

ANGELO BIONDI

CALCOLO DI STRUTTURE IN MURATURA

DAL METODO POR ALLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14/09/05)



Indice



Presentazione	pag. 9
---------------------	--------

PARTE PRIMA

LA METODOLOGIA PER LA VERIFICA DEGLI EDIFICI IN MURATURA

1. Principi generali

1.1. Approccio alla verifica di un organismo in muratura	» 13
1.2. Caratterizzazione di un organismo in muratura.....	» 14
1.3. Strutture in muratura ordinaria	» 19
1.4. Strutture in muratura armata	» 21
1.5. Strutture miste	» 21
1.6. Verifiche locali.....	» 23
1.7. Verifica globale	» 24
1.8. Meccanismi di rottura	» 25
1.8.1. Ribaltamento globale	» 25
1.8.2. Ribaltamento parziale.....	» 29
1.8.3. Meccanismi localizzati	» 31
1.8.4. Effetti di scorrimento e/o torsione in presenza di irregolarità altimetriche	» 35
1.8.5. Meccanismi di taglio	» 35
1.8.6. Strutture aggettanti	» 36

2. I materiali

2.1. Caratteristiche meccaniche della muratura	» 37
2.2. La malta	» 37
2.3. I blocchi	» 41
2.3.1. I materiali lapidei	» 42
2.3.2. I laterizi.....	» 46
2.4. La muratura	» 47
2.5. Il degrado dei materiali	» 50
2.5.1. I laterizi.....	» 50
2.5.2. I materiali lapidei	» 53

3. La normativa prima del 2005: D.M. '81 e D.M. '87

3.1. Premessa	» 57
---------------------	------

3.2. Iter storico della normativa italiana in materia di muratura	»	57
3.3. Come districarsi nelle tante norme	»	60
3.4. Verifica semplificata	»	62
3.5. Verifica estesa statica	»	66
3.6. Verifica sismica globale a rottura	»	71
3.7. Verifica a rottura per sisma ortogonale	»	76
3.8. Verifica a rottura per sisma parallelo	»	78
3.9. Verifica a ribaltamento	»	78

4. Analisi non lineare tipo POR e POR esteso

4.1. Il materiale muratura	»	79
4.2. Cenni sulla duttilità	»	79
4.3. La muratura come materiale omogeneo isotropo	»	84
4.4. La meccanica della muratura e il modello strutturale	»	86
4.5. Legame costitutivo del maschio murario	»	87
4.6. Verifica sismica con il metodo POR	»	88
4.7. Determinazioni delle proprietà di calcolo del maschio murario	»	91
4.8. La determinazione della resistenza alle forze orizzontali dell'organismo strutturale	»	96

5. La nuova normativa: D.M. '05

5.1. Premessa	»	99
5.2. Concetti generali	»	104
5.2.1. Valori caratteristici e valori di calcolo	»	105
5.2.2. Criteri di progetto e caratteristiche geometriche	»	106
5.2.3. Stato limite ultimo e stato limite del danno	»	108
5.2.4. Classe della struttura	»	109
5.2.5. Verifica agli stati limite e alle tensioni ammissibili	»	110
5.2.6. Fattore di struttura	»	112
5.3. Indicazioni costruttive generali	»	114
5.4. Schema di calcolo	»	117
5.5. Analisi strutturale e verifiche	»	122
5.5.1. Verifiche a pressoflessione nel piano del muro	»	123
5.5.2. Verifiche a taglio per azioni nel piano del muro	»	124
5.5.3. Verifiche a pressoflessione per carichi laterali (fuori dal piano del muro)	»	125
5.5.4. Verifiche per carichi concentrati	»	125
5.5.5. Verifiche travi di collegamento in muratura	»	126
5.6. Verifiche alle tensioni	»	127
5.6.1. Verifiche a pressoflessione	»	127
5.6.2. Verifiche a taglio per azioni nel piano del muro	»	128
5.6.3. Verifiche per carichi concentrati	»	128
5.7. Edifici semplici	»	129
5.8. Particolari costruttivi	»	130
5.8.1. Cordoli	»	130
5.8.2. Architravi	»	131

6. La muratura armata

6.1. Generalità	»	133
-----------------------	---	-----

6.2. Riferimenti normativi	»	134
6.3. Verifiche di sicurezza.....	»	137
6.3.1. Verifiche a pressoflessione nel piano del muro	»	138
6.3.2. Verifiche a taglio per azioni nel piano del muro	»	139
6.3.3. Verifiche a pressoflessione per carichi laterali (fuori dal piano del muro)	»	139
6.3.4. Particolari costruttivi	»	140
6.4. Poroton.....	»	140
6.4.1. I vantaggi	»	143
6.4.2. I materiali impiegati	»	144
6.4.3. La posa in opera	»	146
6.4.4. Particolari costruttivi	»	149
6.5. Strutture miste	»	153

7. Gli interventi sulla muratura

7.1. Valutazione del danno	»	155
7.2. Riferimenti normativi	»	156
7.3. I cordoli	»	160
7.4. Interventi sulla muratura	»	162
7.4.1. Iniezioni di miscele consolidanti	»	163
7.4.2. Lastre di rinforzo in cemento armato.....	»	164
7.4.3. Inserimento di pilastri	»	169
7.4.4. Tirantature orizzontali e verticali	»	169
7.4.5. Iniezioni armate	»	171
7.5. Sistema CAM.....	»	171
7.5.1. Caratteristiche del sistema	»	172
7.5.1.1. Realizzazione di catene orizzontali anche nel caso di muri non rettilinei	»	175
7.5.1.2. Cerchiatura di colonne in muratura o in cemento armato.....	»	175
7.5.1.3. Collegamento di elementi strutturali in legno, cemento armato o acciaio alla muratura	»	176
7.5.2. Valutazioni sperimentali	»	177
7.5.3. Conclusioni.....	»	179

PARTE SECONDA

IL SOFTWARE PER LA VERIFICA DEGLI EDIFICI IN MURATURA

1. Ambiente e software

1.1. Contenuto nel CD allegato e requisiti di installazione	»	183
1.2. Uno sguardo a CDMaWIN	»	183
1.3. CDMaWIN Trial version	»	187
1.4. Come operare con CDMaWIN	»	188

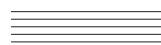
2. Dalla teoria alla pratica

2.1. Esempio pratico	»	189
2.2. Schema strutturale	»	191
2.3. Normativa di riferimento e teorie di calcolo	»	192
2.3.1. Vecchia norma (D.M. '87)	»	193

2.3.2. Nuova norma (D.M. '05)	»	203
2.4. Parametri sismici	»	209
2.4.1. Vecchia norma (D.M. '87)	»	209
2.4.2. Nuova norma (D.M. '05)	»	210
2.5. Combinazioni di calcolo	»	211
2.5.1. Vecchia norma (D.M. '87)	»	212
2.5.2. Nuova norma (D.M. '05)	»	213
3. Confronto dei risultati		
3.1. Confronto dei risultati	»	215
3.2. Confronto fra vecchia e nuova norma	»	215
3.2.1. Vecchia norma (D.M. '87)	»	215
3.2.2. Nuova norma (D.M. '05)	»	236
3.3. Confronto fra struttura semplice e struttura con cordoli e architravi	»	260
3.4. Conclusioni	»	261
Bibliografia	»	263



Presentazione



L'idea di scrivere un testo sulle costruzioni in muratura è nata dall'osservazione delle strutture esistenti. Non è difficile, infatti, al giorno d'oggi notare come molte strutture in cemento armato sono vittime del degrado e necessitano di massicci interventi di ristrutturazione, a volte, alquanto complessi. Al contrario, invece, costruzioni in muratura progettate e costruite diversi secoli fa godono di ottima salute, nonostante gli insulti di secoli di intemperie, scosse sismiche di varia entità e migliaia di inquilini che vi si sono avvicendati. Questo ha portato ad approfondire lo studio di una metodologia costruttiva che ultimamente era caduta ingiustamente in disuso.

La presente pubblicazione, promossa e prodotta in collaborazione con la S.T.S. Software Tecnico Scientifico (azienda specializzata nella produzione e distribuzione di software per l'ingegneria civile), ha l'intento di presentare i concetti fondamentali che regolano il "vecchio" (D.M. 02/07/1981 e D.M. 20/11/1987) e il "nuovo" (D.M. 23/09/2005) approccio normativo in tema di progettazione e verifica di edifici in muratura, così da aprire le porte su un panorama per molti ancora totalmente inesplorato e al tempo stesso evidenziarne differenze e punti di analogia.

Questo testo si limita ad occuparsi della progettazione relativa alla sola muratura, rimandando ad altre pubblicazioni un'analoga trattazione per quanto riguarda strutture in calcestruzzo, acciaio, geotecnica, ecc.

L'intento è quello di accennare ai concetti principali in tema di studio degli edifici in muratura secondo la preesistente e la neointrodotta normativa sismica e di confrontarne i risultati, anche con l'ausilio di esempi pratici, allo scopo di evidenziarne differenze e connessioni, ma soprattutto di fornire al lettore uno strumento utile per avvicinarsi ai nuovi modelli di verifica che si propongono oggi nel panorama della progettazione moderna come valida alternativa al passato, ma che presto sostituiranno in pieno gli schemi fin qui adottati diventando il criterio cardine a cui si dovrà ispirare l'opera del progettista. Non è invece mira di questa pubblicazione quello di riportare fedelmente e per esteso il contenuto delle norme vigenti, delle quali si presuppone almeno una discreta conoscenza da parte del lettore, e alle quali si rimanda per una completa e particolareggiata consultazione del testo. Né vuole questo testo avere una valenza di manuale d'uso per i software allegati, per l'apprendimento dell'utilizzo dei quali si rimanda all'apposito materiale didattico contenuto all'interno del CD.

Il testo è suddiviso in due parti, la prima delle quali contiene la descrizione e il confronto fra le diverse metodologie per la verifica degli edifici in muratura trattate; la seconda è invece dedicata alla presentazione delle principali caratteristiche dei software allegati e alla presentazione di alcuni esempi pratici, realizzati utilizzando gli stessi software. I risultati ottenuti dagli esempi proposti forniscono un validissimo strumento per il chiarimento del confronto precedentemente effettuato e per la percezione delle differenze, a livello pratico, dei diversi modelli di verifica studiati.

L'autore

PARTE PRIMA

**La metodologia per la verifica
degli edifici in muratura**

Principi generali

1.1. APPROCCIO ALLA VERIFICA DI UN ORGANISMO IN MURATURA

La prima insidia che si trova di fronte chi ha il problema di verificare la stabilità di un edificio in muratura è di tipo concettuale. Le teorie tecniche, in generale, sono ricche di approcci matematici e dimostrazioni e hanno formato nell'ingegnere l'idea che ogni struttura va in definitiva calcolata, pur utilizzando un modello che è sicuramente imperfetto in termini di simulazione completa della realtà, ma comodo perché maneggevole. Ciò si traduce nell'assunzione di ipotesi "ideali", quali i concetti di elasticità, linearità, omogeneità, isotropia, conservazione delle sezioni piane, piccoli spostamenti e altre considerazioni del genere. La discrepanza tra tale "idealità" e la realtà è comunque conoscibile e alla fine viene conglobata in una serie di valori caratteristici, minimi imposti e coefficienti di sicurezza vari. In altre parole, si studia un problema che si presenta limpido in tutti i suoi aspetti e quindi facile da risolvere, sapendo però che alla fine si potrà fare affidamento sul risultato per una certa percentuale, dal momento che la teoria stessa fornisce la misura dei margini entro cui muoversi.

In qualche modo tale filosofia viene applicata anche al calcolo di edifici in muratura. Si è però visto che, per tale materiale e tali tipologie di strutture, la distanza del reale dal modello di calcolo ideale è affetta da tante e tali variabili da generare margini di errore che richiedono coefficienti di sicurezza spesso abbastanza alti. Soprattutto per quanto riguarda le ipotesi di elasticità, linearità, omogeneità e isotropia, spesso lo stato di fatto non è assimilabile a niente del genere, neppure in prima approssimazione. Si può avere a che fare con l'analisi di strutture in muratura esistenti per le quali l'acquisizione della conoscenza delle caratteristiche fondamentali, in particolare qualità dei materiali e dei collegamenti, può risultare pressoché impossibile o comunque estremamente complessa ed onerosa, e spesso non esaustiva (non è infatti cosa rara trovarsi di fronte a edifici in cui la tipologia di materiale e tecnica realizzativa delle pareti in muratura differisca anche notevolmente tra una porzione di struttura e l'altra). Inoltre si possono presentare delle situazioni che dovranno essere valutate singolarmente caso per caso, come ad esempio la presenza di carichi concentrati, l'irregolarità della tessitura muraria, la presenza di forature, le connessioni con elementi di altro mate-

riale (legno, acciaio o cemento armato), lesioni o debolezze strutturali localizzate evidenti. Si comprende che in alcune situazioni non può esistere alcun coefficiente di sicurezza in grado di garantire l'assoluta affidabilità dei risultati.

In tale quadro, un calcolo eseguito per mezzo di una analisi elastica lineare è sicuramente un mezzo non idoneo a valutare l'effettivo grado di sicurezza dell'edificio, che oltretutto, e particolarmente sotto sollecitazione sismica, è in buona parte affidata al comportamento duttile della muratura, cioè al di là del confine che limita il comportamento elastico del materiale.

Un approccio in un certo modo diverso, che consente di fare abbastanza a meno di ipotesi troppo distanti da situazioni riscontrabili, è quello che non si preoccupa dalla ricerca dello stato tensionale della struttura sottoposta a certe azioni, ma presuppone già in partenza i vari possibili modi di collasso dell'opera stessa e cerca di calcolare quanto essa si discosti da tali configurazioni critiche.

L'esempio banale dell'analisi di un singolo muro isolato può rendere più chiaro il concetto. Un approccio valido per il cemento armato consiglierebbe di schematizzarlo come un'asta incastrata alla base, sottoposta a carichi distribuiti e concentrati, che generano una distribuzione interna delle sollecitazioni derivanti dall'applicazione della scienza delle costruzioni, e conseguentemente un andamento di tensioni nelle varie sezioni (magari complicate da diagrammi costitutivi dei materiali di tipo non lineare generico), e confrontare alla fine tali tensioni con dei valori ammissibili. L'alternativa consiste nell'individuare i possibili modi di collasso (in questo caso l'unico è il ribaltamento), ed eseguire un semplice rapporto tra le azioni stabilizzanti e quelle ribaltanti. Non c'è bisogno di fare ipotesi troppo forzate, né di conoscere le caratteristiche dei materiali o i diagrammi costitutivi. La problematica va così affrontata: prendendo il via da considerazioni qualitative generali sicuramente riscontrabili, bisognerà stabilire in che modo è in grado di lavorare la struttura sottoposta alle azioni prevedibili e di conseguenza secondo quali meccanismi raggiungerà il collasso, per intero o in una delle sue parti.

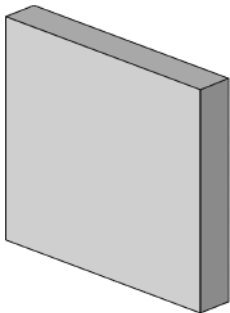
Come si può facilmente evincere da quanto detto, per gli edifici in muratura, molto più che per quelli in cemento armato o acciaio, conta l'arte del buon costruire, che alla fine non può essere valutata da nessun modello di calcolo ma solo dall'esperienza e dal buon senso del progettista o del tecnico incaricato della verifica o del ripristino strutturale. Per questi motivi è bene operare basandosi in primo luogo su una buona esperienza specifica. Nei normali edifici in muratura una razionale e logica impostazione dell'organismo strutturale riveste una importanza nettamente prioritaria, ben maggiore di quella che può avere lo svolgimento di calcoli raffinati.

1.2. CARATTERIZZAZIONE DI UN ORGANISMO IN MURATURA

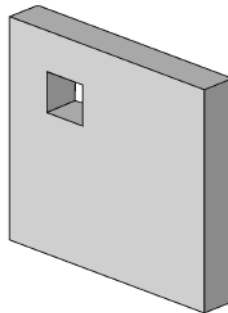
Un edificio costruito in muratura portante è composto da una serie di elementi che si possono definire *semplici* (muri). Elementi individuabili in sé con una

caratterizzazione tipologica molto chiara, ma che collaborano tra di loro nel diventare organismo unico con certe modalità. La conoscenza di questo tipo di collaborazione, cioè in che modo i maschi murari siano tra di loro connessi, è molto più essenziale di quella, che pur si deve avere, riguardo la conformazione geometrica e la definizione dei materiali.

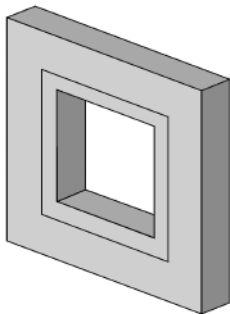
L'elemento base per eccellenza è quindi il muro. Muro già costituito a sua volta, in verità, da diverse componenti (i mattoni e la malta) ma che può essere considerato lui stesso come componente semplice. Un muro può essere forato, e l'entità del foro può far cambiare completamente il comportamento del muro. Se, infatti, il foro è molto piccolo gli sforzi che dovrebbe assorbire la porzione di materiale mancante si diffondono in quello circostante, dando così luogo ad una fluttuazione nella distribuzione delle tensioni interne, fluttuazione che si esaurisce in un intorno limitato senza creare incrementi di tensione significativi rispetto alla situazione di assenza del foro. Nel caso in cui i fori siano più estesi, lo stesso effetto può essere ottenuto cerchiando il contorno del foro con un "controtelaio" aderente (da realizzarsi in cemento armato o profilati in acciaio) calcolato in modo da ripristinare l'identica rigidità e resistenza che avrebbe il muro privo dell'apertura, e quindi l'analisi del muro può prescindere dalla presenza dell'apertura.



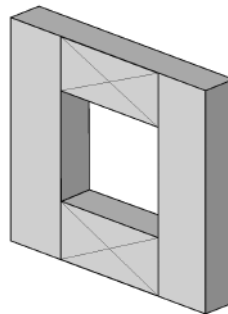
Muro interno



Muro con piccolo foro



Muro con foro cerchiato



Muro forato

Figura 1.1
Schemi di pareti forate

Se il controtelaio non viene realizzato, il comportamento strutturale dell'elemento cambia. In questo caso il muro va considerato come una serie di muri integri, separati da vuoti che sono le aperture, e collegati tra di loro dalle porzioni di muratura sovrastanti e sottostanti i fori. Si passa quindi da un muro a un assemblaggio di muri e architravi, qualcosa di simile a un telaio di travi e pilastri. Tali muri privi di forature che compongono eventualmente questi insiemi intelaiati sono quelli che si definiscono *maschi murari*.

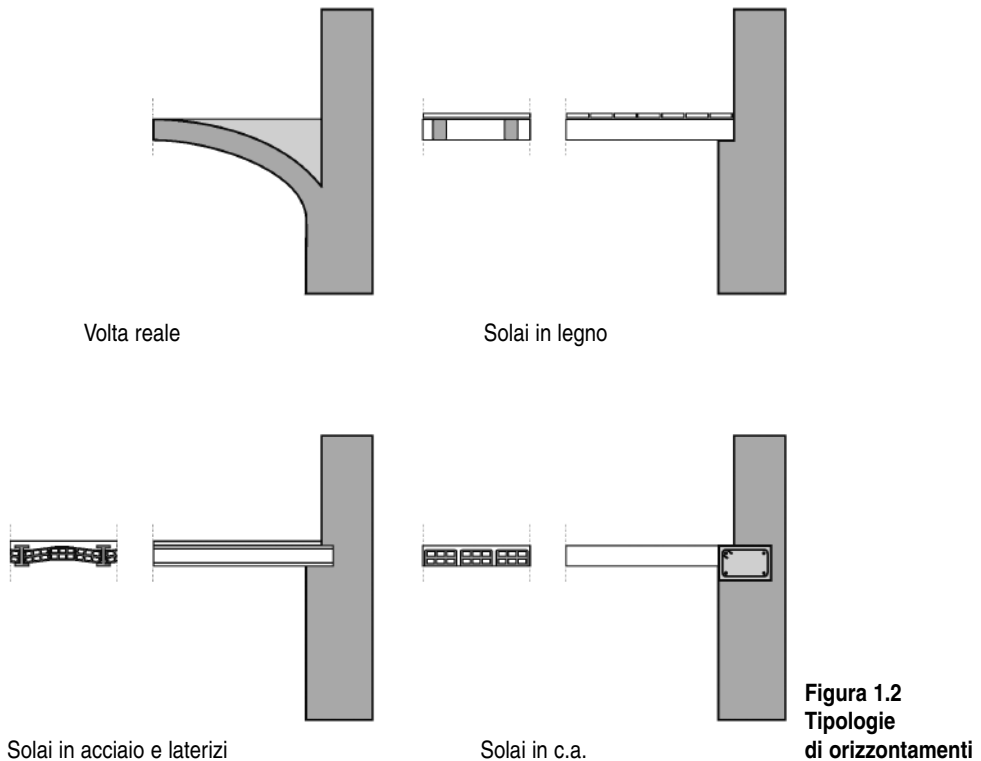
L'insieme dell'organismo strutturale è quindi costituito da diversi telai di questo tipo o anche muri semplici. Ma è chiaro che se non si conoscono le interconnessioni tra questi elementi non si hanno informazioni sufficienti ad eseguire un qualunque calcolo che abbia un minimo di validità. Essi saranno in qualche modo connessi tra di loro, ma possono esserlo, come si vedrà più avanti, in svariati modi. È ben noto, infatti, che il meccanismo resistente di una struttura in muratura si sviluppa prevalentemente in seguito ad un impegno al taglio dei pannelli murari disposti parallelamente alla direzione delle forze. Si rende quindi necessario verificare che le murature siano in grado di trasmettere tra di loro azioni di collaborazione tali da far assumere all'edificio un comportamento di tipo scatolare. Le forze orizzontali agenti nel piano di una parete muraria sono dovute, oltre che alla massa della parete stessa, all'azione su di essa trasmessa dai solai e dalle pareti trasversali. Queste azioni sono tanto maggiori quanto più efficaci sono le connessioni tra murature ortogonali e fra pareti e solai.

In altre parole, nello schema di funzionamento considerato, il compito di resistenza alle forze orizzontali è affidato principalmente alle pareti complanari all'azione orizzontale; tuttavia perché queste possano esplicare il loro compito è necessario che i collegamenti con le pareti ortogonali e col solaio siano in grado di trasferire le forze di loro competenza realizzando così un complesso di tipo scatolare. Questo requisito è fondamentale per un buon comportamento sismico degli edifici in muratura.

Un primo tipo di connessione è quello che si ha o si può avere tra muro e muro, in corrispondenza degli spigoli e degli incroci. In dipendenza del tipo di realizzazione, ad esempio, ci può essere una piena compenetrazione tra i due, frutto di una costruzione contemporanea, oppure un semplice accostamento, dovuto ad esempio ad una realizzazione successiva. La connessione può essere anche dovuta all'eventuale presenza di un cordolo di cemento armato in testa alle pareti, purché sia stato realizzato con un efficace ammorsamento al muro sottostante. Leggendo le normative in materia, di tale modalità di vincolo in realtà non si tiene conto, a meno di un opzionale coefficiente ρ di cui si parla nel D.M. '87, per tenere conto dei muri ortogonali ai fini del calcolo della snellezza. Questo perché stante la non facile conoscenza di tale situazione di vincolo (a volte sarebbero necessari sondaggi) ed essendo comunque sempre affetta da una notevole aleatorietà, si è preferito giustamente considerare sempre non presente tale tipo di connessione.

Un altro tipo molto importante di collegamento è quello che viene affidato agli orizzontamenti (solai, coperture). Questi ultimi, oltre ad avere la funzione di assorbire e ripartire i carichi verticali, possono anche essere in grado di ripartire le azioni orizzontali. Se ciò accade, l'azione orizzontale (sismica, in quanto quella del vento è sostanzialmente trascurabile) viene ad essere trasferita a tutti i muri collegati all'orizzontamento, in funzione della rigidezza e della posizione di ciascun muro. Perché ciò possa avvenire è necessario che siano verificate due condizioni: che il solaio sia sufficientemente rigido nel suo piano (quindi abbia un valido comportamento a lastra) e che il collegamento tra la testa dei muri e il solaio stesso sia idoneo a garantire il trasferimento degli sforzi che si possono generare.

Gli orizzontamenti che si possono avere in un edificio in muratura possono essere di diverse tipologie. Negli edifici di vecchia concezione erano molto utilizzate le volte. Le volte reali, a struttura lapidea e funzione portante completa, o le volte finte realizzate con una trama di canne legate con malta di gesso, in grado di portare solo il loro esiguo peso. Queste ultime avevano solo funzione estetica e i carichi di esercizio venivano sopportati da solai in legno, in genere con una orditura secondaria di assi inchiodata a travature principali, con putrelle di acciaio su cui si poggiavano delle voltine, che, spesso, erano costituite da laterizi legati con



malta di gesso. Nel caso di edifici di più recente costruzione o ristrutturati è possibile trovare solai in cemento armato tessuti tra i cordoli di collegamento.

Le volte reali, che possono pur avere diverse tipologie geometriche (volte a botte, a padiglione, a crociera e variamente ribassate), le si può spesso considerare con buona approssimazione degli orizzontamenti rigidi e ben ammortati, anche se ovviamente questa non può essere una regola da osservare indiscriminatamente. Per quanto riguarda invece i solai in legno il discorso è ancora più delicato. Bisogna effettivamente verificare il grado di rigidità dell'impalcato e soprattutto il grado di vincolo di questo alle murature, ma in generale non è il caso di considerare un solaio in legno come impalcato rigido. La situazione è più favorevole, cioè si è più vicini al comportamento a lastra, se le volte o i solai in legno sono muniti di tiranti idoneamente disposti nel piano dell'orizzontamento. Sicuramente rigidi sono invece i solai in cemento armato, ma l'effettivo funzionamento a lastra che conferirebbe alla struttura un comportamento globale di tipo scatolare passa per il funzionamento perfetto dell'attacco dei cordoli alle murature sottostanti, cosa che può risultare non necessariamente vera se tale tipo di lavoro non è stato realizzato in maniera oculata.

In verità, non è che si possa dire che gli edifici in muratura siano fatti solo di muri, più o meno forati, e orizzontamenti. A ben vedere ci possono anche essere archi, timpani, colonne, campanili, cupole e quant'altro. È il caso di distinguere a questo punto due tipologie di edifici: quelli che effettivamente sono sufficientemente descrivibili in termini di muri e solai (strutture comuni), e quelli come ad esempio una chiesa, nei quali è quanto meno illusorio pensare di cavarsela altrettanto bene con gli stessi mezzi (in tal caso si parla di edifici "storici" o "monumentali"). I problemi di verifica in quest'ultimo caso vanno affrontati usando soprattutto l'intuito e l'esperienza, perché la normativa non fornisce molto aiuto. In questi casi particolari ci si può servire di strumenti quali analisi non lineari agli elementi finiti, e poi eseguire verifiche locali negli elementi che possono andare in crisi, come ad esempio archi, volte, il ribaltamento di timpani, campanili, o altri fenomeni particolari che possono essere peculiari di ciascuna struttura. Per ulteriori approfondimenti si rimanda a pubblicazioni mirati a queste problematiche.

Negli edifici di tipo classico, la vecchia normativa sulle murature distingue tre livelli di verifica. Il primo livello è quello che la normativa definisce verifica semplificata. Nello specifico essa consiste nel rispetto di una serie di requisiti che riguardano principalmente le caratteristiche geometriche dell'opera. Il rispetto di tali punti coincide con l'affermare che la struttura in questione è sufficientemente "semplice" (simmetrica, regolare, omogenea, compatta), e che quindi eseguendo solo pochissimi calcoli di massima si ha la garanzia di un buon comportamento. Quando ciò non sia del tutto vero, cioè almeno uno dei requisiti non sia verificato, è necessario per normativa passare alla verifica estesa, quindi a calcoli che prevedono la definizione di un modello strutturale e quindi la verifica di tale modello per quanto riguarda meccanismi di collasso globali o locali.

1.3. STRUTTURE IN MURATURA ORDINARIA

Il D.M. 16/01/1996 “Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche”, ai punti C.5.1. e C.5.2., regola la progettazione di strutture in muratura ordinaria, mantenendo la validità di quanto proposto dal precedente D.M. del 20/11/1987 se non modificato dalle nuove prescrizioni normative.

[...]

C.5.1. Regole generali

Gli edifici in muratura debbono essere realizzati nel rispetto del decreto ministeriale 20 novembre 1987, “Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento” ed eventuali successive modifiche ed integrazioni, ove non in contrasto con le presenti norme.

In particolare, alle predette norme tecniche deve farsi riferimento per ciò che concerne le caratteristiche fisiche, meccaniche e geometriche degli elementi resistenti naturali ed artificiali, nonché per i relativi controlli di produzione e di accettazione in cantiere.

Sia per gli edifici in muratura ordinaria, di cui al seguente punto C.5.2., che per quelli in muratura armata, di cui al seguente punto C.5.3., debbono inoltre essere soddisfatti i seguenti requisiti:

[...]

C.5.2. Edifici in muratura ordinaria

Gli edifici in muratura ordinaria devono essere costruiti nel rispetto delle seguenti prescrizioni:

- a) la pianta dell'edificio deve essere il più possibile compatta e simmetrica rispetto ai due assi ortogonali; in particolare, nel caso di pianta rettangolare, il rapporto tra lato minore e lato maggiore, al netto dei balconi, non deve risultare inferiore ad 1/3. La distribuzione delle aperture dei muri, in pianta e in alzato, deve essere tale da garantire, per quanto possibile, la simmetria strutturale;*
- b) ciascun muro maestro deve essere intersecato da altri muri maestri trasversali, ad esso ben ammorsati, ad interasse non superiore a m 7;*
- c) al di sopra dei vani di porte e finestre devono essere disposti architravi in cemento armato o in acciaio efficacemente ammorsati nella muratura;*
- d) le fondazioni possono essere realizzate con muratura ordinaria, purché sul piano di spiccatto venga disposto un cordolo di calcestruzzo armato, le cui dimensioni ed armatura devono essere conformi a quanto prescritto al punto C.5.1., lettera d);*
- e) la distanza massima fra lo spiccatto delle fondazioni e l'intradosso del primo solaio o fra due solai successivi non deve superare m 5, fermo restando l'obbligo di garantire per i setti murari una snellezza inferiore a 12;*
- f) la muratura portante deve essere realizzata con elementi artificiali pieni o semipieni, ovvero con elementi di pietra squadrata, con l'impiego di malta cementizia. È ammesso per gli edifici con non più di due piani fuori terra l'uso di muratura listata con l'impiego di malta cementizia. La listatura deve essere realizzata mediante fasce di conglomerato semplice o armato oppure mediante ricorsi orizzontali costituiti da almeno tre corsi in laterizio pieno, posti ad interasse non superiore a m 1,6 ed estesi a tutta la lunghezza e a tutto lo spessore del muro; gli spessori dei muri devono essere non inferiori a quelli indicati nella seguente tabella:*

Tabella 3

	SPESSORE DEI MURI IN PIETRAMME LISTATO [CM]		
	S = 6	S = 9	S = 12
piano secondo	40	40	50
piano primo	40	40	65
piano cantinato	55	55	80

g) lo spessore delle murature deve essere non inferiore a cm 24, al netto dell'intonaco;
 h) le murature debbono presentare in fondazione un aumento di spessore di almeno cm 20;
 i) le aperture praticate nei muri portanti devono essere verticalmente allineate; in alternativa, ai fini della valutazione dell'area resistente di cui alla lettera l) si prendono in considerazione per la verifica del generico piano esclusivamente le porzioni di muri che presentino continuità verticale dal piano oggetto di verifica fino alle fondazioni;

l) nel caso di murature realizzate mediante blocchi artificiali semipieni, ovvero in pietra naturale squadrata con elementi di resistenza caratteristica a compressione non inferiore a 30 kg/cm², l'area della sezione di muratura resistente alle azioni orizzontali, espressa come percentuale della superficie totale dell'edificio, e valutata al netto delle aperture, non deve essere inferiore, per ciascun piano di verifica, ai valori di cui alle tabelle 4a e 4b in funzione della sismicità della zona. Dette percentuali devono essere rispettate in entrambe le direzioni principali. Nel caso di murature realizzate mediante blocchi artificiali pieni, l'area suddetta non deve essere inferiore, per ciascun piano di verifica, alle percentuali che si ottengono dalle tabelle 4a e 4b dividendo ciascuna percentuale per 1,25.

Nel caso di murature realizzate in pietra naturale squadrata, costituita da elementi di resistenza caratteristica inferiore a 30 kg/cm², l'area suddetta deve essere adeguatamente incrementata sulla base di motivate valutazioni e comunque non deve essere inferiore, per ciascun piano di verifica, alle percentuali che si ottengono dalle tabelle 4a e 4b moltiplicando ciascuna percentuale per il rapporto $30/f_{bk}$ ove f_{bk} è il valore della resistenza caratteristica degli elementi.

Tabella 4a

	AREA RESISTENTE AI VARI PIANI (%) (ZONE CON S = 12)			
	PIANO I	PIANO II	PIANO III	PIANO IV
Edifici a 1 piano	6	–	–	–
Edifici a 2 piani	6	6	–	–
Edifici a 3 piani	7	6	6	–
Edifici a 4 piani	7	7	6	6

Tabella 4b

	AREA RESISTENTE AI VARI PIANI (%) (ZONE CON S = 9 OPPURE CON S = 6)				
	PIANO I	PIANO II	PIANO III	PIANO IV	PIANO V
Edifici a 1 piano	5	–	–	–	–
Edifici a 2 piani	5	5	–	–	–
Edifici a 3 piani	6	5	5	–	–
Edifici a 4 piani	6	6	5	5	–
Edifici a 5 piani	7	7	6	6	5