

08A00607

AUGUSTA IANNINI, *direttore*ALFONSO ANDRIANI, *redattore*

(G803024/1) Roma, 2008 - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato S.p.A. - S.

#### 6.4.2 Progetto Preliminare

Secondo l'art. 214 del D.P.R. 554/1999 il progetto preliminare deve riportare il quadro delle conoscenze preliminari, relative alla costruzione oggetto di restauro, e deve illustrare sinteticamente i metodi di intervento che si prevedono di adottare e che saranno approfonditi successivamente nell'ambito del progetto definitivo.

Al fine di strutturare ed uniformare il processo di acquisizione preliminare della conoscenza del manufatto, è possibile fare riferimento ai moduli illustrati nell'Allegato A e conseguire pertanto un livello di valutazione LV1. L'insieme delle informazioni raccolte in questo modo non è ancora sufficiente per la redazione del progetto definitivo, ma costituisce uno strumento per ottenere un quadro d'insieme della costruzione e per identificare i suoi aspetti più critici. Tali aspetti dovranno essere successivamente approfonditi attraverso specifiche indagini diagnostiche. Pertanto, il progetto preliminare deve comprendere, oltre alla definizione programmatica degli interventi, anche un progetto delle indagini da compiere in fase definitiva.

Il progetto preliminare deve comunque fornire una valutazione preliminare della sicurezza sismica della costruzione nel suo stato attuale, che può essere conseguita con gli strumenti di valutazione del livello LV1. Il progetto preliminare deve quindi contenere, oltre a quanto previsto dal D.P.R. 554/1999, i seguenti elaborati:

- identificazione e conoscenza della costruzione, attraverso i moduli proposti dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali (Allegato A);
- progetto delle indagini diagnostiche da effettuare in fase definitiva;
- relazione illustrativa della costruzione nello stato attuale, con descrizione della sua storia sismica e del comportamento sismico accertato su base qualitativa, e preliminare valutazione della sicurezza sismica attraverso i modelli semplificati di livello LV1.

#### 6.4.3 Progetto definitivo

Nella fase di progettazione definitiva devono essere eseguite le indagini conoscitive di dettaglio, definito il fattore di confidenza, valutate la sicurezza attuale e quella conseguita a seguito del progetto definitivo dell'intervento, attraverso il livello di valutazione LV2 o LV3.

Oltre a quanto stabilito dal comma 1 dell'art. 215 del D.P.R. 554/1999, il progetto definitivo deve contenere una relazione illustrativa di tutto il processo valutativo eseguito, giustificativa della congruità del livello di sicurezza sismica conseguita a seguito dell'intervento di miglioramento sismico. Tale relazione deve:

- definire motivatamente l'azione sismica di riferimento adottata per il sito;
- illustrare i risultati delle analisi diagnostiche svolte sul manufatto, al fine della lettura materico costruttiva, della caratterizzazione dei materiali, dell'interpretazione dei dissesti e dell'individuazione dei possibili meccanismi di danno sismico;
- illustrare il modello meccanico della struttura adottato per l'analisi sismica, motivando la scelta del tipo di analisi svolta, ed inquadrarlo secondo i previsti livelli di valutazione LV2 o LV3;
- fornire il giudizio finale sulla efficacia dell'intervento, attraverso considerazioni qualitative e sulla base di un confronto, non vincolante, tra la capacità della struttura, che risulta dai modelli di calcolo, ed il livello di protezione sismica di riferimento.

#### 6.4.4 Progetto esecutivo

Il progetto esecutivo, oltre a quanto stabilito dal comma 1 dell'art. 216 del D.P.R. 554/1999:

- prescrive le modalità esecutive delle operazioni tecniche da eseguire;
- definisce le eventuali ulteriori indagini da realizzare in cantiere nel corso della prima fase dei lavori;
- indica i controlli da effettuare in cantiere, anche con riferimento alla corretta esecuzione ed all'efficacia degli interventi eseguiti (nel caso di interventi su beni culturali, l'art. 187 del D.P.R. 554/1999 prevede l'obbligatorietà del collaudo in corso d'opera).

Esso può essere redatto per stralci successivi di intervento, entro il quadro tracciato dal progetto definitivo. Deve avvalersi, solamente ove necessario, di nuovi approfondimenti d'indagine, a completamento di quanto già svolto precedentemente.

L'art. 219 del D.P.R. 554/1999 sancisce la necessità di un adeguamento degli elaborati progettuali esecutivi nel corso dei lavori (varianti in corso d'opera), sulla base dei risultati delle indagini e dei rinvenimenti effettuati dopo l'apertura del cantiere.

## 7 QUADRO RIASSUNTIVO DEL PERCORSO DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA E PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

Nei capitoli precedenti sono state fornite le indicazioni per la valutazione della sicurezza sismica del patrimonio culturale, da eseguirsi in conformità a quanto previsto dal Codice, dalle NTC e dall'Ordinanza. Questo capitolo costituisce semplicemente un quadro di sintesi, che non aggiunge nulla rispetto a quanto già indicato e non può pertanto essere considerato esaustivo.

I livelli di protezione sismica possono essere differenziati in funzione della classificazione del manufatto secondo tre diverse categorie di rilevanza e tre categorie d'uso (punto 2.4). Per ciascuna classe di rilevanza ed uso le azioni sismiche sono definite mediante uno specifico valore della probabilità di eccedenza dell'accelerazione di picco al suolo in un periodo di 50 anni in condizioni di suolo rigido. In modo equivalente, per lo SLU, si possono utilizzare i corrispondenti fattori di importanza  $\gamma_i$ , che moltiplicano l'accelerazione orizzontale di riferimento al suolo  $a_g$ . Per lo SLD si possono utilizzare altri valori della probabilità di eccedenza in 50 anni, evidentemente più alti dei precedenti, o i corrispondenti  $\gamma_i$ . Sono forniti valori di  $\gamma_i$  medi, da utilizzare se non sono disponibili studi di pericolosità sismica che consentano la determinazione diretta delle accelerazioni aventi le assegnate probabilità di superamento.

L'accelerazione orizzontale di riferimento al suolo  $a_g$  non dovrà necessariamente essere assunta sulla base della zonazione sismica del territorio, ma potrà derivare da più accurate stime della pericolosità sismica (punto 3.2).

Per la valutazione della capacità sismica della costruzione sono stati introdotti e precisati:

- tre livelli di valutazione (LV, punto 5.3), corrispondenti alle diverse esigenze di un'analisi della sicurezza sismica: 1) valutazione della vulnerabilità del patrimonio culturale a scala territoriale; 2) progettazione di interventi di miglioramento sismico su singoli elementi della costruzione; 3) progettazione di interventi di miglioramento sismico che coinvolgono il comportamento dell'intero manufatto;
- un fattore di confidenza ( $F_c$ , punto 4.2), in funzione del grado di approfondimento delle indagini sul manufatto, per tener conto delle incertezze insite nella conoscenza; il fattore di confidenza si applica ai parametri meccanici dei materiali o direttamente alla valutazione della sicurezza sismica, in funzione del modello di calcolo impiegato.

La tabella 7.1 riporta sinteticamente le relazioni intercorrenti tra finalità delle analisi, livelli di valutazione e modello di calcolo.

Tabella 7.1 – Quadro riassuntivo per la valutazione della capacità sismica.

| Analisi del rischio sismico del patrimonio culturale                      |                               |   |
|---|-------------------------------|---|
| Finalità dell'analisi   | Livello di valutazione minimo | Modello di calcolo  |
| Valutazione a scala territoriale dell'indice di sicurezza sismica         | LV1                           | Modelli semplificati (a base meccanica, statistica o qualitativa) |
| Accertamento di dettaglio della sicurezza sismica sul singolo manufatto   | LV3                           | Meccanismi locali di collasso esaustivi. Modello globale          |
| Progettazione di interventi di miglioramento sismico                      |                               |   |
| Finalità dell'analisi   | Livello di valutazione minimo | Modello di calcolo  |
| Interventi locali su zone limitate del manufatto                          | LV2                           | Meccanismi locali di collasso su singole porzioni di manufatto    |
| Interventi che coinvolgono il funzionamento sismico dell'intero manufatto | LV3                           | Meccanismi locali di collasso esaustivi. Modello globale          |

Il confronto tra l'azione e la capacità sismica sul singolo manufatto viene eseguito definendo un indice di sicurezza sismica  $I_s$  (vedi paragrafi 2.1 e 5.3.1), che assume una finalità diversa in un'analisi a scala territoriale o nel progetto di un intervento di miglioramento sismico.

Nel primo caso l'indice di sicurezza sismica è utile per una conoscenza complessiva del livello di rischio sismico al patrimonio culturale italiano e per stabilire liste di priorità nella programmazione degli interventi di prevenzione.

Nel caso della progettazione di un intervento di miglioramento sismico, assunto che in nessun caso è obbligatorio procedere ad un adeguamento ai livelli di sicurezza sismica previsti per le nuove costruzioni, il valore dell'indice di sicurezza sismica non deve essere inteso come parametro per una verifica cogente ( $I_s \geq 1$ ), ma come un importante elemento quantitativo da portare in conto, insieme ad altri, in un giudizio qualitativo complessivo, che consideri le esigenze di conservazione, la volontà di preservare il manufatto dai danni sismici ed i requisiti di sicurezza, in relazione alla fruizione ed alla funzione svolta. Tutto ciò dovrà essere descritto in una relazione esplicativa delle soluzioni adottate nel progetto, specialmente nel caso in cui la verifica strutturale con modelli di calcolo non risulti pienamente soddisfatta.

## ALLEGATO A

## Programma per il monitoraggio dello stato di conservazione dei beni architettonici tutelati

## Parte I - Contenuti e finalità

**Premessa**

Il presente allegato costituisce parte integrante del testo della Direttiva e rappresenta la struttura dei dati conoscitivi minimi necessari per la definizione del modello interpretativo degli edifici di interesse culturale ai fini della valutazione dello stato di conservazione e della sicurezza sismica. In particolare viene definita la struttura logica del percorso conoscitivo e la qualità dei dati.

Per livello di conoscenza *speditivo* si fa riferimento a dati acquisiti mediante l'osservazione diretta delle qualità della fabbrica, una prima stima dimensionale della stessa e a fonti documentarie, quali indagini storiche sul manufatto e sull'ambito; per livello di conoscenza *analitico* si fa invece riferimento all'affinamento della conoscenza geometrica e materico-costruttiva della fabbrica, a dati indiretti quali valutazioni eseguite per analogia su studi e ricerche certificati, analisi *in situ* o in laboratorio.

**Percorso metodologico**

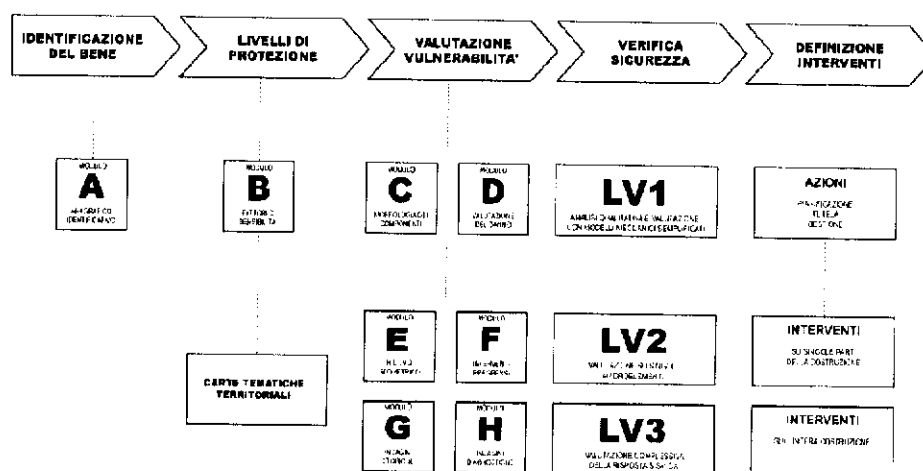
L'approccio conoscitivo ad una fabbrica storica rappresenta un percorso metodologico "inverso" rispetto agli edifici di nuova costruzione: dall'analisi della realtà materica della costruzione, attraverso successivi livelli di approfondimento, al riconoscimento del funzionamento strutturale accertato per la verifica della sicurezza sismica ai fini della definizione degli interventi.

Le fasi di tale processo sono così sintetizzabili:

IDENTIFICAZIONE DEL BENE → FATTORI DI SENSIBILITA' → VALUTAZIONE DELLA  
VULNERABILITA' → VERIFICA DELLA SICUREZZA → DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI

Tale iter metodologico non è definibile in un'unica scheda di rilevamento. Pertanto, la raccolta dei dati è articolata per moduli schedografici autonomi e complementari, ognuno dei quali rappresenta un livello di conoscenza dal diverso grado di attendibilità. La scelta tra i diversi moduli schedografici costituisce il progetto conoscitivo da attuare in relazione agli obiettivi dell'indagine, ai contesti territoriali, alla disponibilità delle risorse.

La corrispondenza tra moduli schedografici, livelli di conoscenza e livelli di verifica, così come definiti nelle Linee Guida, è rappresentata nel seguente schema logico:



**Moduli schedografici**

Nella sezione seguente è riportata la struttura dei diversi moduli schedografici. Tale tracciato deve intendersi come descrittivo della qualità e quantità dei dati da acquisire.

Non sono invece riportati i formati e le interrelazioni tra i diversi campi, in quanto ciò dipende dal sistema di gestione dei dati che si intende adottare. E' evidente che utilizzando idonei sistemi informativi è possibile mettere in risalto le molteplici correlazioni e interazione tra i differenti moduli.

---

**Parte II - Moduli schedografici e loro struttura****MODULO A - Anagrafico Identificativo**

Ha lo scopo di identificare in modo univoco il manufatto. L'identificazione avviene attraverso tre parametri fondamentali: denominazione, toponomastica, dati catastali. La struttura dei dati è definita al Decreto del Ministero per i beni e le attività culturali del 28 febbraio 2004, così come modificato dal D.M. 28 febbraio 2005, emanato di concerto con l'Agenzia del Demanio e relativo ai criteri e modalità per la verifica dell'interesse culturale dei beni immobili di proprietà pubblica, ai sensi dell'art. 12 del D. Lgs. 42/2004 Codice dei beni culturali e del paesaggio.

**A1. Qualificazione giuridica del soggetto proprietario**

*Nota esplicativa.*

*Specificare la qualificazione giuridica: Stato, Regione, Provincia, Comune, Ente o Istituto pubblico, Persona giuridica privata senza fine di lucro, Privato.*

**A2. Riferimenti del soggetto proprietario**

*Nota esplicativa.*

*Indicare: denominazione, C.F., indirizzo, nominativo del legale rappresentante, nominati del responsabile del procedimento.*

**A3. Denominazione del bene**

*Nota esplicativa*

*Rappresenta il nome proprio o la denominazione corrente utilizzata per identificare il bene.*

**A4. Toponomastica**

*Nota esplicativa*

*Indicare: regione, provincia, comune, toponimo di località, toponimo stradale, numero civico.*

**A5. Coordinate geografiche**

*Nota esplicativa*

*Indicare le coordinate geografiche (x, y) ed il relativo sistema di riferimento (preferibilmente Gauss-Boaga, Roma 40). E' opportuno vengano previsti funzionalità informatiche per la localizzazione diretta del punto.*

**A6. Dati catastali**

*Nota esplicativa*

*Indicare: comune catastale, foglio, particella, subalterno. Specificare se l'identificativo catastale si riferisce al Catasto Fabbricati (C.F.) o al Catasto Terreni (C.T.).*

**A7. Confinanti**

*Nota esplicativa*

*Indicare tutti gli elementi con i quali il bene confina. Per le particelle catastali vale la codifica del precedente punto A6; per tutti gli altri elementi (strade, fiumi, fossi, ecc.) il vocabolario è libero.*

**A8. Periodo di realizzazione**

*Nota esplicativa*

*Indicare l'anno di costruzione del bene nella sua consistenza attuale. In alternativa indicare la frazione di secolo (inizio, fine, prima metà, seconda metà).*

**A9. Destinazione d'uso attuale***Nota esplicativa*

*Indicare la destinazione d'uso attuale, distinguendo la categoria d'uso (Residenziale, Commerciale, Terziario-direzionale, Logistico-produttivo, Culturale, Studio d'artista, Sportivo, Ludico-ricreativo, Turistico-ricettivo, Ristorazione, Servizi pubblici, Militare, Luogo di culto, Attrezzatura tecnologica, Altro, Non utilizzato) e l'uso specifico (vocabolario libero; ad esempio museo, negozio, caserma, ufficio, chiesa, ecc.).*

**A10. Documentazione fotografica***Nota esplicativa*

*Allegare un minimo di 10 foto per ogni bene, corredate da didascalia. Le riprese fotografiche devono documentare il bene in modo esaustivo, sia all'interno che all'esterno. In particolare devono prevedere una ripresa fotografica dell'ambiente esterno, il fronte principale e gli altri fronti, gli androni e scale, gli ambienti interni più significativi, dettagli dei pavimenti e dei soffitti.*

**A11. Stralcio planimetrico***Nota esplicativa*

*Allegare lo stralcio della mappa catastale, in scala 1:1.000 o 1:2.000, individuando con esattezza la localizzazione del bene, mediante perimetrazione della particella.*

**A12. Descrizione morfologica***Nota esplicativa*

*Descrivere la struttura fisica della costruzione, la tipologia architettonica e gli elementi architettonici e costruttivi maggiormente significativi.*

**A13. Presenza di elementi di pregio***Nota esplicativa*

*Indicare la presenza di elementi significati di pregio culturale. Si intendono per elementi decorativi di pregio quelli elencati all'art. 11, comma 1, lettera a) del Codice: gli affreschi, gli stemmi, i graffiti, le lapidi, le iscrizioni, i tabernacoli e gli altri ornamenti di edifici, esposti o no alla pubblica vista, di cui all'art. 50, comma 1,°". Specificare se l'elemento è interno od esterno. Segnalare inoltre la presenza di beni o collezioni mobili notificati, nonché la presenza di reperti archeologici visibili.*

**A14. Altra documentazione***Nota esplicativa*

*Allegare eventuale altra documentazione disponibile (planimetrie, cartografie, foto aeree, grafici di rilievo, immagini, relazioni, atti amministrativi, schede di dettaglio).*

**A15. Valutazione d'interesse culturale***Nota esplicativa*

*Specificare gli estremi dell'eventuale provvedimento di interesse culturale (decreto di vincolo o declaratoria). Ai soli fini della valutazione della sicurezza sismica, indicare la rilevanza del bene, espressa in termini relativi secondo una delle seguenti categorie: limitata, media, elevata.*

---

**MODULO B. Fattori di sensibilità**

Contiene i dati necessari per determinare le relazioni tra il manufatto ed il contesto territoriale al fine di classificare particolari fattori di sensibilità.

**B1 Caratteristiche dimensionali**

B1a. superficie coperta

B1b. altezza gronda

B1c. numero di piani entoterra

B1d. numero di piani fuori terra

B1e. eidotipo

*Nota esplicativa.*

*Per eidotipo si intende uno schizzo fatto a mano libera o a "filo di ferro" in cui sono rappresentate piante, prospetti e sezioni del manufatto, nonché tutti gli elementi del sito e del contesto edilizio che debbono essere messi*

*in evidenza ai fini della valutazione. L'eidotipo, in mancanza del rilievo geometrico, costituirà un modello geometrico semplificato di riferimento sul quale saranno riportate i principali dati dimensionali e le successive informazioni.*

## B2 Localizzazione

### B2a. ambito territoriale

*Nota esplicativa.*

*Riportare se il manufatto è localizzato in: un centro urbano, in zona extraurbana, in zona agricola, ecc.*

### B2b. caratteristiche ambientali geografiche

*Nota esplicativa.*

*Riportare se il manufatto è localizzato in: prossimità di fiumi, torrenti, mare, rilievi, zone verdi, ecc.*

### B2c. caratteristiche ambientali antropiche

*Nota esplicativa.*

*Riportare se il manufatto è localizzato in prossimità di viabilità primaria o secondaria, complessi industriali, cantieri, ecc.*

## B3 Terreno e fondazioni

### B3a. caratteristiche orografiche

*Nota esplicativa.*

*Riportare se il manufatto è localizzato in piano o in prossimità di creste, dirupi, ecc. Indicare la pendenza del terreno (espressa in percentuale).*

### B3b. caratteristiche geomorfologiche

*Nota esplicativa.*

*Riportare le categorie del terreno di fondazione, così come specificato al punto 3.1. delle Linee guida. Indicare inoltre se si è in presenza di corpi franosi.*

### B3c. modifica dei suoli

*Nota esplicativa.*

*Indicare gli eventuali fenomeni di modifica dello stato dei suoli e le loro cause (modifica delle falde, dilavamento, rottura di condotte idriche, prosciugamento dei terreni, scavi, rilevati, ecc.).*

## B4 Analisi dell'aggregato edilizio

### B4a. complesso architettonico

*Nota esplicativa.*

*Vedi la definizione di complesso architettonico (CA) del cap. 4. Specificare se il bene è un complesso architettonico isolato o aggregato e quanti e quali sono i corpi di fabbrica costituenti. Definire attraverso un eidotipo i rapporti dimensionali in pianta e alzato delle diverse parti costituenti il complesso architettonico. Si intende per complesso architettonico un sistema di più copri di fabbrica collegati fisicamente tra loro a formare un'entità spaziale circoscritta.*

### B4b. parte di un complesso architettonico

*Nota esplicativa.*

*Vedi la definizione di corpo di fabbrica (CF) del cap. 4. Specificare se il bene è parte di un complesso architettonico e definirne i rapporti (edificio d'angolo, di testata, contiguo, ecc.).*



**B5 Accessibilità**

*Nota esplicativa.*

*Riporiare se il manufatto è accessibile, completamente o parzialmente, oppure inaccessibile per cause intrinseche (crolli, inagibilità, sigilli, ecc.) o estrinseche (frane, inaccessibilità viaria, detriti, ecc.)*

**B6 Stato di utilizzo**

*Nota esplicativa.*

*Riportare se il manufatto è utilizzato completamente o solo parzialmente. Inoltre deve essere precisata la frequenza d'uso, secondo le seguenti categorie: molto frequente (frequenza giornaliera), frequente (frequentazione almeno settimanale), saltuario o non utilizzato (utilizzo sporadico).*

---

**MODULO C - Morfologia degli Elementi**

Ha lo scopo di individuare e descrivere gli elementi strutturali, attraverso il riconoscimento della morfologia, della tipologia, delle tecniche costruttive e dei materiali.

**C1 Codifica degli elementi strutturali**

*Nota esplicativa.*

*Individuare gli elementi strutturali identificandoli a livello planimetrico con codici alfa-numeric progressivi, secondo le seguenti categorie:*

*V. elementi verticali (setti murari, pilastri, colonne)*

*O. Orizzontamenti (solai e coperture)*

*S. Collegamenti verticali (scale e rampe)*

*PO. Elementi portanti orizzontali (archi, architravi, piattabande)*

**C2 Ispezionabilità**

*Nota esplicativa.*

*Per ogni elemento codificato al punto C1 specificare se è ispezionabile, parzialmente ispezionabile, non ispezionabile.*

**C3. Morfologia**

*Nota esplicativa.*

*Per ogni elemento codificato al punto C1 descriverne la morfologia:*

*V. elementi verticali: pilastro, colonna, setto continuo.*

*O. orizzontamenti: piano, inclinato, resistente per forma.*

*S. collegamenti verticali: rettilineo, curvo, elicoidale.*

*PO. elementi portanti orizzontali: orizzontali, curvi.*

**C4. Tipologia elementi strutturali**

*Nota esplicativa.*

*Per ogni elemento codificato al punto C1 descrivere la tipologia costruttiva, secondo vocabolari elaborati a livello regionale. A titolo esemplificativo:*

*V. elementi verticali: portante in blocchi, in laterizio, monolitico, tamponatura in laterizio, in legno, non visibile, ecc.*

*O. orizzontamenti: solaio a ordinura semplice, doppia, composta, soletta, volta a crociera, a botte, non visibile, ecc.*

*S. collegamenti verticali: rampa semplice su travi, su volta a botte, su volta rampante, ecc.*

*PO. elementi portanti orizzontali: arco a tutto sesto, ribassato ogivale, piattabanda, architrave, non visibile, ecc.)*

**C5 Tipologia finiture**

*Nota esplicativa.*

*Per ogni elemento codificato al punto C1 descrivere la tipologia delle finiture, secondo vocabolari elaborati a livello regionale. A titolo esemplificativo: intonaco, rivestimento tapideo, ligneo, ceramico, comrosoffitto, struttura a vista, ecc. Specificare la finitura per l'interno e l'esterno, per l'intradosso e l'estradosso.*

**C6** Tecnica costruttiva elementi strutturali*Nota esplicativa.**Per ogni elemento codificato al punto C1 descrivere la tipologia costruttiva, secondo vocabolari elaborati a livello regionale.**Le murature andranno analizzate stilando moduli schedografici che dovranno contenere :**- descrizione delle caratteristiche materiche dei componenti, rapporti geometrici tra altezza del blocco e spessore del giunto orizzontale, disposizione e allineamenti desumibili dall'analisi della tessitura e dell'apparecchiatura muraria**- valutazioni dell'ingranamento dei blocchi ( disposizioni di fascia e di punta), stato di conservazione e livello di disorganizzazione della muratura***C7** Tecnica costruttiva finiture*Nota esplicativa.**Per ogni elemento codificato al punto C1 descrivere la tipologia costruttiva, secondo vocabolari elaborati a livello regionale.***C8** Parametri meccanici*Nota esplicativa.**Per ogni elemento codificato al punto C1 riportare i parametri meccanici dei materiali ottenuti da indagini diagnostiche eseguite sulla fabbrica o per analogia.**gn = resistenza media a compressione**t0 = resistenza a taglio**E = valore medio di elasticità normale**G = valore medio di elasticità tangenziale**W = peso specifico medio***C9** Elementi di pregio storico artistico*Nota esplicativa.**Per ogni elemento codificato al punto C1 individuare e descrivere eventuali elementi di pregio storico artistico: apparati decorativi (fregi, cornici, affreschi, dipinti, stucchi, elementi scultorei, ecc.), tecniche costruttive antiche (intonaci, rivestimenti, travature, elementi metallici, particolari tessiture murarie), elementi mobili addossati (arazzi, quadri, altari, statue, tabernacoli, ecc.).***C10** Materiali finiture*Nota esplicativa.**Per ogni elemento codificato al punto C1, e per gli eventuali elementi di pregio in esso presenti, identificare i materiali attraverso analisi a vista o prove di laboratorio se disponibili.***MODULO D - Stato di Conservazione**

Classifica e descrive i fenomeni di danno dei singoli elementi strutturali.

**D1.** danno strutturale**D1a.** pannelli murari

- fuori piombo
- spanciamiento
- traslazione verticale
- traslazione orizzontale
- fessurazioni superficiali ( specificare profondità/spessore murario)
- fessurazioni passanti
- lesioni isolate o diffuse
- crollo

*Nota esplicativa.**Da individuare per ogni elemento come codificato al punto C1. Per le lesioni la valutazione va intesa come rilevamento della posizione delle cuspidi e della gola, distanza massima tra i cigli fessurativi e relativo scostamento dei cigli fessurativi fuori dal piano.*

**D1b. strutture resistenti per forma**

*Nota esplicativa.*

*Da individuare per ogni elemento come codificato al punto C1. Valutazione del meccanismo di danno/meccanismo di collasso. Quantificazione e posizionamento delle fessurazioni.*

**D1c. orizzontamenti**

- valutazione a vista dei difetti ( secondo classificazione a vista del legname in opera)
- rottura fragile
- entità dell'appoggio
- disallineamento appoggi
- deformazione ( $F/L > 1/300$ ;  $F/L > 1200$ ;  $F/L \gg 1200$ )
- crollo

*Nota esplicativa.*

*Da individuare per ogni elemento come codificato al punto C1.*

**D1d. strutture in legno articolate**

- valutazione a vista dei difetti ( secondo classificazione a vista del legname in opera)
- qualità delle unioni e delle giunzioni
- rottura fragile
- rotazione fuori dal piano di appartenenza della struttura
- inflessione
- crollo

*Nota esplicativa.*

*Da individuare per ogni elemento come codificato al punto C1.*

**D2. danno materico****D2a. strutture murarie**

- distacco
- erosione
- disgregazione

*Nota esplicativa.*

*Da individuare per ogni elemento come codificato al punto C1. Vedi anche il lessico delle Raccomandazioni Normal 1/88. Specificare in percentuale l'estensione della superficie del danno.*

**D2b. strutture in legno semplici e articolate**

- marcescenza
- rosime

*Nota esplicativa.*

*Da individuare per ogni elemento come codificato al punto C1. Vedi anche il lessico delle Raccomandazioni Normal 1/88. Specificare in percentuale l'estensione della superficie del danno.*

**D3 Cause del danno****D3a. cause intrinseche**

- umidità
- cicli termici
- deflusso acque meteoriche
- vegetazione
- non valutabile

**D3b. cause estrinseche**

- eventi sismici
- frane/alluvioni
- scoppi/incendi

- azioni antropiche
  - non valutabile
- D4 Analisi dei dettagli strutturali**
- efficienza dei nodi delle strutture multiasta
  - efficienza del collegamento fra pareti ortogonali
  - efficienza del collegamento fra solai e pareti
  - presenza di cordoli di piano
  - architravi con resistenza flessionale
  - elementi strutturali spingenti
  - catene, ritegni, contrafforti
  - presenza di elementi ad elevata vulnerabilità
- D5 Interazioni fra Unità Strutturali**
- grado di vincolo agli elementi contigui
  - azioni degli elementi contigui

## ALLEGATO B

### L'analisi strutturale delle costruzioni storiche in muratura

Al fine della corretta modellazione meccanica di una costruzione storica in muratura, è opportuno conoscere il funzionamento dei diversi elementi che la compongono: il materiale muratura, il suo utilizzo nei diversi elementi costruttivi e le modalità di connessione tra questi nella formazione dell'intera costruzione.

#### *La muratura*

La muratura è un materiale composito costituito dall'assemblaggio di elementi, che possono essere naturali (pietre erratiche, a spacco, sbazzate o squadrate) o artificiali (laterizi). Le variabili caratteristiche sono: il materiale costituente gli elementi (pietra, laterizio, terra cruda, ecc., usati anche in modo misto); le dimensioni e la forma degli elementi; la tecnica di assemblaggio (a secco o con giunti di malta); la tessitura, ovvero la disposizione geometrica degli elementi nel paramento murario; ulteriori dettagli (listatura, uso di scaglie, ecc.). La risposta meccanica di questo materiale composito dipende da tutte queste variabili.

Gli elementi hanno in genere un comportamento elasto-fragile, con una resistenza a trazione minore rispetto a quella a compressione, ma comunque significativa. La malta presenta un comportamento elasto-fragile in trazione, con resistenza molto inferiore a quella degli elementi ed, in assoluto, molto bassa; in compressione e taglio il suo comportamento è duttile e fortemente non lineare. La risposta meccanica dei giunti è fortemente influenzata dall'attrito e presenta forti non linearità. Le caratteristiche meccaniche della muratura dipendono non solo dai parametri di resistenza e deformabilità dei materiali costituenti, ma anche dai loro valori relativi (in particolare, i diversi moduli elastici degli elementi e della malta).

Nella muratura gli elementi sono disposti per strati successivi, in genere ad andamento orizzontale; ciò determina la formazione di giunti principali continui e di giunti secondari, al contatto tra due elementi adiacenti, discontinui in quanto opportunamente sfalsati (ingranamento). L'orientamento dei giunti principali è in genere ortogonale alle sollecitazioni di compressione prevalenti, al fine di ottimizzare il comportamento della muratura sotto carichi di esercizio. Tuttavia, i giunti principali diventano potenziali piani di discontinuità, con conseguenze sulla resistenza del solido murario, in presenza di sollecitazioni di trazione e taglio dovute all'azione sismica. In questi casi l'attrito, generato sui giunti dalle tensioni normali di compressione associate alle forze inerziali, contribuisce alla resistenza ed alla dissipazione.

L'ingranamento nel piano della muratura influisce sul comportamento a taglio; in generale, esso è funzione del rapporto medio tra la base e l'altezza degli elementi e dei criteri di sfalsamento dei giunti secondari. La costituzione della muratura nella sezione influenza la resistenza a compressione e il comportamento fuori dal piano; nel caso di murature a due o più paramenti, parametro è significativa la presenza di elementi passanti che creino una connessione tra i due paramenti esterni (diatoni).

La risposta sismica di una struttura in muratura non dipende unicamente dal materiale impiegato, ma anche da diversi aspetti tecnologici, ed in particolare dai collegamenti tra gli elementi strutturali. Le costruzioni storiche in muratura, infatti, sono generalmente costituite da sistemi più o meno complessi di pareti e orizzontamenti (solai lignei, volte). Le pareti possono essere considerate come elementi strutturali bidimensionali, che per la scarsa resistenza a trazione della muratura presentano una risposta molto diversa ad azioni orizzontali nel piano e fuori dal piano. La qualità della risposta globale è funzione sia del corretto dimensionamento delle pareti sia della capacità del sistema di trasferire le azioni tra tali elementi (connessione tra le pareti verticali; connessione dei solai alle pareti). L'efficacia dei collegamenti tra pareti verticali è principalmente legata all'ammorsamento nelle zone di connessione; inoltre, un contributo significativo può derivare dalla presenza di catene metalliche o di altri dispositivi puntuali. L'efficacia dei collegamenti tra le pareti e i solai è funzione del sistema di appoggio (dimensione della superficie d'appoggio, sagomatura della testa delle travi, connessioni metalliche).

#### *La modellazione strutturale*

La modellazione e la verifica delle strutture storiche in muratura è quindi un problema complesso per la difficoltà di considerare adeguatamente la geometria, i materiali e le condizioni di vincolo interno. A tutto questo si aggiunge l'evolversi delle vicende storiche attraverso le quali si è formata e trasformata la costruzione; inoltre, spesso questa è inserita in agglomerati urbani complessi, nei quali è difficile distinguere edifici isolati o unità costruttive strutturalmente autonome. Questo rende problematica la scelta della scala della modellazione ed, inoltre, la definizione dei confini spaziali e dei vincoli della struttura.

Il riconoscimento della struttura all'interno della costruzione è particolarmente difficoltoso, in quanto dipende, oltre che dalla sua storia costruttiva, dai carichi applicati e dagli stati di danneggiamento presenti. Quindi, per la definizione di modelli strutturali è spesso necessario disporre di legami costitutivi che considerino il comportamento fortemente non lineare della muratura.

La modellazione strutturale di una costruzione storica in muratura richiede sempre un'approfondita conoscenza (indagine storica, rilievo strutturale e tecnologico, indagini diagnostiche), al fine di scegliere:

- la scala spaziale, ovvero quale parte della costruzione è opportuno modellare;
- lo schema strutturale, che se possibile deve essere riconosciuto o verificato dalle vicende passate;
- il tipo di analisi, condizionato dallo schema strutturale ma anche dalle finalità dell'analisi stessa.

La scelta della scala della modellazione è condizionata da diversi fattori. Nel caso di una costruzione inserita in un contesto di aggregato urbano, sarebbe necessario considerare questo integralmente, ma spesso ciò è improponibile, sia per la difficoltà di accedere e conoscere le parti adiacenti, sia per la complessità e gli oneri computazionali.

Nella definizione dello schema strutturale è opportuno considerare i seguenti fattori: la geometria della struttura; l'interazione tra struttura ed ambiente; le fasi di costruzione e trasformazione; il danneggiamento.

L'analisi della geometria tridimensionale della struttura è finalizzata ad individuare possibili simmetrie o direzioni significative per il suo comportamento globale. In base a queste osservazioni, infatti, spesso la struttura può essere notevolmente semplificata e i suoi gradi di libertà ridotti. Spesso è possibile scegliere sezioni significative della struttura rispetto alle quali svolgere un'analisi piana (es.: la sezione trasversale della navata di una chiesa). Nel caso di strutture simmetriche, è possibile modellare solo una parte della costruzione, pur di assegnare opportune condizioni di vincolo (es.: analisi di metà struttura, nel caso di un sistema arco-piedritto, o di uno spicchio di cupola, grazie alla sua assialsimmetria).

L'interazione tra la struttura e l'ambiente è fondamentale nel caso di costruzioni storiche caratterizzate da un grande rigidezza e massa (è il caso, per esempio, di un arco trionfale); in questi casi può risultare determinante considerare la deformabilità del terreno di fondazione, anche se di ottime caratteristiche, data la notevole rigidezza della struttura.

L'individuazione delle fasi di costruzione e trasformazione (es.: annessioni di nuovi corpi di fabbrica, sopraelevazioni, modifiche interne con demolizioni parziali e ricostruzioni) è fondamentale per due ragioni. In primo luogo gli stati tensionali e deformativi nei diversi elementi dipendono da tale sequenza; tali aspetti possono essere investigati attraverso opportuni metodi di analisi, anche con modelli costitutivi lineari. Inoltre, le parti aggiunte successivamente alla costruzione, anche se appaiono in continuità con il complesso della costruzione, sono spesso strutture in qualche modo indipendenti; è quindi opportuno considerare il corretto grado di collegamento tra le diverse parti del complesso strutturale. In particolare, nel caso degli aggregati complessi nei centri storici, la corretta individuazione delle celle originarie, e distinzione da quelle di accrescimento e di intasamento, consente una più corretta definizione dei vincoli nel modello.

Il riconoscimento dei dissesti presenti nella struttura, attraverso il rilievo del quadro fessurativo e delle deformazioni, è un fattore determinante per la scelta delle strategie di modellazione e di analisi di una costruzione in muratura. Nel caso di stati lesionativi importanti, questi dovranno essere considerati nel modello e, in alcuni casi, la presenza di un meccanismo di dissesto chiaramente riconoscibile, può portare ad identificare il comportamento della costruzione e consentire una modellazione locale di dettaglio.

### ***I metodi di analisi***

La complessità delle costruzioni in muratura, costituite da elementi bi e tridimensionali, suggerirebbe il ricorso al metodo degli elementi finiti, in quanto teoricamente in grado di modellare la risposta di geometrie complesse, in condizioni di massima generalità nei vincoli e nei carichi. Nel caso di costruzioni massive è possibile ricorrere ad una modellazione solida tridimensionale degli elementi strutturali; più efficacemente, nel caso frequente di costruzioni costituite da pareti, volte, cupole, risulta spesso conveniente schematizzare la struttura come elementi bidimensionali (con comportamento a piastra o a membrana), in grado di simulare adeguatamente il comportamento nel piano e fuori dal piano. Il comportamento non lineare del materiale costituisce tuttavia un aspetto critico nella modellazione delle costruzioni in muratura.

L'analisi elastica ad elementi finiti può fornire indicazioni utili per una preliminare interpretazione del comportamento. In essa, è indispensabile modellare accuratamente il grado di connessione tra gli elementi (ad esempio, il vincolo interno tra gli elementi di una struttura lignea o tra questi e la struttura muraria di appoggio può essere di difficile identificazione e, in taluni casi, anche unilatero). Inoltre, è opportuno considerare le diverse fasi costruttive della struttura (ad esempio, si pensi allo stato tensionale nella muratura

in corrispondenza di una apertura tamponata o in un contrafforte realizzato in fase successiva, come presidio a seguito del manifestarsi di un dissesto). L'analisi elastica presenta in genere zone nelle quali le tensioni principali di trazione sono superiori all'effettiva resistenza a trazione della muratura. Se queste zone sono di limitata ampiezza, la struttura reale probabilmente ivi presenterà una lieve fessurazione (lesioni fisiologiche) e la soluzione fornita dall'analisi elastica ad elementi finiti può essere ritenuta in una certa misura attendibile; se invece è ragionevole attendersi una significativa redistribuzione delle tensioni a seguito della fessurazione, gli stati tensionali e deformativi ottenuti non sono attendibili e risulta necessario procedere ad una modellazione non lineare, nella quale il comportamento del materiale venga simulato con maggiore precisione (danneggiamento, fessurazione, rottura, degrado di rigidità e resistenza, attrito).

L'analisi elastica ad elementi finiti è quindi utile per descrivere il comportamento strutturale in esercizio, nel caso di una costruzione non soggetta a dissesti significativi, ma non consente di valutare la sicurezza nei riguardi dello stato limite ultimo. Infatti, il raggiungimento di condizioni limite di rottura del materiale a livello locale (stato tensionale puntuale) non può essere messo in alcun modo in relazione alle condizioni limite ultime della struttura, che comportano in genere la perdita di equilibrio di intere porzioni della costruzione.

Tali limitazioni possono essere concettualmente superate attraverso una modellazione non lineare ad elementi finiti, che consideri sia la non linearità del materiale che quella geometrica. Tuttavia, alle già espresse difficoltà di modellazione di una costruzione reale attraverso gli elementi finiti si aggiungono in questo caso la complessità dei legami costitutivi per la muratura e la scarsa robustezza delle procedure di analisi, che fanno sì che la modellazione non lineare possa essere utilizzata solo se si dispone delle necessarie capacità e competenze; per tale ragione essa non può essere uno strumento imprescindibile per la verifica sismica.

Al fine di verificare la sicurezza nei riguardi di una condizione limite di collasso è possibile fare riferimento a metodi di analisi più semplici ed efficaci, che pur se non in grado di descrivere il comportamento in condizioni di esercizio, possono cogliere le condizioni ultime. In particolare, per l'analisi a collasso delle strutture murarie si ricorre frequentemente all'analisi limite dell'equilibrio, utilizzando sia il teorema statico (analisi incrementale) sia quello cinematico (analisi per cinematismi). Il teorema statico, attraverso l'individuazione di soluzioni equilibrate, ci consente di valutare se la costruzione è sicura in presenza di certi carichi, anche se non viene determinata l'esatta soluzione. L'analisi per cinematismi (che considera la struttura come composta da blocchi rigidi), nel caso in cui questi siano correttamente individuati (anche grazie all'osservazione del danno manifestato), ci fornisce in modo molto semplice una stima attendibile delle risorse ultime della costruzione.

Nel caso della muratura, la validità dei due teoremi è stata dimostrata con riferimento alle seguenti ipotesi: non resistenza a trazione del materiale, infinita resistenza a compressione, limitata deformabilità, assenza di scorrimenti. Tuttavia è possibile tener conto, con opportuni accorgimenti, anche delle situazioni reali, nelle quali le suddette ipotesi non sono completamente rispettate.

La non resistenza a trazione rappresenta sempre un'ipotesi a favore di sicurezza, ovvero essa porta a sottostimare la reale capacità della struttura. Nel caso in cui i piani di rottura siano scelti in corrispondenza di giunti principali della muratura, essendo questi dotati di resistenza a trazione molto limitata, tale sottostima è relativamente contenuta. Al contrario, nel caso in cui i piani di rottura interessino zone di ammorsamento tra gli elementi della muratura, tale contributo dovrà essere adeguatamente modellato o dovranno essere selezionati piani di minore resistenza, se si vogliono evitare stime eccessivamente cautelative.

L'infinita resistenza a compressione della muratura è invece un'ipotesi a sfavore di sicurezza, in quanto la condizione ultima non si verifica in corrispondenza di un contatto puntuale tra i blocchi (fatto che comporterebbe una tensione di compressione infinita), ma quando la sezione reagente parzializzata è tale da portare alla rottura per schiacciamento della muratura. Tuttavia, l'analisi limite può ancora essere utilizzata, a patto di considerare un margine geometrico nella posizione delle cerniere che definiscono il cinematismo, opportunamente calibrato in funzione della qualità della muratura.

La limitata deformabilità è un'ipotesi in genere accettabile, almeno nel caso delle costruzioni in muratura di tipo massivo. L'analisi limite valuta la condizione di equilibrio di una struttura labile, costituita dall'assemblaggio di porzioni murarie rigide, ovvero si controlla che questa risulti staticamente determinata sotto i carichi assegnati, prevalentemente grazie alla propria forma; trascurare la deformabilità significa ipotizzare che anche nella configurazione deformata, non determinabile attraverso l'analisi limite, la struttura sia ancora in equilibrio. È opportuno tuttavia considerare che, nel caso dell'analisi di costruzioni esistenti, la configurazione geometrica che viene determinata attraverso il rilievo geometrico è già quella deformata, per cui l'analisi limite è in grado di valutare le condizioni di sicurezza nello stato attuale.

Infine, l'assenza di scorrimenti tra i conci murari può essere in genere assunta come ipotesi, salvo poi controllare a posteriori che questi non si verifichino in concomitanza delle azioni che vengono valutate nell'analisi. In genere, ad esclusione di rari casi in cui sono presenti elevati carichi concentrati su strutture di grande spessore, le azioni mutue tra i conci murari sono pressoché perpendicolari ai giunti principali (sedi dei possibili scorrimenti) e comunque all'interno del cono d'attrito relativo alle strutture murarie.

L'analisi limite può essere utilizzata anche per valutare la capacità sismica, considerando tale azione come un sistema di forze orizzontali, proporzionali alle masse della costruzione attraverso un opportuno moltiplicatore. Tale moltiplicatore può essere messo in relazione all'accelerazione massima del suolo. È tuttavia noto che l'accelerazione sismica che attiva il meccanismo di collasso, quella per cui compaiono evidenti fessurazioni ed i diversi blocchi iniziano ad oscillare, è inferiore rispetto a quella che produce il vero e proprio collasso; l'azione sismica ha infatti natura dinamica, per cui un sistema labile di blocchi rigidi, pur oscillando, può tornare nella iniziale configurazione di equilibrio se l'impulso che ha attivato il meccanismo ha durata ed energia limitate, ed i successivi impulsi non sono tali da incrementare ulteriormente gli spostamenti. È quindi possibile valutare la capacità di spostamento del sistema, prima del vero e proprio collasso, facendo riferimento a configurazioni variate del cinematismo; in tale modo viene valutata una vera e propria curva di capacità del sistema, che rappresenta la resistenza offerta dalla struttura al crescere degli spostamenti. Tale metodo di valutazione della risposta sismica è stato introdotto nell'allegato 11.C dell'Ordinanza e può essere preso come riferimento nel caso in cui si vogliano modellare meccanismi locali di collasso.



## ALLEGATO C

### Modello per la valutazione della vulnerabilità sismica delle chiese

La metodologia considera 28 meccanismi di danno, elencati nel seguito, associati ai diversi macroelementi che possono essere presenti in una chiesa. Attraverso un opportuno modello, descritto al punto 5.4.3, è possibile valutare un indice di vulnerabilità (5.14) e quindi l'indice di sicurezza sismica della chiesa.

In primo luogo è necessario verificare se alcuni macroelementi non sono presenti, ovvero quali meccanismi non si potrebbero verificare nella chiesa a seguito di un sisma, ed a questi assegnare  $\rho_k=0$ ; agli altri dovrebbe essere attribuito il valore  $\rho_k=1$ , ad eccezione dei meccanismi 4 e 15 ( $\rho_k=0.5$ ) e di alcuni meccanismi (10, 11, 12, 18, 20, 22, 23, 24, 25, 26), nei quali si dovrà scegliere un valore  $0.5 < \rho_k < 1$ , in relazione all'importanza dell'elemento nel contesto della costruzione.

Per ogni meccanismo vengono suggeriti i possibili elementi di presidio antisismico e gli indicatori di vulnerabilità; a queste liste possono essere aggiunti altri elementi che dovessero emergere, a seguito di una specifica conoscenza della costruzione, come significativi per la valutazione del comportamento sismico della chiesa. A ciascun presidio o indicatore di vulnerabilità rilevato deve essere attribuito, rispettivamente, un grado di efficacia o di gravità, con un punteggio da 1 a 3. Attraverso la tabella 5.1 è possibile ricavare i valori di  $v_{ki}$  e  $v_{kp}$  da utilizzare in (5.14) per il calcolo dell'indice di vulnerabilità.

#### 1 – RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA

Distacco della facciata dalle pareti o evidenti fuori piombo

##### *Presidi antisismici*

- Presenza di catene longitudinali
- Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati, altri edifici)
- Ammorsamento di buona qualità tra la facciata ed i muri della navata

##### *Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di elementi spingenti (puntoni di copertura, volte, archi)
- Presenza di grandi aperture nelle pareti laterali in vicinanza del cantonale

#### 2 - MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA

Ribaltamento del timpano, con lesione orizzontale o a V – Disgregazione della muratura o scorrimento del cordolo – Rotazione delle capriate

##### *Presidi antisismici*

- Presenza di collegamenti puntuali con gli elementi della copertura
- Presenza di controventi di falda
- Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

##### *Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di grandi aperture (rosone)
- Presenza di una sommità a vela di grande dimensione e peso
- Cordoli rigidi, trave di colmo in c.a., copertura pesante in c.a.

#### 3 - MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA

Lesioni inclinate (taglio) – Lesioni verticali o arcuate (rotazione) – Altre fessurazioni o spancamenti

##### *Presidi antisismici*

- Presenza di una catena in controfacciata
- Contrasto laterale fornito da corpi addossati; chiesa inserita in aggregato

##### *Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di aperture di grandi dimensioni o in numero elevato (anche se tamponate)
- Elevata snellezza (rapporto altezza/larghezza)

**4 - PROTIRO - NARTECE**

Lesioni negli archi o nella trabeazione per rotazione delle colonne – Distacco dalla facciata – Martellamento

*Presidi antisismici*

- Presenza di catene
- Presenza di colonne/pilastri di adeguata dimensione

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di elementi spingenti (archi, volte)

**5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA**

Lesioni negli arconi (con eventuale prosecuzione nella volta) – Rotazioni delle pareti laterali – Lesioni a taglio nelle volte – Fuori piombo e schiacciamento nelle colonne

*Presidi antisismici*

- Presenza di paraste o contrafforti esterni
- Presenza di corpi annessi adiacenti
- Presenza di catene trasversali

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di pareti con elevata snellezza
- Presenza di volte e archi

**6 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)**

Lesioni inclinate (singole o incrociate) – Lesioni in corrispondenza di discontinuità nella muratura

*Presidi antisismici*

- Muratura uniforme (unica fase costruttiva) e di buona qualità
- Presenza di buoni architravi nelle aperture
- Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di grandi aperture o di ampie zone con muratura di limitato spessore
- Cordoli in c.a. molto rigidi, copertura pesante in c.a.

**7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO NELLE CHIESE A PIÙ NAVATE**

Lesioni negli archi o negli architravi longitudinali – Schiacciamento e/o lesioni alla base dei pilastri – Lesioni a taglio nelle volte delle navate laterali

*Presidi antisismici*

- Presenza di catene longitudinali
- Presenza di contrafforti in facciata

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di volte pesanti nella navata centrale
- Copertura pesante in c.a., cappe armate di significativo spessore nelle volte

**8 - VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE**

Lesioni nelle volte dell'aula centrale – Sconnessioni delle volte dagli arconi

*Presidi antisismici*

- Presenza di catene in posizione efficace
- Presenza di rintianchi o frenelli

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura
- Volte in foglio, specialmente se su campate di grande luce
- Presenza di lunette o interruzioni ed irregolarità nel profilo delle volte

**9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI**

Lesioni nelle volte o sconnessioni dagli arconi o dalle pareti laterali

*Presidi antisismici*

- Presenza di catene in posizione efficace
- Presenza di rinfianchi o frenelli

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura
- Volte in foglio, specialmente se su campate di grande luce
- Presenza di lunette o interruzioni ed irregolarità nel profilo delle volte

**10 - RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO**

Distacco della parete frontale dalle pareti laterali – Ribaltamento o disgregazioni del timpano in sommità

*Presidi antisismici*

- Presenza di catene longitudinali
- Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati, altri edifici)
- Buon collegamento con la copertura (travi-catena, controventi)
- Ammorsamento di buona qualità tra la parete frontale ed i muri laterali
- Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di cordoli rigidi, travi di colmo in c.a., copertura pesante
- Presenza di grandi aperture nella parete frontale (rosone) e/o in quelle laterali
- Presenza di una sommità a vela di grande dimensione

**11 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DEL TRANSETTO**

Lesioni inclinate (singole o incrociate) – Lesioni attraverso discontinuità

*Presidi antisismici*

- Muratura uniforme (unica fase costruttiva) e di buona qualità
- Presenza di buoni architravi nelle aperture
- Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante
- Presenza di grandi aperture o di ampie zone con muratura di limitato spessore

**12 - VOLTE DEL TRANSETTO**

Lesioni nelle volte o sconnessioni dagli arconi e dalle pareti laterali

*Presidi antisismici*

- Presenza di catene in posizione efficace
- Presenza di rinfianchi o frenelli

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura
- Volte in foglio, specialmente se su campate di grande luce
- Presenza di lunette o interruzioni ed irregolarità nel profilo delle volte

**13 - ARCHI TRIONFALI**

Lesioni nell'arco – Scorrimento di conci – Schiacciamento o lesioni orizzontali alla base dei piedritti

*Presidi antisismici*

- Pareti di contrasto efficaci (basso rapporto luce/larghezza aula, transetto, altri corpi di fabbrica)
- Presenza di una catena in posizione efficace
- Conci di buona fattura e/o adeguato spessore dell'arco

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di copertura pesante in c.a.
- Presenza di cupola o tiburio

**14 - CUPOLA - TAMBURO/TIBURIO**

Lesioni nella cupola (ad arco) con eventuale prosecuzione nel tamburo

*Presidi antisismici*

- Presenza di una cerchiatura esterna, anche a più livelli
- Presenza nel tamburo di contrafforti esterni o paraste
- Cupola direttamente impostata sugli archi trionfali (assenza del tamburo)

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di grandi aperture nel tamburo
- Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura

**15 - LANTERNA**

Lesioni nel cupolino della lanterna – Rotazioni o scorrimenti dei piedritti

*Presidi antisismici*

- Presenza di catene o di una cerchiatura esterna
- Presenza di paraste o contrafforti
- Dimensioni contenute rispetto a quelle della cupola

*Indicatori di vulnerabilità*

- Lanterna di elevata snellezza, con grandi aperture e piccoli pilastri

**16 - RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE**

Lesioni verticali o arcuate nelle pareti dell'abside – Lesioni verticali negli absidi poligonali – Lesione ad U negli absidi semicirculari

*Presidi antisismici*

- Presenza di cerchiatura (semicircolare e poligonale) o catene (rettangolare)
- Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati)
- Presenza di copertura controventata, non spingente

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di un forte indebolimento per la presenza di aperture (anche tamponate) nelle pareti
- Presenza di volte spingenti
- Cordoli rigidi, copertura pesante, puntoni di falda in c.a

**17 - MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE**

Lesioni inclinate (singole o incrociate) – Lesioni in corrispondenza di discontinuità murarie

*Presidi antisismici*

- Muratura uniforme (unica fase costruttiva) e di buona qualità
- Presenza di buoni architravi nelle aperture
- Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante
- Presenza di grandi aperture o di ampie zone con muratura di limitato spessore

**18 - VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE**

Lesioni nelle volte o sconnessioni dagli arconi o dalle pareti laterali

*Presidi antisismici*

- Presenza di catene in posizione efficace
- Presenza di rinfianchi o frenelli

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura
- Volte in foglio, specialmente se su campate di grande luce
- Presenza di lunette o interruzioni ed irregolarità nel profilo delle volte

**19 - MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - PARETI LATERALI DELL'AULA**

Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse – Sconnessioni tra cordoli e muratura – Movimenti significativi del manto di copertura

*Presidi antisismici*

- Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)
- Presenza di collegamenti delle travi alla muratura
- Presenza di controventi di falda (tavolato incrociato o tiranti metallici)
- Presenza di buone connessioni tra gli elementi di orditura della copertura

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di copertura staticamente spingente
- Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante

**20 - MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – TRANSETTO**

Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse – Sconnessioni tra i cordoli e muratura – Movimenti significativi del manto di copertura

*Presidi antisismici*

- Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)
- Presenza di collegamenti delle travi alla muratura
- Presenza di controventi di falda (tavolato incrociato o tiranti metallici)
- Presenza di buone connessioni tra gli elementi di orditura della copertura

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di copertura staticamente spingente
- Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante

**21 - MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – ABISDE E PRESBITERIO**

Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse – Sconnessioni tra i cordoli e muratura – Movimenti significativi del manto di copertura

*Presidi antisismici*

- Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)
- Presenza di collegamenti delle travi alla muratura
- Presenza di controventi di falda (tavolato incrociato o tiranti metallici)
- Presenza di buone connessioni tra gli elementi di orditura della copertura

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di copertura staticamente spingente
- Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante

**22 - RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE**

Distacco della parete frontale dalle pareti laterali

*Presidi antisismici*

- Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, edifici addossati)
- Presenza di cerchiatura o incatenamento
- Ammorsamento di buona qualità tra la parete frontale ed i muri laterali

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di forte indebolimento per la presenza di aperture nelle pareti

**23 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE**

Lesioni inclinate (singole o incrociate) – Lesioni in corrispondenza di discontinuità murarie

*Presidi antisismici*

- Muratura uniforme (unica fase costruttiva) e di buona qualità
- Presenza di buoni architravi nelle aperture
- Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante
- Presenza di grandi aperture (anche tamponate), muratura di limitato spessore

**24 - VOLTE DELLE CAPPELLE**

Lesioni nelle volte o sconnessioni dalle pareti laterali

*Presidi antisismici*

- Presenza di catene in posizione efficace
- Presenza di rinfianchi o frenelli

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura
- Volte in foglio, specialmente se molto ribassate
- Presenza di lunette o interruzioni ed irregolarità nel profilo delle volte

**25 - INTERAZIONI IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE**

Movimento in corrispondenza di discontinuità costruttive - Lesioni nella muratura per martellamento

*Presidi antisismici*

- Presenza di un'adeguata connessione tra le murature di fasi diverse
- Presenza di catene di collegamento

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di un'elevata differenza di rigidità tra i due corpi
- Possibilità di azioni concentrate trasmesse dall'elemento di collegamento

**26 - AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)**

Evidenza di rotazioni permanenti o scorrimento - Lesioni

*Presidi antisismici*

- Presenza di perni di collegamento con la muratura o elementi di ritegno
- Elementi di limitata importanza e dimensione
- Muratura monolitica (a conci squadrate o comunque di buona qualità)

*Indicatori di vulnerabilità*

- Elementi di elevata snellezza
- Appoggio in falso sulle murature sottostanti in falso
- Posizione asimmetrica rispetto all'elemento sottostante (specie se l'oggetto ha notevole massa)

**27- TORRE CAMPANARIA**

Lesioni vicino allo stacco dal corpo della chiesa Lesioni a taglio o scorrimento Lesioni verticali o arcuate (espulsione di uno o più angoli)

*Presidi antisismici*

- Muratura uniforme (unica fase costruttiva) e di buona qualità
- Presenza di catene ai diversi ordini
- Presenza di adeguata distanza dalle pareti della chiesa (se adiacente)
- Presenza buon collegamento con le pareti della chiesa (se inglobata)

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di aperture significative su più livelli
- Vincolo asimmetrico sulle murature alla base (torre inglobata)
- Appoggio irregolare a terra della torre (presenza di archi su alcuni lati, pareti a sbalzo)

**28 - CELLA CAMPANARIA**

Lesioni negli archi - Rotazioni o scorrimenti dei piedritti

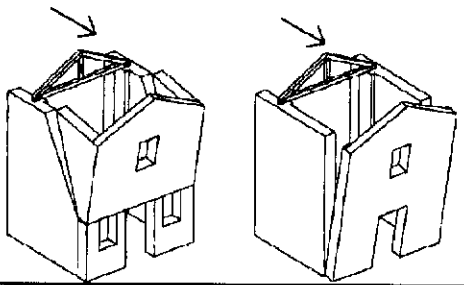
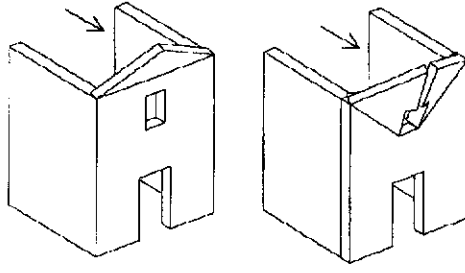
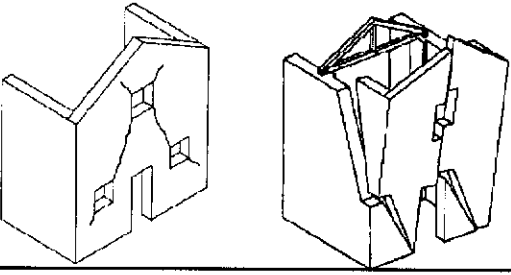
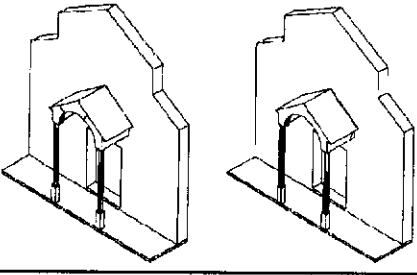
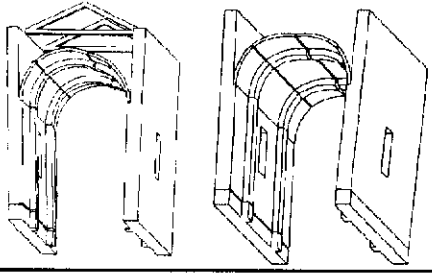
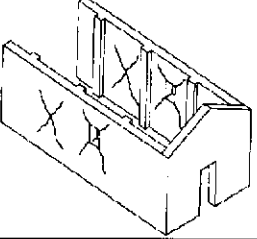
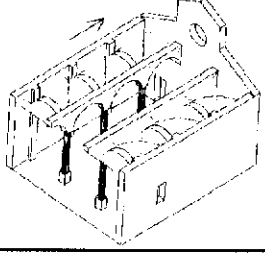
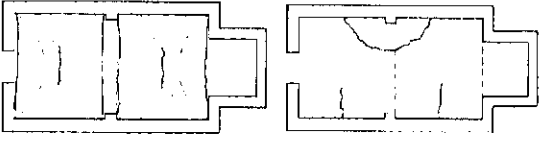
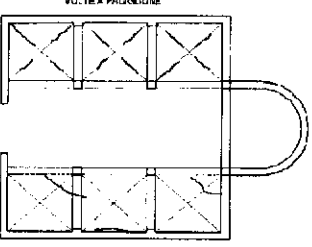
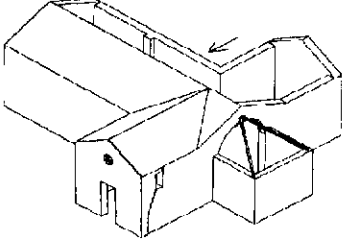
*Presidi antisismici*

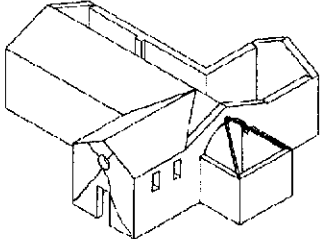

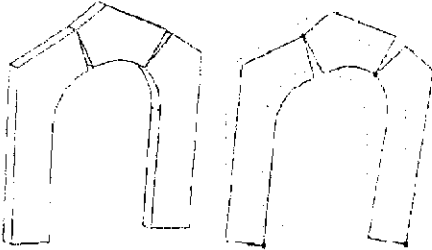
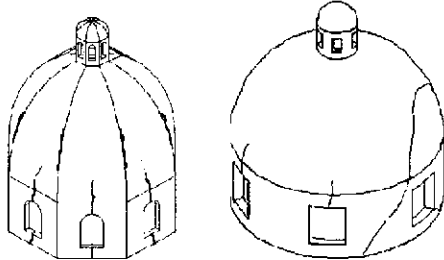
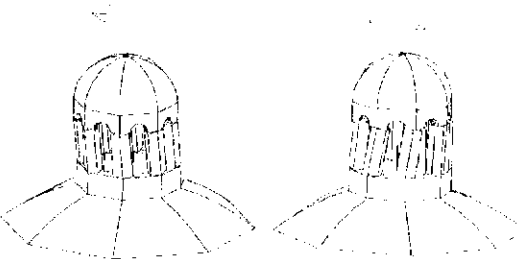
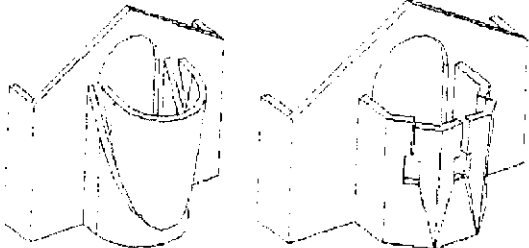
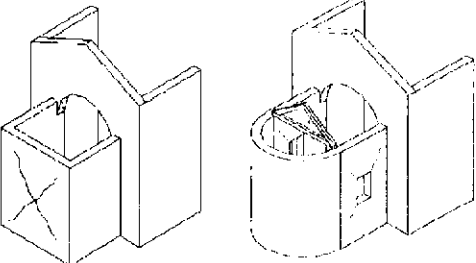
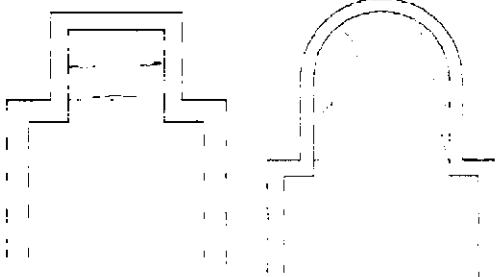
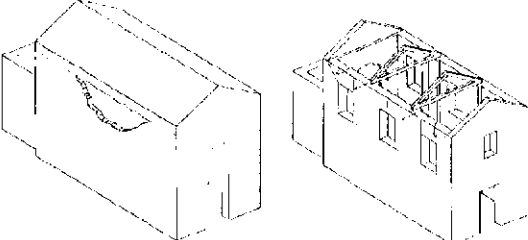
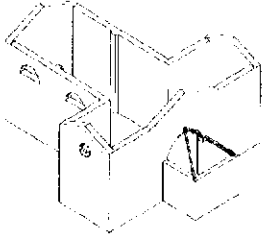
- Presenza di piedritti tozzi e/o archi di luce ridotta
- Presenza di catene o cerchiature

*Indicatori di vulnerabilità*

- Presenza di copertura pesante o di altre masse significative
- Presenza di copertura spingente

ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE

|   |   |
|---|---|
| <p>1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA</p>    | <p>2. MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA</p>   |
| <p>3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA</p>    | <p>4 - PROTIRO - NARTECE</p>    |
| <p>5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA</p>    | <p>6 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)</p>                |
| <p>7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO</p>    | <p>8 - VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE</p>  <p>VOLTA A BOTTE LUNETTATA</p> <p>VOLTA A CROCERA</p> |
| <p>9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI</p>  <p>VOLTA A PADOGLIONE</p> <p>VOLTA A CROCERA</p> | <p>10 - RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO</p>                              |

|  |  |
|--|--|
| <p>11 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DEL TRANSETTO</p>       | <p>12 - VOLTE DEL TRANSETTO</p>                    |
| <p>13 - ARCII TRIONFALI</p>                                       | <p>14 - CUPOLA - TAMBURO / TIBURIO</p>             |
| <p>15 - LANTERNA</p>   | <p>16 - RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE</p>              |
| <p>17 - MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE</p>  | <p>18 - VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE</p>  |
| <p>19 - ELEMENTI DI COPERTURA: AULA</p>                         | <p>20 - ELEMENTI DI COPERTURA: TRANSETTO</p>     |