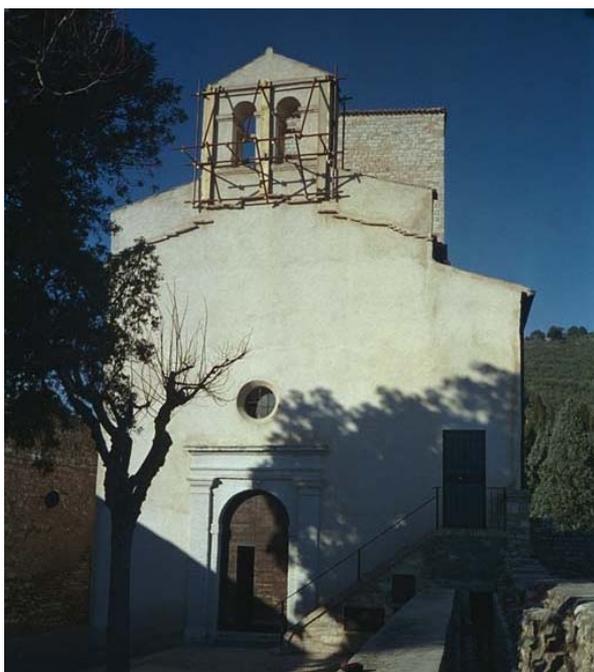
M.10.1 Meccanismo di rotazione fuori piano della vela campanaria con formazione di cerniera cilindrica orizzontale alla base

Il meccanismo si sviluppa in modo analogo a quello del ribaltamento di facciata, ma poiché in questo caso non sono presenti pareti ortogonali di controvento la vela campanaria è di fatto una mensola incastrata alla base.

Questo tipo di meccanismo si riscontra anche nelle vele, nelle quali però la cerniera cilindrica può essere diagonale (se lo è anche la linea di vincolo alla base).

117. *San Daniele del Friuli (UD) - Chiesa di S.Maria Assunta - 1976*

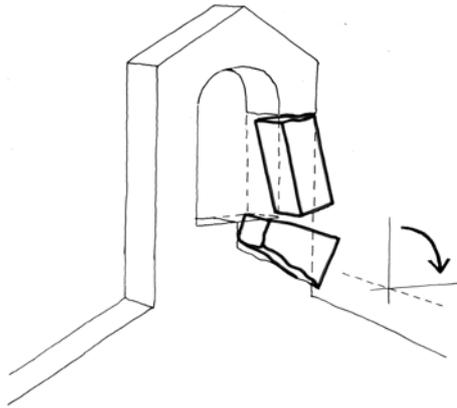
La vela campanaria è completamente crollata in seguito all'attivazione del meccanismo di rotazione fuori piano. Si può osservare la linea netta di distacco lungo la quale si è formata la cerniera cilindrica orizzontale che porta a supporre l'assenza di un collegamento efficace alla muratura di facciata.



118. *Sellano (PG) - 1997*

Si può osservare come nel sistema vela-vela campanaria si sia attivato il meccanismo di rotazione fuori piano con la formazione di una cerniera cilindrica obliqua in corrispondenza della copertura dell'aula che costituisce un vincolo per la parete di facciata.

M.10 MACROELEMENTO VELA CAMPANARIA



M.10.2 Meccanismo di traslazione o rototraslazione nel piano di uno o più ritti della vela campanaria

Il meccanismo si sviluppa con la traslazione o la rototraslazione nel piano dei piedritti i quali possono trascinare nel loro moto anche l'architrave fino a determinare il collasso della vela campanaria.

119. Cavazzo Carnico (UD) - Chiesa di S.Rocco in Campagna - 1976

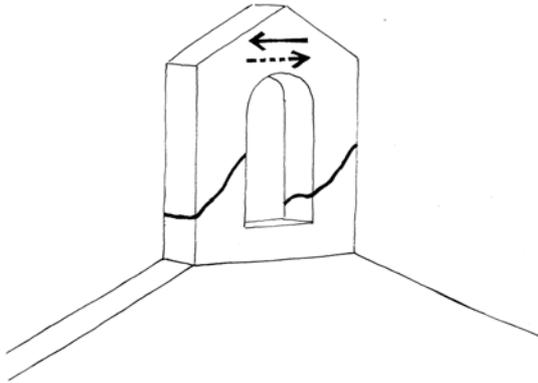
Il meccanismo si è attivato alla base con la rotazione dell'appoggio che ha determinato la formazione di cerniera in mezzzeria del piedritto (vincolato in sommità dal traverso che sorregge la campana); questo, ruotando verso l'esterno ha provocato l'abbassamento dell'arco (si può infatti osservare la discesa del concio di chiave).



120. Tarcento (UD) - Chiesa di S.Eufemia a Segnacco - 1976

Anche in questo caso il meccanismo si è attivato alla base con la rotazione dell'appoggio; il piedritto tozzo però ha ruotato rigidamente staccandosi dal traverso superiore.

M.10 MACROELEMENTO VELA CAMPANARIA



M.10.3 Meccanismo di rottura a taglio della vela campanaria

Il meccanismo si sviluppa con la rottura a taglio dei piedritti che in seguito possono scorrere o ruotare nel piano causando il crollo di parte dell'architrave.

121. *Cerreto di Spoleto (PG) - Chiesa di S.Giovanni Battista a Buggiano - 1997*

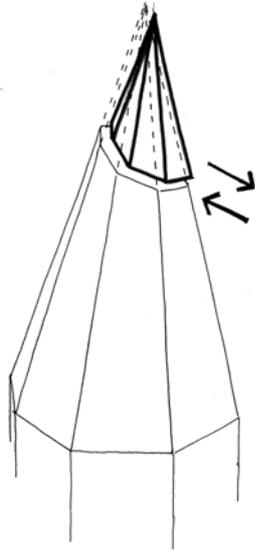
Il piedritto tozzo ha sostenuto la maggior parte dell'azione sismica si è attivato un meccanismo di rottura a taglio: si possono infatti osservare le caratteristiche lesioni inclinate e incrociate.



MECCANISMI DI DANNO:

M.11 - Aggetti

M.11 AGGETTI



GUGLIA

M.11.1 Meccanismo di rototraslazione o traslazione della parte superiore della guglia con distacco lungo un piano inclinato

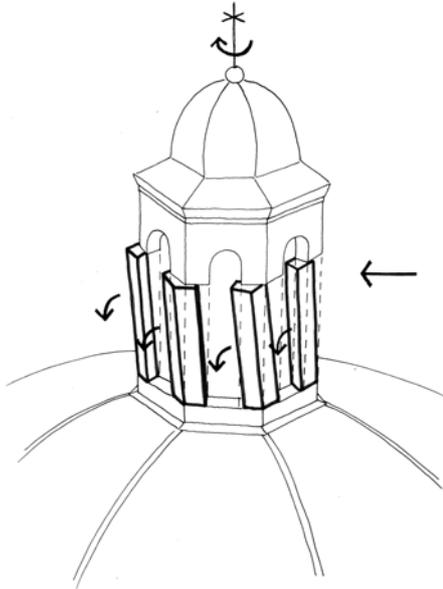
Il meccanismo si sviluppa con il distacco della parte alta della guglia lungo un piano inclinato.

122. *Serravalle di Chienti (MC) - Chiesa di S.Croce in Percanestro - 1997*

La parte sommitale della torre campanaria ha subito una sollecitazione di flessione e taglio. La guglia è l'elemento che ha subito maggiormente questo effetto a causa della ridotta sezione resistente.



M.11 AGGETTI



LANTERNA

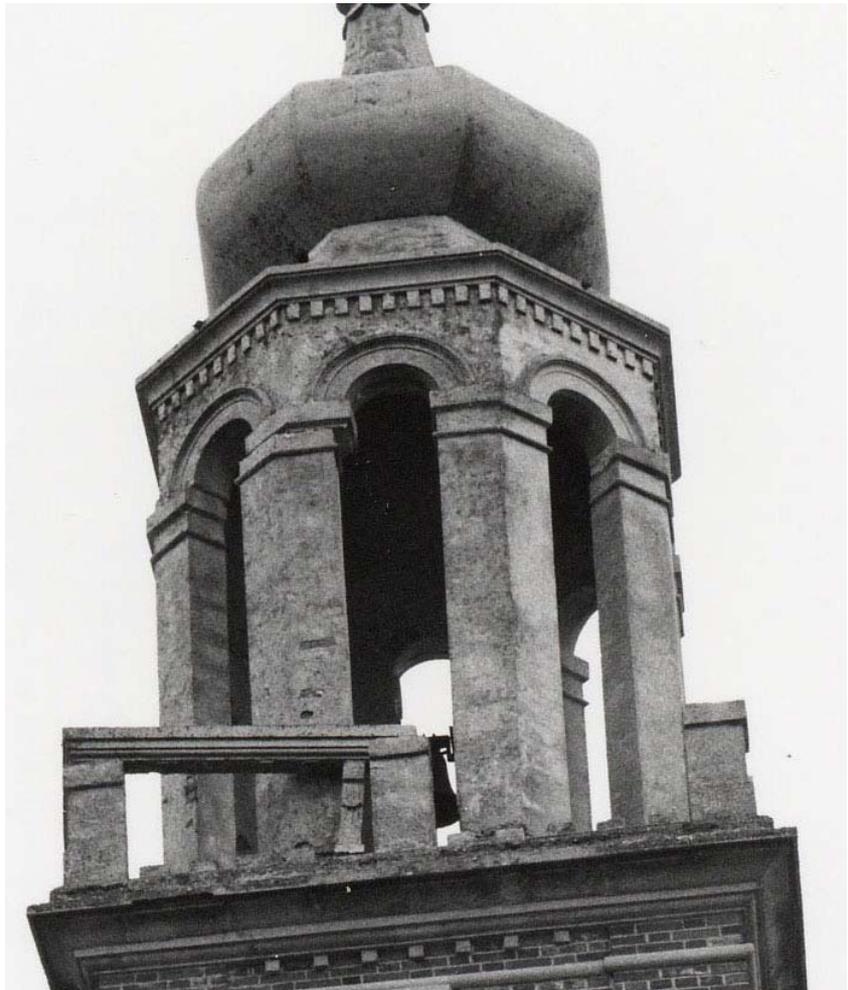
M.11.2 Meccanismo di rotazione dei ritti della lanterna

Il meccanismo si sviluppa con la rotazione nel piano dei ritti in direzione parallela all'azione sismica e fuori dal piano dei ritti posti in direzione ortogonale.

Per la lanterna sono sensibili gli effetti rotatori attorno all'asse verticale

123. Tricesimo (UD) - Chiesa della Natività di Maria a Felettano - 1976

Durante l'evento sismico la copertura pesante ha avuto degli spostamenti autonomi che hanno generato una sollecitazione di flessione e taglio nei piedritti, sia nel piano che fuori piano. Si può infatti osservare la rotazione dei piedritti sia verso l'esterno che lungo il perimetro. Lo scarso collegamento tra i piedritti e la struttura soprastante ha inoltre favorito lo scorrimento tra i due elementi.



Indice delle illustrazioni

Archivio Fototeca, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, Ministero per i Beni e le Attività Culturali:

51, 54, 67, 68, 72, 78, 81, 87, 96, 97, 107, 108, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 123

Archivio fotografico Cooperativa Arx - Venzone (UD):

4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 52, 55, 59, 62, 65, 69, 71, 73, 75, 76, 79, 80, 86, 89, 90, 91, 100, 102, 105, 106, 109, 110, 111, 115, 122

Tratto da:

Commissario Delegato per i Beni Culturali - Ufficio del Vice Commissario per la Regione Umbria, *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, 1998:

28, 38, 56, 57, 64, 77, 118, 121

F. Doglioni, A. Moretti, V. Petrini (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, pp. 138-273:

1, 2, 5, 9, 12, 16, 18, 48, 49, 50, 60, 61, 63, 66, 70, 82, 83, 84, 85, 88, 92, 93, 94, 101, 112

F. Doglioni, *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*, Regione Marche, Istituto Universitario di Architettura di Venezia - D.S.A., Bollettino Ufficiale della Regione Marche n. 15 del 29/09/2000, Conerografica snc, Camerano (AN):

46

G. Proietti (a cura di), *Dopo la polvere - rilevazione degli interventi di recupero del patrimonio storico-artistico danneggiato dal terremoto del 1980-81*, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Soprintendenza Generale agli Interventi Post-sismici in Campania e Basilicata, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, 1994:

53, 58, 99

M. Canti, M.L. Polichetti (a cura di), *Il patrimonio culturale dall'emergenza sismica del 1997 al Piano di Ripristino, Recupero e Restauro. Il caso delle Marche*, Regione Marche, Assessorato alla Cultura, Centro Beni Culturali, SilvanaEditoriale, Cinisello Balsamo (MI), 2002, p.57:

74

Regione Emilia Romagna, Gruppo Nazionale Difesa Terremoti, Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico, *Archivio delle chiese danneggiate dal terremoto del 1987 - Province di Modena e Reggio Emilia*, CD-ROM:

30, 35, 95, 98, 103, 104

Regione dell'Umbria, Servizio Protezione Civile e Prevenzione dai Rischi, *La prevenzione - Studio sulla vulnerabilità sismica di un centro storico attraverso l'utilizzo di un database georeferenziato. Città di Castello*, a cura dell'Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Prof. A. Borri, Ing. A. Avorio, Tipolitografia Petrucci Corrado & C., Città di Castello (PG), 2002:

3

ALLEGATO N. 1

**LEGENDA PER LA REDAZIONE DEGLI ELABORATI
GRAFICI DELL'EDIFICIO
NELLO STATO DI FATTO
E
NELLO STATO DI PROGETTO**

Introduzione

La presente legenda vuole essere uno strumento utile, quale simbologia di riferimento, per la redazione degli elaborati grafici dello stato di fatto (vedi tabelle da 1 a 6) degli interventi di Miglioramento sismico dei beni monumentali a tipologia specialistica, CHIESE, danneggiati dal terremoto di cui alle direttive “D.4.7 - Istruzioni Tecniche per l'interpretazione ed il rilievo per macroelementi del danno e della vulnerabilità sismica delle chiese”.

La legenda assolve alla necessità di essere strumento utile alla rappresentazione e alla raccolta di tutti i dati e informazioni specifiche legate all'edilizia storica e in particolare all'architettura religiosa. Per rappresentare e raccogliere questo tipo di dati è indispensabile condurre un rilievo dello stato di fatto che punti alla conoscenza del bene e perciò deve essere accurato e rispondere il più possibile alle situazioni reali. Affinché tale rilievo sia fattibile e sia funzionale allo scopo, si è reso necessario articolare e predisporre, in particolare per la sezione relativa al rilievo dei caratteri costruttivi, l'adozione di codici / sigle da formare anche a cura del rilevatore.

Questa necessità è legata ragionevolmente al fatto che un'unica legenda – seppur estesa — non può comprendere e prevedere tutte le situazioni specifiche legate ai siti pluristratificati quali sono i beni a carattere monumentale.

E' vero che il rilievo dello stato di fatto di una fabbrica, nella fattispecie danneggiata da terremoto, si articola in una serie di tipi di rilievo specifici che concorrono insieme a formare la conoscenza analitica degli elementi e caratteri architettonici e strutturali, dello stato di conservazione, nonché quello di danno e dissesto sismico.

La legenda raccoglie segni, grafismi e codici che si sono ritenuti strettamente necessari sia per registrare la situazione reale di stato di fatto, sia per arrivare ad una diagnosi in fase di progetto.

La legenda si articola in nove tabelle, come di seguito specificato:

Tab. 0 MODALITA' DI INDICAZIONE DELLA DISLOCAZIONE DEI SONDAGGI, DEI PUNTI DI PRESA E DEGLI ELEMENTI DI PREGIO ARCHITETTONICI E RILIEVO METRICO

Tab. 1 CARATTERISTICHE E MATERIALI DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Tab. 2 COLLEGAMENTI

Tab. 3 SUPERFICI ED ELEMENTI DI FINITURA E DI PREGIO

Tab. 4 TRACCE DEL PROCESSO DI FORMAZIONE E TRAFORMAZIONE DELL'EDIFICIO

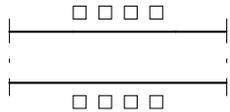
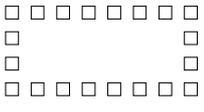
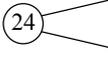
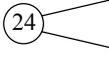
Tab. 5 RILIEVO DEI FENOMENI DI DEGRADO E ALTRI FATTORI CHE RIDUCONO L'EFFICIENZA STRUTTURALE

Tab. 6 DEGRADO E DISSESTO

Tab. 7 CONSOLIDAMENTI

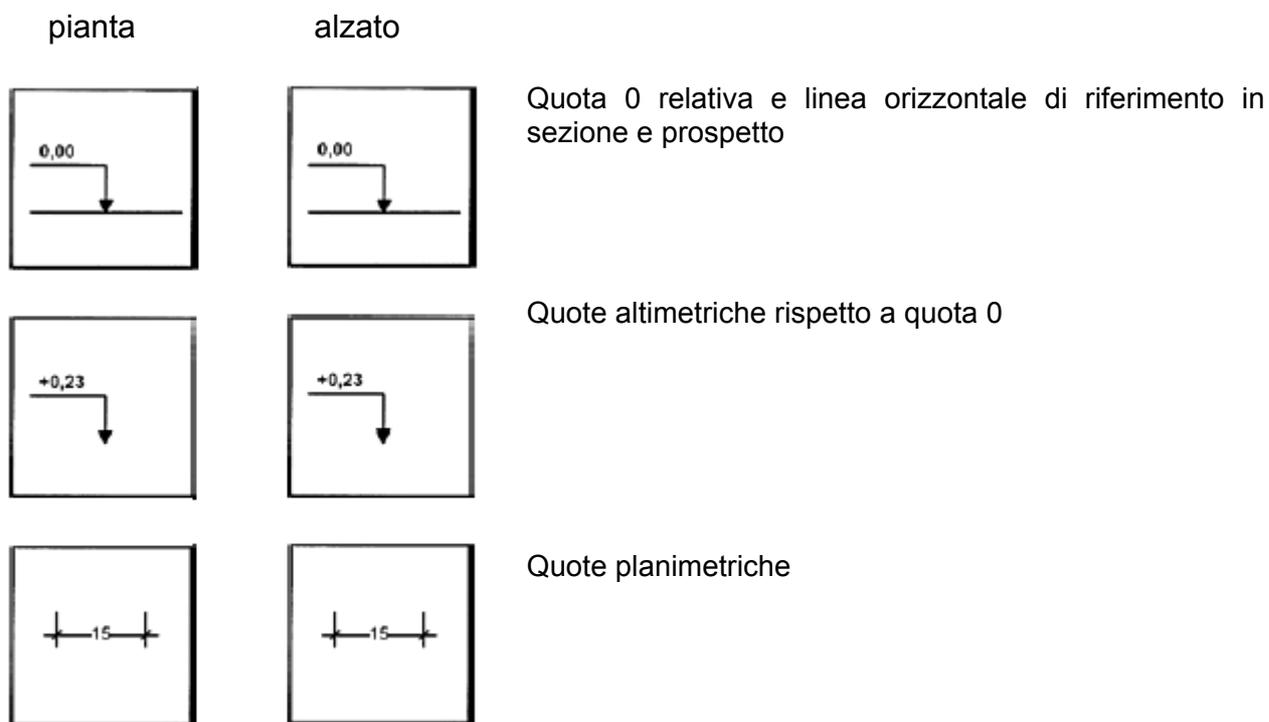
Tab. 8 INTERVENTI DI NUOVA COSTRUZIONE , DEMOLIZIONE, RIPRISTINO STRUTTURALE E SOSTITUZIONE

0 - MODALITA' DI INDICAZIONE DELLA DISLOCAZIONE DEI SAGGI, DEI SONDAGGI, DEI PUNTI DI PRESA E DEGLI ELEMENTI DI PREGIO ARCHITETTONICI E RILIEVO METRICO (RILIEVO CRITICO)

PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
		Punti e zone in cui sono stati eseguiti dei saggi e/o sondaggi
		Elemento di pregio architettonico (il n° rimanda alla relazione descrittiva)
		Punto di ripresa fotografica (con il n° della foto)
		Punto di ubicazione dei sondaggi geognostici

N.B. la descrizione dei sondaggi dovrà essere redatta come indicato al punto 2.4.5 e la documentazione fotografica deve essere approntata conformemente a quanto illustrato ai punti 2.4.3 e 3.4.1 delle D.2.7

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



1 - CARATTERISTICHE E MATERIALI DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

1.1 FORMAZIONE DELLA LEGENDA

Si richiede di comporre e redigere la legenda in forma tabellare (si rimanda all'esempio in calce). Il tracciato è costituito da tre colonne:

Colonna 1. Numero d'ordine della voce di legenda **i**

Colonna 2. Sigla normalizzata **X.y**

Colonna 3. Descrizione

Colonna 1: si dovrà attribuire un numero d'ordine progressivo per ogni diverso tipo di elemento strutturale individuato nella fabbrica.

Colonna 2: si dovrà riportare, per ogni tipo diverso di elemento strutturale individuato nella fabbrica, una sigla normalizzata che rileva i dati relativi a: tipologia dell'elemento (X); tipo di materiale e caratteri costitutivi (y).

Colonna 3: si dovranno riportare le informazioni analitiche di dettaglio dei caratteri e dei modi del costruire legati al singolo elemento strutturale. Per tale descrizione si richiede di seguire l'ordine degli argomenti riportati per ogni singolo elemento strutturale a cui si rimanda.

Esempio:

STRUTTURE VERTICALI		
N.	SIGLA	DESCRIZIONE
1	SV.3	Muratura in pietra sbozzata a corsi regolari e costituita da due paramenti non collegati, con malta di calce e sabbia fine, non intonacata. Si presenta rimaneggiata e con malta incoerente. Mediocre stato di conservazione

1.2 FONDAZIONI

F.0	Assenza di fondazioni
F.1	Muratura
F.2	Getto di calcestruzzo
F.3	Come F.1 + cordolo in c.a. allo spiccato della muratura
F.4	Come F.2 + cordolo in c.a. allo spiccato della muratura
F.5	Fondazioni su platea
F.6	Travi rovesce in c.a.
F.7	Travi rovesce in c.a. su pali
F.8	Plinti in c.a. non collegati
F.9	Plinti in c.a. non collegati su pali
F.10	Plinti in c.a. collegati
F.11	Plinti in c.a. collegati su pali
F.12

1.3 STRUTTURE VERTICALI

Dovranno essere rilevati tutti i diversi tipi di muratura presenti nel complesso della chiesa che verranno riportati sugli elaborati in forma realistica; la redazione grafica dovrà prevedere la descrizione degli elementi caratterizzanti da riportare in legenda a formare elenchi o abachi dei diversi tipi di muratura con l'attribuzione delle relative sigle di riferimento.

Nella rappresentazione grafica in pianta le diverse murature devono essere perimetrare e tali simbologie dovranno essere riportate sia in pianta che negli alzati.

SV.1	Muratura a sacco	SV.11	Muratura di mattoni forati
SV.2	C.s. con spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o in cls	SV.12	Muratura in pietra e laterizio
SV.3	Muratura in pietra sbozzata	SV.13	Muratura in pietra e cls
SV.4	C.s. con spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o in cls	SV.12	Pareti in calcestruzzo armato
SV.5	Muratura in pietra arrotondata	SV.15	Pareti in calcestruzzo non armato
SV.6	C.s. con spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o in cls	SV.16	Telai in c.a. non tamponati
SV.7	Muratura in blocchi di tufo o in pietra ben squadrata	SV.17	Telai in c.a. con tamponature deboli (con grandi aperture)
SV.8	Muratura in blocchi di cls prefabbricato, con inerti ordinari	SV.18	Telai in c.a. con tamponature consistenti (senza grandi aperture)
SV.9	C.s. con inerti leggeri	SV.19	Miste (SV. da 1 a 15 associate a SV. da 16 a 18)
SV.10	Muratura di mattoni pieni	SV.20

I CARATTERI COSTRUTTIVO/STRUTTURALI SPECIFICI per le murature sono:

- 1 muratura costituita da un unico paramento;
- 2 muratura costituita da due paramenti collegati fra loro;
- 3 muratura costituita da due paramenti scarsamente connessi o non collegati.
- z altro (da descrivere in legenda)
- 0 non so

Nella **DESCRIZIONE** della parte strutturale si richiede che venga seguita la seguente struttura informativa:

- tipo di materiale costitutivo: si richiede di indicare il supporto che costituisce la muratura e le caratteristiche fisiche del materiale (ad esempio, per una muratura in pietra se questa è costituita da conci squadrate o sbozzate o arrotondate oppure costituita da pietrame di diversa pezzatura, ecc.).

Si dovrà, inoltre, descrivere la consistenza muraria in termini di coesione nel suo complesso cioè tra legante e supporti, uno dei caratteri di grande importanza per la valutazione dell'efficienza muraria.

- apparecchiatura muraria: si intende il particolare modo in cui si dispongono i diversi supporti, siano essi mattoni, pietre o altro, all'interno della compagine muraria a formare la struttura tridimensionale (ad esempio, per una muratura in mattoni se è a una o più teste, ecc.); indicare, se presente, l'**angolata strutturale** di fabbrica.
- tessitura del paramento murario: è invece solo ciò che si vede all'esterno della compagine muraria, è la muratura "a vista" ed è secondo questo parametro più limitato che vengono descritti i muri;
- legante impiegato: si richiede di descrivere, dove possibile, i caratteri visibili degli inerti e leganti impiegati nella muratura e/o nella finitura del paramento murario ossia la stesura del giunto di malta, che costituisce generalmente il punto debole delle murature (ad esempio: giunto costituito da malta di calce e sabbia fine o grossa, ecc.);
- trasformazioni costruttive avvenute nel tempo: si richiede di riconoscere la muratura rispetto alla leggibilità della conformazione originaria della stessa muratura definita per:
 - muratura leggibile nella sua configurazione originaria;
 - muratura rimaneggiata che non consente un sicuro accertamento della configurazione originaria;
 - muratura molto rimaneggiata che non consente un sicuro accertamento della configurazione originaria;
- presenza di intonaco interno ed esterno dovrà essere descritta per il carattere, la qualità e lo stato di conservazione;
- stato di conservazione:

Ottimo	condizioni perfette e/o recente intervento
Buono	normale conservazione ed efficienza
Mediocre	scarsa manutenzione ed efficienza, lievi guasti
Cattivo	manca di manutenzione, gravi guasti
Pessimo	abbandono, guasti gravissimi, nessuna efficienza
Disfacimento	

1.4 STRUTTURE ORIZZONTALI

Dovranno essere rilevati tutti i diversi tipi di solai presenti nel complesso della chiesa che verranno riportati sugli elaborati in forma realistica; la redazione grafica dovrà prevedere la descrizione degli elementi caratterizzanti da riportare in legenda a formare elenchi o abachi dei diversi tipi di solai con l'attribuzione delle relative sigle di riferimento.

Nella rappresentazione grafica di pianta indicare a tratteggio la proiezione verticale dell'orditura principale del soffitto superiore se in presenza di solaio a vista. Inoltre verrà evidenziata l'esatta direzione delle travi principali con il simbolo:



Nella rappresentazione grafica di pianta delle volte indicare a tratteggio la proiezione verticale delle vele della volta strutturale per il riconoscimento tipologico.

SO.1	Solai in legno senza soletta
SO.2	Solai in legno con catene o tiranti
SO.3	Solai in laterocemento senza soletta
SO.4	Solai in ferro e laterizio senza soletta
SO.5	Solai in ferro e laterizio senza soletta con catene o tiranti
SO.6	Volte in muratura senza catene
SO.7	Volte in muratura con catene
SO.8	Solai in laterocemento con soletta
SO.9	Solai in ferro e laterizio con soletta
SO.10	Solai in legno con soletta
SO.11	Solai a lastra in c.a.
SO.12	controsoffitti leggeri (cannicciato e rete)
SO.13	Solai leggeri (putrelle o travetti e tavelloni, senza caldana e riempimento)
SO.14

I CARATTERI COSTRUTTIVO/STRUTTURALI SPECIFICI per i solai sono:

1 orditura semplice (costituite da un solo ordine di travi, direttamente appoggiate sulla muratura);

2 orditura doppia (costituita da grandi travature, ad interasse variabile, sui quali si appoggiano travetti secondari, di sezione più limitata);

z altro (da descrivere in legenda);

0 non so

Nella **DESCRIZIONE** della parte strutturale si richiede che venga seguita la seguente struttura informativa:

- tipo di materiale costitutivo: si riporterà l'indicazione del materiale degli elementi che costituiscono il solaio e le caratteristiche fisiche del materiale stesso.

- collegamento con le strutture verticali:

collegamento efficace (costituito in continuità con la muratura verticale e ben ammorsato);

inefficace (appoggiato alla muratura verticale e non ammorsato).

- tipo di pavimentazione presente;

- stato di conservazione:

Ottimo condizioni perfette e/o recente intervento

Buono normale conservazione ed efficienza

Mediocre scarsa manutenzione ed efficienza, lievi guasti

Cattivo mancanza di manutenzione, gravi guasti

Pessimo abbandono, guasti gravissimi, nessuna efficienza

Disfacimento totale

I CARATTERI COSTRUTTIVO/STRUTTURALI SPECIFICI per le volte strutturali / cupole sono:

1 volta con elementi disposti a "coltello";

2 volta con elementi disposti "in foglio";

z altro (da descrivere in legenda);

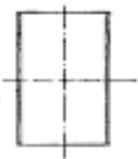
0 non so.

Nella **DESCRIZIONE** della parte strutturale si richiede che venga seguita la seguente struttura informativa:

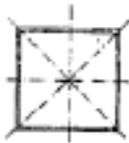
- tipo di materiale costitutivo: si riporterà l'indicazione del supporto che costituisce la volta o cupola e le caratteristiche fisiche del materiale.

- tipologia della volta strutturale:

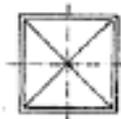
volta a *botte*



volta a *padiglione*



volta a *crociera*



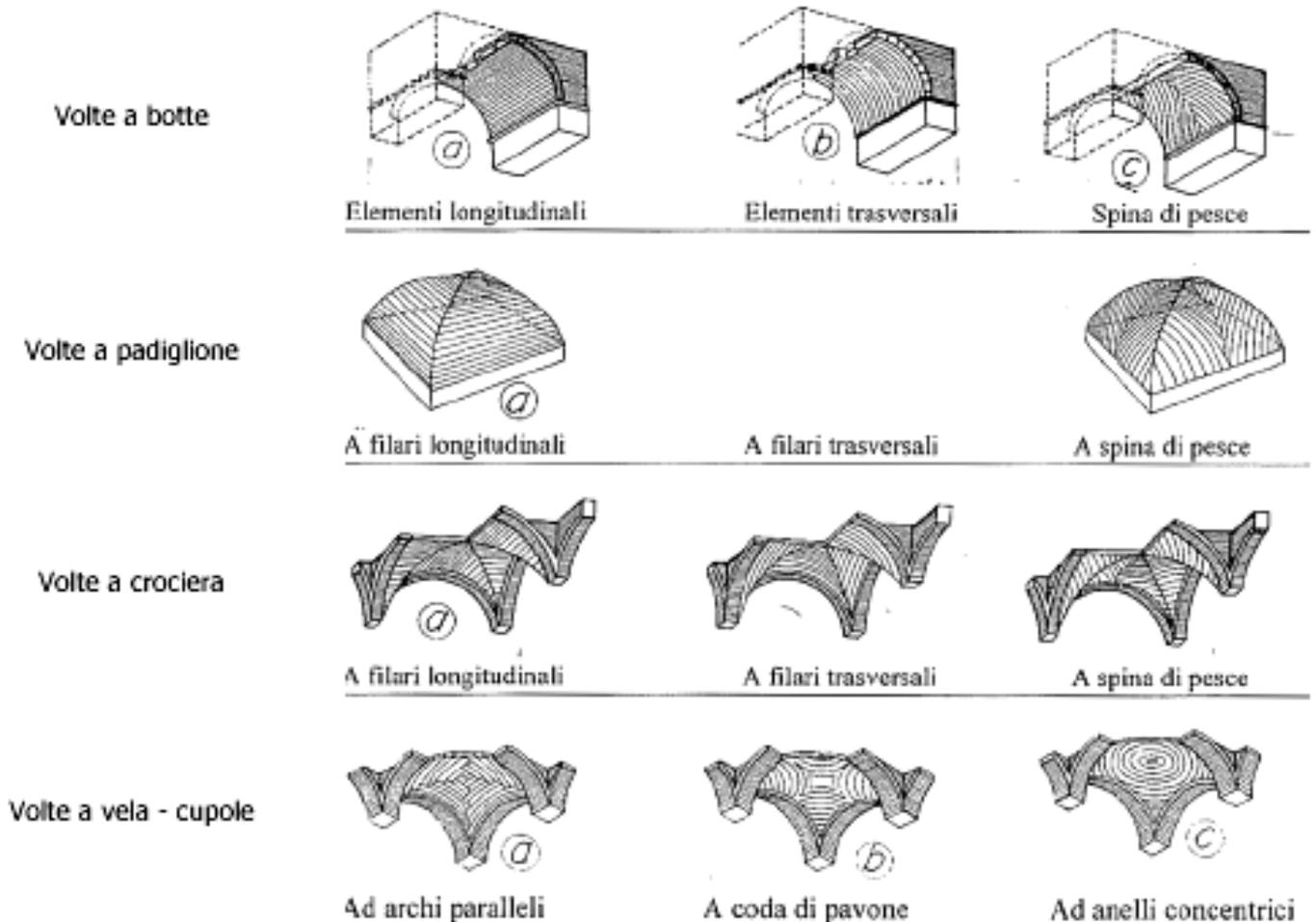
volta a *vela*



Per le cupole indicare se si tratta di : cupola **emisferica**, cupola **semi-ellissoidica**;

E' importante indicare la presenza di **costoloni** (nervature in pietra o laterizio disposte in vista lungo gli spigoli delle volte o i meridiani delle cupole) e riportare, se conosciuto, lo **spessore della volta/cupola**.

- sistema costruttivo: si richiede di descrivere come è costituita la struttura della volta (disposizione dei supporti, presenza di rinfianchi e/o riempimenti, ecc.). La conoscenza del sistema costruttivo assume particolare importanza per valutare le capacità resistenti della volta.



- collegamenti con le strutture verticali:

collegamento efficace (costituito in continuità con la muratura verticale e ben ammorsato);

inefficace (appoggiato alla muratura verticale e non ammorsato).

- stato di conservazione:

Ottimo condizioni perfette e/o recente intervento;

Buono normale conservazione ed efficienza;

Mediocre scarsa manutenzione ed efficienza, lievi guasti;

Cattivo mancanza di manutenzione, gravi guasti;

Pessimo abbandono, guasti gravissimi, nessuna efficienza;

Disfacimento totale

I CARATTERI COSTRUTTIVO/STRUTTURALI SPECIFICI per i controsoffitti sono:

1 ancorata alle strutture della copertura;

2 con struttura portante autonoma;

z altro (da descrivere in legenda);

0 non so.

Nella **DESCRIZIONE** della parte strutturale si richiede che venga seguita la seguente struttura informativa:

- tipo di materiale costitutivo: si riporterà l'indicazione del materiale che costituisce il controsoffitto (legno, gesso, stucco, ecc.);

- tipologia del controsoffitto; *struttura portante e collegamento con le strutture verticali*;

- stato di conservazione:

Ottimo condizioni perfette e/o recente intervento;

Buono normale conservazione ed efficienza;

Mediocre scarsa manutenzione ed efficienza, lievi guasti;

Cattivo mancanza di manutenzione, gravi guasti;

Pessimo abbandono, guasti gravissimi, nessuna efficienza;

Disfacimento totale

1.5 SCALE

SC.1	Struttura appoggiata in legno
SC.2	Struttura a sbalzo in legno
SC.3	Struttura appoggiata in acciaio
SC.4	Struttura a sbalzo in acciaio
SC.5	Struttura appoggiata in pietra o laterizio
SC.6	Struttura a sbalzo in pietra o laterizio
SC.7	Volta appoggiata in laterizio
SC.8	Volta appoggiata in pietra
SC.9	Struttura appoggiata in c.a.
SC.10	Struttura a sbalzo in c.a.
SC.11

I CARATTERI COSTRUTTIVO/STRUTTURALI SPECIFICI per le scale sono:

1 scala appoggiata;

2 scala a sbalzo;

3 scala a volte;

z altro (da descrivere in legenda);

0 non so

Nella **DESCRIZIONE** della parte strutturale si richiede che venga seguita la seguente struttura informativa:

- tipo di materiale costitutivo: si riporterà l'indicazione del supporto che costituisce la scala e le caratteristiche

fisiche del materiale;

- tipologia strutturale con riferimento alla struttura: appoggiata, a sbalzo, ecc.;

- collegamento del corpo scala con le strutture orizzontali o verticali: si dovrà definire se la scala è stata realizzata in continuità costruttiva con gli orizzontamenti o le strutture verticali su cui poggia o se è stata realizzata successivamente. Si richiede inoltre di descrivere comunque gli appoggi strutturali.

1.6 COPERTURE

Dovranno essere rilevati tutti i diversi tipi di tetto presenti nel complesso della chiesa che verranno riportati sugli elaborati in forma realistica; la redazione grafica dovrà prevedere la descrizione degli elementi caratterizzanti da riportare in legenda a formare elenchi o abachi dei diversi tipi di solai con l'attribuzione delle relative sigle di riferimento. Nella rappresentazione grafica di pianta indicare a tratteggio la proiezione verticale dell'orditura principale del tetto.

CO.1	In legno spingenti
CO.2	In legno poco spingenti
CO.3	In legno a spinta eliminata
CO.4	Latero-cementizie con cappa o solette in c.a.
CO.5	In acciaio spingenti
CO.6	In acciaio non spingenti
CO.7	Latero-cementizie o solette in c.a. non spingenti
CO.8	Latero-cementizie senza cappa in c.a.
CO.9

N.B.: La presenza di cordolo perimetrale in c.a. sarà indicata con il simbolo * a fianco della copertura

I CARATTERI COSTRUTTIVO/STRUTTURALI SPECIFICI per i tetti sono:

- 1 orditura principale spingente;
- 2 orditura principale parzialmente spingente;
- 3 orditura principale a spinta eliminata;
- z altro (da descrivere in legenda);
- 0 non so

Nella **DESCRIZIONE** della parte strutturale si richiede che venga seguita la seguente struttura informativa:

- tipo di materiale costitutivo: si riporterà l'indicazione del supporto che costituisce il tetto e le caratteristiche fisiche del materiale.
- tipo di orditura:
 - orditura principale (che svolge la principale funzione statica a sostegno di tutta la copertura);
 - orditura secondaria (gerarchicamente successiva) o altra da descrivere;
- collegamento con le strutture verticali:
 - collegamento efficace (costituito, ad esempio, da adeguati ancoraggi metallici o altri sistemi che garantiscono una buona ammorsatura);
 - inadeguato o inesistente;
- presenza di elementi di irrigidimento nel piano della falda;

- stato di conservazione:

Ottimo	condizioni perfette e/o recente intervento
Buono	normale conservazione ed efficienza
Mediocre	scarsa manutenzione ed efficienza, lievi guasti
Cattivo	mancanza di manutenzione, gravi guasti
Pessimo	abbandono, guasti gravissimi, nessuna efficienza
Disfacimento totale	

1.7 ARCHITRAVI

AT.1	In pietra
AT.2	In laterizio armato
AT.3	In cemento armato
AT.4	In legno
AT.5	In ferro
AT.6

Per gli architravi i caratteri costruttivo/strutturali importanti sono prevalentemente geometrici e sono fortemente legati al contesto strutturale nel quale sono inseriti. Per tale ragione si richiede di rappresentare graficamente tali elementi strutturali con un buon grado di dettaglio sulle tavole di rilievo, riportando solamente le sigle relative all'*elemento strutturale* e al *tipo di materiale*.

1.8 ARCHI

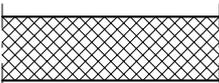
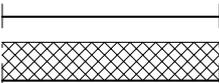
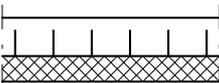
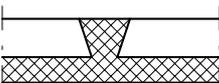
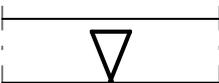
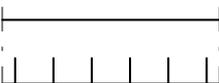
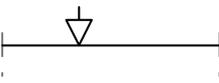
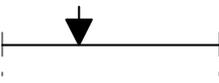
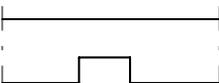
AR.1	In pietra senza catene
AR.2	In pietra con catene
AR.3	In laterizio senza catene
AR.4	In laterizio con catene
AR.5	In c.a. senza catene
AR.6	In c.a. con catene
AR.7

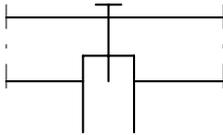
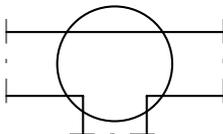
Per gli archi i caratteri costruttivo/strutturali importanti sono prevalentemente geometrici e sono fortemente legati al contesto strutturale nel quale sono inseriti. Per tale ragione si richiede di rappresentare graficamente tali elementi strutturali con un buon grado di dettaglio sulle tavole di rilievo, riportando solamente le sigle relative all'*elemento strutturale* e al *tipo di materiale*.

2 COLLEGAMENTI

Dovranno essere rilevati tutti i diversi tipi di elementi di presidio (tiranti, contrafforti, ecc.) presenti nel complesso della chiesa che verranno riportati sugli elaborati grafici in forma realistica.

(Rappresentazione in pianta)

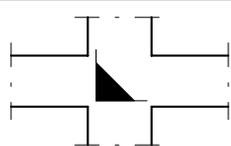
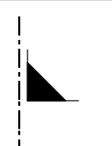
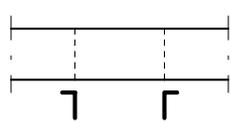
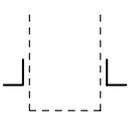
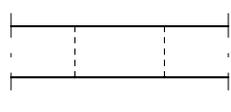
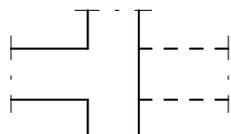
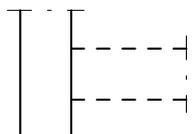
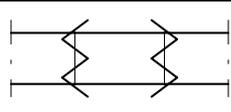
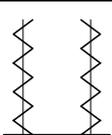
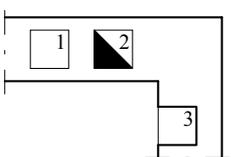
SIMBOLO	DESCRIZIONE
	Cordolo continuo per tutto lo spessore
	Cordolo continuo di spessore parziale
	Collegamento in aderenza (cordolo in c.a., profilato) mediante perforazioni armate
	Collegamento in aderenza (cordolo in c.a., profilato) mediante code di rondine
	Collegamento discontinuo (a coda di rondine)
	Collegamento della soletta in c.a. alle strutture verticali con perforazioni armate
	Catene e tiranti non in tensione
	Catene e tiranti in tensione
	Travi in legno semplicemente appoggiata alle murature d'ambito senza collegamenti

	<p>Collegamento di travi in legno alle murature d'ambito con lame o piastre</p>
	<p>Pareti ortogonali ammorsate o con altro tipo di collegamento</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">CP</div>	<p>Cappa in cls</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">INI</div>	<p>Iniezioni di consolidamento</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">CN</div>	<p>Contrafforte</p>

3 SUPERFICI ED ELEMENTI DI FINITURA DI PREGIO

MV	Muratura a vista	AF	Affreschi
I	Intonaco di pregio	AL	Arredi fissi: altare
EF	Elementi di finitura di pregio	OR	Organo
sigla arbitraria	Altro- riportare la descrizione direttamente sull'elaborato grafico		

4 TRACCE DEL PROCESSO DI FORMAZIONE E TRASFORMAZIONE DELL'EDIFICIO (RILIEVO CRITICO)

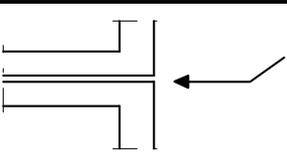
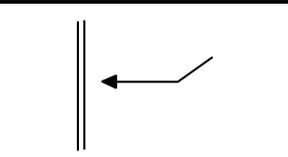
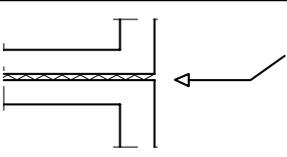
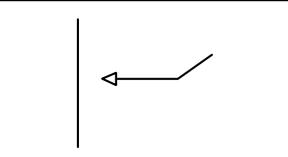
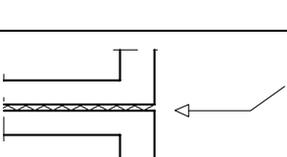
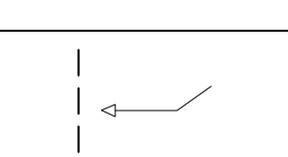
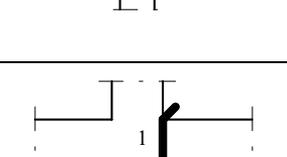
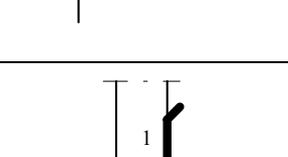
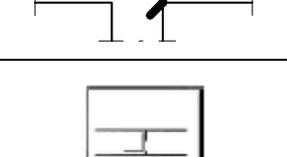
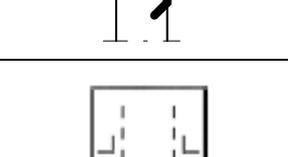
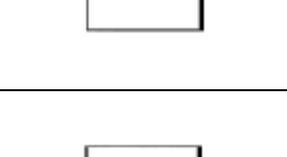
PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
		Spigolo inglobato nella muratura senza ammorsatura
		Apertura tamponata senza ammorsatura
		Apertura tamponata con ammorsatura
		Traccia di elemento eliminato (solaio, volta, copertura, scala, parete, ecc.)
		Apertura ricavata in rottura rispetto alla parete preesistente
	Sul prospetto o sezione rappresentare graficamente la posizione della cavità o della canalizzazione	Canna fumaria (rispettivamente non utilizzata (1), o in uso (2)), canalizzazione importante in traccia (3)

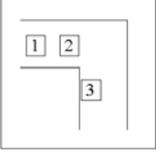
5 RILIEVO DEI FENOMENI DI DEGRADO E ALTRI FATTORI CHE RIDUCONO L'EFFICIENZA STRUTTURALE

5.1 DISCONTINUITA' COSTRUTTIVE

Questa sezione segnala, attraverso una stratigrafia macroscopica, le *discontinuità costruttive* che sono la conseguenza dei processi di costruzione e trasformazione che il manufatto ha subito nel tempo. Il complesso di queste trasformazioni lascia nella fabbrica 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.

PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
		Giunto conforme
		Giunto non conforme, protetto
		Giunto non conforme o pareti in aderenza
		Pareti non ammorsate (il n° 1 indica la parete preesistente)
		Spalla con riprese costruttive accostate senza ammorsamento
		Ripresa costruttiva dovuta a sopraelevazione

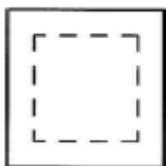
		Ripresa costruttiva con ammorsamento in rottura
	IMMAGINE REALISTICA	Presenza di canna fumaria 1. non utilizzata; 2. utilizzata; 3. canalizzazione importante in traccia;
D	D	Altro tipo di discontinuità strutturale

5.2 CARENTI CONDIZIONI MANUTENTIVE

Questa sezione richiama sommariamente le condizioni manutentive del sistema di protezione della fabbrica, 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 quindi soprattutto alla protezione dalle acque meteoriche e al loro allontanamento dalla zona fondale accertando perciò la tenuta dei tetti, del manto di copertura, di converse, grondaie e pluviali con relative canalizzazioni a terra, alla permeabilità all'acqua battente dei paramenti e rivestimenti murali.



sigla

Perimetro dell'area con carenti condizioni manutentive

SIMBOLO	DESCRIZIONE	SIMBOLO	DESCRIZIONE
	Perdite d'acqua osservabili		Presenza di vegetazione

6 - DEGRADO E DISSESTO

6.1 RILIEVO DEL QUADRO FESSURATIVO E DEFORMATIVO

Il **rilevo 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 di origine statica, esauriti o in atto, sia i danni connessi a dissesti di origine dinamica causati da terremoti avvenuti nel tempo o dalle crisi sismiche più recenti. Non è 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 consentire e facilitarne la diagnosi. Non è rilevante, ad esempio, definire a priori se una *lesione* è *passante* o *non* come invece lo è il fatto che sia rilevabile e riscontrabile su entrambe le facce del macroelemento con analoga o diversa configurazione, in posizione speculare o diversa, ecc. Importante è invece localizzarle e descrivere realisticamente i tracciati delle lesioni che vanno misurati e caratterizzati attraverso il verso di spostamento relativo dei due cigli in diversi punti della lesione così da poter interpretare i meccanismi di dissesto che l'hanno prodotta.

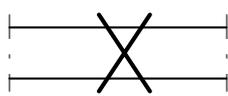
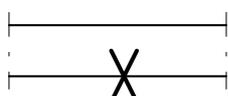
Va ricordato che il degrado strutturale, inteso come decadimento della funzionalità meccanica, si compone oltre che degli effetti del dissesto anche degli effetti del degrado proprio dei materiali costitutivi. Spesso il degrado proprio del materiale e il degrado strutturale si amplificano concatenandosi, formando processi articolati ben riconoscibili.

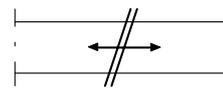
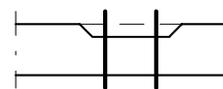
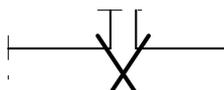
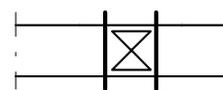
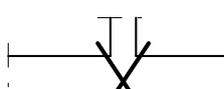
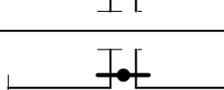
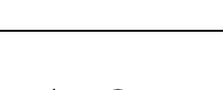
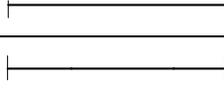
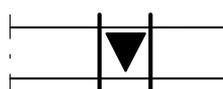
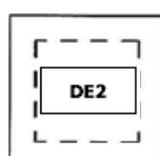
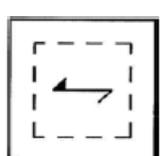
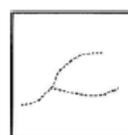
6.2 DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI DEL DISSESTO SULLA MATERIA DELLA COSTRUZIONE (danni fisici)

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.

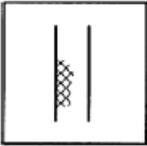
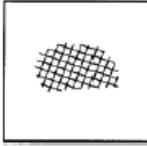
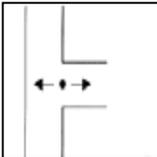
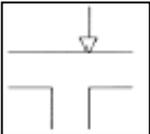
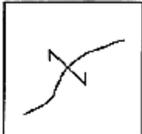
Per le lesioni alle murature la simbologia sotto riportata è riferita a casi in cui queste siano passanti l'elemento; nel caso in cui queste non siano passanti, il relativo simbolo dovrà essere riportato sul solo lato interessato dalla lesione stessa. Ciò vale con particolare riferimento alle strutture portanti, anche se sono da evidenziare le eventuali lesioni sui tamponamenti non portanti.

Esempio:

Lesione a croce passante	Lesione a croce non passante
	

SIMBOLO	DESCRIZIONE	SIMBOLO	DESCRIZIONE
	Lesione isolata		Lesione diffusa
	Lesione a croce		Lesione di architrave
	Lesione a croce		Schiacciamento (con espulsione di materiale)
	Lesione a croce		Crollo
	Discontinuità fra murature perpendicolari		Orditura di solaio inflessa
	Strapiombo della muratura		Orditura di solaio molto fatiscente
	Area di cedimento delle fondazioni		Umidità
	Degrado muratura in pietra / mattoni		Crollo
	Erosione dei giunti di malta		Immarcimento teste elementi lignei
	Proiezione in pianta delle lesioni su volte o archi soprastanti		

N.B.: Sul prospetto rappresentare graficamente l'effettivo stato di degrado e/o dissesto

PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
		<p>Fratturazioni concentrate, decoesioni localizzate con o senza espulsione di parti, corrugamenti di intonaci</p>
		<p>Sfilamento di elemento ligneo dalla sede della muratura, sfilamento e scorrimento con giunto chiuso (tra elementi in pietra o blocchi di muratura)</p>
		<p>Rottura di tiranti in metallo o presenza di tirante già sollecitato con scarsa efficacia residua</p>
		<p>Rilevamento dell'ampiezza della lesione e vettore di spostamento relativo tra i cigli di lesioni</p>
		<p>Idem, con dislocazione fuori dal piano del muro dei cigli di lesione</p>

6.3 DEGRADO E DISSESTO CONSEGUENTI L'EVENTO SISMICO

La simbologia riportata in questo paragrafo è mirata a rappresentare il quadro fessurativo degli elementi strutturali e non strutturali rifacendosi alla simbologia usata nei precedenti paragrafi.

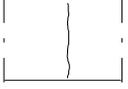
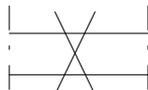
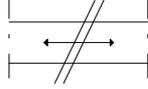
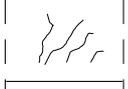
L'indicazione grafica della lesione deve essere corredata dall'indicazione che descrive la lesione secondo le legende della sez. 8 "Estensione e livello del danno" delle ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA DI I LIVELLO o in alternativa dai millimetri della lesione.

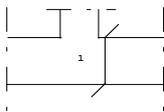
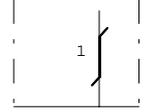
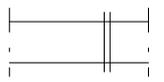
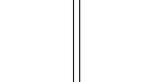
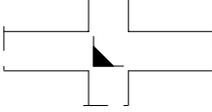
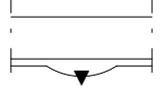
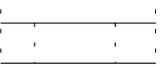
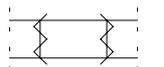
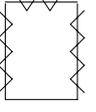
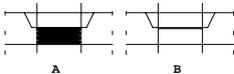
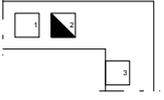
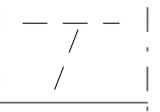
In alzato (prospetto o sezione) rappresentare graficamente l'effettivo stato di degrado e/o dissesto anche in riferimento alle legende di cui sopra.

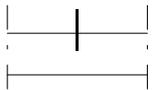
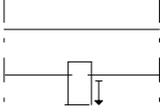
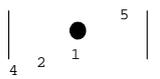
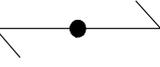
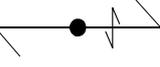
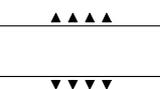
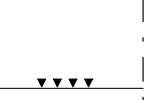
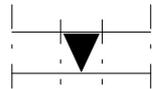
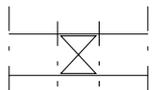
Per le lesioni alle murature la simbologia sotto riportata è riferita a casi in cui queste siano passanti l'elemento; nel caso in cui queste non siano passanti, il relativo simbolo dovrà essere riportato in adiacenza sul solo lato interessato dalla lesione stessa. Cio vale con particolare riferimento alle strutture portanti, anche se sono da evidenziare le eventuali lesioni sui tamponamenti non portanti.

Esempi:

PIANTA		ALZATO
Lesioni diffuse passanti	Lesione diffuse non passanti	Lesione diffuse passanti o non passanti
		
Es.: 6 o 7D o mm	Es.: 6 o 7D o mm	Es.: 6 o 7D o mm
Lesioni a croce passanti	Lesione a croce non passanti	Lesione a croce passanti o non passanti
		
Es.: 3D o mm	Es.: 3D o mm	Es.: 3D o mm

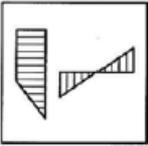
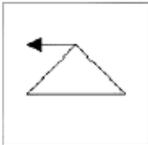
PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
 Es.: 3D o mm Es.: 6 o 7D o mm	 Es.: 3D o mm Es.: 6 o 7D o mm	a) Lesione isolata sia all'interno del pannello (tipo 3) che agli estremi del pannello passanti o no (tipo 6 o 7)
 Es.: 3D o mm	 Es.: 3D o mm	b) Lesione a croce (tipo 3)
 Es.: 6 o 7D o mm	 Es.: 6 o 7D o mm	c) Lesioni diffuse passanti o no (tipo 6 o 7)

PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	d) Lesione in corrispondenza di pareti non ammortate (il n° 1 indica la parete preesistente)
 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	e) Lesione in corrispondenza di pareti in linea non ammortate
 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	f) Lesione in corrispondenza di cantonale inglobato nella muratura senza ammortatura
 <p>FP = ±cm</p>	 <p>FP = ±cm</p>	g) Spanciamento del pannello murario fuori dal proprio piano (- interno + esterno)
 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	h) Lesione in corrispondenza di apertura tamponata senza ammortatura; il simbolo L indica assenza di ammortamento. (L spalletta e/o architrave di apertura tamponata).
 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	i) Lesione in corrispondenza di apertura tamponata con ammortatura
 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	l) Lesione in corrispondenza di apertura ricavata in rottura rispetto alla parete preesistente
 <p>Es.: 1D o mm</p>	 <p>Es.: 8D o mm</p>	m) Lesione di architrave: se si tratta di elemento strutturale indicare come in A, se si tratta di elemento riportato indicare come in B
 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>		n) Lesione in corrispondenza di canna fumaria o camino (rispettivamente non utilizzata (1), o in uso (2)), canalizzazione importante in traccia (3) messe in luce dall'evento sismico
	 <p>Es.: 6 o 7D o mm</p>	o) Lesione in corrispondenza canalizzazione di piccole dimensioni (es.: impianti elettrici, idrici, ecc.)

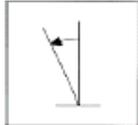
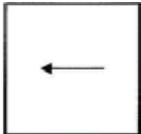
PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
 <p>Es.: 8D o mm</p>	 <p>Es.: 8D o mm</p>	p) Punzonamento di elementi strutturali orizzontali sulle murature
 <p>cm</p>		q) Scorrimento relativo tra elemento orizzontale portante e muratura
 <p>Es.: mm</p>		r) Dissesto su volte (1, 2, 4, 5)
 <p>Es.: mm</p>		s) Dissesto nell'orditura principale del solaio
 <p>Es.: mm</p>		t) Dissesto nell'orditura secondaria del solaio
 <p>cm</p>	 <p>cm</p>	u) Area di cedimento delle fondazioni
		v) Crollo provocato dal sisma
 <p>Es.: 4D o mm</p>	 <p>Es.: 4D o mm</p>	z) Schiacciamento (con espulsione di materiale)

6.4 DESCRIZIONE E MISURA DEGLI SPOSTAMENTI RICONDUCEBILI AL DISSESTO (modificazioni geometriche)

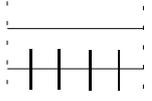
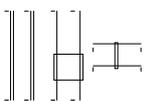
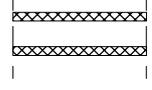
E' essenziale avere punti o linee di controllo per la misura degli spostamenti, di più marcata affidabilità, mirati sia a svelare e descrivere esattamente geometrie di dissesto non apprezzabili ad occhio nudo, sia a rilevare l'entità e l'articolazione di dissesti anche macroscopici.

PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
		Rilievo dello spostamento della verticalità (fuori/entro piombo) o della orizzontalità (sganciamento) ed enfattizzazione (x 5 o x 10) della scala dello scostamento
		Perdita della verticalità di capriate (accatastamento)

6.5 COMPONENTI VERTICALI RICONOSCIBILI DELLO SPOSTAMENTO DI MASSE MURARIE (modificazioni geometriche)

PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
		Rotazione del piano (P) o fuori piano (F.P.) o mista (angolare e metrica)
		Traslazione orizzontale (T.O.)
		Traslazione verticale (T.V.)

7- CONSOLIDAMENTI

PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
		Iniezioni di miscele leganti
		Applicazione di lastre in cls e rete metallica
		Pilastrini in breccia (in c.a. o di metallo)
		Cerchiatura di travi o pilastri (totale o parziale)
		Cerchiatura di apertura
		Risarcitura localizzata (muratura) o ripristino con conglomerato (c.a.)
		Irrigidimento del solaio o volta con soletta in cls
		Irrigidimento solaio in legno con doppio tavolato
		Consolidamento della fondazione
		Altro tipo di consolidamento (con richiamo alla relazione tecnica generale)
		Consolidamento di fondazione con palo

8 INTERVENTI DI NUOVA COSTRUZIONE, DEMOLIZIONE, RIPRISTINO STRUTTURALE, SOSTITUZIONE, CONSOLIDAMENTO, ECC. (PROGETTO)

PIANTA	ALZATO	DESCRIZIONE
		Elementi confermati nello stato di fatto
		Elementi di nuova costruzione. Va aggiunto il relativo simbolo del materiale [Vedi Tab. 1]
		Elementi da demolire
		Elementi da sostituire con materiali analoghi a quelli preesistenti (ripristino strutturale). Va aggiunto il simbolo relativo al materiale impiegato [Vedi Tab. 1]
		Elementi da sostituire anche con materiali diversi da quelli preesistenti. Va aggiunto il simbolo relativo al materiale impiegato [Vedi Tab. 1]
		Elementi da consolidare. Va aggiunto il simbolo relativo al tipo di consolidamento [Vedi Tab. 6]
		Quote uguali o diverse rispetto allo stato di fatto
		Giunto da creare
		Giunto da eliminare
		Giunto da conservare nello stato di fatto
		Giunto da modificare (specificare il tipo di intervento)

ALLEGATO N. 2

**SCHEMA PER IL RILIEVO DELLA VULNERABILITA'
E DEL DANNO SISMICO ALLE CHIESE
G.N.D.T. – C.N.R.**

SCHEDA PER IL RILIEVO DELLA VULNERABILITÀ E DEL DANNO SISMICO ALLE CHIESE

Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti



Denominazione:			Scheda n°:
Comune:	via/piazza:		
Località:	Data:	Squadra:	
Riferimenti per sopralluogo - (nome e recapito)			
Posizione:	<input type="checkbox"/> isolata	<input type="checkbox"/> corpi bassi annessi	<input type="checkbox"/> estremità o angolo <input type="checkbox"/> nel contesto urbano
Caratteristiche del sito:	<input type="checkbox"/> in piano	<input type="checkbox"/> in pendio	<input type="checkbox"/> su rilievo <input type="checkbox"/> su riporto <input type="checkbox"/> avvallamento
Condizioni d'uso:	<input type="checkbox"/> quotidiano	<input type="checkbox"/> settimanale	<input type="checkbox"/> saltuario <input type="checkbox"/> abbandonata
Stato di manutenzione generale:			Affollamento: <input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/> buono <input type="checkbox"/> discreto <input type="checkbox"/> scadente <input type="checkbox"/> pessimo

Sezione 1. DATI TIPOLOGICI E DIMENSIONALI

Pianta: <input type="checkbox"/> una navata <input type="checkbox"/> due navate <input type="checkbox"/> tre navate <input type="checkbox"/> più navate <input type="checkbox"/> centrale <input type="checkbox"/> altro			
Aula:			
navata centrale largh. ____ × lungh. ____ altezza max: ____ n° campate: ____ <input type="checkbox"/> paraste <input type="checkbox"/> colonne <input type="checkbox"/> contrafforti esterni volte: <input type="checkbox"/> a botte <input type="checkbox"/> a crociera <input type="checkbox"/> a padiglione <input type="checkbox"/> a vela <input type="checkbox"/> cupola strutturali: <input type="checkbox"/> sì - <input type="checkbox"/> non so quota imposta volta: ____ n° catene trasversali: ____ catene/cuciture: <input type="checkbox"/>	1° navata laterale matroneo: <input type="checkbox"/> largh. ____ × lungh. ____ altezza max: ____ n° colonne/pilastri: ____ <input type="checkbox"/> conci lapidei <input type="checkbox"/> muratura dimensioni: ____ × ____ altezza: ____ colleg. con navata centrale: <input type="checkbox"/> arco <input type="checkbox"/> architrave n° catene archi long.: ____ volte: <input type="checkbox"/> a botte <input type="checkbox"/> a crociera <input type="checkbox"/> a padiglione <input type="checkbox"/> cupole o vele strutturali: <input type="checkbox"/> sì - <input type="checkbox"/> non so n° catene trasversali: ____	2° navata laterale / cappelle contigue largh. ____ × lungh. ____ altezza max: ____ n° col./pil./setti trasv.: ____ <input type="checkbox"/> conci lapidei <input type="checkbox"/> muratura dimensioni: ____ × ____ altezza: ____ colleg. con 1° nav. laterale: <input type="checkbox"/> arco <input type="checkbox"/> architrave n° catene archi long.: ____ volte: <input type="checkbox"/> a botte <input type="checkbox"/> a crociera <input type="checkbox"/> a padiglione <input type="checkbox"/> cupole o vele strutturali: <input type="checkbox"/> sì - <input type="checkbox"/> non so n° catene trasversali: ____	pianta centrale largh. ____ × lungh. ____ altezza max: ____ forma: <input type="checkbox"/> circolare <input type="checkbox"/> quadrata/rettangolare <input type="checkbox"/> ellittica <input type="checkbox"/> poligonale <input type="checkbox"/> croce greca n° altari: ____ colonne: <input type="checkbox"/> volte: <input type="checkbox"/> a crociera <input type="checkbox"/> a padiglione <input type="checkbox"/> a vela <input type="checkbox"/> cupola strutturali: <input type="checkbox"/> sì - <input type="checkbox"/> non so quota imposta volta: ____ n° catene: ____
Copertura: lignea: <input type="checkbox"/> spingente <input type="checkbox"/> parz. sping. <input type="checkbox"/> non sping. <input type="checkbox"/> capriate c.a. o metallica: <input type="checkbox"/> cordoli: <input type="checkbox"/> pilastri: <input type="checkbox"/> controventi di falda: <input type="checkbox"/>	Presbiterio: <input type="checkbox"/> l. ____ × p. ____ × H ____ Coro: <input type="checkbox"/> l. ____ × p. ____ × H ____ volte strutturali: <input type="checkbox"/> sì - <input type="checkbox"/> non so n° catene: ____	Transetto: <input type="checkbox"/> n° navate: ____ largh. ____ × lungh. ____ altezza max: ____ volte strutturali: <input type="checkbox"/> sì - <input type="checkbox"/> non so n° catene: ____	Cappelle: <input type="checkbox"/> n° ____ largh. ____ × prof. ____ altezza max: ____ volte strutturali: <input type="checkbox"/> sì - <input type="checkbox"/> non so cupole: <input type="checkbox"/> n° catene: ____
Abside principale: <input type="checkbox"/> l. ____ × p. ____ × H ____ Absidi secondarie: <input type="checkbox"/> l. ____ × p. ____ × H ____ forma: prin. sec. rettangolare <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> poligonale <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> semicircolare <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> n° aperture: ____ ____ volte strutturali: sì <input type="checkbox"/> no ... <input type="checkbox"/> non so <input type="checkbox"/> n° catene interne: ____ ____ catene/cerchiatura <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Campanili: <input type="checkbox"/> n° ____ 1 - a ____ × b ____ × H ____ 2 - a ____ × b ____ × H ____ forma: 1 2 quadrata/rettang. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> poligonale <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> circolare <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> a vela <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> n° celle camp.: ____ ____ catene/cerchiatura <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> posizione (D/S,A/P) ____ ____ isolato <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> inserito in pianta <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> est.(muro comune) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> esterno (adiacente) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> quota stacco: ____	Cupola: <input type="checkbox"/> diametro: ____ forma: <input type="checkbox"/> circolare <input type="checkbox"/> poligonale strutturale: <input type="checkbox"/> sì - <input type="checkbox"/> non so lanterna: <input type="checkbox"/> tiburio: <input type="checkbox"/> tamburo: <input type="checkbox"/> n° aperture: ____ n° cerchiature: ____ Cripta: <input type="checkbox"/> lar. ____ × lun. ____ × H ____ n° colonne: ____ volte: <input type="checkbox"/> botte <input type="checkbox"/> crociera	Facciata: <input type="checkbox"/> forma: <input type="checkbox"/> capanna <input type="checkbox"/> salienti <input type="checkbox"/> rettangolare sommità a vela: <input type="checkbox"/> paraste o colonne: <input type="checkbox"/> statue o aggetti: <input type="checkbox"/> nartece o protiro: <input type="checkbox"/> edificio addossato: <input type="checkbox"/> n° aperture: ____ Sacrestia/altro: <input type="checkbox"/> posizione: ____ (D/S, A/P) connessione: <input type="checkbox"/> adiacente <input type="checkbox"/> incatenata <input type="checkbox"/> ammorsata

Sezione 2. DANNI AD ELEMENTI DI VALORE ARTISTICO (lieve - grave - perdita del bene)

Affreschi:					
<input type="checkbox"/> volta aula □□□	<input type="checkbox"/> navate laterali □□□	<input type="checkbox"/> volte cappelle □□□	<input type="checkbox"/> volta transetto □□□	<input type="checkbox"/> volta presbiterio □□□	<input type="checkbox"/> volta abside □□□
<input type="checkbox"/> cupola □□□	<input type="checkbox"/> pareti navate □□□	<input type="checkbox"/> pareti transetto □□□	<input type="checkbox"/> pareti abside □□□	<input type="checkbox"/> pareti cappelle □□□	<input type="checkbox"/> altri corpi □□□
Stucchi: <input type="checkbox"/> volte □□□ <input type="checkbox"/> pareti/colonne □□□	Sculture: <input type="checkbox"/> statue □□□ <input type="checkbox"/> altro □□□	Bassorilievi: <input type="checkbox"/> altari/pulpito □□□ <input type="checkbox"/> balaustre/altro □□□	Dipinti: <input type="checkbox"/> tele □□□ <input type="checkbox"/> polittici □□□	Facciata: <input type="checkbox"/> portali/edicole □□□ <input type="checkbox"/> rosoni □□□	Arredi sacri: <input type="checkbox"/> coro ligneo □□□ <input type="checkbox"/> organi/altro □□□

Sezione 3. INDICE DI DANNO E INDICE DI VULNERABILITÀ

1	RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA		□
Danno	DISTACCO DELLA FACCIATA DALLE PARETI		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Ammortamento scadente tra la facciata ed i muri della navata <input type="checkbox"/> Assenza di catene longitudinali o di contrafforti efficaci	
2	MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA		□
Danno	LESIONI NELLA ZONA ALTA DELLA FACCIATA		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Facciata indebolita per la presenza di grandi aperture (rosone o altro) <input type="checkbox"/> Assenza di collegamento con la copertura, di controventi di falda o di cordoli	
3	MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA		□
Danno	LESIONI INCLINATE (TAGLIO); LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ROTAZIONE)		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Presenza di molte aperture (anche tamponate) <input type="checkbox"/> Possibilità di rotazioni dalle pareti laterali (copertura spingente, volta non incatenata)	
4	RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA O DEL TRANSETTO		□
Danno	LESIONI NEGLI ARCONI (CON EVENTUALE PROSECUZIONE NELLA VOLTA); ROTAZIONI, SCHIACCIAMENTI O LESIONI ALLA BASE DELLE PARETI DI NAVATA		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Pareti laterali di elevata snellezza <input type="checkbox"/> Assenza di catene trasversali o di contrafforti efficaci	
5	RISPOSTA LONGITUDINALE DELLA NAVATA CENTRALE		□
Danno	LESIONI NEGLI ARCHI O ARCHITRAVI LONGITUDINALI; SCHIACCIAMENTI E/O LESIONI ALLA BASE DEI PILASTRI; LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE DELLE NAVATE LATERALI		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Pilastri molto snelli e/o navata centrale particolarmente alta rispetto a quelle laterali <input type="checkbox"/> Assenza di catene longitudinali	
6	VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE		□
Danno	LESIONI NELLE VOLTE DELL'AULA CENTRALE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Volte eccessivamente ribassate e/o snelle <input type="checkbox"/> Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura	
7	VOLTE DELLE NAVATE LATERALI E DEL TRANSETTO		□
Danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Volte eccessivamente ribassate e/o snelle <input type="checkbox"/> Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura	
8	ARCHI TRIONFALI (DELL'AULA E DEI TRANSETTI)		□
Danno	LESIONI NELL'ARCO, SCORRIMENTO DI CONCI, SCHIACCIAMENTO ALLA BASE DEI PIEDRITTI		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Arco di spessore inadeguato o realizzato con muratura scadente <input type="checkbox"/> Incatenamento assente o mal posizionato; pareti di taglio deboli	
9	CUPOLA O TIBURIO		□
Danno	LESIONI NELLA CUPOLA (AD ARCO), NEL TAMBURIO O NELLA LANTERNA		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Tamburo molto alto e caratterizzato da grandi aperture <input type="checkbox"/> Assenza di cerchiatura o di contrafforti esterni	
10	RIBALTAMENTO DI ALTRE PARETI DI ESTREMITÀ (TRANSETTO, CAPPELLE)		□
Danno	DISTACCO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DALLE PARETI ORTOGONALI		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Ammortamento scadente tra la parete di estremità ed i muri ortogonali <input type="checkbox"/> Assenza di catene o di contrafforti efficaci	
11	RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE (O DEL PRESBITERIO)		□
Danno	LESIONI VERTICALI O ARCUATE NELLE PARETI DELL'ABSIDE		□□□
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Assenza di cerchiatura o di catene longitudinali <input type="checkbox"/> Copertura spingente o forte indebolimento per la presenza di aperture nelle pareti	

12	VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE		<input type="checkbox"/>
Danno	LESIONI NELLA VOLTA O NEL CATINO ABSIDALE		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Volte eccessivamente ribassate e/o snelle <input type="checkbox"/> Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura	
13	ROTTURA A TAGLIO DELLE PARETI		<input type="checkbox"/>
Danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE); LESIONI ATTRAVERSO DISCONTINUITÀ LOCALI (VECCHIE APERTURE TAMPONATE, ecc.)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Muratura di qualità scadente o di limitato spessore <input type="checkbox"/> Forti indebolimenti per la presenza di aperture (anche preesistenti e tamponate)	
14	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA		<input type="checkbox"/>
Danno	LESIONI VICINO ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE; SCORRIMENTI DELLE STESSE; SCONNESSIONI TRA CORDOLI E MURATURA; MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Copertura spingente; aumento del peso originario a seguito del rifacimento della copertura <input type="checkbox"/> Assenza di collegamento delle travi lignee alla muratura o di ammortamento del cordolo	
15	INTERAZIONI IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE (CORPI ADIACENTI, ARCHI RAMPANTI)		<input type="checkbox"/>
Danno	MOVIMENTI NEL GIUNTO O LESIONI NELLA MURATURA PER MARTELLAMENTO LESIONI VERTICALI NEL CORPO MENO RIGIDO, ROTAZIONI NEL CORPO PIÙ ALTO		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Mancanza di connessione tra le murature o elevata differenza di rigidezza tra i due corpi <input type="checkbox"/> Assenza di un buon ammortamento o di catene di collegamento	
16	TORRE CAMPANARIA		<input type="checkbox"/>
Danno	LESIONI VICINO ALLO STACCO DAL CORPO DELLA CHIESA; LESIONI A TAGLIO E SCORRIMENTO; LESIONI VERTICALI (ESPULSIONE DI UN ANGOLO)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Mancanza di connessione tra le murature o torre molto snella <input type="checkbox"/> Muratura degradata, di scadente qualità o di limitato spessore	
17	CELLA CAMPANARIA		<input type="checkbox"/>
Danno	LESIONI NEGLI ARCHI; ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Assenza di catene o cerchiatura; piedritti molto snelli <input type="checkbox"/> Copertura pesante e/o spingente	
18	AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)		<input type="checkbox"/>
Danno	EVIDENZA DI ROTAZIONI PERMANENTI O DI SCORRIMENTI		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Vulnerabilità	(non so) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Assenza di contrafforti o di altri collegamenti efficaci alla fabbrica <input type="checkbox"/> Elevata snellezza dell'aggetto	
19	EFFETTI AL SUOLO DOVUTI ALLA MORFOLOGIA E ALLA GEOLOGIA DELL'AREA INTERESSATA		<input type="checkbox"/>
Danno	EVIDENZA DI EFFETTI AL SUOLO (frane, cedimenti, fratturazione, liquefazione)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
20	EFFETTI AL SUOLO DERIVANTI DA AZIONI MUTUE TRA TERRENO E COSTRUZIONE		<input type="checkbox"/>
Danno	LESIONI DA CEDIMENTO IN FONDAZIONE Localizzazione :		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

$n =$ ____ (numero dei meccanismi possibili)

$d =$ ____ (punteggio totale di danno)

$i_d = d / 3n =$ ____

$v =$ ____ (punteggio vulnerabilità intrinseca)

$p =$ ____ (domande a cui non si è risposto)

$i_v = v / (2n-p) =$ ____

Sezione 4. CARATTERISTICHE DELLE MURATURE

FACCIATA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :	scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
PARETI LATERALI <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :	scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
TRANSETTO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :	scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
ABSIDE <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :	scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
CAMPANILE <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :	scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
ALTRI CORPI (cappelle, sacrestia) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :
scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :	scheda n°:	%:	S _{min} :	S _{max} :

Indicazioni sull'uso della scheda chiese - EMERGENZA POST-TERREMOTO

Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - Unità di ricerca di Genova

PREMESSA

La scheda è mirata al rapido rilievo dei danni alle Chiese in un'area colpita da terremoto e la successiva elaborazione fornisce un quadro sintetico della situazione, con indicazioni sulle opere necessarie per la tutela dell'incolumità pubblica e la salvaguardia dei beni architettonici e dei beni artistici contenuti. Essa rappresenta una sintesi delle precedenti esperienze maturate in ambito CNR-GNDT (*Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*) a seguito del terremoto del Friuli e di quello che ha colpito le Province di Modena e Reggio Emilia nel 1987. In tali occasioni venne utilizzata una scheda di rilievo molto dettagliata, mirata al riconoscimento di parti della chiesa, dette *macroelementi*, caratterizzate da un comportamento unitario nei riguardi dell'azione sismica; i *macroelementi* coincidono in genere con gli elementi architettonici della fabbrica (facciata, abside, arco trionfale, campanile, cupola, ecc.) ma assumono un significato strutturale solo se viene considerato anche il modo in cui sono connessi agli altri elementi della chiesa. Nell'emergenza post-terremoto è però necessario disporre di uno strumento agile, che consenta di rilevare un elevato numero di manufatti in tempi rapidi, e sintetico, ovvero che fornisca, attraverso un opportuno modello, indici di danno e di vulnerabilità.

La nuova scheda trae spunto da una metodologia utilizzata per il rilievo della vulnerabilità delle chiese della Lunigiana e della Garfagnana, basata su un certo numero di *indicatori*, ciascuno rappresentativo di un possibile *cinematismo di collasso* per i diversi *macroelementi*. Il rilievo combinato del livello di danno e delle caratteristiche costruttive consente di quantificare il danno prodotto dal terremoto e definire un indice di vulnerabilità della chiesa, che ne caratterizza il comportamento nei riguardi di altri eventi sismici. Nell'occasione del sopralluogo vengono anche rilevate le caratteristiche tipologiche generali della fabbrica, anche se non è da queste che può discendere un giudizio sulla vulnerabilità sismica; la sezione tipologica è stata in parte sviluppata nell'ambito del Gruppo di Lavoro che sta elaborando il *Progetto Lavori Socialmente Utili* mirato al *Rilievo della vulnerabilità sismica dei manufatti a carattere monumentale inseriti nei Parchi Naturali dell'Italia Meridionale*.

STRUTTURA DELLA SCHEDA

La scheda è articolata in cinque sezioni, oltre all'intestazione contenente la denominazione del manufatto, i dati generali sulla squadra di rilevatori e la data del sopralluogo, e non necessita di un manuale di istruzioni:

- Dati tipologici e dimensionali:** contiene informazioni sulla tipologia e le dimensioni della chiesa, scomposta nei diversi elementi architettonici (aula, presbiterio, abside, transetto, cappelle, copertura, cupola, cripta, facciata, campanile, sacrestia); in particolare viene concentrata l'attenzione sugli elementi strutturali determinanti nei riguardi della risposta sismica della fabbrica (contrafforti, catene, ecc.) e alcune dimensioni;
- Danni ad elementi di valore artistico:** viene semplicemente segnalata la presenza dei diversi beni culturali contenuti nella chiesa, senza entrare nel merito del loro valore, e quantificato il livello di danno prodotto dal sisma;
- Indice di danno e indice di vulnerabilità:** nella sezione sono individuati 18 possibili meccanismi di danneggiamento e collasso caratteristici dei diversi cinematismi individuabili nelle chiese, schematicamente illustrati nell'abaco; per ciascuno di questi il rilevatore deve riscontrare: a) la presenza del macroelemento; b) l'entità del danno (0: assenza di danno; 1: danno lieve; 2: meccanismo sviluppato; 3: situazione prossima al collasso); c) le vulnerabilità intrinseche della fabbrica a quel meccanismo, tramite due indicatori legati a specifiche carenze costruttive; in tale caso è possibile esprimere anche un giudizio di dubbio, quando non sia possibile individuare con certezza la presenza di tali carenze costruttive;
- Caratteristiche delle murature:** le diverse murature nei vari macroelementi vengono descritte in schede allegate, facendo riferimento alle caratteristiche degli elementi costitutivi e della malta, alla tessitura dei paramenti ed alla composizione della sezione trasversale; l'impostazione trae origine da ricerche precedentemente sviluppate da Mannoni e da Binda, della cui scheda questa sezione rappresenta una sintesi.
- Agibilità:** in tale sezione al rilevatore è richiesto un giudizio sull'agibilità della struttura, scegliendo fra quattro possibili alternative: agibile, inagibile, agibile con provvedimenti di pronto intervento, parzialmente agibile; negli ultimi due casi devono essere indicati i provvedimenti necessari o le zone agibili.
- Annotazioni:** sono rivolte a segnalare la necessità di interventi urgenti per la salvaguardia del manufatto e dei beni in esso contenuti; inoltre possono essere evidenziate situazioni particolari che non dovessero emergere dalla descrizione della tipologia e del danno nelle sezioni 1 e 3.
- Elaborati grafici:** pianta, prospetti, sezioni e schizzi per meglio chiarire le forme strutturali o particolari significativi dei meccanismi di danno attivati.

L'elaborazione dei dati rilevati fornisce, attraverso un semplice modello a punteggio, i seguenti indici:

- **Indice di danno:** è un numero compreso tra 0 e 1 che quantifica il livello medio di danno subito dalla chiesa;
- **Indice di vulnerabilità:** è un numero compreso tra 0 e 1, rappresentativo della propensione della chiesa ad essere danneggiata dal terremoto; attraverso opportune curve è possibile stimare l'entità del danno atteso in chiese diverse ma caratterizzate dallo stesso indice di danno a seguito di un terremoto di assegnata intensità;

CONSIDERAZIONI SULLA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA

La scheda guida il rilevatore attraverso un percorso di conoscenza della fabbrica, del suo funzionamento strutturale e dei danni subiti a seguito del terremoto.

Dopo aver compilato la sezione introduttiva (importante è indicare il nominativo ed il numero telefonico della persona da contattare per eventuali successivi sopralluoghi), si passa alla sezione 1. In questa vengono riconosciuti i diversi elementi architettonici presenti nella fabbrica, rilevando quei particolari che sono in relazione al comportamento strutturale. Le poche misure richieste hanno lo scopo di fornire un'indicazione di massima sulla dimensione della chiesa, utile ad esempio nella stima dei costi dell'intervento, e possono essere valutate rapidamente con apposita strumentazione (rotella metrica, distanziometro laser) o ad occhio; in quest'ultimo caso indicare il dato tra parentesi. Per le informazioni tipologiche è sufficiente porre una croce sulla casella per indicare la presenza dell'elemento (ad esempio: presenza di catene, di contrafforti) o scegliendo tra una serie di possibilità (ad esempio per la tipologia delle volte, della copertura o la forma della facciata). E' possibile indicare più risposte (ad esempio in presenza di volte diverse nella stessa aula) mentre nel caso che il dato non sia rilevabile o l'informazione non sia certa cerchiare la casella. Nella descrizione dell'aula il numero di campate serve ad indicare la presenza di diversi campi di volte, anche di tipologia diversa, eventualmente separati da arconi di irrigidimento. La *posizione* dei diversi corpi di fabbrica (campanile, sacrestia, ecc.) è riferita all'asse centrale della chiesa e viene indicata con destra o sinistra (D o S), anteriore o posteriore (A o P). In facciata l'*entità delle aperture* si indica con: 1 croce, portale particolarmente ampio (nel caso di presenza di un piccolo portale non mettere croci); 2 croci, apertura significativa sopra al portale (rosone o altro); 3 croci, presenza di aperture anche a lato del portale (nella stessa navata) o evidenza di vecchie aperture tamponate tra il portale ed il rosone.

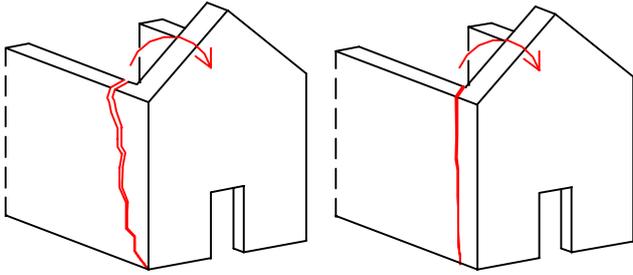
La compilazione accurata della sezione 1 facilita l'individuazione dei meccanismi di danno attivati dal terremoto, da indicarsi nella sezione 3. Ciascuno dei 18 *indicatori* previsti rappresenta un particolare *cinematismo di collasso* in un *macroelemento* della fabbrica (parte strutturalmente autonoma che coincide in genere con un elemento architettonico). Tali *cinematismi* sono schematicamente illustrati nell'abaco riprodotto in questo foglio e si riferiscono ai seguenti *macroelementi*: facciata (1, 2 e 3); aula (4, 5, 6 e 7); arco trionfale (8); cupola o tiburio (9); ribaltamento di altre pareti di estremità (transetto, cappelle) (10); abside (11 e 12); rottura a taglio delle pareti (13); meccanismi negli elementi di copertura (14); interazione con altri corpi di fabbrica (15); torre campanaria (16 e 17); aggetti o vele (18). Ciascun *indicatore* è caratterizzato da tre righe: il *macroelemento*, con eventualmente la descrizione del *cinematismo* a cui ci si riferisce; il *meccanismo di danno* atteso in relazione al cinematismo (vedi abaco); le carenze costruttive che comportano una elevata *vulnerabilità* del *macroelemento* a questo specifico *cinematismo*.

Nella casella della prima riga è necessario porre una croce quando si riconosce la presenza del *macroelemento* nella fabbrica, prescindendo quindi dal fatto che il danno si sia verificato; quindi queste caselle non vanno barrate solo se, ad esempio, la chiesa non ha la cupola o manca la torre campanaria. Nella seconda riga viene invece indicato il livello del danno: nessuna croce, danno assente; 1 croce, accenno di danno; 2 croci, meccanismo sviluppato (oltre alle lesioni si sono manifestati movimenti relativi tra le porzioni in cui la fabbrica si è sconnessa); 3 croci, collasso o situazione prossima alla crisi (il *macroelemento* ha perso la sua funzionalità strutturale, per perdita di forma o di resistenza dei materiali). Nella terza riga vengono individuate, in due voci distinte, le carenze costruttive che determinano la vulnerabilità; questa non è infatti desumibile da caratteristiche tipologiche globali (quelle indicate nella sezione 1) ma dai particolari costruttivi qui indicati. Alcune delle informazioni richieste sono immediatamente riscontrabili dal rilevatore mentre per altre possono verificarsi due distinti problemi: a) il dato non è facilmente rilevabile (collegamenti in copertura, puntelli appoggiati sulle volte); b) la risposta si presta ad un giudizio soggettivo (snellezza delle pareti, volte ribassate, qualità della muratura, ecc.). In entrambi i casi quando l'operatore non si sente in condizione di rispondere deve barrare gli appositi spazi contraddistinti da (non so), in modo tale da non tenerne conto nel successivo calcolo degli indici.

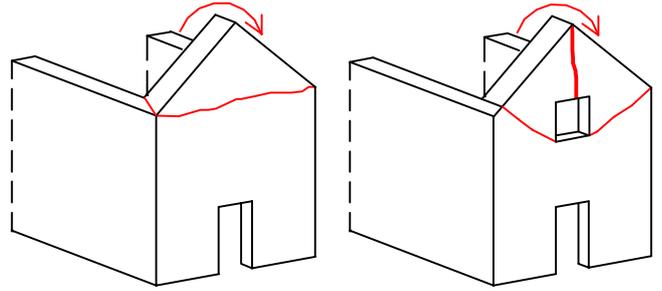
Gli indici di danno e vulnerabilità intrinseca rappresentano una media normalizzata ad uno dei rispettivi punteggi riportati sui singoli indicatori; nel caso che ad alcune domande relative alla vulnerabilità il rilevatore non abbia potuto rispondere, è necessario detrarre il numero dal denominatore dell'indice i_v . E' evidente che, a seguito del sisma, indici di danno più elevati si riscontreranno in chiese con un indice di vulnerabilità alto; tuttavia nel passaggio dalla vulnerabilità al danno entra in gioco l'intensità macrosismica, ovvero la severità del terremoto in quella località.

ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE

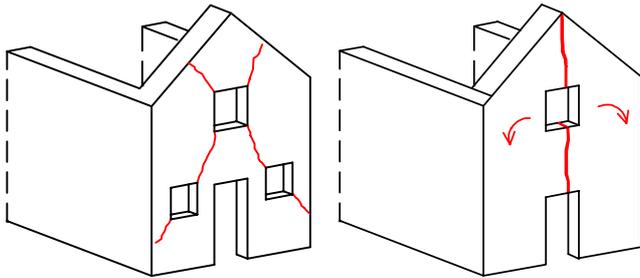
1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA



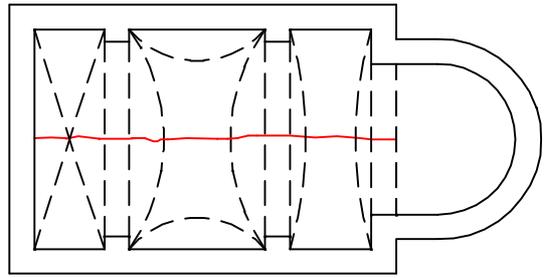
2. MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA



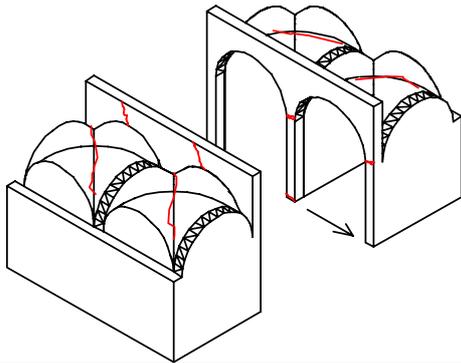
3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA



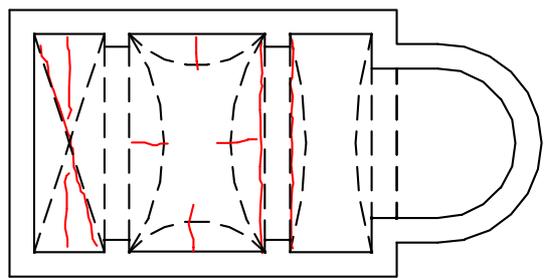
4. RISPOSTA TRASVERSALE DI AULA O TRANSETTO



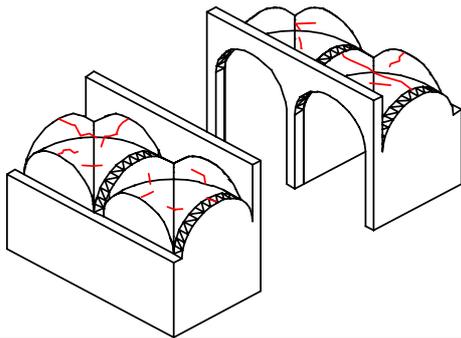
5. RISPOSTA LONGITUDINALE NAVATA CENTRALE



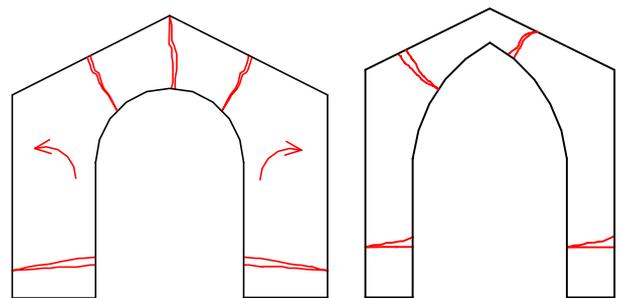
6. VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE



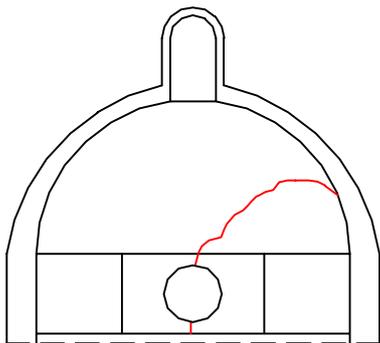
7. VOLTE NAVATE LATERALI E TRANSETTO



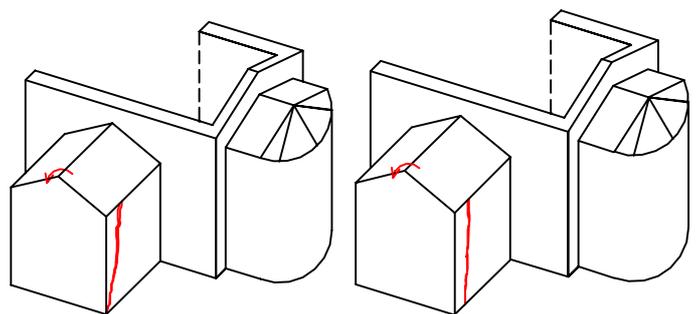
8. ARCHI TRIONFALI



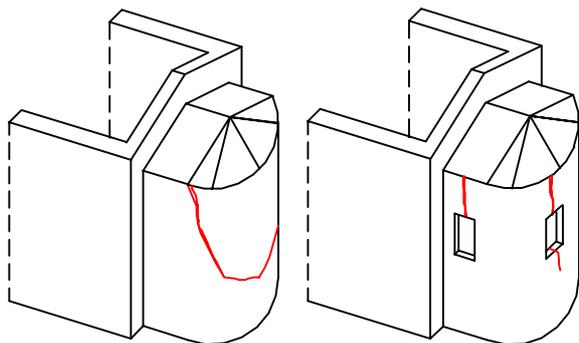
9. CUPOLA O TIBURIO



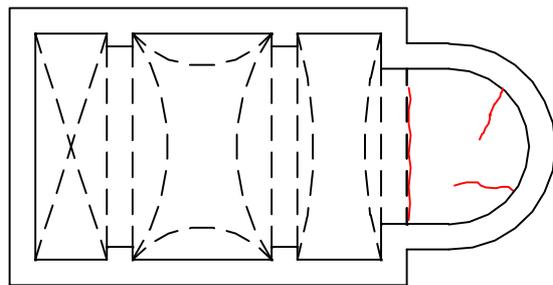
10. RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ



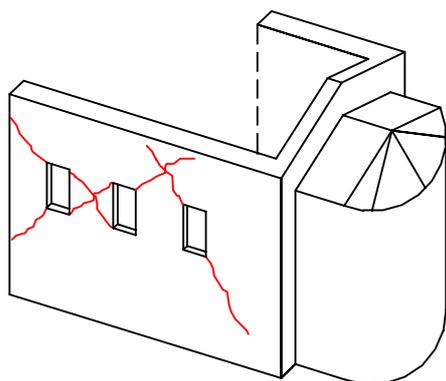
11. RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE



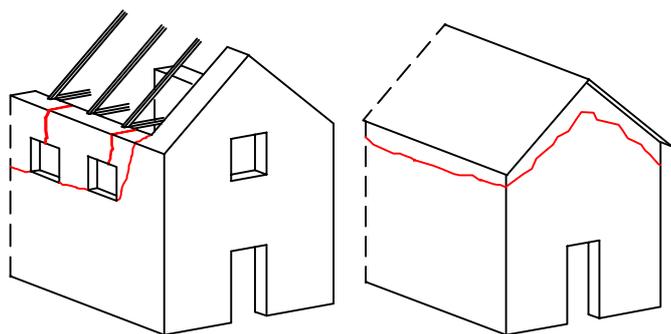
12. VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE



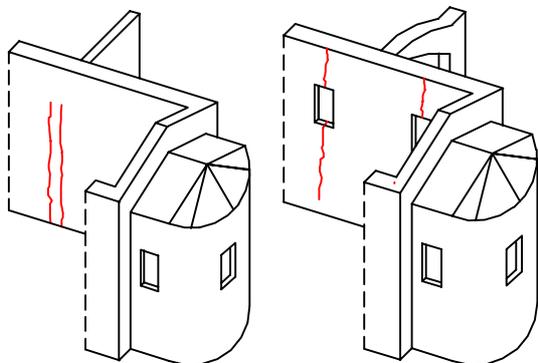
13. ROTTURA A TAGLIO DELLE PARETI



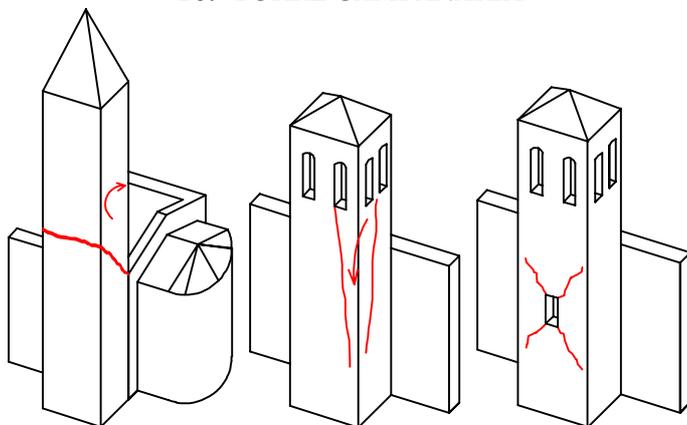
14. MARTELLAMENTO DELLA COPERTURA



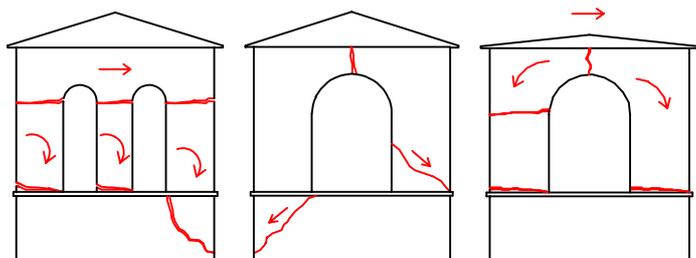
15. DISCONTINUITÀ MURARIE (CORPI ADIACENTI, ARCHI RAMPANTI)



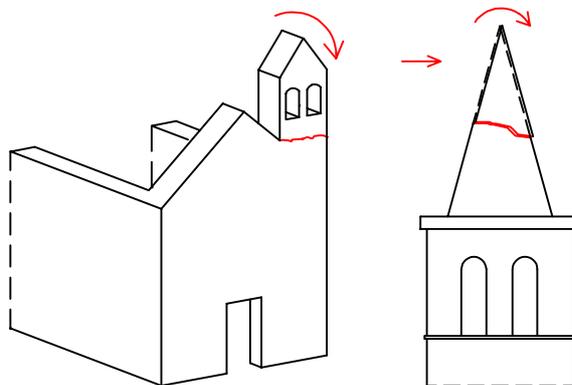
16. TORRE CAMPANARIA



17. CELLA CAMPANARIA



18. AGGETTI (VELA, GUGLIE, STATUE)



ALLEGATO N. 3

**ISTRUZIONI GENERALI PER LA REDAZIONE DI
PROGETTI DI RESTAURO NEI BENI ARCHITETTONICI
DI VALORE STORICO-ARTISTICO IN ZONA SISMICA**

**ISTRUZIONI GENERALI PER LA REDAZIONE DI PROGETTI DI RESTAURO NEI BENI
ARCHITETTONICI DI VALORE STORICO-ARTISTICO IN ZONA SISMICA**
(MINISTERO BENI CULTURALI ED AMBIENTALI -
MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI)

Premessa.

Il testo - base del presente documento, predisposto nell'ottobre 1996 dal Comitato Nazionale per la prevenzione del Patrimonio Culturale dal rischio sismico, ha rielaborato ed aggiornato la circolare n° 1841 del 12 marzo 1991 del Ministero Beni Culturali e Ambientali, contenente "Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di miglioramento e manutenzione nei complessi architettonici di valore storico-artistico in zona sismica".

Esaminato da un gruppo di lavoro, è stato approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, con integrazioni e specificazioni (riportate nel testo che segue), nella seduta del 28/11/1997, prot. 564.

A - OGGETTO E SCOPO

Le presenti istruzioni generali hanno lo scopo di fornire prescrizioni per la predisposizione e la organizzazione di idonei progetti riguardanti gli interventi di restauro nei beni architettonici di valore storico-artistico esistenti in zona sismica, soggetti a tutela ai sensi della legge 1 giugno 1939, n° 1089, recante disposizioni per la "Tutela delle cose di interesse artistico e storico" ed ai sensi della legge 21 giugno 1939, n° 1497, recante disposizioni per la "Protezione delle bellezze naturali" o aventi interesse architettonico, archeologico e storico-artistico comunque riconosciuti, e di cui occorra altresì, garantire la sicurezza.

Le istruzioni regolano, quindi, la corretta applicazione, nei beni architettonici di valore storico-artistico, ai fini della loro tutela ai sensi della legge 1 giugno 1939 n. 1089, degli interventi di miglioramento e di adeguamento antisismico secondo il dettato del decreto ministeriale del 16 Gennaio 1996 al punto C.9.1.2.

La corretta applicazione si intende riferita alla esigenza fondamentale di salvaguardare la identità estetica e storica del complesso edilizio, ovvero non introdurre, con le operazioni tecniche genericamente intese a conseguire un maggiore grado di sicurezza alle azioni sismiche, elementi estranei e stravolgenti rispetto la configurazione storico-architettonica del complesso edilizio.

Esigenza che la stessa "legge sismica", 2/2/74 n.64, riconosce all'art.16, rinviando le valutazioni alle disposizioni delle leggi di tutela 1/6/39 n. 1089 e 29/6/39 n.1497.

B - RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI

- Legge 1 giugno 1939 n° 1089 e successive modificazioni recante la "Tutela delle cose di interesse artistico e storico";
- Legge 21 giugno 1939 n° 1497 e successive modificazioni recante la "Protezione delle bellezze naturali";
- Circolare n° 117 del 6 aprile 1972 del Ministero della Pubblica Istruzione ora Ministero Beni Culturali ed Ambientali, denominata Carta del Restauro 1972;
- Legge 2 febbraio 1974 n° 64 recante: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- Circolare n° 1032 del 18 luglio 1986 del Ministero Beni Culturali ed Ambientali recante: "Raccomandazioni relative agli interventi sul patrimonio monumentale a tipologia specialistica in zona sismica";
- Circolare n° 1841 del 12 marzo 1991 del Ministero 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"
- Legge 11 febbraio 1994 n° 109, coordinata con le modifiche introdotte dal decreto legge 3 aprile 1995 n° 101, convertito in legge n° 216 del 2 giugno 1995;
- D.M. 16 gennaio 1996 del Ministro dei Lavori Pubblici, di concerto con il Ministro dell'Interno, recante: "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche";
- "Criteri di valutazione delle istanze di deroga ai sensi dell'art. 12 della Legge 2.2.74 n° 64 (Voto n°60 del 19.3.1996 della I Sezione del Consiglio Superiore dei LL.PP.);
- 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";

C - CRITERI GENERALI

C.1. DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO ED ADEGUAMENTO

Gli interventi di restauro di cui alle presenti istruzioni devono essere ricondotti alla tipologia di interventi di miglioramento di cui al punto C.9.1.2. delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".

Secondo la suddetta norma, infatti, tale tipologia di interventi si applica, in particolare, al caso di beni architettonici 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.

Gli interventi di adeguamento antisismico sono limitati, nei beni architettonici di cui alle presenti istruzioni, solo ad alcuni casi di seguito descritti.

Ai sensi del citato D.M. 9/1/96, si intende per intervento di miglioramento antisismico "l'esecuzione di una o più opere riguardanti i singoli elementi strutturali dell'edificio, con lo scopo di conseguire un maggiore grado di sicurezza senza peraltro modificarne in maniera sostanziale il comportamento globale".

Nello stesso D.M. è, inoltre, disposta l'obbligatorietà di eseguire interventi di miglioramento a chiunque intenda effettuare interventi locali volti a rinnovare o sostituire elementi strutturali dell'edificio.

Si intende, invece, per intervento di adeguamento antisismico "l'esecuzione di un complesso di opere sufficienti per rendere l'edificio atto a resistere alle azioni sismiche così come definite nel D.M. stesso.

Per gli interventi di *miglioramento* il D.M. non richiede verifiche formali del livello di sicurezza globale dell'edificio, sempre che sia dimostrato che gli interventi progettati non producono sostanziali modifiche nel comportamento strutturale globale dell'edificio.

Peraltro, come previsto nella Circolare 10/4/97 per ogni intervento di miglioramento deve, in relazione all'intervento da effettuare, essere valutata, in forma anche semplificata, la sicurezza strutturale raggiunta e l'incremento di sicurezza conseguito.

Gli interventi di *adeguamento*, comportano calcoli di verifica sismica globale, i quali sono basati su modelli analitici schematici che devono, comunque, risultare adatti a rappresentare l'effettivo comportamento delle antiche fabbriche murarie, e dimostrare la raggiunta sicurezza di norma.

Il D.M. 16/1/96 prescrive l'adeguamento soltanto a chi intenda:

- a) sopraelevare o ampliare l'edificio;
- b) apportare variazioni di destinazione che comportino, nelle strutture interessate dall'intervento, incrementi dei carichi originari (permanenti e accidentali) superiori al 20%;
- c) effettuare interventi strutturali rivolti a trasformare l'edificio mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente;
- d) effettuare interventi strutturali rivolti ad eseguire opere e modifiche per innovare e sostituire parti strutturali dell'edificio, allorché detti interventi implicino sostanziali alterazioni del comportamento globale dell'edificio.

Pertanto ai fini della tutela dei beni architettonici aventi valore storico-artistico si pongono precise limitazioni.

Non si ritengono ammissibili, per il patrimonio storico-architettonico, con le esigenze e i requisiti della tutela, ai sensi della legislazione vigente del Ministero Beni Culturali ed Ambientali, gli interventi di tipo c) e d), perché indirizzati ad una modifica dei caratteri di cultura figurativa e materiale del manufatto.

Gli interventi di tipo a) non sono ammissibili per i beni tutelati ai sensi della legge 1089/39, in quanto non rispondenti ai caratteri di unicità propria dei beni architettonici. Per gli altri casi, e cioè per gli interventi che ricadono nell'ambito di applicazione della legge 1497/39, si dovrà valutare se la sopraelevazione o l'ampliamento siano conformi alle prescrizioni della Circolare n. 117 del 6 aprile 1972 denominata Carta del Restauro.

Gli interventi di tipo b) si possono, invece, ritenere ammissibili purché l'adeguamento non comporti la sopraddegnata modifica dei caratteri di cultura figurativa e materiale del manufatto nel suo complesso e nei suoi elementi.

L'adozione degli interventi di tipo b) pone, infatti, problemi di particolare delicatezza poiché la verifica sismica richiesta dagli interventi di adeguamento, per i motivi sopra ricordati, presenta, allo stato delle conoscenze, oggettive difficoltà ed incertezze che spesso spingono a dare risposte con soluzioni stravolgenti, dettate unicamente dalla esigenza della verifica formale, per cui essi possono essere adottati, pur con le riserve sopra indicate, e solo dietro individuate sperimentazioni che certifichino comunque la validità degli interventi previsti.

C.2. MIGLIORAMENTO, SUE MODALITA' E COMPORTAMENTO STATICO

Il sistema delle operazioni tecniche necessarie per effettuare il tipo di intervento di miglioramento di cui al punto C. 1 deve essere concepito e definito dopo che sia stato individuato il comportamento strutturale del bene architettonico nel suo stato originario e nelle fasi costruttive realizzate successivamente ove chiaramente distinguibili.

Lo stato originario e le fasi successive, non possono essere rigidamente disgiunti poiché fanno parte di un unico processo di trasformazione del manufatto.

Si dovranno così individuare le linee di modificazione del complesso edilizio nel tempo e quindi in base a questi accertamenti introdurre con gli interventi previsti correzioni indirizzate di volta in volta a:

- ripristinare comportamenti strutturali preesistenti ora alterati da fattori diversi;

- integrare il funzionamento statico attuale intervenendo sulle debolezze riscontrate.

L'incremento del livello di sicurezza locale deve essere ottenuto senza prevedere interventi che stravolgano o comunque modificano sostanzialmente la concezione originaria del complesso edilizio e delle successive fasi costruttive ad esso organicamente connesse e fisiologicamente connaturati.

Nel caso venga proposto il cambiamento della destinazione d'uso, negli elaborati tecnici del progetto, le ripercussioni nella organizzazione tipologica e morfologica del bene architettonico devono essere esplicitamente e chiaramente illustrate, tenendo conto di quanto espresso nelle "operazioni tecniche" di cui al punto C4.

Per il cambiamento della destinazione d'uso ove proposto per i beni architettonici di cui al punto C. 1 delle presenti istruzioni deve essere emesso motivato parere da parte degli Organi Tecnici centrali del Ministero Beni Culturali ed Ambientali.

Il sistema delle operazioni tecniche necessario per effettuare gli interventi di miglioramento deve essere predisposto in stretta correlazione con gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria di cui ai punti a) e b) della Legge n.457/78.

Per quanto riguarda la Manutenzione straordinaria, tuttavia, va ricordato che non sono ammissibili "le opere e le modifiche necessarie per sostituire parti anche strutturali degli edifici" quando sono rivolte a modificare l'organizzazione tipologica e morfologica dei complessi edilizi di cui alle presenti "Istruzioni generali".

C.3. OPERAZIONI PROGETTUALI

Il restauro architettonico consiste in una serie organica di operazioni tecniche specifiche predisposte ai fini di cui all'art. 1 della circolare n.117 di cui alle premesse del presente documento.

Esse sono indirizzate alla tutela e valorizzazione dei caratteri storico-artistici dei beni architettonici e alla conservazione della consistenza materiale in vista della loro trasmissione al futuro.

Con le presenti istruzioni si intendono fornire indicazioni per la organizzazione e la conduzione delle operazioni progettuali di restauro, concepiti all'interno di organici progetti di restauro, e per gli interventi di cantiere.

Essi si articolano in tre livelli di progettazione, così come definiti dalla legge 216/95 (1) :

(1) N.B.: la legge n. 216/95, modificativa della legge n. 109/94, è stata modificata dalla legge 18 novembre 1998, n. 415 ad oggetto: "Modifiche alla legge 11 febbraio 1994, n. 109, e ulteriori disposizioni in materia di lavori pubblici" (Suppl. Ord. alla G.U. n. 284 del 4.12.1998)

a) Progetto preliminare

Il Progetto preliminare dei lavori sui complessi architettonici, oltre a quanto stabilito dall'art.16, comma 2 della legge 2/6/1995, n.216, include le indagini e le ricerche volte ad acquisire tutti gli elementi idonei ad impostarlo, con il massimo sviluppo dei contributi settoriali, al fine di definire uno studio di fattibilità che offra gli elementi di giudizio per le scelte di priorità, per i tipi ed i metodi di intervento da approntare nel Progetto definitivo.

b) Progetto definitivo

Il Progetto definitivo dei lavori sui complessi architettonici, oltre a quanto stabilito dall'art.16, comma 4 della Legge 2/6/95 n.216, traduce in termini operativi le conclusioni della fase precedente, e prescrive le fasi di intervento, le priorità, le operazioni tecniche necessarie ed il computo metrico estimativo.

c) Progetto esecutivo

Il Progetto esecutivo dei lavori sui complessi architettonici oltre a quanto previsto dal comma 4 dell'art.16 della Legge 2/6/95 n.216, definisce in modo compiuto le tecniche e le tecnologie di intervento; prescrive le modalità esecutive e definisce il successivo programma di manutenzione.

Di seguito vengono dettagliati i contributi tecnici da tenere presente per la redazione dei progetti di restauro.

a) Progetto Preliminare

L'obiettivo principale degli studi preliminari consiste

- nell'individuare e descrivere la patologia propria dell'edificio, **in connessione con quanto è intervenuto a modificare l'originaria funzionalità dell'edificio stesso;**

- nel documentare se l'intervento sia ascrivibile alla manutenzione ordinaria o straordinaria o al miglioramento in rapporto alla patologia del manufatto;

- nel documentare se l'intervento sia ascrivibile all'adeguamento nei limiti ed alle condizioni espresse nel precedente punto C 1.

- nel valutare il grado di sistematicità, la completezza e l'entità dell'intervento necessario e sufficiente (secondo il criterio della "giusta misura" e del "minimo intervento") per fornire risposte adeguate e controllate ai problemi emersi.

Finalità e modalità di intervento del Progetto Preliminare

La finalità del Progetto Preliminare consiste nell'impostare ed elaborare un modello scientifico di conoscenza e di raccogliere su questa base i dati specifici con il contributo dei diversi settori disciplinari.

In ragione della complessità, dello stato di conservazione e dei caratteri storico-artistici del manufatto, il Progetto Preliminare comprende quelle ricerche e quelle indagini che sono strettamente necessarie per una prima reale individuazione delle scelte di restauro e dei relativi costi di intervento.

Le operazioni rivolte all'acquisizione della conoscenza del bene architettonico nel suo stato attuale assumono importanza decisiva ai fini delle valutazioni operative; esse si avvalgono di diversi apporti disciplinari e di differenti livelli di specializzazione.

Le indagini e le ricerche sono articolate in tre parti:

1. Quadro delle conoscenze;

2. Settori di indagine;

2.1 Analisi storico-critica

2.2 Rilievo dei manufatti

2.3 Diagnostica sul campo ed in laboratorio

2.4 Individuazione del comportamento strutturale ed analisi del degrado e dei dissesti

2.5 Apporti di altre discipline

3. Relazione programmatica.

1. Il "**QUADRO DELLE CONOSCENZE**" consiste in una prima lettura dello stato esistente e nella indicazione delle tipologie di indagine che si ritengono appropriata e necessarie per la conoscenza del manufatto e del suo contesto storico e ambientale.

2. I "**SETTORI DI INDAGINE**" di cui sopra si dividono in:

2.1 Analisi storico-critica

L'analisi storico-critica del bene architettonico deve tendere alla conoscenza complessiva di detto bene e del suo contesto architettonico e ambientale.

La conoscenza deve comprendere la storia del bene e del suo contesto in termini di trasformazioni, con particolare riferimento alle caratteristiche degli eventi subiti nel tempo e del quadro architettonico e statico, nonché delle trasformazioni avvenute e della risposta generale agli eventi subiti (quadri di danno) e di specifici altri interventi di restauro e di riparazione effettuati.

2.2 Rilievo dei manufatti

Il rilievo dei manufatti è predisposto attraverso due elaborazioni distinte e complementari:

- rilievo morfologico-descrittivo svolto alla scala metrica adeguata è indirizzato alla determinazione geometrica del bene architettonico, svolta attraverso operazioni di rilevamento, generale e di dettaglio, e alla sua conoscenza morfologica con particolare riferimento alla individuazione delle caratteristiche fisiche degli elementi costitutivi del bene stesso e alla individuazione degli interventi strutturali effettuati in epoca recente. Ove tale individuazione non risulti possibile, l'indagine diagnostica di cui al successivo paragrafo consente di integrare la conoscenza dei parametri necessari;

- rilievo critico indirizzato a fornire un quadro dei caratteri presenti nel manufatto al fine di costituire la base conoscitiva ed interpretativa per la progettazione dell'intervento. Esso viene svolto attraverso operazioni di rilevamento, eventualmente unite all'esecuzione di sondaggi nei punti significativi per conoscere le trasformazioni avvenute. Il rilievo critico è strumento volto ad individuare i dati di conformazione e configurazione del manufatto osservati nella loro processualità. La sua organizzazione tecnica prevede la individuazione e la sequenza delle fasi di trasformazione per quanto concerne agli aspetti architettonici e costruttivi.

2.3 Diagnostica sul campo ed in laboratorio

La diagnostica si rivolge alla determinazione delle caratteristiche meccaniche e fisico-chimiche dei materiali presenti nel complesso architettonico. La diagnostica verifica le condizioni di degrado, le eventuali manomissioni, danni non riparati, cedimenti, eventuali dissesti di tipo strutturale.

Le prove devono prendere come riferimento le condizioni originali e le successive trasformazioni. L'accertamento diagnostico deve comunque prevedere e giustificare le soluzioni progettuali, fornendo la dimostrazione della necessità, della possibilità e dell'efficacia della proposta secondo il criterio dell'intervento "minimo" ed "appropriato". Nella diagnostica devono rientrare, ove la situazione lo richieda, l'indagine sul terreno e sulle fondazioni.

2.4 Individuazione del comportamento strutturale ed analisi del degrado e dei dissesti

Per quanto riguarda i beni architettonici, l'individuazione del comportamento strutturale ed analisi del degrado e dei dissesti deve essere basata sul rilievo dei manufatti e sul rilievo del degrado delle parti in elevazione, tenendo conto che le opere di fondazione rientrano nell'organismo strutturale. Tali osservazioni debbono essere inserite in una specifica Relazione strutturale.

Essa deve comprendere:

- la annotazione di tutti gli elementi pertinenti al comportamento strutturale quali la natura meccanica e fisico-chimica dei materiali e dei terreni interessati dalla costruzione, lo stato di conservazione, i collegamenti tra elementi contigui ed in genere gli aspetti concernenti le condizioni di vincolo tra gli elementi strutturali adiacenti, onde consentire la identificazione della struttura resistente alle azioni esterne, specialmente considerando quelle sismiche;
- il rilievo completo del quadro fessurativo e dell'ampiezza delle lesioni;
- la individuazione delle sezioni reali resistenti.

Quando il quadro fessurativo del manufatto è in evoluzione, occorre predisporre apposito monitoraggio, con indagini deformometriche di movimenti attivi e delle rotazioni al fine di delineare l'origine, l'entità, le leggi evolutive del fenomeno, per definire il tipo di intervento e controllarne gli esiti. Tale monitoraggio al fine di depurare le letture dall'influenza delle variazioni stagionali di temperatura, dovrebbe estendersi per almeno 18 mesi. Il rilievo di natura geometrica è integrato con l'indagine diagnostica. E' necessaria la ricognizione della natura e dello stato delle fondazioni, a mezzo di opportune indagini. Ove necessario, in presenza di pendii potenzialmente instabili di pareti rocciose sovraincombenti con rischio di distacchi e crolli, di cavità sotterranee, di fenomeni di subsidenza e d'altro, lo studio del sottosuolo è esteso ad area più ampia ed opportunamente orientato. Nel caso contrario, viene fatta specifica menzione dell'assenza di fattori di questo tipo.

2.5. Apporti di altre discipline

Le altre indagini disciplinari partecipano alla conoscenza dei caratteri di base e della tipologia degli insediamenti nei quali è inserito il manufatto considerato, o della classe di manufatti cui appartiene il bene culturale considerato. Essi sono di vario tipo ed afferenza e vanno attivate in ragione della complessità delle caratteristiche del manufatto e dei temi posti dall'intervento. Di tali ricerche si propone un elenco indicativo:

- ricerche riguardanti la tipologia edilizia e la morfologia urbana;
- ricerche di tipo archeologico;
- ricerche di storia della cultura materiale;
- ricerche di stratigrafia strutturale muraria;
- ricerche sul cantiere edilizio attraverso l'apporto delle fonti documentarie;
- ricerche di tipo storico-urbanistico delle trasformazioni degli insediamenti e dei manufatti in relazione agli eventi sismici verificatisi nell'area;
- ricerche sulla concezione strutturale, geotecnica e tecnologia dei manufatti antichi.

Nella “**RELAZIONE PROGRAMMATICA**” sono delineati gli esiti della elaborazione dei Settori di indagine interessati ed un primo inquadramento della situazione accertata in relazione agli obiettivi generali del progetto che si intendono raggiungere.

b) Progetto definitivo

Il progetto definitivo, oltre a quanto stabilito dal comma 4 dell'art. 16 della legge 2/06/1995, n. 216, deve riguardare l'intero complesso architettonico ed il contesto ambientale in cui esso è inserito.

Esso riprecisa tutti gli apporti disciplinari afferenti; definisce le relazioni interdisciplinari rispondenti alla più aggiornata evoluzione scientifica ed all'importanza storico-critica dell'opera; elabora una conoscenza compiuta dello stato di fatto e delinea le ipotesi preliminari di intervento con particolare riguardo ai possibili conflitti tra le esigenze di tutela e le condizioni ambientali quali microclima, fruizione, pubblica incolumità e sicurezza.

Prescrive quindi fasi, tipi e metodi di intervento, priorità, le operazioni tecniche necessarie e prevede la redazione del computo metrico estimativo.

b) Progetto esecutivo

Il progetto esecutivo oltre a quanto stabilito dal comma 4 dell'art. 16 della legge n. 216/95:

- prescrive le modalità esecutive delle operazioni tecniche da eseguire;
- indica i controlli da effettuare in cantiere;
- definisce le eventuali sperimentazioni preliminari da realizzare in cantiere nel corso della prima fase dei lavori.

Esso può essere redatto per stralci successivi di intervento, entro il quadro tracciato dal progetto definitivo. Deve avvalersi, solamente ove motivatamente necessario, di nuovi approfondimenti di indagine effettuati in sede di progetto preliminare a completamento delle indagini e delle ricerche svolte precedentemente.

Ove richiesto da fenomeni in atto o dalla complessità degli interventi previsti si dovrà prevedere il monitoraggio in corso d'opera e, per situazioni e casi particolari, anche ad intervento compiuto.

Sono inoltre richiesti nel Progetto esecutivo le specifiche tecniche degli impianti tecnici atti a consentire l'impiego delle tecnologie più aggiornate predisposte in modo da garantire senza stravolgimento, il corretto inserimento di detti impianti nella organizzazione tipologica e morfologica del bene architettonico di valore storico-artistico.

C.4 - OPERAZIONI TECNICHE DI INTERVENTO

Le Operazioni tecniche di intervento sono di regola rivolte a singole parti del bene architettonico, nel quadro della indispensabile visione di insieme che ne estenda il beneficio all'intero manufatto edilizio. Il loro scopo può consistere:

- nella ricostituzione di capacità strutturali venute meno;
- nella cura di patologia riconosciute;
- in ulteriori provvedimenti volti alla riduzione degli effetti sismici.

Oltre ai problemi connessi ai singoli elementi possono presentarsi casi di maggiore complessità riguardanti il bene architettonico.

La presenza di pareti molto vulnerabili ad azioni trasversali al piano medi a causa della dimensione, dell'eccessiva snellezza, dell'assenza di elementi strutturali ortogonali di controvento, richiede un accurato esame della storia costruttiva e sismica del complesso architettonico.

Gli interventi 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 progettuali 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.

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 dissesti 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 nelle 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 ai pali radice o ad altre tecniche di consolidamento dei terreni, che potranno essere adottate solo ove non esistono 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.

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 e/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 in 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 e 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.

C.4.3. - Pilastri e colonne

Tenendo presente che pilastri e colonne sono essenzialmente destinati a sopportare carichi verticali con modeste eccentricità, gli interventi vanno configurati nel modo seguente:

- ricostituire la resistenza iniziale a sforzo normale, ove perduta, mediante provvedimenti quali cerchiature e tassellature;
- eliminare o comunque contenere le spinte orizzontali mediante provvedimenti, quali opposizione di catene ad archi, volte e coperture e, ove opportuno, realizzazione o rafforzamento di contrafforti;
- ricostituire i collegamenti atti a trasferire le azioni orizzontali a elementi murari di maggiore rigidità.

Sono da evitare in generale e comunque da considerare solo in mancanza di alternative da dimostrare con dettagliata specifica tecnica, gli inserimenti generalizzati di anime metalliche, perforazioni armate, precompressioni ed in generale salvo i casi di accertata necessità, gli interventi non reversibili volti a conferire a colonne e pilastri resistenza a flessione e taglio, modificando il comportamento di insieme della struttura.

Oltre all'esecuzione di iniezioni cementizie, può essere consentito l'inserimento di anime metalliche in zone localizzate e comunque dopo la presentazione di accertata e documentata verifica inserita in un ampio programma di interventi. Le situazioni di non verticalità vanno trattate con le modalità indicate nell'ultimo capoverso del punto C.4.2.

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 purché 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 configurazione resistente.

Va evitato comunque il ricorso a tecniche di placcaggio all'estradosso 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 la deformazione all'estradosso (rinfianchi alleggeriti, frenelli, ecc....). Tale intervento è ammesso solo se non esistono valide alternative.

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 possiedono 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 adatterà la tecnica di irrigidimento dei tavolati, con particolare attenzione alle tecniche di ammorsamento nei muri laterali;
- per i solai a travi in legno e piattelle 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 tabelloni 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 nelle murature. 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.

C.4.6 - Scale

Per tutti gli interventi riguardanti scale in muratura di norma se ne prevede la conservazione adottando se necessario, lavori di rinforzo ma che comunque non ne alterino i caratteri architettonici e il loro valore tipologico e formale.

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 in laterocemento.

L'impiego di carpenterie metalliche deve essere attentamente valutato.

In ogni caso non sono consentiti 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 rigidità che essi introducono nel sistema e per l'impatto che producono. Essi possono essere utilizzati solo quando non alterino la situazione statica della muratura, e ne sia dimostrata chiaramente l'efficacia. 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.

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 sul 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'edificio di funzionare strutturalmente quale organismo unitario.

Sono da preferire le catene costituite da barre tonde di acciaio a bassa resistenza, con capichave atti a distribuire la pressione conseguente al tiro su zone murarie di adeguata ampiezza. Tali capichave 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.

C.5 - CONSUNTIVO SCIENTIFICO

Al termine dei lavori deve essere predisposto il Consuntivo Scientifico quale ultima fase del processo di conoscenza e del restauro e quale premessa per il futuro programma di intervento sul complesso architettonico, così come previsto dalla Circolare n. 117 del 6 aprile 1972 (Carta del Restauro).

Il Consuntivo Scientifico comprende la Relazione tecnico-scientifica con l'esplicitazione dei risultati culturali e scientifici raggiunti, e la completa documentazione grafica e fotografica dello stato del manufatto prima, durante e dopo l'intervento; l'esito di tutte le ricerche, le analisi e le sperimentazioni compiute, ed i problemi aperti per i futuri interventi.