

REGIONE
TOSCANA



**Regione Toscana
Giunta Regionale**

PROGRAMMA REGIONALE VSM

“VULNERABILITA’ SISMICA DI EDIFICI IN MURATURA”

**CRITERI PER L’ESECUZIONE DELLE INDAGINI SUGLI EDIFICI IN
MURATURA, LA REDAZIONE DELLA RELAZIONE TECNICA E LA
COMPILAZIONE DELLA SCHEDA DI VULNERABILITA’ II LIV. GNDT/CNR
CON RIFERIMENTO ALLE NUOVE NORME TECNICHE PER LE
COSTRUZIONI (D.M. 14 gennaio 2008)**

**Direzione Generale delle Politiche Territoriali, Ambientali e per la
Mobilità
Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica**

aggiornamento 2012

INDICE

1	Oggetto delle istruzioni	pag. 3
2	Valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in muratura	pag. 3
2.1	Valutazione delle caratteristiche dei collegamenti tra gli elementi strutturali nella situazione attuale	pag. 5
2.1.1	Collegamento parete-parete	pag. 5
2.1.2	Collegamento pareti-orizzontamenti	pag. 6
2.2	Valutazione delle caratteristiche di resistenza degli elementi strutturali nella situazione attuale	pag. 7
2.2.1	Qualità della tessitura muraria	pag. 8
2.2.2	Qualità della malta	pag. 8
2.2.3	Qualità dei blocchi artificiali e delle pietre naturali	pag. 9
3	Informazioni generali sull'edificio	pag. 10
3.1	Relazione tecnica di vulnerabilità sismica	pag. 10
3.2	Elaborati grafici e fotografici	pag. 11
4	Modalità per l'esecuzione delle indagini necessarie e per la compilazione della scheda di II livello	pag. 12
4.1	Parametro 1: Tipo ed organizzazione del sistema resistente	pag. 13
4.1.1	Indagini sui cantonali	pag. 13
4.1.2	Indagini sui martelli murari	pag. 14
4.1.3	Indagini sui collegamenti pareti-solai	pag. 14
4.1.4	Indagini sulla presenza di cordoli in cemento armato	pag. 14
4.1.5	Indagini sulla presenza di catene	pag. 14
4.1.6	Indagini sulla presenza di spinte	pag. 15
4.2	Parametro 2: Qualità del sistema resistente	pag. 15
4.2.1	Apparecchiatura muraria e connessioni tra paramenti	pag. 15
4.2.2	Qualità dei materiali costituenti	pag. 16
4.3	Parametro 3: Resistenza convenzionale	pag. 16
4.4	Parametro 4: Posizione edificio e fondazioni	pag. 17
4.5	Parametro 5: Orizzontamenti	pag. 17
4.6	Parametro 6: Configurazione planimetrica	pag. 18
4.7	Parametro 7: Configurazione in elevazione	pag. 18
4.8	Parametro 8: Distanza massima tra le murature	pag. 19
4.9	Parametro 9: Copertura	pag. 19
4.9.1	Indagini sugli elementi spingenti e collegamento alle murature	pag. 20
4.9.2	Indagini sul peso e la rigidezza della copertura	pag. 20
4.10	Parametro 10: Elementi non strutturali	pag. 20
4.11	Parametro 11: Stato di fatto	pag. 21
5	Compilazione della scheda di I e II livello	pag. 21
6	Calcolo dell'indice di vulnerabilità	pag. 21

1 - Oggetto delle istruzioni

Le presenti **istruzioni tecniche** sono finalizzate al processo di acquisizione della conoscenza strutturale e della vulnerabilità sismica dell'edificio nella situazione attuale (stato di fatto).

In particolare fanno riferimento esplicito al processo di acquisizione della conoscenza degli edifici con struttura portante in **muratura**, anche se possono essere intese come linee guida generali per la valutazione dello stato di fatto degli edifici con diversa tipologia costruttiva.

La **conoscenza dello stato di fatto** dell'edificio assume fondamentale, necessaria ed insostituibile importanza nella valutazione delle **verifiche di sicurezza** dell'edificio e nella **progettazione** degli interventi di adeguamento, di miglioramento e di riparazione o intervento locale (stato di progetto).

Un livello di conoscenza adeguato dell'edificio può essere raggiunto soltanto attraverso **l'esecuzione di rilievi, saggi ed indagini** estesi a campione sull'intero edificio e mirati a quegli elementi strutturali critici che caratterizzano il **comportamento scatolare** d'insieme dell'edificio, al fine di evidenziarne le carenze rispetto ad un comportamento globale efficace.

In tal senso è stato ritenuto opportuno evidenziare, all'interno del testo ed in cornice, alcuni passaggi della vigente normativa sismica introdotta dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008, dalla successiva Circolare applicativa n. 617 del 2.02.2009 e dalla Direttiva P.C.M. 9.02.2011, relativa alla valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale.

2 - Valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in muratura

L'analisi della vulnerabilità sismica di un edificio con struttura portante in **muratura** consiste nel valutare la sua propensione a subire danni sotto l'azione sismica di riferimento.

Tale indicatore esprime il comportamento sismico della muratura, determinato dai seguenti due fattori:

- a) **l'importanza dei collegamenti tra pareti verticali e tra pareti ed orizzontamenti;**
- b) **il ruolo della resistenza meccanica delle pareti murarie.**

Il buon comportamento di una costruzione in muratura sotto sisma si esplica attraverso il raggiungimento di un **funzionamento scatolare**.

La capacità di resistere alle azioni orizzontali deve essere affidata ad un sistema di pareti verticali (**di taglio**) disposte nelle due direzioni principali della pianta dell'edificio.

Attraverso idonei **collegamenti** tra di esse e con i solai e la copertura possono essere ridotti i meccanismi di ribaltamento fuori del piano delle pareti e deve essere consentita una partecipazione d'insieme dei setti murari nella risposta sismica.

Presupposto essenziale per il funzionamento scatolare è il fatto che la muratura sia realizzata a regola d'arte e con materiali di qualità tale da non subire fenomeni di disgregazione.

Quanto detto deriva principalmente dal fatto che la muratura, possedendo una ridotta o nulla resistenza a trazione, denota una **scarsa resistenza alle azioni perpendicolari** al

suo piano, quando la parete è isolata; è necessario quindi **collegarla efficacemente alle pareti ortogonali** in modo da trasferire ad esse le azioni indotte dal sisma.

Il meccanismo di ribaltamento della parete viene attivato anche con azioni sismiche di modesta entità; la rottura nel piano invece è mobilitata per azioni di entità molto maggiore.

Questo rende ancora più evidente il concetto che per un corretto funzionamento scatolare il problema della resistenza della singola parete ad azioni fuori del proprio piano deve spostarsi sul problema della resistenza alle azioni agenti nel piano della parete, una volta preclusi i ribaltamenti, secondo un ben preciso ordine gerarchico. In questo caso i contributi resistenti sono di tipo flessionale e tagliente: il loro reciproco contributo dipende principalmente dalla snellezza dei maschi murari.

Un altro aspetto delicato per un buon funzionamento scatolare è il ruolo di **diaframma dei solai**: questo è necessario per ripartire correttamente le azioni sismiche tra gli elementi resistenti verticali.

Nelle costruzioni esistenti in muratura dovrà essere posta attenzione a tutti gli aspetti precedenti e l'analisi dello stato di fatto dovrà fare emergere le eventuali **carenze strutturali intrinseche dell'edificio**, al fine di stabilire quanto sia distante il suo probabile comportamento sotto l'azione sismica rispetto al corretto funzionamento scatolare.

In questa ottica si spiega il ruolo fondamentale delle **indagini sugli elementi resistenti** e assume importanza strategica la **conoscenza dei particolari costruttivi** per procedere alla valutazione della verifica di sicurezza e al progetto degli interventi.

Nelle costruzioni esistenti anche altri aspetti assumono rilevanza, ancor più che nelle nuove costruzioni, che devono essere tenuti in considerazione:

- il **sistema costruttivo delle murature**, inteso come modalità di disposizione degli elementi naturali o dei blocchi all'interno della tessitura muraria e come presenza di paramenti non collegati nel senso trasversale dello spessore complessivo del muro;
- la **qualità del sistema resistente**, intesa come la qualità e lo stato di conservazione dei materiali impiegati;
- la **rigidezza dei solai**, che deve essere messa in relazione da una parte con la sua pesantezza e dall'altra con la rigidezza e la resistenza delle pareti verticali per non creare effetti dannosi e talvolta distruttivi sulle murature portanti di scarsa qualità sulle quali i solai appoggiano.

Le **regolarità in pianta e in elevazione** sono altri requisiti essenziali per la corretta risposta sismica dell'edificio.

Vi possono essere quindi una serie di fattori che discostano l'edificio dalla sua configurazione regolare:

- l'eventuale **disposizione eccentrica** in pianta degli elementi resistenti;
- l'eventuale **differenza di area resistente** nelle due direzioni principali;
- la **disposizione delle aperture** nelle pareti, che possono determinare pericolosi flussi delle tensioni prodotte dei carichi oppure rendere i setti oltremodo snelli;
- la presenza di **piani sfalsati** che possono indurre fenomeni di martellamento sui muri a comune in relazione alla loro tipologia e a quella del muro;
- la presenza di successive **sopraelevazioni** che costituiscono una discontinuità strutturale con la muratura sottostante;
- la presenza di **elementi spingenti** senza dispositivi idonei a contrastare tali spinte.

2.1 - Valutazione delle caratteristiche dei collegamenti tra gli elementi strutturali nella situazione attuale

Per quanto detto precedentemente, devono essere valutate la presenza e l'efficacia dei **collegamenti** tra parete e parete e tra pareti ed orizzontamenti.

2.1.1 - Collegamento parete-parete

L'efficacia del **collegamento tra parete e parete** si esplica innanzitutto attraverso la conoscenza degli **ammorsamenti e della fattura dei cantonali** (Fig. 1) e dei **martelli murari**.

Si rendono necessari opportuni **saggi conoscitivi al fine di valutare la tecnica costruttiva delle angolature dell'edificio**. Devono essere indagate sia la parte esterna del cantonale sia quella corrispondente interna al fine di individuare la possibile presenza di muratura costituita da due paramenti verticali affiancati.

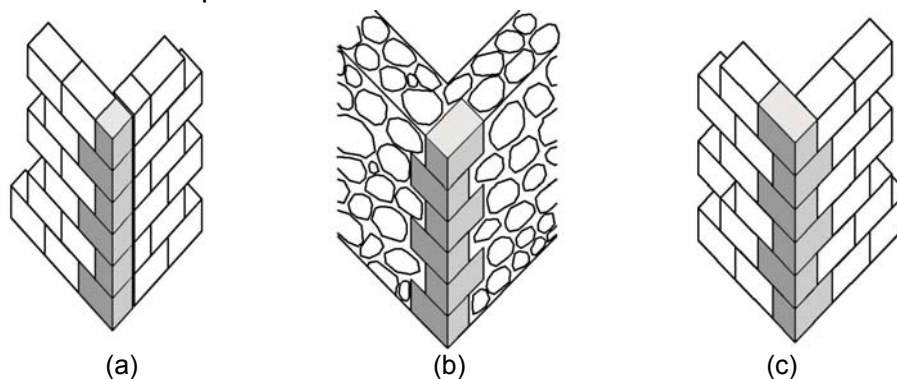


Fig. 1. (a) assenza di cantonale; (b) cantonale inefficace; (c) cantonale efficace.

Non può ritenersi efficace un cantonale che presenta soltanto sul lato esterno elementi verticali (blocchi artificiali o in pietra) disposti in senso alternato lungo lo sviluppo verticale dell'angolata, se dalla parte interna è presente un tipo di muratura che per dimensioni e disposizione degli elementi costituenti non può assicurare un buon ingranamento tra gli elementi stessi ed un sufficiente grado di ammorsamento tra le pareti ortogonali.

L'efficacia del collegamento tra pareti ortogonali si esplica anche attraverso la presenza di **catene metalliche** adeguatamente disposte e dimensionate.

E' di fondamentale importanza che la catena sia per quanto possibile disposta **binata, parallelamente** ad una parete che funziona da elemento di **contrasto**, al fine di evitare fenomeni di inflessione nella parete ortogonale, in relazione anche alle luci in gioco.

Nella inclinazione dei paletti capochiave occorre prestare attenzione al fatto che questi siano rivolti in modo che sia il solaio, sia la parete verticale, funzionino da elementi di contrasto (Fig. 2).

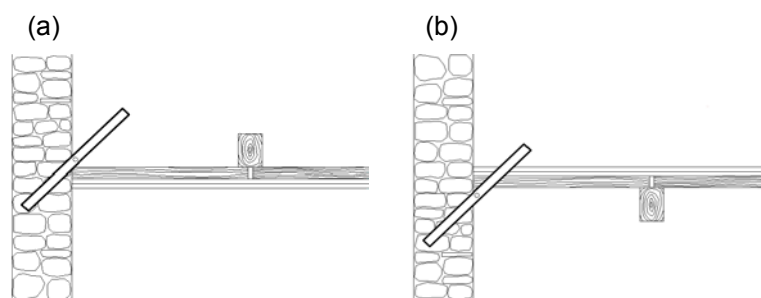


Fig. 2. Disposizione errata (a) e corretta (b) dei paletti capochiave della catena.

Le piastre o i paletti capochiave devono essere dimensionate in relazione alla tipologia e alle caratteristiche meccaniche della muratura. I paletti sono da preferirsi alle piastre perché permettono di diffondere il tiro delle catene a zone più ampie di muratura e perché, come già detto, possono essere rivolti in modo da far contrasto su parete e solaio allo stesso tempo. Le catene non devono presentare frecce di inflessione che denotino un'assenza di tiro.

Garantendo un buon grado di **ammorsamento o incatenamento** tra pareti perimetrali e in corrispondenza dei martelli murari, la singola parete investita dall'azione sismica perpendicolare al suo piano, chiama in **compartecipazione** nella risposta le pareti ad essa **ortogonali**, trasferendo a queste un'azione complanare alla parete, attivando il meccanismo resistente nel quale esse esplicano la loro naturale resistenza a taglio (Fig. 3).

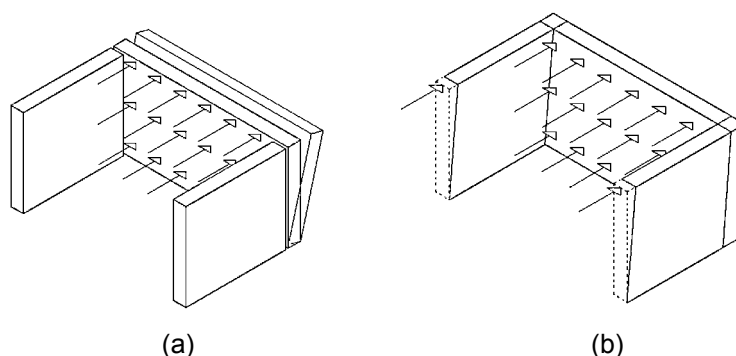


Fig. 3. **Meccanismo di ribaltamento** della parete in assenza di collegamenti parete-parete **(a)** e **trasferimento** delle azioni orizzontali ai setti di taglio in presenza di collegamenti parete-parete **(b)**.

L'assenza o l'inefficacia dell'ammorsamento tra pareti ortogonali rende la parete vulnerabile nei confronti dei meccanismi di **ribaltamento** fuori del piano che si possono attivare sotto azione sismica.

Simili meccanismi di danno possono attivarsi anche in presenza di pareti di controvento poste ad eccessiva distanza tra loro oppure in presenza di pareti di controvento che, seppur a distanza limitata, presentano aperture ravvicinate alla zona di incrocio dei setti, che determinano nel ribaltamento cunei di distacco caratteristici della presenza di aperture.

2.1.2 - Collegamento pareti-orizzontamenti

L'efficacia del collegamento tra pareti ed orizzontamenti si esplica attraverso la conoscenza della **tipologia e del dettaglio costruttivo del collegamento**.

Il collegamento è indispensabile per **trasferire l'azione orizzontale di piano ai singoli setti resistenti** e deve interessare anche i lati paralleli all'orditura del solaio e non solo i lati dove appoggiano direttamente le travi.

E' necessario procedere a effettuare **saggi conoscitivi sulla tipologia del collegamento (cordoli di piano o altri dispositivi di collegamento – catene, ecc..) al fine di stabilirne l'efficacia**.

Nel caso di presenza di **cordoli in c.a.** occorre indagare con saggi per verificare la presenza di armatura longitudinale e trasversale sia lungo i lati su cui poggiano i travetti del solaio, che sui lati ad essi ortogonali, in modo da ottenere un elemento continuo armato lungo tutto il perimetro e sui muri interni di spina. In molti casi i cordoli risultano debolmente armati o privi di staffe; inoltre la qualità del calcestruzzo impiegato risulta scadente.

Spesso negli edifici esistenti il collegamento degli orizzontamenti alle strutture verticali è **assente**, in quanto la trave in legno, i travetti in c.a. o c.a.p. o le longarine metalliche sono **appoggiate direttamente** in scassi prodotti nelle murature. La lunghezza d'appoggio dei travetti sulle murature risulta in molti casi insufficiente tenuto conto anche dello stato di conservazione, spesso fatiscente, delle travi in legno dei solai esistenti.

In questi casi possono rivelarsi dannosi gli effetti di **martellamento** e **sfilamento** di questi elementi sotto sisma, specialmente ai piani elevati dell'edificio, laddove l'effetto d'attrito sulla muratura dovuto ai carichi verticali superiori risulta inevitabilmente minore.

Il problema del collegamento orizzontamento-parete riguarda anche taluni interventi di sostituzione dei solai su edifici esistenti con nuovi solai (ad esempio in latero-cemento) nei quali il collegamento con le strutture verticali è realizzato con **cordoli in breccia** alle murature (Fig. 4).

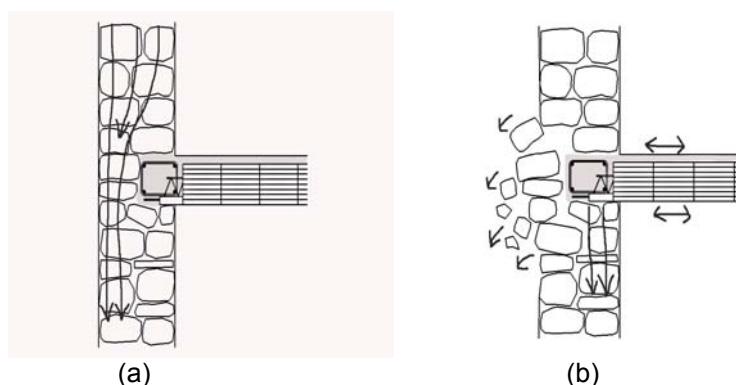


Fig. 4. **Cordoli in breccia:**

(a) flusso dei carichi provenienti dai piani superiori sul paramento esterno;

(b) martellamento del solaio rigido e pesante e crollo del paramento esterno sotto l'azione sismica.

Questo, se rapportato alla tipologia delle murature in pietrame, spesso a doppio paramento senza elementi trasversali di collegamento, crea un triplice effetto negativo:

- da una parte determina uno **scarico** del nuovo solaio pesante **solo sul paramento interno** che quindi resiste con una sezione minore di quella dell'intera parete;
- dall'altra i **carichi verticali** provenienti dai piani superiori confluiscono sul **paramento esterno** che può entrare in crisi per problemi di instabilità per carico di punta;
- inoltre nel momento in cui l'azione sismica investe l'orizzontamento, la presenza di un cordolo rigido in c.a. può creare effetti di **martellamento** sulla parete esterna con espulsione fuori del piano della muratura.

2.2 - Valutazione delle caratteristiche di resistenza degli elementi strutturali nella situazione attuale

L'analisi dello stato di fatto di un edificio esistente in muratura non può prescindere da una valutazione della **qualità del sistema resistente**.

Con questo termine si intende da una parte la qualità del **tessuto murario** intesa come disposizione e dimensione degli elementi costituenti la parete muraria (blocchi artificiali, mattoni o pietre naturali); dall'altra la qualità dei **materiali componenti**, ovvero della malta e dei blocchi.

2.2.1 – Qualità della tessitura muraria

Per quanto riguarda la **qualità della tessitura muraria**, si deve procedere attraverso **saggi ed indagini** finalizzati a stabilire la disposizione – più o meno organizzata - dei blocchi in strati il più possibile regolari, con filari il più possibile orizzontali, con giunti verticali sfalsati, in modo da creare un immaginario reticolo a maglie regolari.

Questo è il presupposto che consente di ottenere un buon ingranamento tra gli inerti.

Occorre prestare anche attenzione alla presenza di due o più paramenti verticali affiancati, che generalmente compongono le pareti in muratura di pietrame: in questi casi è fondamentale, per il funzionamento monolitico della parete sotto le azioni orizzontali, la presenza di **elementi trasversali di collegamento (diatoni)** che attraversano tutto lo spessore della parete collegando i due paramenti.

La presenza di paramenti esterni ben organizzati con elementi squadrati non è sempre sinonimo di una muratura ben fatta. Infatti soltanto con saggi integrativi eseguiti dalla parte interna della parete e con considerazioni riguardanti il suo spessore è possibile stabilire la reale conformazione della parete e la probabile presenza di un paramento interno con caratteristiche dimensionali e di apparecchiatura di qualità sensibilmente inferiori (Fig. 5).

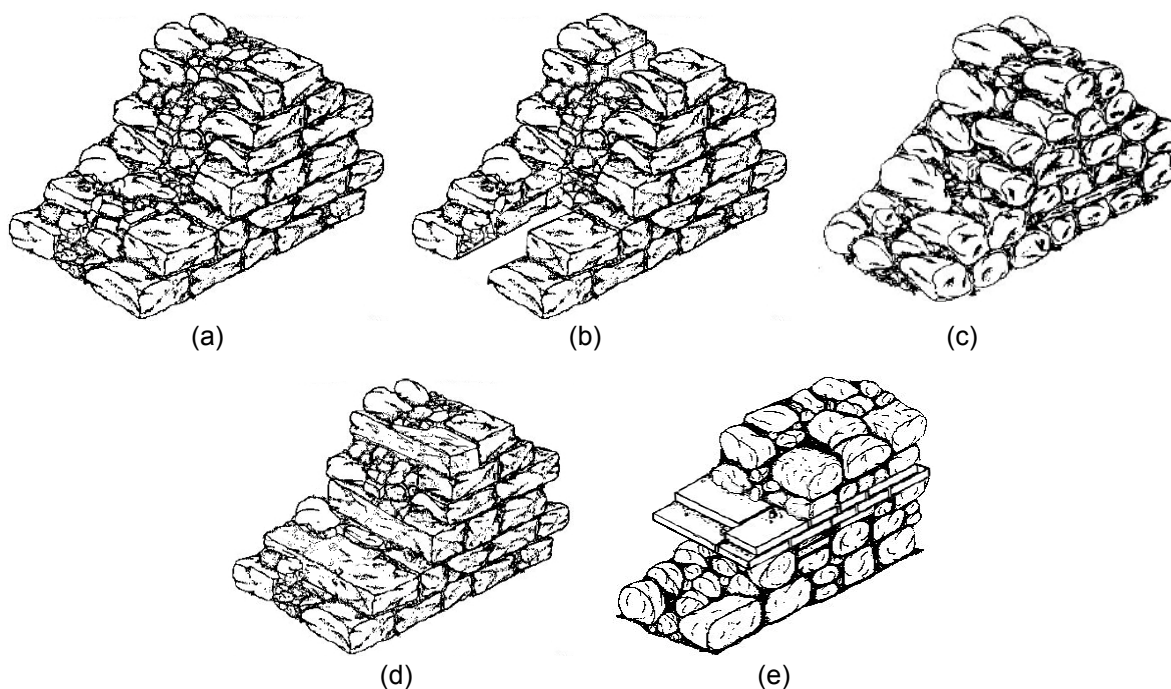


Fig. 5. **Tipologie murarie a doppio paramento:**

- (a) muratura a sacco con nucleo incoerente;
- (b) muratura a sacco con nucleo parzialmente vuoto;
- (c) muratura a doppio paramento senza elementi trasversali di collegamento (diatoni);
- (d) muratura a doppio paramento con elementi trasversali di collegamento (diatoni);
- (e) muratura a doppio paramento con ricorsi in mattoni pieni a tutto spessore.

2.2.2 – Qualità della malta

Per quanto riguarda la **qualità della malta** nei giunti tra blocchi, si deve procedere ad una valutazione delle caratteristiche fisico-meccaniche attraverso opportuni **saggi ed indagini** al fine di ottenere una stima della resistenza tangenziale caratteristica del pannello murario.

E' richiesto di valutare lo stato di conservazione della malta, influenzato dagli agenti atmosferici, dalla composizione fisico-chimica originale, da eventuali interventi successivi di ristilatura dei giunti, ecc.

Dalle caratteristiche meccaniche della malta dipende il grado di **monoliticità** dell'intera parete.

2.2.3 – Qualità dei blocchi artificiali e delle pietre naturali

Per quanto riguarda la **qualità dei blocchi artificiali o delle pietre naturali**, occorre indagare principalmente sulla presenza di murature portanti **in blocchi forati** con eccessiva percentuale di fori. Queste murature presentano un'elevata vulnerabilità dal momento che anche in presenza di malta cementizia (di buona qualità) tra i giunti denotano comunque una spiccata **fragilità**.

Anche le murature in **pietra arrotondata** di fiume presentano un'elevata vulnerabilità a causa della loro superficie estremamente levigata che impedisce un buon livello di aderenza con il legante.

La presenza di **listature**, come ricorsi in mattoni pieni o fascioni di calcestruzzo, realizzate per regolarizzare la compagine muraria, deve essere valutata positivamente quando la listatura ha uno **spessore pari a quello della muratura sottostante**, e la malta tra i mattoni pieni, o il calcestruzzo impiegati, presenta un buono stato di conservazione (Fig. 6). Viceversa, queste possono diventare anche elementi di vulnerabilità, andando ad indebolire l'omogeneità della tessitura muraria.

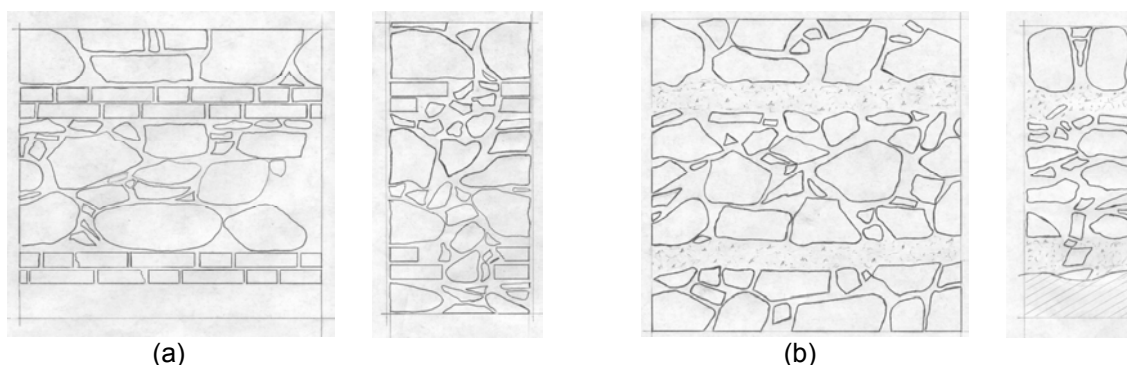


Fig. 6. **Muratura listata a doppio paramento e rilievo della sezione trasversale:**

(a) ricorsi in mattoni pieni non a tutto spessore;

(b) ricorsi in calcestruzzo a tutto spessore.

Negli edifici esistenti che hanno subito interventi di sostituzione dei solai o della copertura esistenti con **nuovi orizzontamenti in latero-cemento** occorre indagare in maniera approfondita sulla **qualità delle murature**.

Anche se è richiesto che il solaio sia sufficientemente rigido nel proprio piano (comportamento a diaframma) per permettere la redistribuzione delle azioni orizzontali sui singoli setti resistenti, spesso la **rigidezza del solaio è sinonimo di pesantezza**.

Le murature sottostanti, soggette a carichi verticali molto superiori a quelli per cui erano state concepite, in caso di sisma possono venire sollecitate da forze d'inerzia di entità tali da superare la loro resistenza a taglio e da provocare dannosi effetti di **martellamento con ribaltamento fuori del piano della parete**.

Negli edifici esistenti che hanno subito interventi di **sopraelevazione** con materiali che presentano **discontinuità strutturali di rigidezza e resistenza** rispetto alle murature

originarie sottostanti, occorre procedere ad indagini al fine di conoscere i materiali impiegati e le modalità di collegamento della nuova costruzione (sopraelevazione) rispetto all'esistente.

3 - Informazioni generali sull'edificio.

3.1 – Relazione tecnica di vulnerabilità sismica

In questa parte introduttiva devono essere fornite le informazioni relative alla localizzazione della struttura, al suo inquadramento temporale e alla descrizione generale dell'aggregato strutturale e degli edifici di cui si compone.

Per le definizioni di edificio e di aggregato strutturale si rimanda al punto 1.1 del manuale per il "Rilevamento dell'esposizione e vulnerabilità sismica degli edifici – Istruzioni per la compilazione della scheda di I livello".

Rif.to normativo

D.M. 14.01.2008 – cap. 8.7.1 Costruzioni in muratura

"(...) Nell'analisi di un edificio facente parte di un aggregato edilizio occorre tenere conto delle possibili interazioni derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti. A tal fine dovrà essere individuata l'unità strutturale (US) oggetto di studio, evidenziando le azioni che su di essa possono derivare dalle unità strutturali contigue.

L'US dovrà avere continuità da cielo a terra per quanto riguarda il flusso dei carichi verticali e, di norma, sarà delimitata o da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui strutturalmente ma, almeno tipologicamente, diversi. Oltre a quanto normalmente previsto per gli edifici non disposti in aggregato, dovranno essere valutati gli effetti di: spinte non contrastate causate da orizzontamenti sfalsati di quota sulle pareti in comune con le US adiacenti, meccanismi locali derivanti da prospetti non allineati, US adiacenti di differente altezza. (...)"

In particolare dovranno essere riportate notizie e considerazioni relative a:

- 1) proprietà dell'edificio, uso e rilievo dell'esposizione (in particolar modo la distinzione tra le eventuali unità d'uso presenti nell'edificio e il numero medio giornaliero di occupanti);
- 2) precedenti schede di vulnerabilità eventualmente compilate sull'edificio, specificando la data del censimento precedente e il relativo punteggio di vulnerabilità calcolato;
- 3) classificazione sismica del territorio comunale in cui è situato l'aggregato strutturale;
- 4) individuazione della posizione dell'edificio all'interno dell'aggregato strutturale (isolato, interno, d'estremità, d'angolo);
- 5) data di progettazione e di costruzione dell'edificio specificando la relativa normativa tecnica di riferimento e gli estremi dell'eventuale deposito al Genio Civile;
- 6) data degli eventuali interventi strutturali sull'edificio, successivi alla costruzione, e loro descrizione specificando la relativa normativa tecnica di riferimento e, qualora presente, gli estremi del deposito al Genio Civile;
- 7) descrizione dell'edificio per livelli, partendo da quello a quota più bassa, specificando le tipologie costruttive impiegate (per quanto riguarda la struttura portante, i solai, la copertura) e le dimensioni principali in pianta. In tale descrizione dovrà essere compreso, se presente, anche l'eventuale quadro fessurativo con l'interpretazione della possibile causa;
- 8) eventuali iniziative urgenti da assumere o ipotesi di intervento.

Le informazioni precedenti devono essere ricavate dagli elaborati di progetto (architettonici e strutturali), laddove disponibili, dopo aver verificato in situ la rispondenza dei suddetti elaborati allo stato di fatto dell'edificio. Nel caso in cui questi non siano disponibili, occorre procedere ad un rilievo geometrico-strutturale ex-novo dell'edificio.

Rif.to normativo

D.M. 14.01.2008 – cap. 8.5.1 Analisi storico critica

“Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato.”

Circolare 617/2009 – cap. C8.5.1

“Generalmente, quando si trattano costruzioni esistenti, può essere difficile disporre dei disegni originali di progetto necessari a ricostruirne la storia progettuale e costruttiva. Per le costruzioni, e in particolare per gli edifici a valenza culturale, storico-architettonica, è talvolta possibile, attraverso una ricerca archivistica, raccogliere una documentazione sufficientemente completa sulla loro storia edificatoria per ricostruire ed interpretare le diverse fasi edilizie.

In ogni caso, soprattutto nel caso di edifici in muratura, sia in assenza sia in presenza di documentazione parziale, prima di procedere alle indispensabili operazioni di rilievo geometrico, è opportuno svolgere delle considerazioni sullo sviluppo storico del quartiere in cui l'edificio è situato (a meno che si tratti di edifici isolati), basandosi su testi specialistici, cercando di acquisire informazioni sugli aspetti urbanistici e storici che ne hanno condizionato e guidato lo sviluppo, con particolare riferimento agli aspetti di interesse per l'edificio in esame.

La ricostruzione della storia edificatoria dell'edificio, o della costruzione più in generale, consentirà anche di verificare quanti e quali terremoti esso abbia subito in passato. Questo sorta di valutazione sperimentale della vulnerabilità sismica dell'edificio rispetto ai terremoti passati è di notevole utilità, perché consente di valutarne il funzionamento, a patto che la sua configurazione strutturale e le caratteristiche dei materiali costruttivi non siano stati, nel frattempo, modificati in maniera significativa.

Sulla base dei dati raccolti nella fase di ricerca storica, si possono trarre conclusioni di tipo operativo per la modellazione meccanica globale dell'edificio.”

3.2 – Elaborati grafici e fotografici.

In questa sezione devono essere prodotti i seguenti elaborati grafici in scala opportuna, in formato A4 oppure A3, rappresentanti lo stato di fatto dell'edificio:

- 1) inquadramento dell'edificio secondo la CTR in scala 1:2000 o 1:5000;
- 2) estratto catastale dell'edificio;
- 3) rilievo geometrico-strutturale quotato dell'edificio con piante, prospetti e sezioni non inferiori alla scala 1:100 di ogni livello, compresi eventuali seminterrati, sottotetto e pianta delle coperture;
- 4) rilievo quotato dell'eventuale quadro fessurativo in scala non inferiore a 1:100;
- 5) elaborato fotografico descrittivo dell'esterno, dell'interno, dei particolari costruttivi e dei saggi eseguiti per l'analisi di ogni parametro della scheda di II livello.

Rif.to normativo

D.M. 14.01.2008 – cap. 8.5.2 Rilievo

Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. Nel rilievo dovranno essere rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica.

Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno."

Circolare 617/2009 – cap. C8.5.2

"Un passo fondamentale nell'acquisizione dei dati necessari a mettere a punto un modello di calcolo accurato di un edificio esistente è costituito dalle operazioni di rilievo della geometria strutturale. Il rilievo si compone di un insieme di procedure relazionate e mirate alla conoscenza della geometria esterna delle strutture e dei dettagli costruttivi. Questi ultimi possono essere occultati alla vista (ad esempio disposizione delle armature nelle strutture in c.a.) e possono richiedere rilievi a campione e valutazioni estensive per analogia. Si noti che, mentre per gli altri due aspetti che determinano il livello di conoscenza (dettagli costruttivi e proprietà dei materiali) si accettano crescenti livelli di approfondimento dell'indagine, per la geometria esterna, si richiede che il rilievo sia compiuto in maniera quanto più completa e dettagliata possibile, ai fini della definizione del modello strutturale necessario alla valutazione della sicurezza per le azioni prese in esame.

La rappresentazione dei risultati del rilievo dovrà essere effettuata attraverso piante, prospetti e sezioni, oltre che con particolari costruttivi di dettaglio."

Circolare 617/2009 – Appendice C8A.1.A.1 Costruzioni in muratura: geometria

"La conoscenza della geometria strutturale di edifici esistenti in muratura deriva di regola dalle operazioni di rilievo. Tali operazioni comprendono il rilievo, piano per piano, di tutti gli elementi in muratura, incluse eventuali nicchie, cavità, canne fumarie, il rilievo delle volte (spessore e profilo), dei solai e della copertura (tipologia e orditura), delle scale (tipologia strutturale), la individuazione dei carichi gravanti su ogni elemento di parete e la tipologia delle fondazioni. La rappresentazione dei risultati del rilievo viene effettuata attraverso piante, alzati e sezioni.

Viene inoltre rilevato e rappresentato l'eventuale quadro fessurativo, classificando possibilmente ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, etc.), e deformativo (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, etc.). La finalità è di consentire, nella successiva fase diagnostica, l'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio."

4 – Modalità per l'esecuzione delle indagini necessarie e per la compilazione della scheda di II livello.

Le risultanze e le considerazioni effettuate a seguito delle indagini dovranno confluire nella **relazione tecnica** di cui al paragrafo 3.1.

In questa sezione vengono elencate altresì tutte le operazioni necessarie per l'esecuzione delle indagini e per la compilazione, parametro per parametro, della scheda di II livello.

Dovranno essere seguite le modalità previste ai successivi paragrafi, per ciascun specifico parametro.

I saggi effettuati dovranno essere documentati con fotografie da inserire nell'elaborato fotografico.

Rif.to normativo

Circolare 617/2009 – Appendice C8A.1.A.2 – Costruzioni in muratura: dettagli costruttivi

"I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- a) qualità del collegamento tra pareti verticali;*
- b) qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;*
- c) esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;*
- d) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;*
- e) presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;*
- f) tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza riempimento a sacco, con o senza collegamenti trasversali, etc.), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, etc.). (...)"*

Direttiva P.C.M. 9/02/2011 – cap. 4.1.6 – Il rilievo materico costruttivo e lo stato di conservazione

“Il rilievo materico costruttivo deve permettere di individuare completamente l’organismo resistente della fabbrica, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costruttivi.

... Speciale attenzione dovrà essere riservata alla valutazione della qualità muraria, tenendo conto dei modi di costruire tipici di quel territorio ed individuando le caratteristiche geometriche e materiche dei singoli componenti, oltre che le modalità di assemblaggio. Di particolare importanza risulta essere:

- *la presenza di elementi trasversali (denominati diatoni), di collegamento tra i paramenti murari; la forma, tipologia e dimensione degli elementi;*
- *il riconoscimento di una disposizione regolare e pressoché orizzontale dei corsi (o, in alternativa, la presenza di listature a passo regolare);*
- *la buona tessitura, ottenuta tramite l’ingranamento degli elementi (numero ed estensione dei contatti, presenza di scaglie) ed il regolare sfalsamento dei giunti;*
- *la natura delle malte ed il loro stato di conservazione.*

La lettura di uno schema strutturale di funzionamento della fabbrica necessita di una conoscenza dei dettagli costruttivi e delle caratteristiche di collegamento tra i diversi elementi:

- *tipologia della muratura (in mattoni, in pietra – squadrata, sbozzata, a spacco, ciottoli - o mista; a paramento unico, a due o più paramenti) e caratteristiche costruttive (tessitura regolare o irregolare; con o senza collegamenti trasversali, ecc.);*
- *qualità del collegamento tra pareti verticali (ammorsamento nei cantonali e nei martelli, catene, ecc.);*
- *qualità del collegamento tra orizzontamenti (solai, volte e coperture) e pareti, con rilievo dell’eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento (catene, ecc.);*
- *elementi di discontinuità determinati da cavedi, canne fumarie etc.*
- *tipologia degli orizzontamenti (solai, volte, coperture), con particolare riferimento alla loro rigidità nel piano;*
- *tipologia ed efficienza degli architravi al di sopra delle aperture;*
- *presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad equilibrare le spinte eventualmente presenti;*
- *presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità.”*

4.1 – Parametro 1: Tipo ed organizzazione del sistema resistente.

Esprime il grado di funzionamento scatolare dell’organismo murario attraverso il rilievo della presenza e dell’efficacia dei collegamenti delle murature con ammorsature agli spigoli dei diversi piani.

Per la valutazione di questo parametro devono essere verificati tutti i **collegamenti** esistenti tra le murature e tra queste ultime e gli orizzontamenti (compresi quelli in copertura), collegamenti che sono tesi a garantire l’**effetto scatolare**. Particolare attenzione va riposta nell’analisi dei cantonali e dei martelli murari dell’edificio e nel grado di collegamento fra le murature portanti ed i solai.

Rif.to normativo

Circolare 617/2009 – Appendice C8A.1.A.2 – Costruzioni in muratura: dettagli costruttivi

“(…) Verifiche in-situ limitate: sono basate su rilievi di tipo visivo effettuati ricorrendo, generalmente, a rimozione dell’intonaco e saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, e di ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti. (…)”

4.1.1 – Indagini sui cantonali

Nelle **indagini sui cantonali** vanno messi a nudo tramite scrostature d’intonaco (se presente) gli spigoli significativi dell’edificio, sia esternamente che internamente; tale operazione si rende necessaria in quanto la maggior parte delle murature presenta una tipologia a **doppio paramento**, costituita perciò da due muri paralleli affiancati. Pertanto

nasce la necessità di valutare se gli elementi in pietra o in laterizio disposti alternati lungo lo spigolo della parete siano tali da interessare tutto lo spessore murario o solamente il paramento esterno.

Laddove sia presente un intonaco, l'estensione della scrostatura dovrà essere tale da mettere a nudo gli elementi lapidei posti come cantonale nella loro interezza (per una prosecuzione di almeno 30 cm) e in tutte e due le direzioni dell'angolata, per un'altezza pari ad almeno 80 centimetri - 1 metro. Nel caso in cui sia presente una muratura in pietrame listato il saggio dovrà estendersi almeno a due ricorsi tra loro consecutivi.

Oltre alla fattura dei cantonali si dovrà porre attenzione anche alla **qualità dei materiali** costituenti (tipo di laterizio, ovvero di pietra e malta impiegata).

4.1.2 – Indagini sui martelli murari

Anche nell'analisi dei **martelli murari** si dovrà analizzare con le stesse modalità descritte per i cantonali il tipo di collegamento tra le pareti e si dovrà verificare il grado di ingranamento tra gli elementi di confine posti a contatto tra le due pareti. Anche in questo caso bisogna porre molta attenzione alla qualità dei materiali costituenti.

4.1.3 – Indagini sui collegamenti pareti-solai

Nelle **indagini sui collegamenti tra le pareti e i solai** (compreso quello di copertura) vanno ricercati ed indagati (se esistono) i presidi atti a garantire il collegamento tra le strutture verticali ed orizzontali. Quindi vanno messe a nudo le zone di contatto e in prossimità di queste tra le pareti e i solai e, nel caso di pareti rivolte verso l'esterno, bisogna effettuare scrostature di intonaco a livello dell'orizzontamento.

4.1.4 – Indagini sulla presenza di cordoli in cemento armato

In caso di presenza di cordolo in cemento armato bisogna verificare l'effettiva armatura presente (disposizione e diametro dei ferri longitudinali e delle staffe, nonché il loro passo) tramite rimozione del copriferro, nonché della qualità del calcestruzzo.

In questa operazione è fondamentale verificare **l'estensione del cordolo** nello spessore del muro, cioè se lo stesso sia esteso a tutto lo spessore murario o se insista soltanto su di un paramento ed accertarsi della continuità di tale cordolo su **tutti i lati** del solaio, è facile imbattersi in cordoli (che cordoli non sono) che si trovano soltanto sui lati di appoggio delle teste dei travetti del solaio e che non continuano nei lati paralleli a questi. Si ricorda che per definizione il cordolo è efficace se è presente su tutti i lati del solaio.

Quindi i saggi dovranno estendersi anche sui lati di rigiro delle murature e per una lunghezza pari ad almeno 2 volte lo spessore del muro ortogonale, per accertarsi che il cordolo sia continuo su tutte le murature d'ambito. Inoltre va quantificato l'effettivo prolungamento del travetto all'interno del cordolo.

4.1.5. – Indagini sulla presenza di catene

In caso di presenza di **catene**, vanno verificate le disposizioni delle stesse e quindi il loro corretto posizionamento; infatti è fondamentale che le catene trovino **adeguato contrasto** con muri ortogonali e con i relativi solai. Inoltre bisogna accertarsi che tali presidi siano **in tensione** e che non si ritrovino delle ampie frecce lungo il loro sviluppo.

E' importante anche la dimensione e la posizione del **capochiave**: affinché questo sia efficace dovrà trovarsi inclinato in modo tale da intercettare la parete di contrasto e l'orizzontamento e dovrà con la sua estensione coprire un adeguato numero di elementi lapidei. Nel caso in cui queste situazioni non si riscontrino si ribadisce che tali collegamenti non potranno considerarsi efficaci.

In presenza di travi di legno o metalliche che hanno **funzione di catena**, e che quindi presentano alle loro estremità un paletto capochiave metallico che esce all'esterno della parete muraria, rimangono valide le considerazioni fatte in precedenza sul capochiave delle catene; inoltre bisogna accertarsi della tipologia e dell'efficacia del collegamento tra la trave e il paletto capochiave.

In caso di presenza di **altri elementi di collegamento** tipo reti elettrosaldate risvoltate o profilati in acciaio o di altro tipo di collegamento puntuale, è necessario accertarsi della effettiva estensione dello stesso e della sua presenza in tutte le murature d'ambito.

Nel caso in cui il collegamento tra orizzontamenti e murature sia assente, va comunque verificata con saggi la lunghezza di appoggio delle travi o dei travetti sulle murature.

4.1.6 – Indagini sulla presenza di spinte

Altro aspetto da indagare, soprattutto a livello di copertura, è quello delle **spinte**; se sono presenti strutture spingenti (tipo tetti a padiglione, archi, strutture voltate, ecc.), è necessario accertarsi se esistono e se sono efficaci presidi atti ad eliminare tali spinte giudicati con gli stessi criteri sopra descritti per i collegamenti.

Per quanto riguarda le modalità di classificazione e per una vasta raccolta di schemi esemplificativi si rimanda al Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR - versione modificata dalla Regione Toscana.

4.2 - Parametro 2: Qualità del sistema resistente.

In questo parametro è determinante l'omogeneità e la fattura del tessuto murario.

La parete muraria è l'elemento strutturale al quale viene richiesto di assorbire l'azione sismica; per tale motivazione, in un'indagine di vulnerabilità, è necessario riconoscere e classificare la giusta tipologia e la relativa qualità.

La qualità del sistema resistente dipende dal tipo di materiale utilizzato, dal tipo di apparecchiatura muraria e dal tipo di connessioni presenti all'interno dello spessore murario.

4.2.1 – Apparecchiatura muraria e connessioni tra paramenti

La muratura deve essere messa a nudo mediante **scrostature di intonaco** (se presente) sia all'esterno che all'interno, per gli stessi motivi descritti nel Parametro 1, per un'estensione tale da poterne giudicare la tipologia sia in senso orizzontale che in verticale, necessaria per appurare l'eventuale presenza di **ricorsi** in calcestruzzo o in mattoni. Nel caso in cui sia presente una muratura in pietrame listato il saggio dovrà estendersi almeno a due ricorsi tra loro consecutivi.

E' richiesto almeno un saggio per ogni tipologia muraria presente e per ogni piano dell'edificio (anche nel sottotetto).

Altra operazione da effettuare è quella di controllare la presenza di eventuali **diatoni** di collegamento tra due fogli di muratura di uno stesso pannello murario; ciò verrà eseguito

riscontrando la presenza di elementi lapidei continui da una faccia all'altra del paramento murario. In caso di diatoni composti da ricorsi in mattoni o fascioni in calcestruzzo è di fondamentale importanza capire, tramite indagini nello spessore murario, se tali elementi attraversano tutta la sezione muraria o meno. Nel caso in cui non siano a tutto spessore la muratura non potrà considerarsi listata.

4.2.2 – Qualità dei materiali costituenti

Per quanto riguarda la **qualità degli elementi costituenti la muratura** è importante stabilire, anche semplicemente al tatto, le caratteristiche meccaniche e di conservazione della **malta** in quanto la maggior parte delle volte è l'elemento discriminante tra una muratura discreta ed una cattiva.

Ovviamente una malta cementizia, seppur di ottima resistenza, non è sufficiente in presenza di murature in laterizio eccessivamente forato.

Rif.to normativo

Circolare 617/2009 – Appendice C8A.1.A.3 - Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali

“Particolare attenzione è riservata alla valutazione della qualità muraria, con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della “regola dell’arte”.

L’esame della qualità muraria e l’eventuale valutazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche hanno come finalità principale quella di stabilire se la muratura in esame è capace di un comportamento strutturale idoneo a sostenere le azioni statiche e dinamiche prevedibili per l’edificio in oggetto, tenuto conto delle categorie di suolo, opportunamente identificate, secondo quanto indicato al § 3.2.2 delle NTC.

Di particolare importanza risulta la presenza o meno di elementi di collegamento trasversali (es. diatoni), la forma, tipologia e dimensione degli elementi, la tessitura, l’orizzontalità delle giaciture, il regolare sfalsamento dei giunti, la qualità e consistenza della malta.

Di rilievo risulta anche la caratterizzazione di malte (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, livello di carbonatazione), e di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) mediante prove sperimentali. Malte e pietre sono prelevate in situ, avendo cura di prelevare le malte all’interno (ad almeno 5-6 cm di profondità nello spessore murario).

Si distinguono:

- Indagini in-situ limitate: servono a completare le informazioni sulle proprietà dei materiali ottenute dalla letteratura, o dalle regole in vigore all’epoca della costruzione, e per individuare la tipologia della muratura (in Tabella C8A.2.1 sono riportate alcune tipologie più ricorrenti). Sono basate su esami visivi della superficie muraria. Tali esami visivi sono condotti dopo la rimozione di una zona di intonaco di almeno 1m x 1m, al fine di individuare forma e dimensione dei blocchi di cui è costituita, eseguita preferibilmente in corrispondenza degli angoli, al fine di verificare anche le ammorsature tra le pareti murarie. E’ da valutare, anche in maniera approssimata, la compattezza della malta. Importante è anche valutare la capacità degli elementi murari di assumere un comportamento monolitico in presenza delle azioni, tenendo conto della qualità della connessione interna e trasversale attraverso saggi localizzati, che interessino lo spessore murario. (...)”

Per quanto riguarda le modalità di classificazione e per una vasta raccolta di tipologie murarie si rimanda all’abaco delle tipologie murarie inserito nel Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR - versione modificata dalla Regione Toscana.

4.3 – Parametro 3: Resistenza convenzionale.

Attraverso un calcolo speditivo si quantifica la resistenza delle strutture in elevazione.

Lo scopo di tale parametro è stimare, in maniera approssimata, la **resistenza dell’edificio alle azioni orizzontali**; perciò riveste grande importanza il **rilievo strutturale** precedentemente eseguito (punto 3.2 lett. 3)), avendo cura di eliminare dai setti murari rilevati lo spessore dell’eventuale intonaco. Inoltre vanno esclusi dal calcolo delle aree

resistenti tutti gli eventuali cavedi, nicchie, canne fumarie presenti nelle strutture così come i setti di lunghezza minore di 1 metro.

Particolare attenzione va posta al **rilievo in altezza** dei muri interni; infatti bisogna controllare se questi muri proseguono fino alla copertura (tipo muro di spina) oppure si arrestino all'altezza della gronda come i muri esterni, poiché nel calcolo del peso medio interviene il fattore altezza media (h) e un eventuale errore porterebbe a un errore della stima del peso dell'edificio.

Per quanto riguarda le modalità di calcolo e per una vasta raccolta di valori della resistenza tangenziale di riferimento, di pesi di murature, di pesi propri di solai e di elementi costruttivi si rimanda al Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR - versione modificata dalla Regione Toscana.

Si ritiene comunque preferibile l'utilizzo dei parametri meccanici e dei coefficienti correttivi introdotti dalle tabelle C8A.2.1 e C8A.2.2, allegate alla Circolare LL.PP. n. 617/2009.

4.4 – Parametro 4: Posizione edificio e fondazioni.

Con questo parametro sono messi in conto alcuni aspetti relativi alle fondazioni ed al terreno di fondazione e ritenuti influenti sul comportamento sismico globale, quali alcune caratteristiche geotecniche.

In questo parametro bisogna valutare sia il **sito** in cui è posto l'edificio, sia il sistema di trasmissione dei **carichi al terreno**.

Per stabilire il tipo di terreno può essere sufficiente un'indagine visiva per valutare sia la sua pendenza che la tipologia nell'intorno della costruzione, mentre per quanto riguarda le fondazioni è necessaria un'indagine più approfondita. Sono richiesti **limitati saggi** in numero sufficiente per stabilire il tipo di fondazione e se queste siano o meno realizzate tutte ad una stessa quota. E' ovvio che per compilare la scheda è necessario un rilievo di tali strutture, sia planimetrico che altimetrico.

Si assumono come fondazioni anche semplici ringrossamenti delle murature a livello fondale o la presenza di cordoli in c.a..

Per quanto riguarda le modalità di compilazione della scheda e per la consultazione delle griglie di riferimento per l'assegnazione della classe si rimanda al Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR - versione modificata dalla Regione Toscana.

4.5 – Parametro 5: Orizzontamenti.

Si deve considerare la rigidità degli orizzontamenti nel proprio piano (funzionamento a diaframma), nonché il tipo e l'efficacia dei collegamenti alle murature.

Nell'ottica del buon comportamento scatolare, gli orizzontamenti ed i loro collegamenti svolgono un'importante funzione, sono quindi elementi che necessitano di profonda attenzione e di indagini piuttosto approfondite. Inoltre tali elementi sono quelli atti al trasferimento delle azioni sismiche alle pareti d'ambito.

Nelle indagini sul tipo di solaio (qualora gli elementi strutturali non siano in vista) bisogna individuare tramite saggi sia all'intradosso che all'estradosso il **tipo** di elementi costituenti

portanti (travetti in c.a., in acciaio, legno, ecc.), gli **elementi di alleggerimento** come pignatte, tavelloni, mezzane in laterizio, ecc. e la presenza di eventuali **solette** armate ed il loro relativo spessore, nonché la loro **qualità**. Tali operazioni sono necessarie per stimare la rigidezza e il peso dell'orizzontamento, nonché la sua eventuale fragilità.

Il numero di **saggi** deve necessariamente essere pari ad almeno ad uno per ogni piano ed uno per ogni tipologia costruttiva presente.

Si ribadisce anche in questa sede che la pesantezza non può essere sinonimo di rigidezza.

Per ciò che riguarda i collegamenti tra i solai e le murature d'ambito si rimanda a quanto specificato nel Parametro 1 delle presenti istruzioni.

Per quanto riguarda le modalità di classificazione e per una vasta raccolta di tipologie di orizzontamenti (rigidi, poco deformabili e deformabili) e di collegamenti (efficaci e non efficaci) si rimanda al Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR - versione modificata dalla Regione Toscana.

4.6 – Parametro 6: Configurazione planimetrica.

Il comportamento sismico di un edificio dipende anche dalla pianta dell'edificio stesso.

Per questo parametro è fondamentale il rilievo geometrico-strutturale eseguito (punto 3.2 lett. 3)), avendo cura di non includere nella sagoma in pianta dell'edificio eventuali porticati o corpi di fabbrica (superfettazioni, ecc.) ricadenti all'esterno delle pareti perimetrali dell'edificio e costruiti in aderenze ad esso.

Le articolazioni fuori sagoma di entità trascurabile rispetto alle due dimensioni principali dell'edificio (dell'ordine del 10% della dimensione principale relativa) non debbono essere considerate e la configurazione planimetrica è assimilata a quella geometrica di base.

Per quanto riguarda le modalità di classificazione e per una raccolta di schemi planimetrici di riferimento si rimanda al Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR - versione modificata dalla Regione Toscana.

4.7 – Parametro 7: Configurazione in elevazione.

La distribuzione delle masse in elevazione influisce sul comportamento sismico di un edificio.

Come per il parametro precedente, anche in questo parametro è fondamentale il rilievo geometrico-strutturale eseguito (punto 3.2 lett. 3)).

E' importante verificare la presenza di porticati o logge in qualsiasi livello dell'edificio e della presenza di torri o torrette con altezza o massa significativa rispetto alla restante parte dell'edificio.

Non debbono essere presi in considerazione locali tecnici di modesta dimensione o massa.

Di norma, ad esclusione di destinazioni d'uso particolari come serbatoi, biblioteche e simili, la distribuzione in altezza delle masse può essere sostituita dalla distribuzione delle aree.

Sul comportamento sotto sisma influiscono anche i **cambiamenti di rigidezza** delle pareti dovuti a variazioni del tipo di muratura; pertanto **verranno effettuati saggi** a diversi livelli

per accertarsi di ciò e verranno indicati nel rilievo strutturale. Devono essere evidenziati i casi di successive **sopraelevazioni o ricostruzioni**, ponendo attenzione alle discontinuità strutturali e di materiale nelle pareti verticali.

Per quanto riguarda le modalità di classificazione e per una raccolta di schemi di riferimento si rimanda al Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR – versione modificata dalla Regione Toscana.

4.8 – Parametro 8: Distanza massima tra le murature.

Con tale parametro si tiene conto della presenza di pareti portanti trasversali che impediscono meccanismi di ribaltamento.

In questo parametro bisogna individuare, dopo l'analisi del rilievo eseguito (punto 3.2 lett. 3)), quali sistemi di pareti portanti (non tramezzature) presentano il rapporto più sfavorevole tra l'**interasse dei muri trasversali “di controvento”** e lo **spessore della parete** considerata.

Ovviamente le pareti trasversali debbono garantire un **efficace vincolo** che impedisca l'instaurarsi di meccanismi di primo modo (ribaltamento) della parete compresa tra essi e per controllare ciò bisogna accertarsi della buona qualità della tessitura muraria dei muri di controvento e se su questi ultimi siano presenti delle aperture; se così fosse, tutte le aperture poste a distanza minore di 1 metro determinano un vincolo non efficace ad opporsi al ribaltamento.

Per quanto riguarda le modalità di classificazione si rimanda al Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR - versione modificata dalla Regione Toscana.

4.9 – Parametro 9: Copertura.

Elementi caratterizzanti questo parametro sono: l'eventuale azione spingente della copertura sulle murature perimetrali, l'efficacia del collegamento della struttura della copertura alle murature d'ambito, il proprio peso espresso in massa sismica e la differenza in termini di rigidità e resistenza rispetto a quelli delle murature sottostanti.

Come per gli orizzontamenti, le coperture svolgono un'importante azione per il comportamento scatolare d'insieme dell'edificio in muratura; inoltre, se la copertura presenta caratteristiche **spingenti**, questa può favorire il collasso fuori del piano delle pareti sottostanti, come ad esempio i **puntoni delle tipologie a padiglione**.

Quindi le indagini sulla tipologia dei solai di copertura devono rispettare lo stesso iter previsto per gli orizzontamenti descritto al Parametro 5 delle presenti istruzioni.

E' richiesto almeno un saggio per ogni tipologia di copertura presente.

Le indagini devono anche mirare a valutare le eventuali azioni spingenti e i presidi atti ad assorbirne la spinta (se esistono), al collegamento copertura – parete, alla stima del peso in termini di massa sismica e ad eventuali differenze di rigidità tra solaio di copertura e murature.

4.9.1 – Indagini sugli elementi spingenti e collegamento alle murature

Nelle indagini sugli **elementi spingenti** bisogna effettuare saggi per controllarne la tipologia e la qualità dei materiali costituenti, nonché la loro conservazione (ad esempio travi in legno) e il collegamento con il resto delle strutture costituenti la copertura (ad esempio le capriate lignee).

Poi va analizzato il **collegamento** con le murature d'ambito con le stesse metodologie descritte nei collegamenti parete – solai del Parametro 1 delle presenti istruzioni.

4.9.2 – Indagini sul peso e la rigidità della copertura

Per ciò che riguarda il **peso** della copertura, si dovranno effettuare saggi rivolti a capire l'esatta composizione del solaio per poi poter effettuare una precisa analisi dei carichi; sarà in questo caso necessario capire se è presente o meno una soletta di calcestruzzo (armata o non armata) che oltre ad incidere sulla pesantezza determina anche aumenti di rigidità della struttura del tetto.

Molto importante per questo tipo di analisi è la messa in relazione delle **rigidezze** relative tra le murature d'ambito e la copertura; è molto facile imbattersi in rifacimenti di coperture su edifici datati che hanno comportato lo smantellamento di vecchi tetti in legno sostituiti con coperture in laterocemento rigide e, per loro stessa natura, pesanti.

In caso di sisma questo comporta l'insorgere di elevate forze di inerzia che possono contribuire significativamente al superamento della resistenza della muratura sottostante di cattiva qualità. I saggi perciò dovranno estendersi anche alla muratura presente a livello di sottotetto.

Infine nel rilievo dovranno essere individuate anche eventuali aperture poste immediatamente sotto le zone di appoggio perimetrali del solaio di copertura.

Per quanto riguarda le modalità di classificazione, schemi grafici esemplificativi ed esempi di tipologie di copertura si rimanda al Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR - versione modificata dalla Regione Toscana.

4.10 – Parametro 10: Elementi non strutturali.

Con questo parametro si valuta il tipo di collegamento alle strutture di tutti gli elementi non portanti quali comignoli, cornicioni, piccoli, aggetti, controsoffitti.

Anche se tale parametro può sembrare secondario assume importanza in quanto la caduta di appendici e aggetti **mal vincolati** può causare danni sia a persone che a cose. Bisogna valutare il grado di vincolo di tali elementi alle strutture principali, soprattutto in funzione della loro dimensione.

Altra cosa da valutare, laddove ce ne sia bisogno, è anche il grado di **fragilità** dell'elemento (ad esempio controsoffitti a travetti e tavelloni in laterizio, in assenza di soletta).

Per quanto riguarda le modalità di classificazione ed esempi fotografici si rimanda al Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR - versione modificata dalla Regione Toscana.

4.11 – Parametro 11: Stato di fatto.

Con questa voce si tiene conto dello stato di conservazione degli edifici.

Lo stato di conservazione degli edifici è fondamentale per la loro resistenza. Dal rilievo dell'eventuale **quadro fessurativo** elaborato in precedenza e dall'esame, seppur semplicemente al tatto e/o visivo dello stato di **conservazione dei materiali costituenti**, bisogna valutare lo stato di fatto delle parti strutturali dell'edificio. Laddove necessario bisognerà eseguire saggi per la messa a nudo delle eventuali lesioni tramite scrostature di intonaco e comunque occorrerà fornire una interpretazione sulla causa di tale quadro fessurativo.

Per quanto riguarda le modalità di classificazione si rimanda al Manuale di II livello per la compilazione della scheda GNDT/CNR - versione modificata dalla Regione Toscana.

5 – Compilazione della scheda di I e II livello.

Una volta ottenute le informazioni e i rilievi geometrico-strutturali descritti negli allegati precedenti si provvederà a compilare il I e II livello della scheda di vulnerabilità GNDT/CNR per gli edifici in muratura – versione modificata dalla Regione Toscana.

Per le modalità di compilazione della scheda si rimanda al Manuale per il “Rilevamento dell'esposizione e vulnerabilità sismica degli edifici – Istruzioni per la compilazione della scheda di I e II livello”.

6 – Calcolo dell'indice di vulnerabilità.

Parametro	Classe	Punteggio
1 – Tipo ed organizzazione del sistema resistente		
2 – Qualità del sistema resistente		
3 – Resistenza convenzionale		
4 – Posizione edificio e fondazioni		
5 – Orizzontamenti		
6 – Configurazione planimetrica		
7 – Configurazione in elevazione		
8 – D_{max} murature		
9 – Copertura		
10 – Elementi non Strutturali		
11 – Stato di fatto		
	Totale	

Per quanto riguarda il calcolo dei punteggi nella tabella sopra, si faccia riferimento ai valori riportati nello schema successivo.

NUOVA TABELLA DEI PESI PER LA SCHEDA DI VULNERABILITA' DI II LIVELLO PER GLI EDIFICI IN MURATURA

(Ex tabella 1 del manuale di vulnerabilità parte I "Aspetti metodologici", 1993.)

PARAMETRO		CLASSE				PESO
		A	B	C	D	
1	Tipo ed organizzazione del sistema resistente	0	5	20	45	1,5
2	Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	0,25
3	Resistenza convenzionale	0	5	25	45	1,5
4	Posizione edificio e fondazioni	0	5	25	45	0,75
5	Orizzontamenti	0	5	15	45	VAR
6	Configurazione planimetrica	0	5	25	45	0,5
7	Configurazione in elevazione	0	5	25	45	VAR
8	Distanza massima tra le murature	0	5	25	45	0,25
9	Copertura	0	15	25	45	VAR
10	Elementi non strutturali	0	0	25	45	0,25
11	Stato di fatto	0	5	25	45	1,0

I pesi tengono conto della diversa importanza che i vari elementi assumono ai fini del comportamento sismico di una struttura; da questo punto di vista si considerano tre gruppi: elementi di primaria importanza, elementi importanti, elementi secondari.

E' possibile tradurre in termini quantitativi questa suddivisione attribuendo, ad esempio, agli elementi del primo gruppo un peso 1,5, a quelli del secondo pesi compresi tra 0,5 ed 1 e, infine, a quelli del terzo pesi minori di 0,5.

Per alcuni parametri (il 5, 7, 9) il peso è variabile, in funzione di alcuni elementi caratteristici:

- percentuale degli orizzontamenti rigidi e ben collegati;
- presenza di piani porticati;
- peso della copertura.

In particolare:

Parametro 5 - In presenza di orizzontamenti di natura diversa in uno stesso edificio, per l'assegnazione della classe, vale la condizione definita dall'orizzontamento peggiore. In questo caso il peso da utilizzare nella combinazione dei punteggi relativi ai vari elementi non è costante: esso è definito come:

$$k = \frac{0,5}{\alpha_0}$$

dove α_0 è il rapporto fra il numero di orizzontamenti ai quali competerebbe un punteggio 5 o minore ed il numero totale di orizzontamenti. Se k risultasse maggiore di 1 si assumerà $k = 1$.

Nel caso in cui il solaio sia realizzato in laterocemento con travetti gettati in opera o prefabbricati in c.a.p., con pignatte e caldana o soletta con cordoli in breccia su murature deboli o su murature in mattoni forati o formate da due paramenti, il peso da assegnare è pari a 1,25.

Parametro 7 - Di norma a questo parametro viene assegnato un peso pari a 1. Se l'irregolarità dell'edificio è dovuta solamente alla presenza di porticati al piano terra il peso viene ridotto al valore di 0,5; ciò si giustifica considerando che di tale situazione si tiene conto analizzando l'entità degli elementi resistenti (parametro 3).

Parametro 9 - Il peso da attribuire a questo elemento è definito come:

$$k=0,5+\alpha_1+\alpha_2$$

dove:

- $\alpha_1 = 0,25$ per copertura in laterocemento o comunque di peso maggiore o uguale a 200 kg/m^2 , $\alpha_1 = 0$ negli altri casi;
- $\alpha_2 = 0,25$ se il rapporto tra il perimetro della copertura e la lunghezza complessiva delle zone di appoggio è maggiore o uguale a 2, $\alpha_2 = 0$ negli altri casi.

Nel caso il tetto sia realizzato in laterocemento con travetti gettati in opera o prefabbricati in c.a.p., con pignatte e caldana o soletta con cordoli su murature deboli, il peso da assegnare è pari a 1,25.

In presenza di un tetto pesante abbinato ad un solaio di sottotetto in laterocemento con travetti gettati in opera o prefabbricati in c.a.p., con pignatte e caldana o soletta poggianti su murature deboli, il peso da assegnare è pari a 1,5.

N.B. I solai di controsoffitto che non sono in grado di assicurare un comportamento a lastra (ad esempio quelli composti da travetti in laterizio e tavelle o tavelloni senza riempimento e soletta) non vengono presi in considerazione per i casi sopra specificati.

Il prodotto del punteggio per il relativo peso fornisce l'indice numerico parziale per il singolo parametro; la somma degli indici parziali porta all'indice di vulnerabilità, un numero che, utilizzando i valori indicati in tabella, risulta comprensivo tra **0** e **438,75** (somma dalla situazione di vulnerabilità "migliore" alla "peggiore").

In molte applicazioni l'indice viene normalizzato sull'intervallo **0-100**; così si farà in questo caso.