

Salvatore Sbacchis

# Elementi strutturali negli edifici in muratura

Teoria e pratica sul calcolo e la verifica  
degli elementi strutturali nella muratura

CD-ROM CON ESEMPI APPLICATIVI INCLUSO

SECONDA EDIZIONE



GRAFILL

Salvatore Sbacchis

## ELEMENTI STRUTTURALI NEGLI EDIFICI IN MURATURA

ISBN 13 978-88-8207-319-0

EAN 9 788882 073190

Manuali, 75

Seconda edizione, febbraio 2009

Sbacchis, Salvatore <1953->

Elementi strutturali negli edifici in muratura: teoria e pratica sul calcolo e la verifica degli elementi strutturali nella muratura, con esempi applicativi / Salvatore Sbacchis. – 2. ed. – Palermo : Grafill, 2009

(Manuali ; 75)

ISBN 978-88-8207-319-0

1. Strutture edilizie. – Calcolo.

624.1 CDD-21

SBN Pal0216535

CIP – *Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"*

L'immagine in copertina è la rielaborazione grafica di un disegno di Edoardo Benvenuto

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail [grafill@grafill.it](mailto:grafill@grafill.it)

Finito di stampare nel mese di febbraio 2009

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

*A Enza*



---

## SOMMARIO

PREFAZIONE .....	p.	9
------------------	----	---

### PARTE PRIMA: LA MURATURA

<b>1. L'edificio in muratura</b> .....	»	13
1.1. L'elemento muratura .....	»	13
1.2. Il materiale muratura .....	»	13
1.3. Il modello strutturale .....	»	13
1.4. Gli edifici in muratura .....	»	14
1.5. I codici di calcolo .....	»	15
<b>2. Elementi strutturali degli edifici in muratura</b> .....	»	20
2.1. Generalità .....	»	20
2.2. Le componenti strutturali .....	»	20
2.3. Le coperture: la capriata Palladio .....	»	20
2.4. Il solaio di interpiano .....	»	22
2.5. I muri di controvento .....	»	22
<b>3. Caratteristiche costruttive delle murature</b> .....	»	24
3.1. La malta .....	»	24
3.2. La muratura portante .....	»	24
3.3. Lo spessore delle murature .....	»	26
3.4. L'altezza degli edifici in muratura .....	»	27
3.5. La limitazione dell'altezza in funzione della larghezza stradale .....	»	28
3.6. Requisiti degli orizzontamenti .....	»	28
<b>4. Caratteristiche meccaniche della muratura</b> .....	»	29
4.1. La resistenza caratteristica delle murature .....	»	29
4.2. La tensione normale di riferimento dei maschi murari .....	»	32
4.3. La resistenza caratteristica tangenziale dei maschi murari .....	»	33
<b>5. Instabilità laterale dei muri</b> .....	»	34
5.1. La snellezza dei muri .....	»	34
5.2. La snellezza della muratura: il carico di punta .....	»	34
5.3. La verifica dei corpi snelli .....	»	34
<b>6. Sforzo normale eccentrico. La post-trazione</b> .....	»	37
<b>7. Caratteristica meccanica del setto murario (TURNSEK-CACOVIĆ)</b> .....	»	39

### ESEMPI APPLICATIVI ALLA PARTE PRIMA

<b>■ APPLICAZIONE N. 1</b> <i>Definire i valori caratteristici di resistenza di una muratura formata da blocchi di argilla espansa legati da muratura tipo M3.</i>	»	43
<b>■ APPLICAZIONE N. 2</b> <i>Si determini per la muratura dell'applicazione precedente anche la resistenza caratteristica a taglio.</i>	»	43
<b>■ APPLICAZIONE N. 3</b> <i>Definire il valore di resistenza di una muratura in laterizio (mattoni semipieni).</i>	»	44
<b>■ APPLICAZIONE N. 4</b> <i>Eseguire la verifica semplificata dell'edificio di seguito illustrato.</i>	»	44

■ **APPLICAZIONE N. 5**

*Per recintare un cortile interno si deve realizzare un muro di cinta in cotto e malta comune alto 2,5 m. La spinta esercitata dal vento è di 60 Kg/m<sup>2</sup>. Determinare la sezione del muro.*

p. 46

**PARTE SECONDA: ELEMENTI STRUTTURALI DISTRIBUTIVI NEGLI EDIFICI IN MURATURA**

<b>8. Architrave</b> .....	»	49
8.1. Il prisma murario .....	»	49
8.2. Il carico del solaio .....	»	50
8.3. Il carico concentrato .....	»	51
8.4. Il peso proprio dell'architrave .....	»	51
8.5. L'appoggio degli architravi .....	»	52
8.6. Verifica di stabilità degli appoggi. La zona tesa .....	»	54
<b>9. Sistemi a spinta eliminata. I tiranti</b> .....	»	55
9.1. Generalità .....	»	55
9.2. Statica degli archi .....	»	55
9.3. I tiranti nelle strutture spingenti .....	»	56
9.4. Il pretensionamento delle catene .....	»	58
9.5. Tiranti estradossali .....	»	59
9.6. Rinfianchi cellulari e solette armate .....	»	60
9.7. Messa in opera dei tiranti a caldo .....	»	61
9.8. Tiraggio della catena con l'uso di manicotto filettato .....	»	62
9.9. Messa in opera dei tiranti a freddo .....	»	62
9.10. I tiranti per muri perimetrali .....	»	63
<b>10. I cordoli</b> .....	»	64
10.1. Generalità .....	»	64
10.2. Calcolo e dimensionamento delle armature del cordolo .....	»	64
<b>11. Gli sporti dei cornicioni</b> .....	»	66
<b>12. Le piattabande</b> .....	»	67
<b>13. Balconi in pietra</b> .....	»	69
<b>14. Le puntellazioni</b> .....	»	70
14.1. Generalità .....	»	70
14.2. Caratteristiche ottimali di accettazione dei puntelli .....	»	70
14.3. Azione localizzata dei puntelli .....	»	70
14.4. Vincolo al piede del puntello .....	»	71
14.5. Vincolo in testa del puntello .....	»	71
14.6. Variazioni termiche e igrometriche .....	»	71
14.7. Il ritiro nei puntelli di cemento armato .....	»	72
14.8. Verifiche statiche .....	»	72
<b>15. La centina a sbalzo</b> .....	»	75
<b>16. Scheda dei dissesti delle strutture murarie</b> .....	»	76
<b>17. Aspetti normativi</b> .....	»	77
17.1. Elenco delle norme nazionali .....	»	77
17.2. La normativa vigente .....	»	78
17.3. La normativa nazionale .....	»	79

**ESEMPI APPLICATIVI ALLA PARTE SECONDA**

■ **APPLICAZIONE N. 6**

*Determinare la superficie d'appoggio che deve avere un'architrave in ferro a doppio T che esercita sulla muratura d'appoggio in tufo un carico di 6.000 Kg. Lo stato di pressione sulla muratura, vista l'elevata rigidità, si consideri costante e si assuma per la muratura in tufo una tensione ammissibile di 5 Kg/cm<sup>2</sup>. La muratura ha uno spessore di 50 cm.*

» 84

**■ APPLICAZIONE N. 7**

*Ad un cuscino in pietra sono assegnate le dimensioni di 50 × 30 × 40 cm. Verificare la superficie di contatto tra il blocco di pietra naturale che forma il cuscino e la sottostante muratura di tufo. Il peso sull'appoggio è di 6 t.*

p. 84

**■ APPLICAZIONE N. 8**

*Per il sostegno di una muratura sovrastante un vano si intende realizzare un'architrave composto da tre profilati in acciaio tipo IPE 200. Le travi scaricano sull'appoggio un carico complessivo di 12.000 Kg. Si suppone che la muratura di appoggio sia realizzata in blocchi di tufo con una tensione massima di sicurezza di 5 Kg/cm<sup>2</sup>. Lo spessore della muratura è di 50 cm. Verificare la superficie di appoggio dell'architrave.*

» 85

**■ APPLICAZIONE N. 9**

*In occasione della ristrutturazione di un edificio bisogna aprire un varco per un vano porta di luce (l) di ml 2,20. La muratura ha uno spessore (s) di ml 0,38; il peso specifico ( $\gamma_m$ ) della muratura è di 1.800 Kg/m<sup>3</sup>; a quota +1,60m dall'architrave è presente un solaio. Progettare un architrave formato da due profilati IPE. Si assuma per l'acciaio una tensione ammissibile di 1.600 Kg/cm<sup>2</sup>.*

» 86

**■ APPLICAZIONE N. 10**

*Si voglia determinare la dimensione da assegnare ad un'architrave da realizzare in calcestruzzo armato. I dati di carico sono quelli del progetto dell'architrave formato da profilati d'acciaio IPE200 dell'applicazione precedente.*

» 90

**■ APPLICAZIONE N. 11**

*Determinare la perdita di tensione da assegnare alla catena d'acciaio con le caratteristiche sotto riportate.*

» 93

**■ APPLICAZIONE N. 12**

*Si vuole fare assorbire al tirante una Spinta pari a 5.000 Kg e come tensione massima di riferimento si assuma quella calcolata in precedenza pari a 1.970 Kg/cm<sup>2</sup>. Determinare quali dimensioni assegnare al tirante ed alla piastra di ancoraggio.*

» 93

**■ APPLICAZIONE N. 13**

*Verificare il tirante rappresentato nella figura seguente.*

» 94

**■ APPLICAZIONE N. 14**

*Per eliminare la spinta orizzontale di 3.500 Kg trasmessa sui piedritti da un arco in muratura si vuole mettere in opera una catena di ferro, vincolata agli estremi a due piastre di ghisa, e messa in tensione da una madrevite: calcolare il diametro della catena, supponendo che nella località possano verificarsi sbalzi di temperatura di 20 °C.*

» 95

**■ APPLICAZIONE N. 15**

*Calcolare il diametro da assegnare di un tirante in acciaio che deve assorbire una spinta di 8.000 Kg trasmessa da una volta con luce di 6 metri. Determinare inoltre lo sforzo che si manifesta nel tirante per effetto di una variazione di temperatura pari a -30 °C e successivamente verificare la sezione alla nuova situazione.*

» 96

**■ APPLICAZIONE N. 16**

*Un tirante dimensionato per assorbire uno sforzo di 300 Kg è realizzato con due barre tonde unite tra di loro da un bullone. Le dimensioni del collegamento sono quelle riportate in figura. Verificare il collegamento.*

» 97

**■ APPLICAZIONE N. 17**

*Per la realizzazione di un tirante in acciaio sottoposto a uno sforzo di trazione di 2.400 kg si devono usare due barre di acciaio di 3 mm di spessore. Le barre dovranno essere unite per sovrapposizione con bulloni del diametro di 12 mm. Il sistema da verificare è quello rappresentato in figura.*

» 98

**■ APPLICAZIONE N. 18**

*In un edificio in muratura portante il piano terreno è attraversato da archi in muratura a tutto sesto. Questo implica l'eliminazione della spinta esercitata sui muri maestri esterni al piano terra che dovrà essere assorbita dai tiranti. Determinare il valore della spinta in eccesso non assorbita dalla muratura che dovrà essere fatta assorbire ai tiranti.*

» 99

■ **APPLICAZIONE N. 19**

*Verificare il collegamento tra puntone e catena in legno in una capriata Palladio. La catena in legno ha le dimensioni di 10 cm × 10 cm, e la resistenza del legno a scorrimento è di 10 Kg/cm<sup>2</sup>.*

p. 103

■ **APPLICAZIONE N. 20**

*La catena della capriata riportata in figura deve sostenere una trazione di 15.000 Kg. Per eliminare tale spinta sul muro si vuole dotare la capriata di una catena metallica. Verranno adottati due profilati a L accoppiati di dorso tenuti assieme da un bullone d'acciaio del diametro di 10 mm. Determinare la sezione dei profilati da impiegare, sapendo che verrà usato acciaio tipo Fe 360 con una  $\sigma_{amm}$  di 1.600 Kg/cm<sup>2</sup>.*

» 103

■ **APPLICAZIONE N. 21**

*Determinare la sezione e l'armatura necessaria per la realizzazione di un cordolo di coronamento di un torrino di scala a sezione quadrata di 3.00 m di lato. Si progetti per una forza sismica orizzontale valutata in 20.000 Kg. Lo spessore della muratura è di 60 cm. Determinare la sezione dei barrotti di distribuzione del cordolo e della capriata in legno.*

» 104

■ **APPLICAZIONE N. 22**

*Uno sporto di un cornicione è costituito da muratura in conci di tufo sagomata ed è sorretta da uno sbalzo in cemento armato. Determinare lo spessore e l'armatura necessaria per lo sbalzo del cornicione.*

» 106

■ **APPLICAZIONE N. 23**

*Determinare le dimensioni da assegnare alla piattabanda in cemento armato per porte e finestre di un fabbricato in muratura le cui dimensioni di massima sono quelle riportate in figura. Per motivi costruttivi la piattabanda deve avere uno spessore di 18 cm.*

» 107

■ **APPLICAZIONE N. 24**

*Verificare il balcone in pietra rappresentato in figura con le caratteristiche di seguito elencate.*

» 108

<b>PARTE TERZA: TABELLE DEI VALORI SIGNIFICATIVI</b> .....	» 116
<b>GUIDA ALL'INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE</b> .....	» 131
Introduzione al CD-ROM allegato.....	» 131
Requisiti hardware e software per l'installazione.....	» 131
Procedura per la richiesta della "password utente" .....	» 131
Procedura di installazione per gli utenti MS Windows .....	» 132
Procedura di installazione per gli utenti Macintosh .....	» 132
Procedura per la registrazione del software .....	» 133
Utilizzo del software in ambiente MS Windows .....	» 133
Utilizzo del software in ambiente Macintosh .....	» 134

---

## PREFAZIONE

Tra le tipologie di costruzioni realizzate dall'uomo grande rilievo hanno avuto quelle in muratura.

Il palazzo, il baglio, la torre saracena, il casolare, il mulino o la masseria, sono solo alcuni dei tipi di costruzioni che hanno rappresentato uno spaccato unico di un modo di vivere e di costruire le città. Un modo di costruire quasi caduto in disuso dopo l'avvento di materiali da costruzione più moderni e redditizi come l'acciaio e il cemento armato. Malgrado ciò la muratura rimane pur sempre in natura, assieme all'acqua, il materiale allo stato naturale più diffuso sulla terra.

Ancora oggi, in particolare attraversando le splendide campagne e percorrendo i bei paesini dell'entroterra siciliano, lontani dalle grandi città non si può fare a meno di rimanere affascinati dalle superbe costruzioni tipicamente realizzate con questo materiale che nei secoli s'è raffinato sempre di più, regalandoci le più belle pagine di Storia dell'architettura. A ridosso delle piccole arterie stradali o immerse nel territorio, queste costruzioni sono rimaste inalterate nel tempo e si sono inserite perfettamente in un susseguirsi di paesaggi immersi in una natura a misura d'uomo. Un uomo che ha tuttavia avuto a disposizione millenni per abituarsi a vivere e a lavorare la "pietra" e a scoprirne modi d'uso sempre nuovi.

Probabilmente i tempi rapidi delle esecuzioni, le forme inconsuete, le sezioni esili e resistenti del cemento armato e dell'acciaio, favoriti anche dai limiti costruttivi della pietra, hanno indotto a rendere superato il classico "mattoncino" a favore dei nuovi materiali moderni. Nell'epoca dell'industrializzazione e della velocità sembra proprio che non ci sia più spazio per quel fascino "romantico" della pietra naturale, che ha finito così per essere relegata nel passato tra materiali e tecniche costruttive di altri tempi.

Oggi, l'urbanistica con la sua particolare attenzione verso i centri storici interni e costieri, con la perimetrazione dei centri storici, le strategie sui paesaggi da salvaguardare e preservare, sembra avere riaperto il dibattito verso questo tipo di costruzioni. Una attenzione che però fa i conti con tecniche costruttive superate e dove anche nelle università i corsi dedicati alla muratura sono rari e confinati all'interno dei corsi di restauro. Nella professione poi, a parte qualche raro caso, lo si trova menzionato solo su alcuni libri tecnici di restauro, nell'archeologia industriale e nei progetti di riabilitazione strutturale.

Il problema più grande per gli edifici e le costruzioni in muratura esistenti, in particolare per quelli storici da recuperare o restaurare, è la scomparsa di figure legate alla filiera delle costruzioni in muratura. Quasi scomparse sono le maestranze specializzate della pietra assieme alle cave dove un tempo si coltivavano marmi, graniti e arenarie. Ad aggravare ciò, i regolamenti edilizi e talune norme tecniche che di fatto scoraggiano gli imprenditori ad usare questo materiale per le loro costruzioni, spingendoli viceversa verso materiali più "rapidi e redditizi" come il calcestruzzo e l'acciaio; materiali che consentono un rapporto cubatura-superficie e tempi-costi di realizzazione molto più redditizi. Oltre alle cave, scomparsi sono pure gli scalpellini che lavoravano la pietra, i marmisti e i decoratori, i maestri d'ascia che realizzavano le centine per gli archi e i ponti, i fabbri ferrai che realizzavano tiranti per gli archi, nonché ceramisti e stuccatori. Senza contare poi tutta l'Arte applicata che ruotava attorno agli edifici in muratura rappresentata da mosaici, affreschi, sculture. In sostanza tutte quelle attività che hanno impreziosito volte e saloni durante l'epoca d'oro della Storia dell'Arte italiana. Una scomparsa di Ars e Faber che rende improponibile una rinascita in toto di questo modo di costruire e d'abitare.

Perché un libro sulle murature allora?

Intanto perché il modellare la pietra e i suoi elementi strutturali era, è, e sarà sempre un lavoro di pazienza, di tempi lunghi e lenti, di invenzioni che da sempre hanno rappresentato la vera sfida del mondo dell'Architettura. Si pensi ai grandi archi romani, alle alte e temerarie cattedrali gotiche, agli eleganti scaloni barocchi, agli ambienti neoclassici, all'ingegneria dell'ar-

chitrave e della capriata, all'ingegno di Michelangelo in San Pietro. Architetture non certo sorte per mezzo di un semplice e brutale tocco di cemento armato stagionato e collaudato solo dopo 28 giorni.

Il libro *Elementi strutturali degli edifici in muratura*, è un revival di questo modo di costruire. Affronta il funzionamento degli elementi strutturali, ne analizza le cause e gli effetti, i pesi e i contrappesi, analizza come il carico partendo dalla copertura passi sapientemente concio dopo concio, pressione dopo pressione, attraverso i muri portanti per arrivare infine in fondazione. Un riappropriarsi dell'architettura dei conventi, delle basiliche e delle opere che da secoli sostengono le più importanti opere della nostra civiltà.

Questo paziente lavoro vuole essere un omaggio verso un'arte del costruire e ai suoi grandi artefici. Uno stimolo verso il progettista moderno, affinché avvicinandosi alla complessa "macchina" muratura apprezzi le costruzioni del passato e sappia inventarne di nuove.

L'autore

*Salvatore Sbacchis*

## **LA MURATURA**



## 1.1. L'elemento muratura

Il tessuto murario costituente un edificio in muratura, muratura intesa come “materiale”, è un elemento di difficile modellazione. Ciò in quanto la muratura non è un materiale naturale e non è assimilabile a nessuna delle ipotesi invece profondamente formulate e studiate dalla scienza e dalla tecnica delle costruzioni per altri materiali quali acciaio e cemento armato.

La muratura, intesa come “struttura realizzata dall'unione di singoli elementi lapidei legati fra di loro con correnti di malta o “a secco”, non rientra quindi tra i materiali a carattere omogeneo e continuo come l'acciaio o il legno. La sua realizzazione quindi comporta l'uso vario del mattone o della pietra in modo interrotto nel suo perimetro di corsi di malta. L'apparato murario in pietra non possiede un comportamento isotropo e tanto meno elastico, soprattutto elastico-lineare. Non consente apprezzabili deformazioni e rientra tra i materiali cosiddetti fragili.

Nella tecnica pratica, allora si è inteso idealizzare questo tipo di elemento in un materiale artificiale denominato idealmente “muratura”. Solo in questo modo è stato possibile attribuire alla pietra caratteristiche pari a quelle degli altri materiali. La pietra rappresentata nel modello della muratura diventa materiale da costruzione suscettibile di essere calcolato, verificato e acquista le caratteristiche di un materiale omogeneo, isotropo e, se sollecitato in un certo modo, capace di assumere un comportamento simile a quello di un qualunque altro materiale suscettibile alle leggi della statica.

A questo “muro di progetto”, vengono attribuiti non solo un peso specifico ma anche un modulo elastico, una caratteristica di resistenza capace di mantenere nel tempo comportamenti fisico-meccanici e leggi costitutive stabili alla pari di altri materiali.

## 1.2. Il materiale muratura

La muratura risulta avere un legame costitutivo altamente non lineare e caratterizzato fortemente dal segno delle sollecitazioni (compressione/trazione) che la deformano in vari modi. Infatti, risulta avere un comportamento di tipo abbastanza duttile in presenza anche di elevati sforzi di compressione ma altamente fragile e con una bassissima resistenza se sollecitato a trazione. Inoltre, in campo di sicurezza, soprattutto durante la presenza di carichi ciclici la muratura rientra nella famiglia dei cosiddetti materiali non resistenti a trazione, come in occasione di scosse sismiche che sollecitando in modo ciclico la muratura a trazione e a compressione danneggia l'apparato murario con la classica fessurazione sismica a forma di “X”.

Fessurazioni comunque da valutare caso per caso, in quanto a differenza degli altri materiali, le lesioni subite dalla muratura, quando modeste, possono essere riparate restituendola alla sua funzione originaria.

## 1.3. Il modello strutturale

Per le costruzioni in muratura, il caso più ricorrente nella pratica tecnica è quello della verifica di sicurezza e quindi calcolare la resistenza ultima di edifici realizzati con pareti portanti in muratura collegate da impalcati.

Nei calcoli di verifica si ipotizza che la resistenza dell'edificio viene affidata tutta a elementi verticali portanti detti *maschi murari*. Hanno il compito di assorbire i carichi verticali dovuti al peso dell'edificio, i carichi orizzontali dovute alle forze sismiche, alla pressione idrica o del vento. Tutte forze orizzontali che in particolare si fanno concentrare nel baricentro delle masse (G) dell'impalcato (Fig.1.1.). E se fra i due baricentri c'è pure eccentricità, le azioni orizzontali possono generare una torsione dell'edificio attorno al baricentro delle rigidità (R). La sovrapposizione dello spostamento orizzontale legato alla torsione può generare notevoli spostamenti ai vari piani dell'edificio.

Dal punto di vista della sicurezza viene valutato il raggiungimento dello stato limite ultimo a taglio da parte delle forze complanari al solaio e allo schiacciamento dei muri portanti dovuto ai carichi verticali, nonché ad azioni di presso-flessione locali agenti sulle pareti.

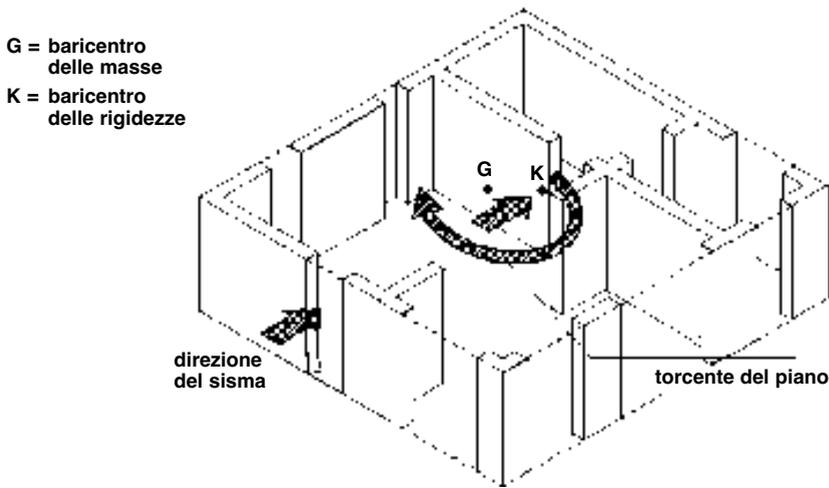


FIGURA 1.1. Maschi murari sottoposti a taglio e torcente di piano.

### 1.3.1. Il legame costitutivo del maschio murario

Ovviamente la risposta del *maschio murario*, sollecitato da una forza complanare in testa variabile (sisma, vento, ecc.) e da un carico verticale fisso (carichi permanenti e di esercizio), dipenderà, oltre che dal grado di vincolamento, anche dal modello scelto per descrivere, come già detto, uno standard per il materiale *muratura* (modulo di elasticità, peso specifico, resistenza meccanica, coefficienti di sicurezza, ipotesi di calcolo, ecc.).

Per conoscere la risposta del setto murario alle sollecitazioni si dovranno comunque conoscere in maniera particolare: la rigidità secante, la forza resistente ultima applicata in testa e la duttilità.

### 1.3.2. Le proprietà di calcolo del maschio murario

In generale è possibile ipotizzare che per il singolo *maschio murario* soggetto ad un carico normale fisso ed una forza orizzontale variabile, siano possibili due tipi differenti di collasso:

1. Collasso con fessurazione diagonale del pannello (P.O.R. classico) che avviene quando nel centro del pannello la tensione principale massima supera la resistenza a trazione: formule di Frocht, Turnsek-Cacovic (Decreto Ministeriale 2 luglio 1981); ovvero per scorrimento a taglio: formule ad attrito per edifici di nuova costruzione (Decreto Ministeriale 20 novembre 1987).
2. Collasso per schiacciamento della base del setto (o alla fondazione), per effetto combinato dello sforzo normale costante e del momento variabile dovuto al taglio in testa. Al limite per una resistenza a compressione infinita corrispondente al meccanismo di collasso per ribaltamento rigido del setto attorno ad uno spigolo di base.

Nel caso il piede del pannello, maschio murario, sia anche di fondazione, allora la rigidità viene ridotta tenendo conto della rotazione alla base della fondazione, in funzione della costante di Winkler del terreno e della larghezza della fondazione, trasformando l'incastro in una cerniera elastica.

## 1.4. Gli edifici in muratura

Un edificio in muratura portante a prescindere dalla sua distribuzione in pianta e in alzata, deve essere ipotizzato, al fine di una verifica globale, come un organismo in grado di interagire

in modo tridimensionale (*nello spazio*) alle sollecitazioni a cui è sottoposto. In questo modo tutti gli elementi resistenti individuati risulteranno idonei a trasmettere in modo efficiente, verso le strutture di fondazione, le sollecitazioni verticali e orizzontali a cui la struttura è sottoposta.

### 1.5. I codici di calcolo

I codici di calcolo maggiormente usati per il calcolo della resistenza degli edifici in muratura sono di due tipi: quelli basati sul metodo del continuo, e quelli basati sugli elementi finiti. La scelta dipende dal tipo di conoscenza che si vuole avere della struttura:

- del metodo del continuo fanno parte il metodo semplificato usato per la verifica a schiacciamento delle parti verticali, il metodo esteso per le verifiche a presso-flessione delle pareti, il codice di calcolo P.O.R. per le azioni orizzontali di taglio;
- del metodo degli elementi finiti fanno parte tutti i codici di calcolo di tipo S.A.P., algoritmo sviluppato per il computer adatti per lo studio di edifici complessi.

La differenza sostanziale tra i due tipi di codici di calcolo, ad esempio tra un codice di calcolo P.O.R. e un codice di calcolo S.A.P., sta nel numero di discretizzazioni necessarie per studiare l'edificio in muratura. Maggiore, però, sono gli elementi che si studiano per verificare il comportamento dell'edificio, maggiore sarà il numero di equazioni necessarie per risolvere l'equilibrio degli elementi che costituiscono la scatola muraria.

L'informatica è riuscita ad aprire una nuova frontiera in questo verso. Grazie ai sempre più potenti microprocessori e algoritmi di calcolo è possibile adesso eseguire un gran numero di operazioni di calcolo complesse e in un brevissimo tempo. Programmi capaci pure di evidenziare graficamente, lo stato fessurativo, le lesioni e gli spostamenti che subiscono le pareti sotto varie condizioni di carico. Tra i limiti dello studio delle murature con questo metodo e che l'edificio per essere analizzato deve essere consegnato al codice di calcolo completo di tutte le sue parti altrimenti non riesce a sviluppare il calcolo. Ciò porta a concludere che i risultati di un edificio calcolato con un elaboratore sono validissimi ma solo per l'edificio finito e completato.

#### 1.5.1. *Il metodo di calcolo semplificato*

Prima di accennare ai due metodi di calcolo più diffusi per la verifica dettagliata degli edifici in muratura è importante sottolineare ciò che la normativa italiana prevede per i piccoli edifici, o meglio per quegli edifici aventi alcune caratteristiche particolari per i quali è possibile adottare il *metodo di verifica semplificato*.

È possibile operare con il metodo semplificato se nel progetto sono state rispettate le seguenti prescrizioni costruttive:

- a) l'edificio deve essere costituito da non più di tre piani entro e fuori terra;
- b) la planimetria dell'edificio deve risultare inscritta in un rettangolo con rapporti fra lato minore e lato maggiore non inferiore a 1/3;
- c) la snellezza della muratura non sia in nessun caso superiore a 12;
- d) l'area della sezione di muratura resistente alle azioni orizzontali, espressa in percentuale rispetto alla superficie totale in pianta dell'edificio, sia non inferiore al 4% nelle due direzioni principali escluse le parti aggettanti; non sono da prendere in considerazione, ai fini della percentuale di muratura resistente, i muri di lunghezza  $L$  inferiore a 50 cm, misurata al netto delle aperture.

Per considerare l'edificio verificato, dovrà inoltre risultare:

$$\sigma = \frac{N}{0,65 \cdot A} < \bar{\sigma}_m$$

dove:

$N$  = carico verticale totale alla base del piano più basso dell'edificio;

$A$  = area totale dei muri portanti allo stesso piano;  
 $\bar{\sigma}_m$  = tensione base ammissibile della muratura.

### 1.5.2. Il codice di calcolo P.O.R.

Il metodo di calcolo detto P.O.R. è un codice numerico strutturale sviluppato per l'analisi in zona sismica di edifici multipiano in muratura adottato per la prima volta nel terremoto del Friuli col D.M. 2 luglio 1981.

La verifica all'azione sismica è eseguita ricorrendo alla *teoria degli stati limite* secondo il metodo sviluppato da Tomazevic nel 1978.

In questo codice l'edificio in muratura viene schematizzato in una serie di impalcati infinitamente rigidi nel loro piano (Fig. 1.2.).

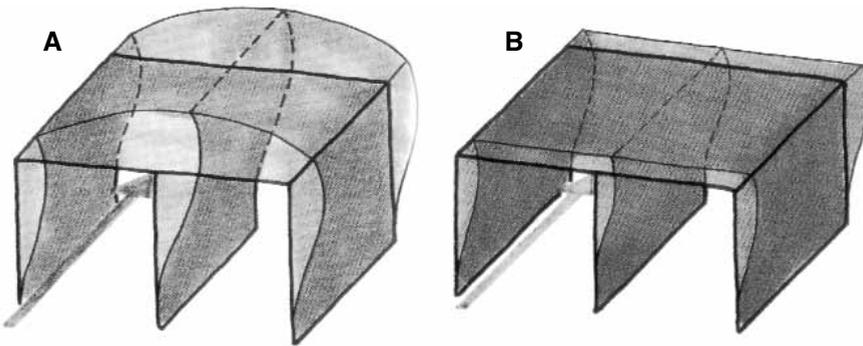


FIGURA 1.2. Comportamento elastico (A) e rigido (B) di un solaio di struttura in muratura.

I vari piani rigidi che comprendono solai, cordoli, scale, balconi, sono collegati ad elementi resistenti verticali prevalentemente di forma rettangolare detti *maschi murari*. Questi elementi, facenti parte della scatola muraria, risultano controventati nella direzione a loro perpendicolare da altri setti murari. I setti murari presenti nelle due direzioni principali dell'edificio si trovano poi collegati rigidamente tra di loro alle varie quote degli impalcati da un nodo solaio.

Nel procedimento di calcolo si misurano le variazioni di rigidità delle murature e gli spostamenti tra il baricentro delle masse (G) e il baricentro delle rigidità (R). Eccentricità che se notevole genera fenomeni torcenti dell'edificio che si ripercuotono sugli spostamenti generali dei maschi murari.

La verifica degli elementi viene effettuata allo stato limite ultimo, supponendo che il generico maschio murario subisca una rottura per taglio.

Il setto murario viene sottoposto a due tipi di legge. Una costitutiva con una prima fase elastica dove la muratura ritorna allo stato iniziale con irrilevanti fessurazioni, cui fa seguito una seconda fase orizzontale perfettamente plastica dove i pannelli risultano visibilmente lesionati ma ancora recuperabili con tecniche di riabilitazione statica. Per iterazioni viene aumentato il carico e indebolita la struttura fino a quando questa non subisce un collasso strutturale.

Il procedimento P.O.R. nasce per ricavare la capacità portante a taglio dell'edificio facendolo passare via via dal regime elastico, a quello di fessurazione e poi al collasso che avviene per cedimento di un solo setto murario. In regime di spinta sismica questa viene fatta crescere progressivamente facendo spostare sempre di più l'impalcato facendolo passare dallo stato elastico a quello plastico e infine a quello a rottura.

In base all'azione della forza statica equivalente al sisma l'edificio può ricadere in uno dei tre casi di spostamento iniziale.