

meccanismi locali di singole porzioni murarie per azione fuori dal piano è quindi essenziale anche nella valutazione della sicurezza sismica dei ponti ad arco in muratura. Essa può essere eseguita con procedure analoghe a quelle proposte nell'Ordinanza per gli edifici, considerando l'incremento dell'azione dovuto alla posizione del timpano nell'ambito del manufatto.

La modellazione agli elementi finiti può consentire una modellazione di dettaglio del ponte ad arco in muratura, che tuttavia presenta notevoli difficoltà nella valutazione dei moduli elastici da attribuire ad alcune parti; ad esempio, il riempimento corrisponde ad una porzione significativa della struttura, dal punto di vista del volume, e quindi la risposta risulta molto sensibile alle caratteristiche ad esso attribuite.

Per una valutazione più attendibile della capacità sismica fino allo stato limite ultimo sarebbe necessario utilizzare legami costitutivi non lineari. Essendo i meccanismi di collasso delle arcate e delle pile prevalentemente governati dalla formazione di cerniere, con apertura di lesioni in corrispondenza dei giunti di malta, il legame elastico non lineare di solido non resistente a trazione risulta adeguato, anche se non va dimenticato che, essendo isotropo, esso non considera l'orientazione dei giunti di malta tra gli elementi. Tale modello tuttavia non consente di descrivere in modo corretto la risposta dei timpani, caratterizzati da danneggiamenti per scorrimento con attrito, e del riempimento.

Il collasso dei ponti ad arco sotto azione sismica può essere valutato attraverso l'analisi limite dell'equilibrio. L'approccio statico risulta piuttosto complesso sul piano operativo, in quanto ad ogni incremento della componente sismica orizzontale è necessario eseguire nuovamente la ricerca di una curva delle pressioni equilibrata in ogni punto della struttura. L'approccio cinematico, certamente più semplice nell'applicazione, presenta notevoli insidie, soprattutto nei ponti a molte arcate, in quanto l'individuazione del cinematismo di collasso risulta dipendere da molte cerniere, e la risposta può risultare molto sensibile al posizionamento delle stesse, specie nelle arcate.

6 CRITERI PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO E TECNICHE DI INTERVENTO

6.1 Strategie per la scelta dell'intervento di miglioramento

Gli interventi sulle strutture, volti a ridurre la vulnerabilità sismica, sono da valutarsi nel quadro generale della conservazione della costruzione. La scelta della strategia e della tecnica d'intervento, nonché l'urgenza di attuarlo, dipendono dai risultati della precedente fase di valutazione.

L'obiettivo principale resta sempre la conservazione non solo della materia ma anche del funzionamento strutturale accertato, qualora questo non presenti carenze tali da poter comportare la perdita del bene. In questo senso dovranno essere valutati anche gli aspetti legati agli interventi per l'esecuzione di opere impiantistiche, per ciò che attiene l'impostazione progettuale, privilegiando l'adozione di soluzioni che limitino o escludano l'inserimento di impianti negli elementi strutturali.

Gli interventi devono essere in genere rivolti a singole parti del manufatto, contenendone il più possibile l'estensione ed il numero, e comunque evitando di alterare in modo significativo l'originale distribuzione delle rigidità negli elementi. L'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va comunque valutata e giustificata nel quadro di una indispensabile visione d'insieme, portando in conto gli effetti della variazione di rigidità e resistenza degli elementi.

Il progetto degli interventi dovrà garantire la conservazione dell'architettura in tutte le sue declinazioni, in particolare valutando l'eventuale interferenza con gli apparati decorativi.

L'intervento deve essere realizzato solo dopo aver accertato i benefici che possono conseguirsi e l'impatto sulla costruzione storica. In particolare devono, in via generale, essere evitate tutte le opere di demolizione-sostituzione, e di demolizione-ricostruzione, operando con interventi che si integrino con la struttura esistente senza trasformarla radicalmente. In situazioni di emergenza si può derogare da questa condizione, adottando tuttavia soluzioni provvisorie tali da produrre minime alterazioni permanenti.

La valutazione della sicurezza e una chiara comprensione della struttura devono essere alla base delle decisioni e delle scelte degli interventi. In particolare, l'intervento dovrà essere proporzionato agli obiettivi di sicurezza e durabilità, contenendo gli interventi in modo tale da produrre il minimo impatto sul manufatto storico. E' opportuno ricordare che, anche nei riguardi della prevenzione dai danni sismici, la semplice manutenzione può spesso evitare interventi fortemente trasformativi.

La scelta delle tecniche d'intervento sarà valutata caso per caso, dando la preferenza a quelle meno invasive e maggiormente compatibili con i criteri della conservazione, tenendo conto dei requisiti di sicurezza e

durabilità. Dovranno essere privilegiati gli interventi in grado di trasformare in modo non permanente l'edificio ed i nuovi materiali, risultanti dall'innovazione tecnologica, dovranno essere valutati alla luce dei criteri di compatibilità e durabilità nel tempo, in relazione alla materia storica.

Gli interventi dovranno, per quanto possibile, rispettare la concezione e le tecniche originarie della struttura, nonché le trasformazioni significative avvenute nel corso della storia del manufatto. Da questo punto di vista gli elementi strutturali danneggiati, quando possibile, devono essere riparati piuttosto che sostituiti e le deformazioni ed alterazioni, costituendo una testimonianza del passato, dovrebbero essere mantenute, eventualmente adottando misure atte a limitarne gli effetti negativi sulle condizioni di sicurezza. Particolare attenzione deve essere posta anche alla fase esecutiva degli interventi per assicurare la reale efficacia degli stessi ed evitare dissesti che comportino il peggioramento delle caratteristiche della muratura o del funzionamento degli elementi costruttivi. Per quanto possibile, è opportuno che gli interventi proposti siano controllabili in corso d'opera. Il progetto di ogni intervento deve essere corredato da una documentazione descrivente l'esecuzione, che diverrà parte integrante della relazione finale sui lavori realizzati. Tutte le attività di controllo e monitoraggio dovranno essere documentate e conservate come parte della storia della costruzione.

La strategia di intervento può appartenere a una delle seguenti categorie generali o a particolari combinazioni di esse:

- rinforzo di parte o di tutti gli elementi resistenti, al fine di aumentarne selettivamente la resistenza, la rigidità, la duttilità o una combinazione di esse (ponendo sempre estrema attenzione alle modifiche indotte allo schema strutturale);
- inserimento di nuovi elementi, compatibili con quelli esistenti, al fine di eliminare la vulnerabilità locale di alcune parti della costruzione e migliorare il funzionamento complessivo in termini di resistenza o duttilità;
- introduzione di una protezione passiva mediante strutture di controvento dissipative e/o isolamento alla base (considerando accuratamente tutte le possibili ricadute sulla conservazione, ed in particolare la presenza di substrati archeologici);
- riduzione delle masse (con le dovute precauzioni);
- limitazione o cambiamento della destinazione d'uso dell'edificio (in questo caso sarà obbligatoria una verifica di compatibilità alle trasformazioni urbanistiche previste nei piani attuativi e nei cambi di destinazione d'uso degli edifici).

In generale gli interventi differiscono per:

- *Estensione*: Interventi limitati ad alcuni elementi; interventi estesi a tutta la struttura
- *Comportamento statico (e dinamico) accertato e conseguito*: Interventi che non modificano l'attuale comportamento statico; Interventi che pur modificando l'attuale comportamento statico, sono coerenti con il funzionamento della tipologia strutturale; Interventi che modificano l'originale comportamento statico
- *Invasività e reversibilità*: invasivo è l'intervento teso alla modifica permanente degli elementi resistenti, che si contrappone all'intervento reversibile, il quale integra gli elementi resistenti e/o condiziona le sollecitazioni senza trasformare in modo permanente la struttura originale.
- *Stato di coazione fornito*: Interventi passivi, che non forniscono uno stato di coazione agli elementi originali; Interventi attivi, che introducono stati di sollecitazione attraverso azioni autoequilibrate.
- *Integrità architettonica*: intervento in grado di conservare non solo la qualità materico costruttiva del manufatto, ma anche la tipologia ed il suo aspetto
- *Durabilità e compatibilità materiale*: Intervento durabile nel tempo, anche in rapporto alle caratteristiche chimico fisiche della materia storica.

L'intervento dovrà essere valutato anche in ragione del suo costo, rapportandolo all'entità del beneficio da esso prodotto ed all'effettiva necessità.

6.2 Influenza degli interventi di adeguamento impiantistico

Sono frequenti i casi in cui gli interventi sugli edifici esistenti nascono da esigenze non specificatamente strutturali; ne sono un esempio gli adeguamenti impiantistici, legati o meno ad esigenze di adeguamento normativo. Quasi sempre questi interventi interagiscono con parti strutturali e capita assai frequentemente che, se non adeguatamente calibrati, essi comportino una sensibile riduzione di resistenza degli elementi interessati e, talvolta, una trasformazione del funzionamento della costruzione.

È essenziale, quindi, che ogni qualvolta si interagisca con elementi a valenza strutturale (sia nei confronti dei carichi verticali che di quelli orizzontali), si valuti l'impatto dell'intervento sulla capacità resistente dell'elemento interessato e le eventuali ripercussioni sugli elementi con esso interagenti o sulla struttura nel suo complesso. La valutazione dell'indice di sicurezza sismica deve pertanto essere riferita alla struttura eventualmente modificata da questi interventi non dichiaratamente strutturali.

È quindi opportuno evitare interventi che comportino una riduzione della capacità resistente degli elementi o riducano l'efficacia dei collegamenti. Qualora ciò non sia possibile, è necessario valutare l'impatto di tali interventi sul comportamento complessivo della costruzione, adottando adeguate contromisure, mediante specifici interventi di consolidamento atti a bilanciare gli effetti negativi indotti, ferma restando la compatibilità con le esigenze di tutela e di conservazione del bene.

A titolo esemplificativo ma non esaustivo, si possono considerare tra gli interventi che riducono la capacità resistente della struttura:

- i tagli negli orizzontamenti, sia su tutto lo spessore (formazione di cavedii), sia in traccia (passaggio di impianti a pavimento);
- i tagli orizzontali nelle murature, per i quali è indispensabile limitarne l'estensione e la profondità, e deve essere tenuto conto della diminuita capacità resistente degli elementi interessati;
- i tagli verticali nelle murature, che in alcuni casi per la loro posizione, sono tali da ridurre non solo la resistenza degli elementi ma anche i collegamenti tra le pareti murarie;
- tutte quelle operazioni che peggiorano la configurazione strutturale nei riguardi dell'azione sismica, sia in termini di dettagli costruttivi che di configurazione globale (ad es.: demolizioni in prossimità di incroci murari).

Quanto sopra riportato è da intendersi riferito sia alla vulnerabilità nei riguardi di meccanismi locali, sia al comportamento dell'intera costruzione. In quest'ultimo caso, dovrà essere valutato l'impatto del complesso degli interventi connessi ad adeguamenti impiantistici, realizzati in diverse porzioni dell'immobile, anche se differiti nel tempo.

6.3 Operazioni tecniche di intervento

6.3.1 Premesse

Nel seguito sono fornite indicazioni generali per la scelta degli interventi di miglioramento sismico degli edifici in muratura, con riferimento ad alcune tecniche di utilizzo corrente. Gli interventi possibili per ciascuna patologia o forma di vulnerabilità sono generalmente più d'uno, con caratteristiche diverse in termini di efficacia, invasività, reversibilità, compatibilità, durabilità e 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. A tal fine è opportuno predisporre prove preliminari di fattibilità dell'intervento e programmare indagini a posteriori per certificare la buona riuscita dell'intervento.

Non deve essere trascurata la possibilità di ricorrere ad opere provvisorie, che per la loro intrinseca spiccata reversibilità appaiono interessanti nei riguardi della conservazione e possono risultare, dopo attenta valutazione, anche una soluzione definitiva nel caso di un bene tutelato.

Le indicazioni che seguono non devono essere intese come un elenco di interventi da eseguire comunque e dovunque, ma solo come possibili soluzioni da adottare nei casi in cui ne sia emersa la necessità a seguito di una valutazione della sicurezza sismica. Ovviamente non sono da considerarsi escluse tecniche di intervento non citate, metodologie innovative o soluzioni particolari che il professionista individui come adeguate per il caso specifico.

In ogni caso nessun intervento può essere considerato a priori non strutturale o privo di effetti sul comportamento strutturale.

6.3.2 Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti

Tali interventi sono mirati ad assicurare alla costruzione un soddisfacente comportamento d'assieme, mediante la realizzazione di un buon ammorsamento tra le pareti e di efficaci collegamenti dei solai alle pareti; inoltre, deve essere verificato che le eventuali spinte prodotte da strutture voltate siano efficacemente contrastate e deve essere corretto il malfunzionamento di tetti spingenti. La realizzazione di questi interventi è un prerequisito essenziale per l'applicazione dei metodi di analisi sismica globale dell'edificio, che si basano sul comportamento delle pareti murarie nel proprio piano, presupponendone la stabilità nei riguardi di azioni sismiche fuori dal piano.

L'inserimento di tiranti, metallici o di altri materiali, disposti nelle due direzioni principali del fabbricato, a livello dei solai ed in corrispondenza delle pareti portanti, ancorati alle murature mediante capochiave (a paletto o a piastra), può favorire il comportamento d'assieme del fabbricato, in quanto conferisce un elevato grado di connessione tra le murature ortogonali e fornisce un efficace vincolo contro il ribaltamento fuori piano dei pannelli murari, quando ciò non appaia garantito dai solai o da altre strutture. Inoltre, l'inserimento di tiranti migliora il comportamento nel piano di pareti forate, in quanto consente la formazione del meccanismo tirante-puntone nelle fasce murarie sopra porta e sotto finestra. Per il capochiave possono essere utilizzati paletti semplici (bolzoni) o piastre; ad eccezione dei casi di murature particolarmente scadenti, realizzate con elementi di piccole dimensioni, è preferibile l'uso di bolzoni, in quanto essi vanno ad interessare una porzione di muratura maggiore rispetto alle piastre. In ogni caso il dimensionamento del capochiave deve tener conto delle caratteristiche dell'elemento murario (colonna, pilastro) collegato. Spesso risulta necessario un consolidamento locale della muratura, nella zona di ancoraggio. E' sconsigliabile incassare il capochiave nello spessore della parete, specie nel caso di muratura a più paramenti scollegati. E' da valutare con attenzione il ricorso agli ancoraggi per aderenza (mediante iniezioni di resine o malte a base cementizia nella muratura), sia per le possibili incompatibilità tra i materiali che per la difficoltà di controllare l'efficacia dell'ancoraggio. I tiranti dovranno in via generale essere disposti in posizione affiancata alle murature principali, a livello degli orizzontamenti. 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.

Cerchiature esterne con elementi metallici o materiali compositi, possono garantire un efficace collegamento tra murature ortogonali nel caso di edifici di dimensioni ridotte, dove i tratti rettilinei della cerchiatura non sono troppo estesi, o quando vengono realizzati ancoraggi in corrispondenza dei martelli murari. E' necessario evitare l'insorgere di concentrazioni di tensioni in corrispondenza degli spigoli delle murature, ad esempio con opportuni elementi di ripartizione; nel caso si usino fasce in materiale composito, si dovrà procedere allo smusso degli spigoli.

Ammorsamenti, tra parti adiacenti o tra murature che si intersecano, si possono realizzare con la tecnica scuci e cuci (con elementi lapidei o in laterizio), qualora i collegamenti tra gli elementi murari siano deteriorati (per la presenza di lesioni) o particolarmente scadenti. Si tratta comunque di un intervento per sua natura demolitivo e sostitutivo della materia antica, da valutare quindi con cautela, caso per caso.

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

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

Cordoli in sommità alla muratura possono costituire una soluzione efficace per collegare le pareti, in una zona dove la muratura è meno coesa a causa del limitato livello di compressione, e per migliorare l'interazione con la copertura. Questi possono essere realizzati nei seguenti modi:

- in muratura armata, consentendo di realizzare il collegamento attraverso una tecnica volta alla massima conservazione delle caratteristiche murarie esistenti. Essi, infatti, devono essere realizzati con una

muratura a tutto spessore e di buone caratteristiche; in genere la soluzione più naturale è l'uso di una muratura in mattoni pieni. All'interno deve essere alloggiata un'armatura metallica o in materiale composito, resa aderente alla muratura del cordolo tramite conglomerato. Il collegamento tra il cordolo e la muratura sottostante può essere in genere garantito dall'aderenza, l'ingranamento e l'attrito (in alcuni casi può essere opportuno eseguire un consolidamento della muratura sommitale della parete, ad esempio tramite iniezioni di malta). L'uso di perfori armati disposti con andamento inclinato deve essere, per quanto possibile, evitato.

- in acciaio, rappresentando una valida alternativa per la loro leggerezza e la limitata invasività. Essi possono essere eseguiti in due diversi modi: a) attraverso una struttura reticolare, in elementi angolari e piatti metallici, posta in sommità e collegata tramite perfori armati¹³; b) tramite piatti o profili sui due paramenti, posti poco al di sotto della sommità della muratura e collegati tra loro con barre passanti. In presenza di muratura di scarsa qualità, l'intervento deve essere accompagnato da un'opera di bonifica della fascia di muratura interessata. Il collegamento del cordolo alla muratura, opportunamente consolidata se necessario, viene eseguito tramite perfori armati. I cordoli metallici si prestano particolarmente bene al collegamento degli elementi lignei della copertura e contribuiscono all'eliminazione delle eventuali spinte.
- in calcestruzzo armato (c.a.), solo se di altezza limitata, per evitare eccessivi appesantimenti ed irrigidimenti, che si sono dimostrati dannosi in quanto producono elevate sollecitazioni tangenziali tra cordolo e muratura, con conseguenti scorrimenti e disgregazione di quest'ultima. In particolare, tali effetti si sono manifestati nei casi in cui anche la struttura di copertura era stata irrigidita ed appesantita. E' in genere opportuno un consolidamento della muratura sommitale, per limitare la diversa rigidità dei due elementi. Il collegamento tramite perfori armati può essere adottato, se ritenuto necessario, dopo aver verificato che questi possono essere ancorati efficacemente nella muratura, eventualmente consolidata.

L'efficace connessione dei solai di piano e delle coperture alle murature è necessaria per evitare lo sfilamento delle travi, con conseguente crollo del solaio, e può permettere ai solai di svolgere un'azione di distribuzione delle forze orizzontali e di contenimento delle pareti. Nel caso di solai intermedi, le teste di travi lignee possono essere ancorate alla muratura tramite elementi, metallici o in altro materiale resistente a trazione, ancorati sul paramento opposto.

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

6.3.3 Interventi volti a ridurre le spinte di archi e volte ed al loro consolidamento

Gli interventi sulle strutture ad arco o a volta possono essere realizzati con il ricorso alla tradizionale tecnica delle catene, che compensino le spinte indotte sulle murature di appoggio e ne impediscano l'allontanamento reciproco. Le catene andranno poste di norma alle reni di archi e volte. Qualora non sia possibile questa disposizione, si potranno collocare le catene a livelli diversi (ad esempio estradossali) purché ne sia dimostrata l'efficacia nel contenimento della spinta e siano verificate le sollecitazioni taglianti e flessionali che si producono nella parete. Le catene devono essere poste in opera con un'adeguata presollecitazione, in modo da assorbire parte dell'azione spingente valutata tramite il calcolo (valori eccessivi del tiro potrebbero indurre danneggiamenti localizzati).

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

¹³ I perfori servono a collegare gli elementi di acciaio posti sulle due facce della parete.

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

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

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

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

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

I solai devono essere efficacemente collegati alle pareti murarie, attraverso un appoggio sufficientemente ampio e, talvolta, elementi di connessione che ne impediscano lo sfilamento. Il ruolo dei solai nel comportamento sismico delle costruzioni in muratura è quello di trasferire le azioni orizzontali di loro competenza alle pareti disposte nella direzione parallela al sisma; inoltre essi possono costituire un ulteriore vincolo per le pareti sollecitate da azioni ortogonali al proprio piano, oltre all'ammorsamento con le pareti ortogonali ed ai sistemi di collegamento puntuale. Per le suddette ragioni risulta utile un limitato irrigidimento dei solai, di cui vanno valutati gli effetti, a cui si associa inevitabilmente un aumento della resistenza degli elementi. Solo in casi particolari risulta invece necessario un irrigidimento significativo dei solai nel proprio piano, con l'obiettivo di ripartire l'azione sismica tra le diverse pareti; nella maggior parte dei casi questa ripartizione porta a concentrare le forze sugli elementi più rigidi, anticipandone la rottura, e sugli elementi perimetrali, nel caso d'irregolarità planimetriche con accentuazione degli effetti torsionali. Compatibilmente con il rispetto delle precedenti finalità, è opportuno che i solai con struttura in legno siano il più possibile conservati, anche in considerazione del loro ridotto peso proprio.

Un limitato irrigidimento dei solai, nel caso dei solai lignei, può essere conseguito operando all'estradosso sul tavolato. Una possibilità è fissare un secondo tavolato su quello esistente, disposto con andamento ortogonale o inclinato, ponendo particolare attenzione ai collegamenti con i muri laterali; in alternativa, o in aggiunta, si possono usare rinforzi con bandelle metalliche, o di materiali compositi, fissate al tavolato con andamento incrociato. Un analogo beneficio può essere conseguito attraverso un controventamento realizzato con tiranti metallici. Nel caso di solai a semplice orditura, dovrà essere curato il collegamento con le pareti parallele alle travi, realizzandolo, ad esempio, con bandelle fissate al tavolato ed ancorate nella muratura.

Nei casi in cui risulti necessario un consolidamento statico del solaio per le azioni flessionali, è possibile, con le tecniche legno-legno, limitare la deformabilità flessionale ed aumentare la resistenza con un secondo tavolato, utilizzando, ortogonalmente rispetto al tavolato esistente, dei nuovi tavoloni continui, resi collaboranti alle travi mediante perni anche di legno.

Anche mediante la tecnica di rinforzo con soletta collaborante in calcestruzzo, eventualmente alleggerito, si può realizzare un irrigidimento nel piano del solaio e flessionale; gli effetti di tale intervento vanno valutati in relazione alle specifiche esigenze di conservazione. Nel caso in cui gli elementi lignei non siano adeguatamente collegati alle murature, può risultare necessario collegare la soletta alle pareti, tramite elementi puntuali analoghi a quelli già indicati.

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

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

6.3.5 Interventi in copertura

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

In generale, vanno il più possibile sviluppati i collegamenti e le connessioni reciproche tra la parte terminale della muratura e le orditure e gli impalcati del tetto, ricercando le configurazioni e le tecniche compatibili con le diverse culture costruttive locali. Oltre al collegamento con capochiave metallico, che impedisce la traslazione, si possono realizzare cordoli-tirante in legno o in metallo opportunamente connessi sia alle murature sia alle orditure in legno del tetto (cuffie metalliche), a formare al tempo stesso un elemento di connessione sul bordo superiore delle murature ed un elemento di ripartizione dei carichi concentrati delle orditure del tetto. Vanno in generale evitati i cordoli in cemento armato di elevato spessore, per la diversa rigidità che essi introducono nel sistema e per l'impatto che producono. Essi possono essere utilizzati solo quando non alterino la situazione statica della muratura e ne sia dimostrata chiaramente l'efficacia, coerentemente con quanto già indicato al punto 6.2.1.

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

Nel caso delle capriate, deve essere presente un buon collegamento nei nodi, necessario ad evitare scorrimenti e distacchi in presenza di azioni orizzontali. Questo può essere migliorato con piastre e barre metalliche o con altri materiali (ad esempio fibrorinforzati).

Possono essere introdotte forme di parziale irrigidimento delle falde, ad esempio per mezzo di tavolati sovrapposti e incrociati a quelli esistenti, con opportuni collegamenti ai bordi della muratura, o tramite controventi posti all'intradosso, realizzati con semplici catene metalliche.

6.3.6 Interventi volti ad incrementare la resistenza degli elementi murari

Questi interventi sono mirati sia al risanamento ed alla riparazione di murature deteriorate e danneggiate, sia al miglioramento delle proprietà meccaniche della muratura; la soluzione tecnica da applicare andrà valutata anche in base alla tipologia e alla qualità della muratura. Gli interventi dovranno utilizzare materiali con caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche analoghe e, comunque, il più possibile compatibili con quelle dei materiali in opera. 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.

A seconda dei casi si procederà:

- a riparazioni localizzate di parti lesionate o degradate;
- a ricostruire la compagine muraria in corrispondenza di manomissioni quali cavità, vani di varia natura (scarichi e canne fumarie, ecc.);
- a migliorare le caratteristiche di murature particolarmente scadenti per tipo di apparecchiatura e/o di composto legante.

L'intervento di *scuci e cuci* è finalizzato al ripristino della continuità muraria lungo le linee di fessurazione ed al risanamento di porzioni di muratura gravemente deteriorate. Si consiglia di utilizzare materiali simili a quelli originari per forma, dimensioni, rigidità e resistenza, collegando i nuovi elementi alla muratura esistente con adeguate ammorsature nel piano del paramento murario e se possibile anche trasversalmente al paramento stesso, in modo da conseguire la massima omogeneità e monoliticità della parete riparata. Tale intervento può essere utilizzato anche per la chiusura di nicchie, canne fumarie e per la riduzione dei

vuoti, in particolare nel caso in cui la nicchia/apertura/cavità sia posizionata a ridosso di angolate o martelli murari.

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

L'intervento di ristilatura dei giunti, se effettuato in profondità su entrambi i lati, può migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura, in particolare nel caso di murature di spessore non elevato. Se eseguito su murature di medio o grosso spessore, con paramenti non idoneamente collegati tra loro o incoerenti, tale intervento può non essere sufficiente a garantire un incremento consistente di resistenza, ed è consigliabile effettuarlo in combinazione con altri. Si tenga presente, tuttavia, che tale tecnica potrebbe andare a cancellare tracce storiche significative, come le vecchie stilature e allisciature. Essa va usata quindi con cautela e preve opportune analisi.

L'inserimento di diatoni artificiali, realizzati in conglomerato armato dentro fori di carotaggio, può realizzare un efficace collegamento tra i paramenti murari, evitando il distacco di uno di essi o l'innesco di fenomeni di instabilità per compressione; inoltre, tale intervento conferisce alla parete un comportamento monolitico per azioni ortogonali al proprio piano. E' particolarmente opportuno in presenza di murature con paramenti non collegati fra loro; nel caso di paramenti degradati è opportuno bonificare questi tramite le tecniche descritte al riguardo (iniezioni di malta, ristilatura dei giunti). Va tenuto presente che si tratta di un intervento che può assumere carattere invasivo e quindi irreversibile, anche in relazione all'estensione necessaria per la sua efficacia, e per tale ragione va applicato solo ove effettivamente necessario.

Nel caso in cui la porzione muraria che necessita di rinforzo sia limitata, una valida alternativa è rappresentata dai tirantini antispulsivi, costituiti da sottili barre trasversali imbullonate con rondelle sui paramenti; la leggera presollecitazione che può essere attribuita rende quest'intervento idoneo nei casi in cui siano già evidenti rigonfiamenti per distacco dei paramenti. Tale tecnica può essere applicata nel caso di murature a tessitura regolare o in pietra squadrata, in mattoni o blocchi.

Il placcaggio delle murature con intonaco armato costituisce un intervento invasivo e non coerente con i principi della conservazione; inoltre, l'efficacia è garantita solo in presenza di una perfetta realizzazione, con intonaco armato su entrambi i paramenti e posa in opera delle necessarie barre trasversali di collegamento. Dal punto di vista sismico, è opportuno considerare che l'elevata rigidità a taglio dei pannelli murari così rinforzati altera profondamente il comportamento originario della costruzione, non sempre in modo favorevole. Tale tecnica può essere presa in considerazione solo nel caso di murature gravemente danneggiate e incoerenti, sulle quali non sia possibile intervenire altrimenti, o in porzioni limitate di muratura, pesantemente gravate da carichi verticali. In questi casi un'alternativa può essere anche la demolizione e ricostruzione della porzione muraria.

Il placcaggio con tessuti o lamine in materiale fibrorinforzato è anch'esso un intervento invasivo, la cui efficacia va adeguatamente comprovata, sia a livello locale che di comportamento globale; inoltre valgono le considerazioni già formulate al punto 6.2.2, relativamente alla compatibilità di questi materiali e delle resine di incollaggio con la muratura storica. Tale tecnica può rappresentare una soluzione per interventi localizzati, ad esempio rinforzi flessionali di fasce murarie, verticali od orizzontali, per assorbire la spinta di elementi della copertura, di archi e di volte.

Le perforazioni armate, indicate al punto 6.2.2 come possibile soluzione per il miglioramento puntuale del collegamento tra elementi murari (anche se con forti riserve), non possono essere considerate come efficace soluzione per un intervento sistematico e generalizzato di consolidamento della muratura. Analogo discorso vale per i sistemi di tirantature diffuse nelle tre direzioni ortogonali, in particolare anche nella direzione trasversale, che pur se mirate a migliorare la monoliticità ed il comportamento meccanico del corpo murario, hanno un forte impatto sulla conservazione della materia storica.

L'inserimento di tiranti verticali post-tesi è un intervento applicabile solo in casi particolari e se la muratura si dimostra in grado di sopportare l'incremento di sollecitazione verticale, sia a livello globale sia

localmente, in corrispondenza degli ancoraggi; in ogni caso deve essere tenuta in considerazione la perdita di tensione iniziale a causa delle deformazioni differite della muratura. Tale soluzione tende a snaturare l'originale funzionamento della costruzione in muratura, per cui deve essere presa in considerazione solo in assenza di alternative.

Nel caso di pareti decorate o di superfici affrescate gli interventi di consolidamento citati possono essere utilizzati solo agendo con estrema cautela; per quanto possibile è da ritenersi preferibile consolidare altre strutture contigue con interventi di analoga efficacia e comunque operare con l'ausilio anche di competenze specializzate nel restauro di tali superfici.

6.3.7 Pilastri e colonne

Essendo pilastri e colonne essenzialmente destinati a sopportare carichi verticali con modeste eccentricità, gli interventi vanno configurati in modo da:

- ricostituire la resistenza iniziale a sforzo normale, ove perduta, mediante provvedimenti quali cerchiature e tassellature; in alcuni casi può essere accettabile il ricorso ad incollaggi con resine;
- eliminare o comunque contenere le spinte orizzontali mediante provvedimenti, quali l'inserimento di catene in presenza di archi, volte e coperture o, ove opportuno, la realizzazione od il rafforzamento di contrafforti;
- ricostituire o realizzare collegamenti di idonea rigidità, al fine di trasferire le azioni orizzontali ad elementi murari di maggiore rigidità.

Vanno evitati, se non in mancanza di alternative da dimostrare con dettagliata specifica tecnica, gli inserimenti di anelli metalliche in asse alla colonna, cui affidare la capacità portante, o di tiranti verticali precompressi, per conferire maggiore resistenza a flessione e taglio.

6.3.8 Interventi su elementi non strutturali

Per la valutazione della vulnerabilità sismica degli elementi non strutturali (cornicioni, parapetti, camini) sarebbe necessario tenere conto della possibile amplificazione delle accelerazioni alle diverse quote dell'edificio e dell'interazione dinamica tra l'elemento e la struttura. In genere l'esperienza dei costruttori, consolidata nei secoli, ed il collaudo del tempo devono essere tenuti presenti per giudicare la sicurezza di questi elementi, in particolare di quelli che non presentano evidenti problematiche nel collegamento con la struttura (fessurazioni, rotazioni, ecc.).

Nei casi ritenuti problematici, occorre intervenire migliorando la capacità di spostamento prima dello stato limite ultimo, tramite ritegni laterali o ampliamenti della base d'appoggio, ed eventualmente migliorare la connessione con la struttura, tenendo presente che una variazione delle proprietà dinamiche può incrementare l'azione sismica sull'elemento.

6.3.9 Interventi in fondazione

L'inadeguatezza delle fondazioni è raramente la sola o la principale causa dei danni osservati dopo un terremoto. E' possibile omettere gli interventi sulle strutture di fondazione, nonché le relative verifiche, qualora si riscontrino le seguenti condizioni:

- non siano presenti significativi dissesti attribuibili a cedimenti in fondazione e sia stato accertato che dissesti di questa natura non si siano verificati neppure in passato;
- gli interventi progettati sulla struttura in elevazione non comportino sostanziali alterazioni dello schema statico del fabbricato;
- gli stessi interventi non comportino rilevanti modifiche delle sollecitazioni trasmesse alle fondazioni;
- siano esclusi fenomeni di ribaltamento della costruzione per effetto delle azioni sismiche.

Nei casi in cui le indagini e le analisi mettano in evidenza la necessità di un intervento in fondazione, l'intervento stesso dovrà mirare alla massima uniformità delle condizioni di appoggio al fine di ottenere una distribuzione il più possibile uniforme delle pressioni di contatto. A tal fine, in generale sono da privilegiare interventi di ampliamento della base fondale con sottomurazione, rispetto al ricorso a pali di piccolo diametro o ad altre tecniche di consolidamento localizzato del terreno quali trattamenti colonnari con *jet grouting* o *deep mixing*.

L'intervento potrà essere basato sui seguenti provvedimenti, o su di una combinazione di essi.

Allargamento delle fondazioni mediante cordoli o platea armata. L'intervento dovrà essere realizzato curando il collegamento fra vecchia e nuova fondazione al fine di ottenere un corpo monolitico atto a diffondere le tensioni in modo omogeneo. A tal fine si adotteranno travi in c.a. armate e staffate, traversi in acciaio di idonea rigidità, barre post-tese che garantiscano una trasmissione degli sforzi per attrito e simili accorgimenti. Questo tipo di intervento ha anche l'effetto benefico di realizzare un efficace collegamento orizzontale fra le murature a livello di fondazione.

Inserimento di pali trivellati di piccolo diametro (micropali, pali radice). Questo intervento modifica in modo significativo il comportamento delle fondazioni e pertanto di norma dovrebbe essere esteso all'intero edificio e non limitato alle porzioni interessate dai dissesti. Sarà sempre necessaria un'ideale struttura di collegamento fra i pali e la fondazione esistente (ad esempio, cordoli armati connessi alla fondazione con accorgimenti analoghi a quelli elencati al punto precedente), a meno che i pali non siano trivellati attraverso la muratura con una lunghezza di perforazione sufficiente a trasferire i carichi per aderenza. In quest'ultimo caso, occorrerà verificare la resistenza della struttura esistente nelle mutate condizioni di appoggio, ammettendo l'ipotesi cautelativa che tutti i carichi agenti si trasferiscano ai pali.

Consolidamento dei terreni di fondazione. I metodi d'intervento possono essere scelti in un'ampia gamma di tipologie, come ad esempio iniezioni di miscele cementizie, resine, silicati o altre sostanze chimiche; trattamenti colonnari di *jet grouting* o *deep mixing*. Tali interventi vanno, in linea di principio, evitati qualora si rilevi la presenza di substrati archeologici.

Durante la loro esecuzione, tutti gli interventi elencati producono risentimenti nella struttura che possono essere di varia entità a seconda del tipo di intervento e del terreno. Di tali risentimenti occorrerà tenere debitamente conto, sia programmando gli interventi in modo da minimizzarli, sia facendo precedere gli interventi in fondazione a quelli sulla struttura in elevazione in modo da poter effettuare le necessarie riparazioni.

Nelle situazioni in cui si ritiene possibile l'attivazione sismica di fenomeni d'instabilità del pendio, il problema deve essere affrontato agendo sul terreno e non semplicemente a livello delle strutture di fondazione.

6.4 Operazioni progettuali

6.4.1 Premesse

La struttura ed il contenuto dei progetti di intervento sui beni culturali di proprietà pubblica sono regolati dal titolo XIII del D.P.R. 554/1999 (*Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici, n. 109 del 11.2.1994*) e dal D.L. n. 30 del 22.1.2004, (*Disciplina degli appalti pubblici di lavori concernenti i beni culturali*), oltre che da due circolari del MiBAC (n. 42 del 5.4.2002 e n. 20 del 16.2.2004).

Sebbene il quadro normativo riguardi specificamente le opere pubbliche, si ritiene che la sua impostazione generale sia adottabile anche in campo privato.

Il D.P.R. 554/1999 (titolo XIII, capo II) articola i progetti di restauro in tre fasi (progetto preliminare, definitivo, esecutivo), secondo il medesimo schema adottato per la progettazione dei lavori pubblici in generale (D.P.R. 554/1999, titolo III, capo II).

L'elaborazione dei progetti di restauro si distingue, tuttavia, per diverse ragioni. In primo luogo, non è necessario produrre tutti gli elaborati richiesti dalla norma (Titolo III, capo II), ma è possibile produrre solo gli elaborati compatibili con la specificità dei beni su cui si interviene (Titolo XIII, Capo II, art. 213, comma 4). In secondo luogo, si richiede che i processi di conoscenza, analisi e diagnosi del bene su cui si interviene siano parte integrante del progetto di restauro. Si assume, in sostanza, che la conoscenza del manufatto, elemento imprescindibile del progetto di restauro, possa difficilmente essere esaustiva prima dell'installazione del cantiere e che, pertanto, possa essere elaborata in fasi successive, con un procedimento iterativo mirato ad ottimizzare l'intervento. Per questo motivo, ad esempio, il progetto esecutivo può essere redatto per stralci successivi (entro il quadro tracciato dal progetto definitivo) e può avvalersi, ove necessario, di nuovi approfondimenti di indagine a completamento delle indagini e delle ricerche precedentemente svolte.

Pur nell'ambito del quadro normativo suddetto, nei successivi paragrafi si specificano gli elaborati da allegare ai progetti di restauro al fine di documentare il processo di valutazione della sicurezza sismica oggetto della presente Direttiva.

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 γ_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 γ_i . Sono forniti valori di γ_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.

COPIA TRATTA DA GURITEL — GAZZETTA UFFICIALE ONLINE

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

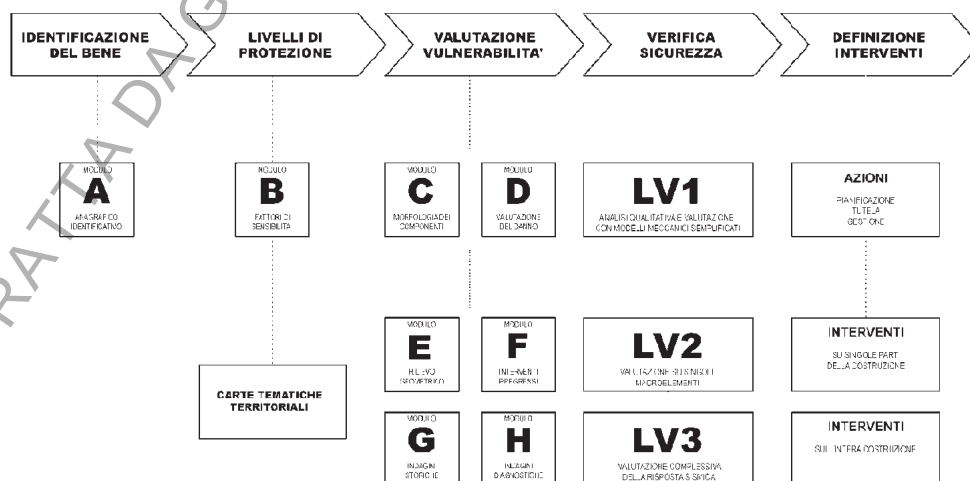
L'approccio conoscitivo ad una fabbrica storica rappresenta un percorso metodologico "inverso" rispetto agli edifici di nuova costruzione: dall'analisi della realtà materica della costruzione, attraverso successivi livelli di approfondimento, al riconoscimento del funzionamento strutturale accertato 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 SENSIBILITÀ' → VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ' → 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 entroterra

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.

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

B2b. caratteristiche ambientali geografiche

Nota esplicativa.

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

B2c. caratteristiche ambientali antropiche

Nota esplicativa.

Riporiare 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.

Riporiare 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.

Riporiare 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 alzata 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.

Riportare 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-numerici 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 orditura 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 lapideo, ligneo, ceramico, controsoffitto, 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 elementi 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

rt0 = 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
- ☐ spancamento
- ☐ 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
- ☐ rosume

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
- ☐ franc/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

COPIA TRATTA DA GURITEL — GAZZETTA UFFICIALE ON-LINE

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 manifestatosi), 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 $p_k=0$; agli altri dovrebbe essere attribuito il valore $p_k=1$, ad eccezione dei meccanismi 4 e 15 ($p_k=0.5$) e di alcuni meccanismi (10, 11, 12, 18, 20, 22, 23, 24, 25, 26), nei quali si dovrà scegliere un valore $0.5 < p_k < 1$, 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 spanciamenti

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/pilastrini 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 pilastrini – 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 rinfranchi 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
- Ammassamento 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 rinfranchi 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 squadriati 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'aggetto 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

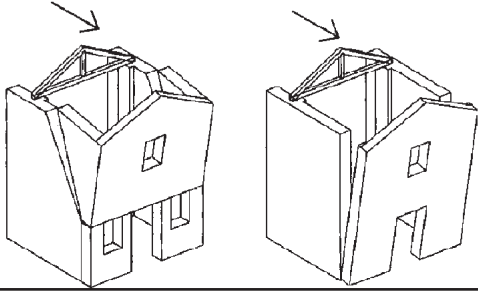
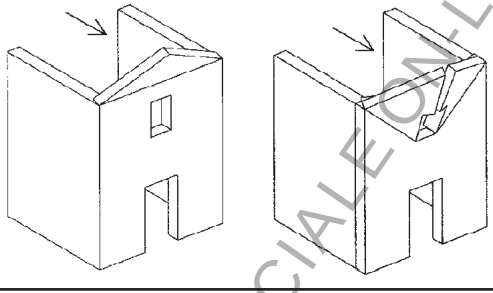
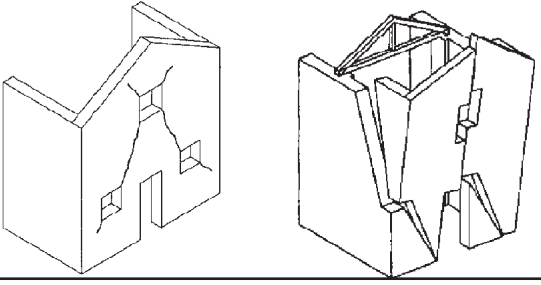
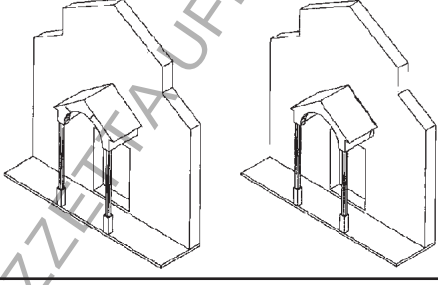
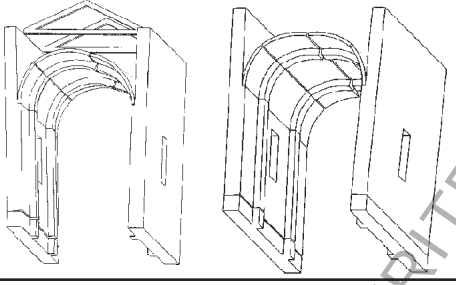
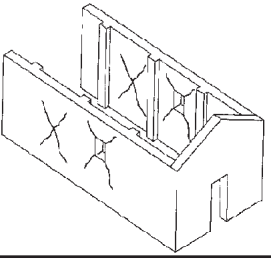
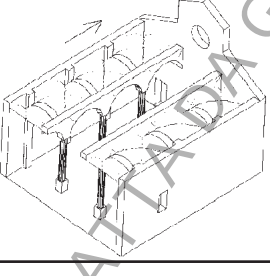
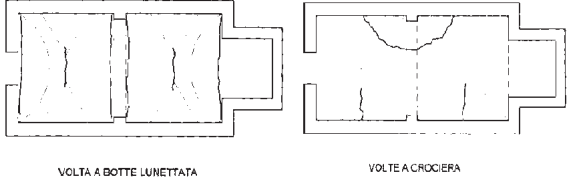
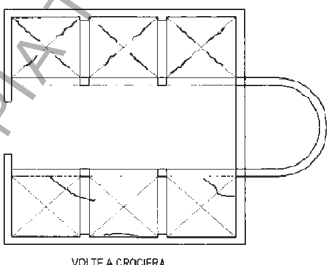
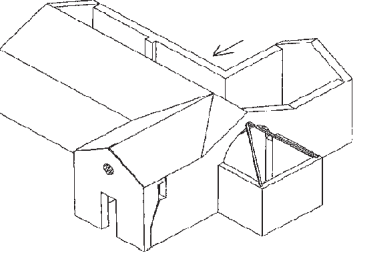
Presidi antisismici

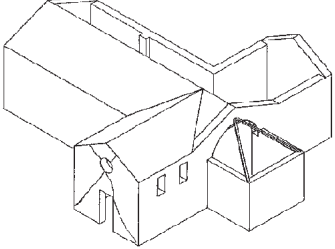
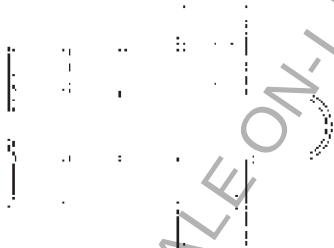
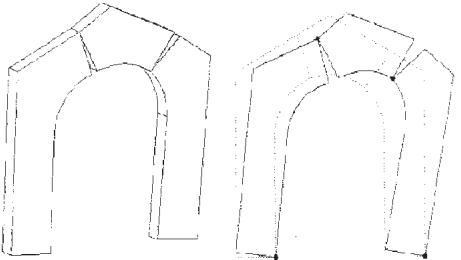
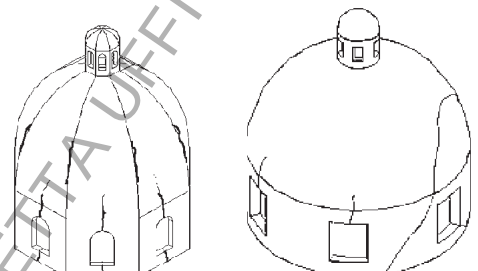
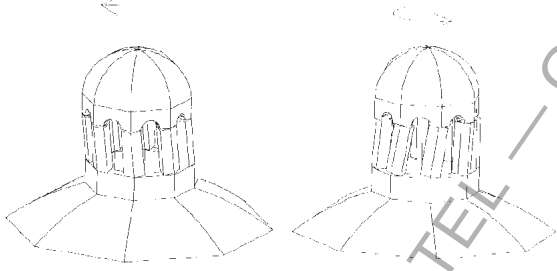
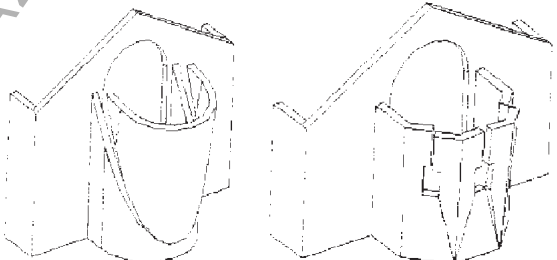
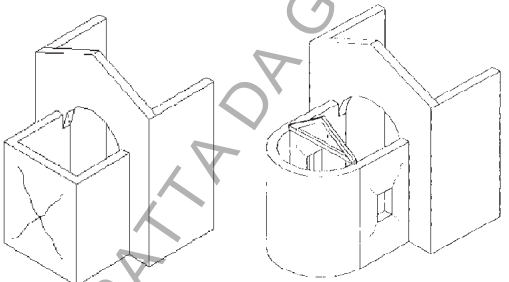
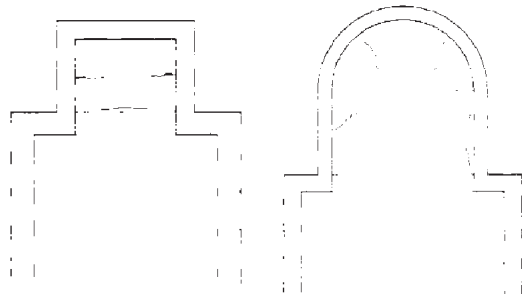
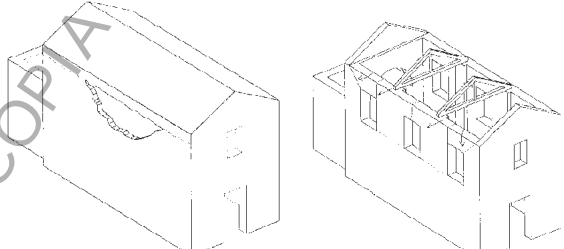
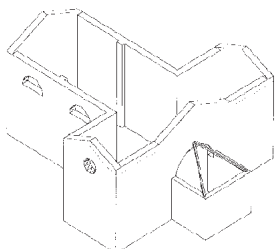
- Presenza di piedritti tozzi c/o archi di luce ridotta
- Presenza di catene o cerchiature

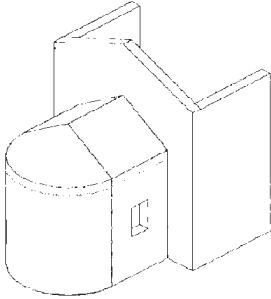
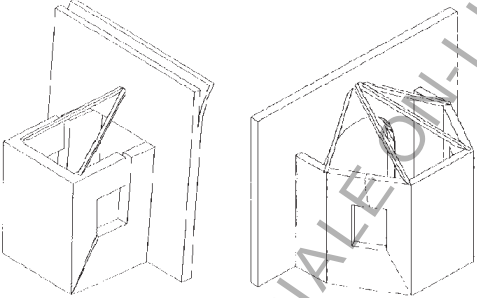
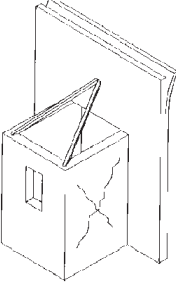
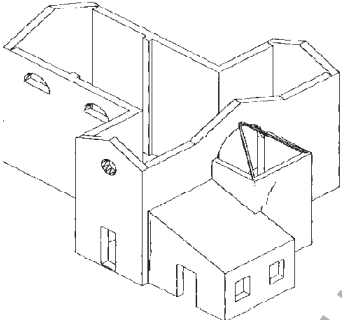
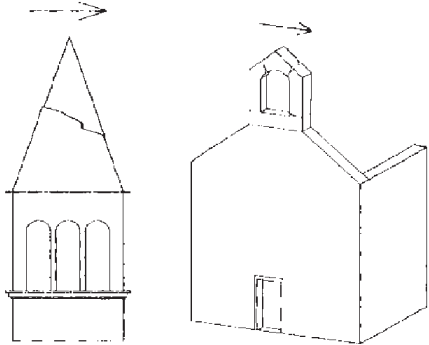
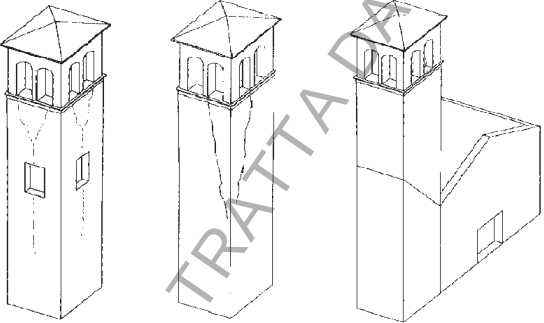
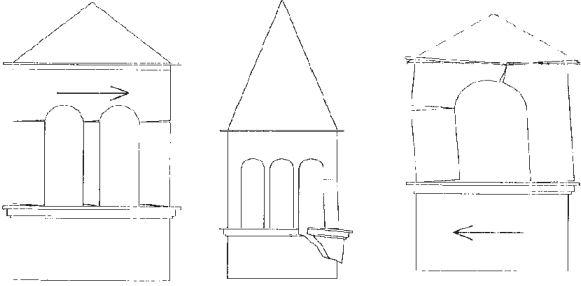
Indicatori di vulnerabilità

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

ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE

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

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

21 - ELEMENTI DI COPERTURA: ABSIDE 	22 - RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE 
23 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE CAPPELLE 	24 - VOLTE DELLE CAPPELLE 
25 - INTERAZIONI IN PROSSIMITA' DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE 	26 - AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE) 
27 - TORRE CAMPANARIA 	28 - CELLA CAMPANARIA 

08A00607

AUGUSTA IANNINI, direttore

ALFONSO ANDRIANI, redattore

COPIA TRATTA DA GURITEL — GAZZETTA UFFICIALE ON-LINE

ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO
LIBRERIE CONCESSIONARIE PRESSO LE QUALI È IN VENDITA LA GAZZETTA UFFICIALE

cap	località	libreria	indirizzo	pref.	tel.	fax
00041	ALBANO LAZIALE (RM)	LIBRERIA CARACUZZO	Corso Matteotti, 201	06	9320073	93260286
60121	ANCONA	LIBRERIA FOGOLA	Piazza Cavour, 4-5-6	071	2074606	2060205
81031	AVERSA (CE)	LIBRERIA CLA.ROS	Via L. Da Vinci, 18	081	8902431	8902431
70124	BARI	CARTOLIBRERIA QUINTILIANO	Via Arcidiacono Giovanni, 9	080	5042665	5610818
70121	BARI	LIBRERIA EGAFNET.IT	Via Crisanzio, 16	080	5212142	5243613
13900	BIELLA	LIBRERIA GIOVANNACCI	Via Italia, 14	015	2522313	34983
40132	BOLOGNA	LIBRERIA GIURIDICA EDINFORM	Via Ercole Nani, 2/A	051	4218740	4210565
40124	BOLOGNA	LIBRERIA GIURIDICA - LE NOVITÀ DEL DIRITTO	Via delle Tovaglie, 35/A	051	3399048	3394340
21052	BUSTO ARSIZIO (VA)	CARTOLIBRERIA CENTRALE BORAGNO	Via Milano, 4	0331	626752	626752
91022	CASTELVETRANO (TP)	CARTOLIBRERIA MAROTTA & CALIA	Via Q. Sella, 106/108	0924	45714	45714
95128	CATANIA	CARTOLIBRERIA LEGISLATIVA S.G.C. ESSEGICI	Via F. Riso, 56/60	095	430590	508529
88100	CATANZARO	LIBRERIA NISTICÒ	Via A. Daniele, 27	0961	725811	725811
66100	CHIETI	LIBRERIA PIROLA MAGGIOLI	Via Asinio Herio, 21	0871	330261	322070
22100	COMO	LIBRERIA GIURIDICA BERNASCONI - DECA	Via Mentana, 15	031	262324	262324
87100	COSENZA	LIBRERIA DOMUS	Via Monte Santo, 70/A	0984	23110	23110
50129	FIRENZE	LIBRERIA PIROLA già ETRURIA	Via Cavour 44-46/R	055	2396320	288909
71100	FOGGIA	LIBRERIA PATIERNO	Via Dante, 21	0881	722064	722064
16121	GENOVA	LIBRERIA GIURIDICA	Galleria E. Martino, 9	010	565178	5705693
95014	GIARRE (CT)	LIBRERIA LA SEÑORITA	Via Trieste angolo Corso Europa	095	7799877	7799877
73100	LECCE	LIBRERIA LECCE SPAZIO VIVO	Via Palmieri, 30	0832	241131	303057
74015	MARTINA FRANCA (TA)	TUTTOUFFICIO	Via C. Battisti, 14/20	080	4839784	4839785
98122	MESSINA	LIBRERIA PIROLA MESSINA	Corso Cavour, 55	090	710487	662174
20100	MILANO	LIBRERIA CONCESSIONARIA I.P.Z.S.	Galleria Vitt. Emanuele II, 11/15	02	865236	863684

COPIA TRATTA DA GURITEL — GAZZETTA UFFICIALE ON-LINE

Segue: LIBRERIE CONCESSIONARIE PRESSO LE QUALI È IN VENDITA LA GAZZETTA UFFICIALE

cap	località	libreria	indirizzo	pref.	tel.	fax
28100	NOVARA	EDIZIONI PIROLA E MODULISTICA	Via Costa, 32/34	0321	626764	626764
90138	PALERMO	LA LIBRERIA DEL TRIBUNALE	P.za V.E. Orlando, 44/45	091	6118225	552172
90138	PALERMO	LIBRERIA S.F. FLACCOVIO	Piazza E. Orlando, 15/19	091	334323	6112750
90145	PALERMO	LA LIBRERIA COMMISSIONARIA	Via S. Gregoriotti, 6	091	6859904	6859904
90133	PALERMO	LIBRERIA FORENSE	Via Maqueda, 185	091	6168475	6177342
43100	PARMA	LIBRERIA MAIOLI	Via Farini, 34/D	0521	286226	284922
06087	PERUGIA	CALZETTI & MARIUCCI	Via della Valtiera, 229	075	5997736	5990120
29100	PIACENZA	NUOVA TIPOGRAFIA DEL MAINO	Via Quattro Novembre, 160	0523	452342	461203
59100	PRATO	LIBRERIA CARTOLERIA GORI	Via Ricasoli, 26	0574	22061	610353
00192	ROMA	LIBRERIA DE MIRANDA	Viale G. Cesare, 51/E/F/G	06	3213303	3216695
00187	ROMA	LIBRERIA GODEL	Via Poli, 46	06	6798716	6790331
00187	ROMA	STAMPERIA REALE DI ROMA	Via Due Macelli, 12	06	6793268	69940034
63039	SAN BENEDETTO D/T (AP)	LIBRERIA LA BIBLIOFILA	Via Ugo Bassi, 38	0735	587513	576134
10122	TORINO	LIBRERIA GIURIDICA	Via S. Agostino, 8	011	4367076	4367076
36100	VICENZA	LIBRERIA GALLA 1880	Viale Roma, 14	0444	225225	225238

MODALITÀ PER LA VENDITA

La «Gazzetta Ufficiale» e tutte le altre pubblicazioni dell'Istituto sono in vendita al pubblico:

- presso l'Agenzia dell'Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato S.p.A. in ROMA, piazza G. Verdi, 10 - ☎ 06 85082147;
- presso le librerie concessionarie indicate (elenco consultabile sul sito www.ipzs.it)

L'Istituto conserva per la vendita le Gazzette degli ultimi 4 anni fino ad esaurimento. Le richieste per corrispondenza potranno essere inviate a:

Funzione Editoria - U.O. DISTRIBUZIONE
Attività Librerie concessionarie, Vendita diretta e Abbonamenti a periodici
Piazza Verdi 10, 00198 Roma
fax: 06-8508-4117
e-mail: editoriale@ipzs.it

avendo cura di specificare nell'ordine, oltre al fascicolo di GU richiesto, l'indirizzo di spedizione e di fatturazione (se diverso) ed indicando il codice fiscale per i privati. L'importo della fornitura, maggiorato di un contributo per le spese di spedizione, sarà versato in contanti alla ricezione.

Le inserzioni, come da norme riportate nella testata della parte seconda, si ricevono con pagamento anticipato, presso le agenzie in Roma e presso le librerie concessionarie.

Per informazioni, prenotazioni o reclami attinenti agli abbonamenti oppure alla vendita della Gazzetta Ufficiale bisogna rivolgersi direttamente all'Amministrazione, presso l'Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato - Piazza G. Verdi, 10 - 00100 ROMA

Gazzetta Ufficiale Abbonamenti
☎ 800-864035 - Fax 06-85082520

Vendite
☎ 800-864035 - Fax 06-85084117

Ufficio inserzioni
☎ 800-864035 - Fax 06-85082242

Numero verde
☎ 800-864035

COPIA TRATTA DA GURITEL — GAZZETTA UFFICIALE ON-LINE

GAZZETTA UFFICIALE
DELLA REPUBBLICA ITALIANA

CANONI DI ABBONAMENTO ANNO 2008 (salvo conguaglio) (*)

GAZZETTA UFFICIALE - PARTE I (legislativa)

		CANONE DI ABBONAMENTO	
Tipo A	Abbonamento ai fascicoli della serie generale, inclusi tutti i supplementi ordinari: (di cui spese di spedizione € 257,04) (di cui spese di spedizione € 128,52)	- annuale €	438,00
		- semestrale €	239,00
Tipo A1	Abbonamento ai fascicoli della serie generale, inclusi i soli supplementi ordinari contenenti i provvedimenti legislativi: (di cui spese di spedizione € 132,57) (di cui spese di spedizione € 66,28)	- annuale €	309,00
		- semestrale €	167,00
Tipo B	Abbonamento ai fascicoli della serie speciale destinata agli atti dei giudizi davanti alla Corte Costituzionale: (di cui spese di spedizione € 19,29) (di cui spese di spedizione € 9,64)	- annuale €	68,00
		- semestrale €	43,00
Tipo C	Abbonamento ai fascicoli della serie speciale destinata agli atti della CE: (di cui spese di spedizione € 41,27) (di cui spese di spedizione € 20,63)	- annuale €	168,00
		- semestrale €	91,00
Tipo D	Abbonamento ai fascicoli della serie destinata alle leggi e regolamenti regionali: (di cui spese di spedizione € 15,31) (di cui spese di spedizione € 7,65)	- annuale €	65,00
		- semestrale €	40,00
Tipo E	Abbonamento ai fascicoli della serie speciale destinata ai concorsi indetti dallo Stato e dalle altre pubbliche amministrazioni: (di cui spese di spedizione € 50,02) (di cui spese di spedizione € 25,01)	- annuale €	167,00
		- semestrale €	90,00
Tipo F	Abbonamento ai fascicoli della serie generale, inclusi tutti i supplementi ordinari, ed ai fascicoli delle quattro serie speciali: (di cui spese di spedizione € 383,93) (di cui spese di spedizione € 191,46)	- annuale €	819,00
		- semestrale €	431,00
Tipo F1	Abbonamento ai fascicoli della serie generale inclusi i supplementi ordinari con i provvedimenti legislativi e ai fascicoli delle quattro serie speciali: (di cui spese di spedizione € 264,45) (di cui spese di spedizione € 132,22)	- annuale €	682,00
		- semestrale €	357,00

N.B.: L'abbonamento alla GURI tipo A, A1, F, F1 comprende gli indici mensili
Integrando con la somma di € 80,00 il versamento relativo al tipo di abbonamento alla *Gazzetta Ufficiale* - parte prima - prescelto, si riceverà anche l'**Indice Repertorio Annuale Cronologico per materie anno 2008**.

CONTO RIASSUNTIVO DEL TESORO

Abbonamento annuo (incluse spese di spedizione) € **56,00**

PREZZI DI VENDITA A FASCICOLI

(Oltre le spese di spedizione)

Prezzi di vendita: serie generale	€	1,00
serie speciali (escluso concorsi), ogni 16 pagine o frazione	€	1,00
fascicolo serie speciale, <i>concorsi</i> , prezzo unico	€	1,50
supplementi (ordinari e straordinari), ogni 16 pagine o frazione	€	1,00
fascicolo Bollettino Estrazioni, ogni 16 pagine o frazione	€	1,00
fascicolo Conto Riassuntivo del Tesoro, prezzo unico	€	6,00

I.V.A. 4% a carico dell'Editore

5ª SERIE SPECIALE - CONTRATTI ED APPALTI

(di cui spese di spedizione € 127,00)

(di cui spese di spedizione € 73,00)

- annuale € **295,00**
- semestrale € **162,00**

GAZZETTA UFFICIALE - PARTE II

(di cui spese di spedizione € 39,40)

(di cui spese di spedizione € 20,60)

- annuale € **85,00**
- semestrale € **53,00**

Prezzo di vendita di un fascicolo, ogni 16 pagine o frazione (oltre le spese di spedizione) € 1,00

I.V.A. 20% inclusa

RACCOLTA UFFICIALE DEGLI ATTI NORMATIVI

Abbonamento annuo € **190,00**
Abbonamento annuo per regioni, province e comuni - SCONTO 5% € **180,50**

Volume separato (oltre le spese di spedizione) € 18,00

I.V.A. 4% a carico dell'Editore

Per l'estero i prezzi di vendita, in abbonamento ed a fascicoli separati, anche per le annate arretrate, compresi i fascicoli dei supplementi ordinari e straordinari, devono intendersi raddoppiati. Per il territorio nazionale i prezzi di vendita dei fascicoli separati, compresi i supplementi ordinari e straordinari, relativi ad anni precedenti, devono intendersi raddoppiati. Per intere annate è raddoppiato il prezzo dell'abbonamento in corso. Le spese di spedizione relative alle richieste di invio per corrispondenza di singoli fascicoli, vengono stabilite, di volta in volta, in base alle copie richieste.

N.B. - Gli abbonamenti annui decorrono dal 1° gennaio al 31 dicembre, i semestrali dal 1° gennaio al 30 giugno e dal 1° luglio al 31 dicembre.

RESTANO CONFERMATI GLI SCONTI IN USO APPLICATI AI SOLI COSTI DI ABBONAMENTO

ABBONAMENTI UFFICI STATALI

Resta confermata la riduzione del 52% applicata sul solo costo di abbonamento

* tariffe postali di cui al Decreto 13 novembre 2002 (G.U. n. 289/2002) e D.P.C.M. 27 novembre 2002 n. 294 (G.U. 1/2003) per soggetti iscritti al R.O.C.



* 4 5 - 4 1 0 3 0 1 0 8 0 1 2 9 *

€ 5,00

COPIA TRATTA DA GURITEL — GAZZETTA UFFICIALE ON-LINE