



MARCO BOSCOLO BIELO

# PROGETTAZIONE DI EDIFICI IN MURATURA PORTANTE E MESSA IN SICUREZZA DI EDIFICI ESISTENTI

CON ESEMPI PRATICI PER COMPRENDERE IMMEDIATAMENTE  
I MODELLI TEORICI E LE FORMULE DI CALCOLO



**PRONTO  
GRAFILL**

Clicca e richiedi di essere contattato  
per informazioni e promozioni



WEBAPP INCLUSA  
CON AGGIORNAMENTO AUTOMATICO

**GRAFILL**

Marco Boscolo Bielo

## **PROGETTAZIONE DI EDIFICI IN MURATURA PORTANTE E MESSA IN SICUREZZA DI EDIFICI ESISTENTI**

Ed. I (11-2022)

ISBN 13 978-88-277-0363-2

EAN 9 788827 7 03632

Collana **MANUALI** (284)

*L'Autore desidera ringraziare: l'Ing. Luigi Nulli e Concrete s.r.l. per Sismicad, l'Arch. Giovanni Biz, Laterlite S.p.A. divisione Ruregold, Gruppo Stabila S.p.A.*



**Licenza d'uso da leggere attentamente  
prima di attivare la WebApp o il Software incluso**

Usa un QR Code Reader  
oppure collegati al link <https://grafill.it/licenza>

**Per assistenza tecnica sui prodotti Grafill** aprire un ticket su <https://www.supporto.grafill.it>

L'assistenza è gratuita per 365 giorni dall'acquisto ed è limitata all'installazione e all'avvio del prodotto, a condizione che la configurazione hardware dell'utente rispetti i requisiti richiesti.

© **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)

**CONTATTI  
IMMEDIATI**



**Pronto GRAFILL**  
Tel. 091 6823069



**Chiamami**  
[chiamami.grafill.it](http://chiamami.grafill.it)



**Whatsapp**  
[grafill.it/whatsapp](http://grafill.it/whatsapp)



**Messenger**  
[grafill.it/messenger](http://grafill.it/messenger)



**Telegram**  
[grafill.it/telegram](http://grafill.it/telegram)

Finito di stampare presso **Tipografia Publistampa S.n.c. - Palermo**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

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.



**CLICCA per maggiori informazioni  
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

# SOMMARIO

<b>1. UNA STORIA LUNGA QUASI QUANTO L'UOMO</b> .....	p.	9
1.1. Gli albori in Mesopotamia.....	"	9
1.2. Il Periodo Sumerico.....	"	10
1.3. Il periodo Egiziano e Creta .....	"	11
1.4. La Grecia Classica, Vitruvio e l'Epoca Romana.....	"	11
1.5. Medioevo e Rinascimento .....	"	14
1.6. L'Ottocento e il Novecento.....	"	14
1.7. Un'opera in laterizio del Novecento: il Campanile di S. Marco a Venezia.....	"	20
<b>2. PRODUZIONE DEI LATERIZI</b> .....	"	24
2.1. Le norme di riferimento .....	"	24
2.2. Qualificazione dei materiali e prodotti strutturali .....	"	25
2.3. Obblighi del Direttore dei Lavori .....	"	26
2.4. Obblighi dei Produttori.....	"	27
2.5. Ciclo di produzione del laterizio .....	"	28
2.6. Certificazione del prodotto .....	"	31
2.7. Formati di produzione .....	"	33
2.7.1. Classificazione in base alla percentuale di foratura .....	"	33
2.7.2. Elementi artificiali pieni.....	"	35
2.7.3. Elementi artificiali semipieni .....	"	35
2.7.3.1. Doppio UNI e standard semipieno .....	"	35
2.7.3.2. Modulare universale.....	"	36
2.7.3.3. Blocchi alveolati .....	"	37
2.7.3.4. Blocchi ad incastro .....	"	38
2.7.3.5. Blocchi speciali per muratura armata .....	"	39
2.7.4. Blocchi per murature non portanti (tramezzature) .....	"	39
2.8. Manuale d'istruzione e schede informative sulla sicurezza dei prodotti .....	"	40
2.9. Prove per il controllo di accettazione degli elementi .....	"	40

<b>3. CARATTERISTICHE MECCANICHE</b>		
<b>PER COSTRUZIONI NUOVE</b>	p.	42
3.1. Definizione di costruzioni in muratura portante.....	"	42
3.2. Elementi per murature .....	"	43
3.2.1. Elementi artificiali .....	"	43
3.2.2. Elementi naturali.....	"	43
3.3. Malte.....	"	43
3.3.1. Malte a prestazione garantita .....	"	44
3.3.2. Malte a composizione prescritta.....	"	44
3.3.3. Malte prodotte in cantiere .....	"	45
3.3.4. Prove di accettazione in cantiere .....	"	45
3.4. Murature.....	"	46
3.4.1. Determinazione sperimentale della resistenza a compressione .....	"	46
3.4.2. Stima di progetto della resistenza caratteristica a compressione delle murature in elementi artificiali .....	"	47
3.4.3. Stima di progetto della resistenza caratteristica a compressione di elementi naturali.....	"	48
3.4.4. Determinazione sperimentale della resistenza caratteristica a taglio.....	"	49
3.4.5. Stima di progetto della resistenza caratteristica a taglio in assenza di sforzo normale.....	"	49
3.4.6. Resistenza caratteristica a taglio in presenza di sforzo normale .....	"	50
3.4.7. Moduli di elasticità (E, G) .....	"	53
3.4.7.1. Determinazione sperimentale dei moduli di elasticità.....	"	53
3.4.7.2. Stima di progetto dei moduli di elasticità .....	"	53
3.5. La classe di esecuzione.....	"	54
3.6. Resistenze di progetto .....	"	55
<b>4. CARATTERISTICHE MECCANICHE</b>		
<b>PER MURATURE DI EDIFICI ESISTENTI</b>	"	57
4.1. Generalità .....	"	57
4.2. Analisi storico-critica .....	"	57
4.3. Rilievo strutturale e tipi di indagini.....	"	59
4.4. Caratterizzazione meccanica dei materiali e classificazione delle prove .....	"	60
4.5. Determinazione dei "livelli di conoscenza" e dei "fattori di confidenza" .....	"	67
4.6. Resistenze di progetto .....	"	70

4.7.	Esempio di attribuzione dei parametri meccanici in un edificio .....	p.	71
4.8.	Abaco delle murature .....	"	73
<b>5.</b>	<b>TRASMISSIONE DEI CARICHI</b>		
	<b>ATTRAVERSO I SOLAI</b> .....	"	82
5.1.	Generalità .....	"	82
5.2.	Muri soggetti a sforzo normale semplice .....	"	83
5.3.	Nocciolo centrale di inerzia .....	"	85
5.4.	Azioni nel piano e fuori del piano .....	"	85
	5.4.1. Esempio di pressoflessione nel piano del muro con sezione interamente compressa .....	"	86
	5.4.2. Esempio di flessione fuori del piano del muro .....	"	88
5.5.	Ribaltamento del muro .....	"	90
5.6.	Muri di controventamento .....	"	91
5.7.	Schema di comportamento elastico all'azione tagliante .....	"	93
5.8.	Solai infinitamente rigidi .....	"	97
5.9.	Baricentro delle masse .....	"	99
5.10.	Ripartizione di azioni taglianti sulle murature .....	"	102
5.11.	Baricentro delle rigidezze .....	"	110
5.12.	Funzione degli orizzontamenti lungo l'altezza di un edificio .....	"	112
<b>6.</b>	<b>ASPETTI QUALITATIVI</b>		
	<b>DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE</b> .....	"	115
6.1.	Generalità .....	"	115
6.2.	L'ingranamento .....	"	116
6.3.	Classificazione di edifici in muratura .....	"	117
	6.3.1. Edifici realizzati interamente di muratura .....	"	118
	6.3.2. Edifici realizzati con ritti in muratura e orizzontamenti discontinui lignei o metallici .....	"	119
	6.3.3. Edifici a comportamento scatolare .....	"	121
	6.3.4. Edifici non ordinari .....	"	122
6.4.	Travi di accoppiamento .....	"	123
6.5.	Comportamento dei ritti privi di travi di accoppiamento .....	"	125
6.6.	Comportamento dei ritti in presenza di travi di accoppiamento .....	"	126
<b>7.</b>	<b>AZIONI SISMICHE</b> .....	"	128
7.1.	Concetti elementari di equilibrio dinamico .....	"	128

7.2.	L'accelerazione sismica attesa al suolo .....	p.	132
7.3.	Spettri di risposta in accelerazione .....	"	134
7.4.	Spettri di progetto.....	"	136
7.5.	Periodo fondamentale di vibrazione $T_1$ .....	"	139
7.6.	Fattore di comportamento per nuove costruzioni.....	"	141
7.7.	Fattore di comportamento per costruzioni esistenti.....	"	143
7.8.	Regolarità strutturale .....	"	144
7.9.	Costruzione del diagramma di spettro con foglio elettronico .....	"	145
<b>8.</b>	<b>CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE .....</b>	"	148
8.1.	Organizzazione strutturale .....	"	148
8.2.	Spessore dei maschi murari.....	"	150
8.3.	Snellezze dei maschi murari.....	"	150
8.4.	Caratteristiche dei materiali per murature resistenti al sisma .....	"	152
8.5.	Regole di dettaglio per murature ordinarie .....	"	153
8.6.	Regole di dettaglio per murature armate.....	"	154
8.7.	Regole di dettaglio per muratura confinata .....	"	154
8.8.	Strutture miste.....	"	155
8.9.	Regole generali per le fondazioni superficiali.....	"	156
8.10.	Nicchie e tracce nelle murature.....	"	156
<b>9.</b>	<b>VERIFICHE DI MURATURE ORDINARIE .....</b>	"	159
9.1.	Generalità .....	"	159
9.2.	Pressoflessione nel piano .....	"	159
9.3.	Pressoflessione fuori del piano del muro .....	"	163
9.4.	Verifica a taglio per scorrimento orizzontale .....	"	163
9.5.	Rottura per conseguenza di applicazione di carichi concentrati .....	"	170
9.6.	Flessione e taglio su travi di accoppiamento in muratura.....	"	171
9.7.	Verifiche per edifici esistenti .....	"	172
9.7.1.	Verifica a taglio .....	"	172
9.8.	Verifiche agli stati limite di esercizio (SLD) .....	"	174
<b>10.</b>	<b>VERIFICHE PER MURATURE ARMATE.....</b>	"	175
10.1.	Generalità .....	"	175
10.2.	Armatura.....	"	176

10.2.1.	Tipi ammessi .....	p. 176
10.2.2.	Caratteristiche meccaniche e dimensionali delle barre d'armo in acciaio .....	" 176
10.2.3.	Disposizione delle barre e quantitativi minimi .....	" 178
10.2.4.	Ancoraggio .....	" 178
10.3.	Riempimento del materiale cementizio .....	" 179
10.4.	Basi del dimensionamento .....	" 180
10.4.1.	Ipotesi del modello di comportamento .....	" 180
10.4.2.	Resistenza di progetto a compressione della muratura armata .....	" 182
10.5.	Trazione .....	" 183
10.6.	Compressione .....	" 183
10.7.	Flessione semplice .....	" 185
10.8.	Pressoflessione retta .....	" 188
10.8.1.	Generalità .....	" 188
10.8.2.	Pressoflessione retta per sezione interamente compressa con asse neutro esterno .....	" 188
10.8.3.	Pressoflessione retta per sezione interamente compressa con asse neutro al lembo .....	" 192
10.8.4.	Pressoflessione retta per sezione interamente compressa con asse neutro interno .....	" 192
10.8.5.	Pressoflessione fuori del piano del muro .....	" 194
10.9.	Taglio .....	" 194
10.10.	Taglio per gerarchia delle resistenze .....	" 197
<b>11.</b>	<b>VERIFICHE SISMICHE</b> .....	" 199
11.1.	Descrizione dell'edificio .....	" 199
11.2.	Caratteristiche della costruzione e del sito di riferimento .....	" 200
11.3.	Fattore di comportamento .....	" 200
11.4.	Diagrammi degli spettri di risposta in termini di accelerazione .....	" 200
11.5.	Periodo proprio di vibrazione $T_1$ .....	" 201
11.6.	Risposta di spettro .....	" 201
11.7.	Carichi verticali .....	" 202
11.8.	Valutazione del tagliante di base (Analisi Lineare Statica) .....	" 202
11.9.	Componenti dovute all'eccentricità .....	" 203
11.10.	Coppie trazione-compressione sui maschi .....	" 203
11.11.	Stima delle azioni sui maschi murari .....	" 204
11.12.	Verifica a taglio .....	" 208

11.13.	Verifica a pressoflessione .....	p.	211
11.14.	Verifiche per azioni sismiche ortogonali al piano .....	"	212
<b>12.</b>	<b>MURATURE FIBRORINFORZATE</b> .....	"	216
12.1.	Generalità .....	"	216
12.2.	Sistemi FRP .....	"	217
12.3.	Sistemi FRCM .....	"	218
12.4.	Rinforzo di murature con FRP o FRCM .....	"	219
12.5.	Sistemi CRM .....	"	222
12.6.	Connessioni trasversali .....	"	223
12.7.	Parametri tecnici .....	"	226
12.8.	Rinforzi a taglio su murature .....	"	229
	12.8.1. Metodo analitico .....	"	229
	12.8.2. Metodo semplificato .....	"	233
12.9.	Cerchiature e tirantature .....	"	234
12.10.	Cordoli in sommità di pareti .....	"	235
12.11.	Rinforzo di colonne in muratura .....	"	237
12.12.	Rinforzo di archi e volte .....	"	237
<b>13.</b>	<b>CONTENUTI E ATTIVAZIONE DELLA WEBAPP</b> .....	"	241
13.1.	Contenuti della WebApp .....	"	241
13.2.	Requisiti hardware e software .....	"	241
13.3.	Attivazione della WebApp .....	"	241

# UNA STORIA LUNGA QUASI QUANTO L'UOMO

## 1.1. Gli albori in Mesopotamia

Gli albori delle costruzioni in mattoni di argilla hanno origini remotissime. Da una fase preistorica di utilizzo di materiali aventi caratteristiche vegetali e di facile reperibilità (legname, canne, foglie, paglia), si passa all'impiego di argilla grossolana compattata manualmente e impastata. Questi elementi non sono soggetti a particolari tipi di lavorazione e vengono utilizzati senza un pre-trattamento di qualche sorta.

Tracce di costruzioni ottenute in questo modo si trovano, ad esempio, in Iraq e risalgono al VI millennio PEV<sup>1</sup>. Si tratta di un gruppo di costruzioni situate nella località di Hassuna, disposte secondo un aggregato di vani a pianta quadrangolare, edificate ricorrendo a blocchetti e lastre di argilla cruda mescolata a paglia fine o arbusti triturati. Non è possibile identificare esattamente la dimensione e la forma di tali elementi in quanto il loro utilizzo "a crudo", unitamente all'azione del tempo e degli agenti atmosferici, ha comportato una compenetrazione dell'uno nell'altro.

Nel successivo periodo archeologico appartenente alla medesima cultura Mesopotamica, che prende il nome dalla località di Halaf (V millennio PEV), vengono per la prima volta usati mattoni prismatici di argilla la cui preparazione è eseguita in piccole casseforme rettangolari di legno e con miscele di terre argillose contenenti paglia sminuzzata e sterco al fine di limitare il fenomeno fessurativo durante l'essiccamento naturale. Spesso le casseforme utilizzate sono composte da 2 pezzi sovrapposti: la parte superiore, dotata di manici sporgenti, viene sollevata dopo il costipamento della miscela al suo interno, e il prodotto viene lasciato essiccare al sole. Dopo il montaggio in opera, le pareti vengono lisciate mediante l'utilizzo dello stesso tipo di miscela resa più fluida grazie a un più alto contenuto d'acqua e stesa come intonaco.

Nel IV millennio PEV, durante il cosiddetto periodo Ubaid, questo sistema costruttivo assume importanza nella realizzazione di costruzioni pubbliche di notevoli dimensioni architettoniche (*ziggurat*). Inizia anche una prima standardizzazione degli elementi che assumono dimensioni di circa 20 cm × 40 cm × 3÷4 cm, e successivamente, intorno al 3000 PEV, dimensioni più piccole, in modo da consentire una più agevole manipolazione. In questo periodo compaiono anche i primi esempi di "cottura".

<sup>1</sup> Prima dell'Era Volgare. Utilizzerò la notazione PEV al posto di a.C. e EV al posto di d.C..

## 1.2. Il Periodo Sumerico

Col sorgere delle prime dinastie Sumeriche (2800÷2300 PEV) viene introdotta una modifica nella forma e nella disposizione dei mattoni. Per quanto riguarda le dimensioni si predilige generalmente una misura di 10 cm × 20 cm con forma cosiddetta piano-convessa, conseguenza della collocazione della miscela fangosa all'interno della cassaforma, con accumulo ben oltre i limiti del livello superiore della medesima e arrotondamento "a mano" della superficie esposta dell'elemento. La faccia superiore viene generalmente bucherellata con le dita, mentre la posa degli elementi assume un andamento convenzionale caratterizzata da una disposizione di due strati successivi a coltello e inclinati in modo da ottenere un effetto "spigato", alternati da due strati orizzontali (vedi Figura 1.1). Si diffonde maggiormente l'utilizzo di una cottura su forni rudimentali, mentre fanno la prima comparsa gli archi di copertura, utilizzati in tombe reali di modeste dimensioni e in condutture fognarie, ma realizzate in pietra calcarea opportunamente sagomata.

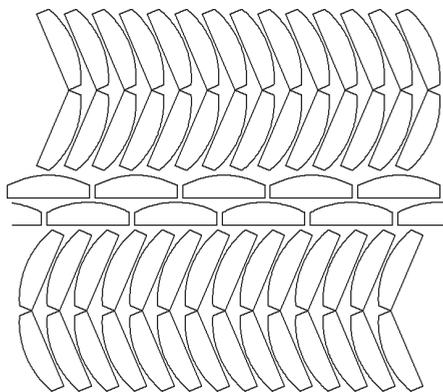


Figura 1.1. Disposizione a coltello con effetto "spigato" (2800÷2300 PEV)

Sotto la III Dinastia Sumerica (2100÷1950 PEV) la realizzazione di grandi edifici in mattoni raggiunge notevoli progressi come nel caso della ziggurat di Ur-Nammu che aveva una pianta di 72 m × 54 m per un'altezza di 26 m. Le facciate erano composte da un rivestimento di mattoni cotti e spessi 2 m, contraffortate da lesenature verticali. Costruzioni di così elevata mole nascondevano senza dubbio insidie conseguenti a sensibili effetti dovuti agli assestamenti e ai ritiri dei materiali, per far fronte ai quali venivano utilizzati dei tiranti composti da stuoie in canna interposte ad intervalli regolari dei corsi di mattoni e disposte in modo continuo in modo da legare due facciate opposte di muratura.

Le dimensioni dei mattoni assumono uno standard che permarrà per parecchi secoli fino alla caduta di Babilonia (VI secolo PEV): circa 30 cm × 30 cm × 8 cm per i mattoni cotti; 15 cm × 30 cm × 8 cm per quelli crudi.

Compaiono dunque le prime volte in mattoni (non lapidei) di piccole dimensioni, per le quali viene escogitato il sistema di appoggiare gli elementi con una certa inclinazione in modo da evitare le centine (Figura 1.2).

## PRODUZIONE DEI LATERIZI

### 2.1. Le norme di riferimento

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018)<sup>1</sup> riservano alle costruzioni in muratura portante i paragrafi 4.5, 7.8 e 11.10. In generale il DM racchiude in un unico testo il complesso delle disposizioni tecniche afferenti alla progettazione strutturale delle costruzioni relative a tutte le tipologie di materiali e indica le procedure da adottare nelle varie fasi che attraversano il progetto, l'esecuzione e il collaudo. Inoltre esso contiene l'identificazione delle procedure applicabili ai fini dell'ottenimento delle prestazioni richieste alle strutture portanti in termini di resistenza meccanica, stabilità e durabilità. La norma fornisce poi, dal punto di vista quantitativo, le azioni che devono essere utilizzate nella progettazione strutturale e definisce le caratteristiche dei materiali e dei prodotti da impiegare nelle costruzioni.

Il DM ha carattere cogente nel territorio tuttavia, laddove non riporti contenuti espliciti in merito ad un qualche aspetto particolare, rimanda a "norme di comprovata validità", quali gli Eurocodici; le norme emanate dall'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione); dal CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche); dal CSLPP (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici) mediante le cosiddette Istruzioni o Linee Guida.

Una citazione particolare merita anche la Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7/2019, la quale ha fornito alcuni chiarimenti e approfondimenti relativi ai contenuti del DM.

Senza dubbio gli Eurocodici sono la principale normativa di riferimento complementare alle NTC. Allo stato attuale l'elenco degli Eurocodici è il seguente:

- **UNI EN 1991:** Eurocodice 1 (EC1) - Basi di calcolo ed azioni sulle strutture;
- **UNI EN 1992:** Eurocodice 2 (EC2) - Progettazione delle strutture di calcestruzzo;
- **UNI EN 1993:** Eurocodice 3 (EC3) - Progettazione delle strutture di acciaio;
- **UNI EN 1994:** Eurocodice 4 (EC4) - Progettazione delle strutture composte acciaio/calcestruzzo;
- **UNI EN 1995:** Eurocodice 5 (EC5) - Progettazione di strutture di legno;
- **UNI EN 1996:** Eurocodice 6 (EC6) - Progettazione delle strutture di muratura;
- **UNI EN 1997:** Eurocodice 7 (EC7) - Progettazione geotecnica;

<sup>1</sup> Nel seguito abbreviato in DM oppure in NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni).

- **UNI EN 1998:** Eurocodice 8 (EC8) – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture;
- **UNI EN 1999:** Eurocodice 9 (EC9) – Progettazione delle strutture di alluminio.

## 2.2. Qualificazione dei materiali e prodotti strutturali

I materiali ed i prodotti per uso strutturale, utilizzati nelle costruzioni, sono sottoposti ad una serie di procedure che, alla fine del loro percorso, li renderanno:

- **identificati** univocamente a cura del **Produttore**;
- **qualificati** sotto la responsabilità del **Produttore**;
- **accettati** dal **Direttore dei Lavori** mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

In particolare, per quanto attiene l'identificazione e la qualificazione, possono configurarsi i seguenti casi:

- A) Materiali e prodotti per i quali **sia disponibile**, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE. Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se corredati della "Dichiarazione di Prestazione" e della Marcatura CE, prevista al Capo II del Regolamento UE 305/2011.
- B) Materiali e prodotti per uso strutturale per i quali **non sia disponibile** una norma europea armonizzata oppure la stessa ricada nel periodo di coesistenza, per i quali sia invece prevista la qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle presenti norme. È fatto salvo il caso in cui, nel periodo di coesistenza della specifica norma armonizzata, il fabbricante abbia volontariamente optato per la Marcatura CE.
- C) Materiali e prodotti per uso strutturale **non ricadenti nelle tipologie A) o B)**. In tali casi il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili; con decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, su conforme parere della competente Sezione, sono approvate Linee Guida relative alle specifiche procedure per il rilascio del "Certificato di Valutazione Tecnica".

Nel caso C), qualora il fabbricante preveda l'impiego dei prodotti strutturali anche con funzioni di compartimentazione antincendio, dichiarando anche la prestazione in relazione alla caratteristica essenziale resistenza al fuoco, le Linee Guida sono elaborate dal Servizio Tecnico Centrale di concerto, per la valutazione di tale specifico aspetto, con il Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della difesa Civile del Ministero dell'Interno.

## CARATTERISTICHE MECCANICHE PER COSTRUZIONI NUOVE

### 3.1. Definizione di costruzioni in muratura portante

Secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni, sono definite "in muratura portante" le costruzioni con struttura portante verticale realizzata con sistemi in blocchi di elementi artificiali legati con malta, in grado di sopportare azioni verticali e orizzontali, collegati tra di loro da strutture di impalcato, orizzontali ai piani ed eventualmente inclinate in copertura, e da opere di fondazione.

Nella modellazione teorica del comportamento strutturale si fa riferimento a pannelli murari, ovvero la schematizzazione avviene considerando un "macroelemento" di muratura. Con riferimento alla Figura 3.1, questo può essere costituito da un elemento prismatico di dimensione  $L \times t \times H$ , dove:

- $L$  = lunghezza del muro;
- $t$  = spessore del muro;
- $H$  = altezza dell'elemento considerato (spesso l'interpiano).

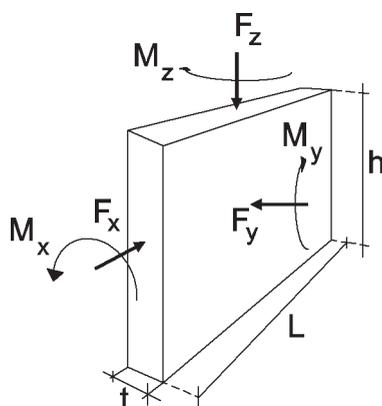


Figura 3.1. Pannello murario e schema delle azioni secondo i tre assi di riferimento

Con tale tipo di modellazione risulta necessario riferirsi dunque a dei parametri meccanici che rappresentino non tanto gli elementi costituenti il muro, bensì il comporta-

mento complessivo di questo. È evidente che la determinazione di detti parametri non può prescindere da quelli caratterizzanti gli elementi che lo compongono (mattoni e malta), pertanto occorrerà comunque riferirsi a questi.

Oltre a risultati di tipo sperimentale, ottenuti su muretti con dimensioni normalizzate, per la determinazione dei parametri meccanici delle murature è possibile riferirsi ad algoritmi fissati dalle NTC. In tal caso si parla di "stima di progetto" del valore del relativo parametro.

In definitiva le proprietà fondamentali in base alle quali si classifica una muratura sono:

- a) la resistenza caratteristica a compressione  $f_{k_i}$ ;
- b) la resistenza caratteristica a taglio in assenza di azione assiale  $f_{vk0_i}$ ;
- c) il modulo di elasticità normale secante  $E$ ;
- d) il modulo di elasticità tangenziale secante  $G$ .

I valori delle caratteristiche meccaniche utilizzate per le verifiche devono essere sempre indicati nel progetto delle opere. In ogni caso, quando è richiesto un valore di  $f_k$  maggiore o uguale a 8 MPa (80 daN/cm<sup>2</sup>) si deve controllare il valore di  $f_{k_i}$ , mediante prove sperimentali normalizzate.

## 3.2. Elementi per murature

### 3.2.1. Elementi artificiali

Si tratta di elementi di produzione industriale che possono essere in laterizio, calcestruzzo, calcestruzzo alleggerito con vari tipi di materiale (ad esempio argilla espansa, fibre minerali, ecc.), o altri tipi di impasto.

Possono essere pieni o dotati di fori in direzione normale al piano di posa (foratura verticale) oppure in direzione parallela (foratura orizzontale).

Secondo la normativa tecnica, gli elementi artificiali impiegati per le murature, sono classificati secondo quanto riportato al paragrafo 2.7.1.

### 3.2.2. Elementi naturali

Gli elementi naturali sono prodotti industriali ricavati da materiale lapideo non friabile o sfaldabile e resistente al gelo; essi non devono contenere in misura sensibile sostanze solubili, o residui organici e devono essere integri, senza zone alterate o rimovibili. Essi devono possedere i requisiti di resistenza meccanica ed adesività alle malte determinati secondo le modalità descritte nei paragrafi successivi.

## 3.3. Malte

Le NTC prevedono la classificazione di due tipi di malte:

- 1) malte a prestazione garantita;
- 2) malte a composizione prescritta.

## CARATTERISTICHE MECCANICHE PER MURATURE DI EDIFICI ESISTENTI

### 4.1. Generalità

Per gli edifici esistenti, le NTC prevedono delle procedure codificate finalizzate alla definizione della conoscenza e della modellazione del sistema strutturale, nonché all'attribuzione dei parametri meccanici di calcolo. In sintesi esse possono così riassumersi:

- a) controlli visivi e ricognizioni *in situ*;
- b) reperimento di documentazione del progetto originario e/o di varianti;
- c) indagini sperimentali.

È indubbio che il primo punto è quello immediatamente constatabile dal progettista, il quale, in ragione di opportuni sopralluoghi, si fa un'idea dello stato dei materiali e del loro eventuale degrado.

La ricerca di documentazione afferente alla costruzione può indirizzarsi verso:

- eventuali disegni;
- relazioni di calcolo;
- depositi di atti presso enti competenti, ecc..

A seconda dei livelli di conoscenza che si vogliono realizzare per gli interventi, può risultare necessario effettuare una campagna di indagini sui materiali, eseguite da un laboratorio autorizzato, su campioni estratti e/o in situ. Queste permetteranno la definizione dei parametri meccanici dei materiali per la realizzazione del modello di calcolo.

Il DM, dal punto di vista generale, delinea la situazione in questo modo:

*«Nelle costruzioni esistenti le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal progettista, caso per caso, in relazione al comportamento strutturale atteso, tenendo conto delle indicazioni generali di seguito esposte.»*

### 4.2. Analisi storico-critica

Le NTC definiscono "analisi storico-critica" una delle fasi relative alla ricognizione degli elementi necessari alla definizione dei parametri meccanici dei materiali e del modello strutturale che definisce la costruzione:

*«Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dalla costruzione, nonché gli eventi che l'hanno interessata.».*

L'analisi storico-critica mira ad una ricostruzione storica degli eventi che hanno caratterizzato la vita del fabbricato, ad esempio: se abbia o meno subito delle alterazioni rispetto alla sua concezione-configurazione originaria, se vi siano stati fatti degli ampliamenti o, al contrario, eliminazioni di alcune parti, ecc.. Questi sono infatti gli aspetti essenziali e determinanti che interessano il *punto di vista strutturale*. Variazioni o modifiche di ordine formale, non influenti sul comportamento statico, sono senza dubbio meno significativi e fanno parte di altri tipi di discipline.

In alcuni casi può essere difficile disporre dei disegni originali di progetto necessari a ricostruirne la storia progettuale e costruttiva, ad esempio per gli edifici a valenza culturale, storico-architettonica. Si può, quindi, ricorrere ad una ricerca archivistica (mappe catastali, ecc.) in modo da poter ricostruire ed interpretare almeno le diverse fasi edilizie.

Esistono anche dei testi classici che mettono a disposizione i dati sui terremoti che la zona in cui sorge l'edificio da analizzare potrebbe avere subito nel corso del tempo<sup>1</sup>. La consultazione di questi potrà consentire di avere una prima idea su quanti e quali terremoti l'edificio possa avere subito in passato.

La Circolare n. 7/2019 ha ulteriormente illustrato, rispetto ai contenuti delle NTC, le modalità e le finalità dell'analisi storico-critica:

*«La conoscenza della storia di un fabbricato è elemento indispensabile, sia per la valutazione della sicurezza attuale, sia per la definizione degli interventi e la previsione della loro efficacia.*

*L'analisi storica deve essere finalizzata a comprendere le vicende costruttive, i dissesti, i fenomeni di degrado, i cimenti subiti dall'edificio e, particolarmente frequenti nelle costruzioni in muratura, le trasformazioni operate dall'uomo che possono aver prodotto cambiamenti nell'assetto statico originario. In tal senso l'indagine storica diventa indagine critica e fonte, per eccellenza, di documentazione e conoscenza finalizzate all'interpretazione del comportamento strutturale.*

*L'analisi inizia con il reperire tutti i documenti disponibili sulle origini del fabbricato quali, ad esempio, elaborati e relazioni progettuali della prima realizzazione della costruzione e di eventuali successivi interventi, elaborati e rilievi già prodotti, eventuali relazioni di collaudo e riguarda:*

- *l'epoca di costruzione;*
- *le tecniche, le regole costruttive e, se esistenti, le norme tecniche dell'epoca di costruzione;*

<sup>1</sup> Ad esempio: Mario Baratta, *I terremoti d'Italia*, Torino, Arnoldo Forni Editore, 1901.

## TRASMISSIONE DEI CARICHI ATTRAVERSO I SOLAI

### 5.1. Generalità

Fin dagli albori della storia delle costruzioni l'elemento strutturale murario è stato inteso come "supporto continuo". In generale sarebbe difficile inquadrare con leggi e parametri meccanici universali le varie specificità afferenti ad una eterogenea categoria di varianti costruttive che vanno dal "muro a sacco", alle composizioni "isodome" (in elementi naturali lapidei o artificiali di laterizio), all'*opus incertum* in sassi, e via via fino alla caratterizzazione di una composizione più omogenea quale può essere quella del calcestruzzo armato.

Tuttavia, la caratterizzazione mediante leggi semplici può essere comunque significativa in una prospettiva didattica. In primo luogo alcuni concetti possono essere compresi con le sole leggi che governano l'equilibrio statico, o in altre parole, con le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale, verticale e alla rotazione. In tal caso l'ipotesi fondamentale è che l'elemento strutturale, o l'insieme degli elementi, debba ritenersi definito come "corpo rigido" e lo schema dei vincoli sia riconducibile ai noti:

- appoggio semplice;
- cerniera;
- incastro, ecc..

La schematizzazione potrà essere suscettibile ad una interpretazione piana (bidimensionale) e/o spaziale (tridimensionale). È evidente che in tali circostanze occorrerà riferirsi a sistemi isostatici, o ipotizzare isostatici eventuali condizioni iperstatiche, a patto che detta interpretazione sia poi effettivamente riconducibile ad una condizione "realistica" del problema affrontato.

In alternativa, eventuali soluzioni di schemi iperstatici possono essere affrontati ad un secondo livello di approssimazione che ci viene offerto dalla Scienza delle Costruzioni, laddove, mediante l'introduzione del "comportamento elastico lineare" del materiale, consente l'utilizzo di ulteriori "condizioni di congruenza" da affiancare a quelle desunte dal solo equilibrio. Invero, attingendo alla medesima ipotesi, accanto ad altre, tipo ad esempio la "conservazione delle sezioni piane" è possibile definire uno stato tensionale interno nelle membrature e la rappresentazione dello stato di deformazione del sistema. Infine si può ulteriormente affinare il "modello tensionale" stabilendo la non resistenza a trazione del materiale.

## 5.2. Muri soggetti a sforzo normale semplice

Se, prescindendo dai fenomeni di instabilità, valutiamo il comportamento di un sistema strutturale costituito da un orizzontamento piano appoggiato alle estremità su 2 paramenti murari continui, lo schema risulta quello di Figura 5.1, in cui le azioni trasmesse dall'orizzontamento alle murature equivalgono a quelle delle reazioni vincolari dell'orizzontamento medesimo.

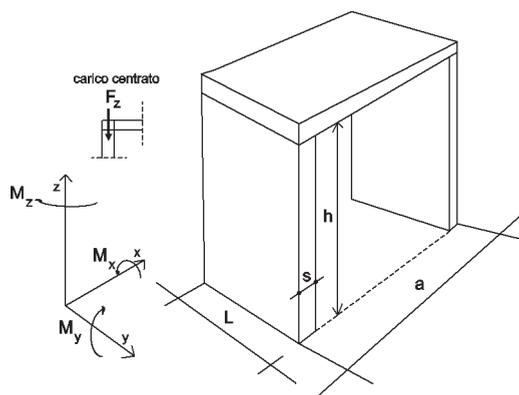


Figura 5.1. Schema di struttura in muratura con ritti e solaio appoggiato

### ESEMPIO 5.1

Nel caso di Figura 5.1 sia:

- $q$  = carico complessivo del solaio = 500 daN/m<sup>2</sup>;
- $a$  = 5 m;
- $L$  = 3 m;
- $s$  = 0,3 m;
- $h$  = 3 m.

Si supponga inoltre che l'azione trasmessa dal solaio al muro sia centrata nella sezione  $s$  muro (ovvero lungo  $x$ ) che nel senso della lunghezza (ovvero lungo  $y$ ). In tali condizioni l'azione su ciascun muro è:

$$F_z = q \times a \times L / 2 = 500 \text{ daN/m}^2 \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} / 2 = 3.750 \text{ daN}$$

Per determinare il carico alla base del muro, al valore suindicato va sommato il peso proprio del muro. Se questo pesa 1.800 daN/m<sup>3</sup>, si ha alla base del muro un carico complessivo di:

$$P = 3.750 \text{ daN} + 1.800 \text{ daN/m}^3 \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 8.610 \text{ daN}$$

Questo valore è anche lo sforzo normale massimo  $N$  di compressione nel muro.

Per determinare la pressione di compressione alla base si applica la:

## ASPETTI QUALITATIVI DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE

### 6.1. Generalità

Come si è visto nei precedenti capitoli, la muratura è un materiale composito costituito dall'assemblaggio di elementi, che possono essere naturali (pietre erratiche, a spacco, sbozzate o squadrate) o artificiali (laterizi); generalmente sono "tenuti insieme" da un legante (malta), ma in alcuni casi possono essere posati "a secco", ovvero senza legante. Nell'edilizia moderna sono state messe a punto anche tipologie di "muratura armate".

Le variabili caratteristiche di una muratura sono:

- il materiale costituente gli elementi (pietra, laterizio, terra cruda, sassi, ecc.);
- il legante (malta, calce, miscele varie);
- eventuale armatura;
- le dimensioni e la forma degli elementi;
- il numero dei filari (ad una testa, a due teste, ecc.);
- la tecnica di assemblaggio (a secco o con giunti di malta);
- la tessitura, ovvero la disposizione geometrica degli elementi nel paramento murario;
- ulteriori dettagli (listatura, uso di scaglie, presenza di diatoni, presenza di camera interna, ecc.).

La risposta meccanica delle murature dipende da tutte queste variabili. I mattoni, siano essi in laterizio o di altro materiale, hanno in genere un comportamento elasto-fragile, con una resistenza a trazione sensibilmente minore rispetto a quella di compressione e, nei calcoli viene trascurata. Anche la malta presenta un comportamento elasto-fragile in trazione, con resistenza molto inferiore a quella degli elementi. La risposta meccanica dei giunti di malta è influenzata anche dall'attrito.

Le caratteristiche meccaniche della muratura dipendono non solo dai parametri di resistenza e deformabilità dei materiali costituenti, ma anche dai loro valori relativi (in particolare, i diversi moduli elastici degli elementi e della malta).

Nell'edilizia storica un muro, a volte, può essere costituito da combinazioni di blocchi di varia natura. In generale, però, gli elementi sono disposti per strati successivi, in genere ad andamento orizzontale; ciò determina la formazione di giunti principali continui e di giunti secondari, al contatto tra due elementi adiacenti, discontinui in quanto opportunamente sfalsati (ingranamento).

## 6.2. L'ingranamento

L'orientamento dei giunti principali è in genere ortogonale alle sollecitazioni di compressione prevalenti, al fine di ottimizzare il comportamento della muratura sotto carichi di esercizio. La giusta sovrapposizione dei corsi orizzontali, secondo uno sfasamento di mezzo mattone, oltre che indice di una fattura a regola d'arte, garantisce un corretto comportamento meccanico del pannello murario e una distribuzione dei carichi che si diffonde con una distribuzione approssimativamente triangolare nei casi di azioni puntuali (Figura 6.1).

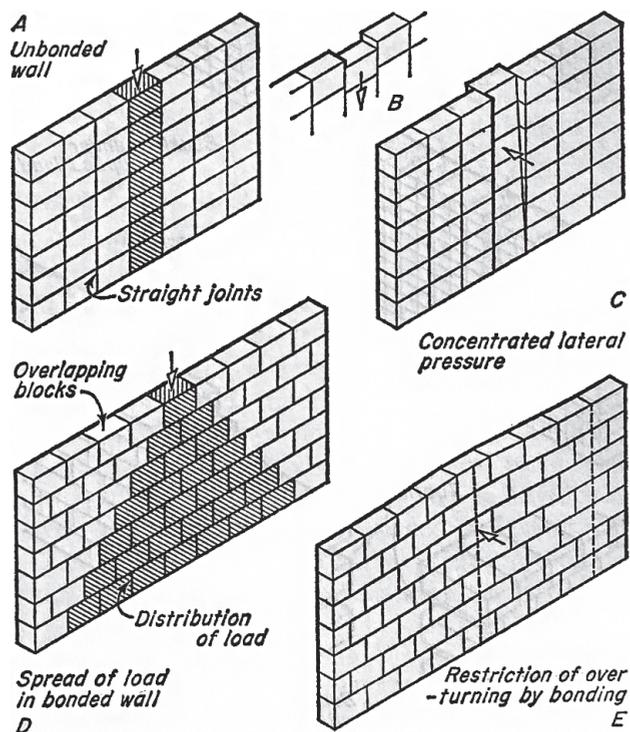


Figura 6.1. Regolarità di sovrapposizione nello sfasamento dei giunti

Tuttavia, i giunti principali diventano potenziali piani di discontinuità, con conseguenze sulla resistenza del solido murario, in presenza di sollecitazioni di trazione e tagli. In questi casi l'attrito, generato sui giunti dalle tensioni normali di compressione associate alle forze inerziali, contribuisce alla resistenza ed alla dissipazione.

L'ingranamento nel piano della muratura influisce sul comportamento a taglio; in generale, esso è funzione del rapporto medio tra la base e l'altezza degli elementi e dei criteri di sfalsamento dei giunti secondari. Se si considera lo schema di Figura 6.2, la resistenza allo sgranamento, spesso anche indicata come *pseudo resistenza a trazione*, viene misurata sull'altezza  $H$ .

## AZIONI SISMICHE

### 7.1. Concetti elementari di equilibrio dinamico

Si supponga di far subire ad un oscillatore semplice, quale quello rappresentato in Figura 7.1a, uno spostamento orizzontale e poi di lasciarlo libero alle sue oscillazioni (Figura 7.1b). L'equilibrio dinamico è dato dall'equazione:

$$m a + k x = 0 \quad (7.1)$$

dove:

- $m$  = massa dell'oscillatore agente in sommità;
- $a$  = accelerazione a cui la massa  $m$  è soggetta a seguito del moto oscillatorio;
- $k$  = rigidezza dell'oscillatore;
- $x$  = spostamenti che l'oscillatore compie nel tempo.

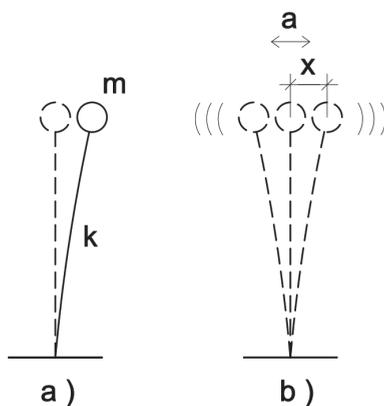


Figura 7.1. Schema dell'oscillatore semplice

La (7.1) è valida se l'oscillatore è costituito da un materiale a comportamento elastico-lineare, in condizioni di oscillazioni non smorzate<sup>1</sup> e in assenza di forze esterne<sup>2</sup>. Il

<sup>1</sup> Ovvero il moto di oscillazione della massa si protrae all'infinito (oscillazioni libere).

<sup>2</sup> Dette anche "forzanti".

valore dell'accelerazione  $a$  della massa  $m$  varia col variare del tempo, così come lo spostamento  $x$ . In tal senso l'indicazione in formula diventerebbe.

$$m a_{(t)} = - k x_{(t)} \quad (7.2)$$

La (7.2) rappresenta la condizione che ad ogni istante, allo spostamento della massa  $m$ , si oppone l'elemento verticale rappresentato dall'asta dell'oscillatore con una forza di tipo statico:

$$F = k x \quad (7.3)$$

diretta con verso opposto a quella del moto di  $m$ .

L'accelerazione è anche la derivata seconda della funzione  $x_{(t)}$ , in simboli si scrive:  $\ddot{x}_{(t)}$ . Con questa nuova simbologia e portando tutto a sinistra del segno di uguaglianza, la (7.2) diventa:

$$m \ddot{x}_{(t)} + k x_{(t)} = 0 \quad (7.4)$$

che rappresenta una equazione differenziale del secondo ordine nell'incognita  $x$ .

Anche un sistema costituito da un insieme di ritri e da un traverso infinitamente rigido si comporta come un oscillatore semplice e, nelle stesse ipotesi fatte in precedenza vale comunque la (7.4), con l'avvertenza che la rigidità dell'intero sistema è data dalla somma delle rigidità dei singoli ritri.

Lo schema di Figura 5.20 è, dunque, riconducibile a quello della Figura 7.1. I ritri assumono spostamenti orizzontali  $x$  identici.

Anche in queste condizioni molto elementari e schematiche, la soluzione della (7.4) non è di immediata soluzione ed esula dalle finalità della presente trattazione. Tuttavia, attraverso un serie di passaggi analitici è possibile giungere alla seguente relazione:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (7.5)$$

La (7.5) lega il valore del periodo proprio  $T$  di un oscillatore semplice con la sua massa  $m$  e la sua rigidità  $k$ . Il periodo proprio è il tempo che la massa  $m$  impiega a compiere una oscillazione completa.

Per la valutazione del periodo proprio si veda anche il foglio di calcolo elettronico allegato alla presente pubblicazione "Rigidità Periodo  $T$ " cliccando in basso la linguetta "Periodo  $T$ "<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Il foglio è correlato ai dati della parte "Rigidità".

## CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

### 8.1. Organizzazione strutturale

Come già illustrato nei precedenti capitoli, le murature sono elementi portanti costituiti dall'assemblaggio organizzato ed efficace di mattoni e legante e, secondo le Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018, possono essere distinte in:

- **murature a singolo paramento:** se la parete è senza cavità o giunti verticali continui nel suo piano;
- **murature a paramento doppio:** quando siano presenti le connessioni trasversali previste dall'Eurocodice UNI EN 1996-1-1 o altre norme di comprovata validità.

L'Eurocodice pone la seguente definizione:

*«Muro a doppio strato: muro costituito da due strati paralleli, con interposto un giunto longitudinale continuo (di spessore non maggiore di 25 mm) riempito con malta, e collegati solidalmente mediante connettori trasversali od armature nei giunti orizzontali, in modo da rendere le pareti collaboranti sotto i carichi applicati.».*

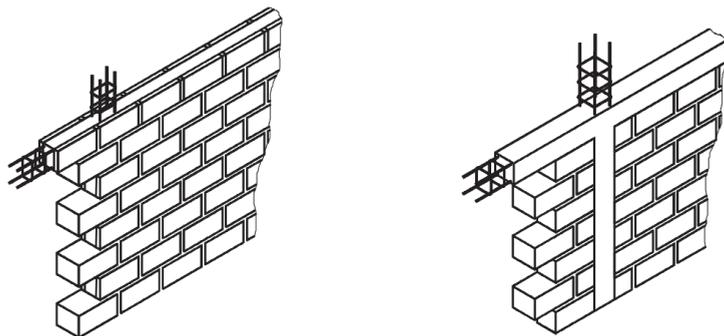
Nel caso di elementi naturali, le pietre di geometria pressoché parallelepipedica, poste in opera in strati regolari, formano le murature di *pietra squadrata*.

L'impiego di materiale di cava grossolanamente lavorato è consentito per le nuove costruzioni, purché posto in opera in strati pressoché regolari: in tal caso si parla di muratura di *pietra non squadrata*.

Se la muratura in pietra non squadrata è intercalata, ad interasse non superiore a 1,6 m e per tutta la lunghezza e lo spessore del muro, da fasce di calcestruzzo semplice o armato oppure da ricorsi orizzontali costituiti da almeno due filari di laterizio pieno, si parla di *muratura listata*.

Nel caso di muratura costituita da elementi resistenti artificiali pieni e semipieni, dotati di elementi di confinamento in calcestruzzo armato o muratura armata si parla di *muratura confinata*<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Per la progettazione delle murature confinate occorre fare riferimento all'Eurocodice 6 (vedi anche § 8.8).



**Figura 8.1.** Esempio di muratura confinata secondo Eurocodice: a sinistra, all'interno di travi e colonne in muratura armata; a destra, all'interno di travi e colonne in c.a.

Le NTC suddividono la descrizione delle caratteristiche delle murature per *nuove costruzioni* sostanzialmente in due capitoli: il capitolo 4 e il capitolo 7. Nel capitolo 4 sono contenute le norme di riferimento generiche che potremmo definire sommariamente afferenti alle condizioni "non sismiche". Il capitolo 7 è invece rivolto ad illustrare le caratteristiche afferenti alle "condizioni sismiche". Tale distinzione comporta talvolta situazioni che possono creare confusione, soprattutto in considerazione del fatto che le specifiche per le "condizioni sismiche" prevalgono, quasi sempre, su quelle "non sismiche". Per le *costruzioni esistenti* è invece necessario fare riferimento al capitolo 8 delle NTC.

In generale, dunque, per quanto concerne le descrizioni contenute nel capitolo 4, l'edificio a muratura portante deve essere concepito come una struttura tridimensionale a *comportamento scatolare*. I maschi murari, gli orizzontamenti e le fondazioni devono essere collegati tra di loro in modo da resistere alle azioni verticali e orizzontali.

Per le costruzioni antisismiche il capitolo 7 dispone che:

- le piante debbano essere quanto più possibile compatte e simmetriche rispetto ai due assi ortogonali.
- Le pareti strutturali, al lordo delle aperture, devono avere continuità in elevazione fino alla fondazione, evitando pareti in falso.
- Le strutture costituenti orizzontamenti e coperture non devono essere spingenti.
- Eventuali spinte orizzontali, valutate tenendo conto l'azione sismica, devono essere assorbite per mezzo di idonei elementi strutturali.

Come indicato al paragrafo 5.6, gli elementi di muratura non armata sono considerati resistenti anche alle azioni orizzontali quando hanno una lunghezza non inferiore a 0,3 volte l'altezza di interpiano. Ai fini di un adeguato comportamento statico e dinamico dell'edificio, tutti le pareti devono assolvere, per quanto possibile, sia la funzione portante verticale sia la funzione di controventamento. Gli orizzontamenti sono generalmente solai piani, o con falde inclinate in copertura, che devono assicurare, per resistenza e rigidità, la ripartizione delle azioni orizzontali fra i muri di controventamento. In particolare valgono le indicazioni riportate nel paragrafo 5.8 e, inoltre, la distanza massima tra due solai successivi non deve essere superiore a 5 m.

# VERIFICHE DI MURATURE ORDINARIE

## 9.1. Generalità

Le verifiche sulle murature in laterizio portante sono condotte, secondo la vigente normativa, mediante il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite.

Oltre alle verifiche sulle pareti portanti, si deve eseguire anche la verifica delle travi di accoppiamento in muratura ordinaria, quando prese in considerazione dal modello di calcolo globale della struttura. Tali verifiche si eseguono in analogia a quanto previsto per i pannelli murari verticali.

Le verifiche agli stati limite ultimi si conducono considerando i seguenti stati di sollecitazione:

- 1) pressoflessione nel piano del muro;
- 2) pressoflessione per carichi laterali (resistenza e stabilità fuori dal piano);
- 3) taglio per azioni nel piano del muro;
- 4) carichi concentrati;
- 5) flessione e taglio di travi di accoppiamento.

## 9.2. Pressoflessione nel piano

La pressoflessione nel piano del muro avviene a seguito degli effetti delle sollecitazioni di compressione accompagnate dal momento  $M$  nel piano del muro.

Nell'ottica di un comportamento scatolare del sistema strutturale a muratura portante, la pressoflessione interessa, ad esempio, i cosiddetti muri di controventamento. Infatti, come si vede nel caso di Figura 4.6, il muro  $A$  trasmette ai muri  $B$  le azioni orizzontali e questi ultimi sono chiamati a contrastare dette sollecitazioni.

Il modello di rottura di un pannello murario sollecitato a pressoflessione nel piano è indicato in Figura 9.1.

Il carico  $P$  di eccentricità "e", produce una reazione alla base del muro (schiacciamento) con una distribuzione di tensioni il cui andamento generico è di difficile determinazione (curva  $G$  di Figura 9.1b).

Nell'ipotesi che il muro abbia resistenza a trazione nulla, si "parzializza" nella sua sezione. Il modello di calcolo trascura il contributo del diagramma delle tensioni di trazione, assumendone valore nullo.

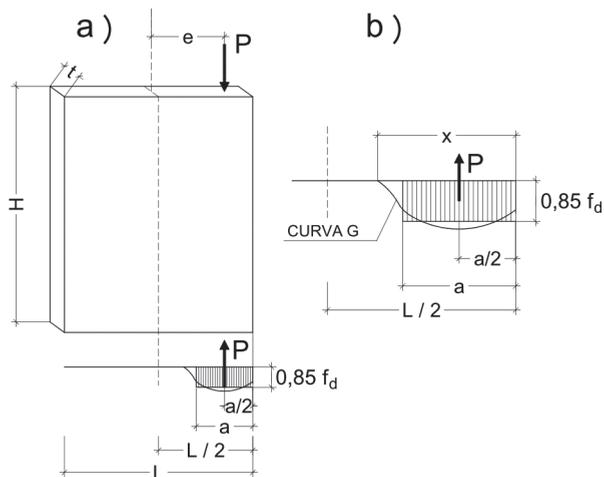


Figura 9.1. Modello di rottura per pressoflessione nel piano del muro

L'area sottesa dalla curva *G* viene approssimata con una equivalente a distribuzione costante:

$$a \times 0,85 f_d \quad (9.1)$$

in cui  $f_d$  è la resistenza di progetto a compressione della muratura.

Se estendiamo a tutto lo spessore  $t$ , l'area rappresentata dalla (9.1), la risultante è, ovviamente, il valore  $P$ , che equivale alla reazione alla base del muro:

$$P = a \times t \times 0,85 f_d \quad (9.2)$$

Il momento resistente ultimo  $M_u$  corrispondente alla resistenza ultima della muratura  $f_d$  sarà dunque dato dalla:

$$M_u = P \times e \quad (9.3)$$

Da semplici relazioni geometriche si ha:

$$e = L/2 - a/2 \quad (9.4)$$

per cui la (9.3) diventa:

$$M_u = P \times (L/2 - a/2) \quad (9.5)$$

Dalla (9.2) si ha inoltre:

## VERIFICHE PER MURATURE ARMATE

### 10.1. Generalità

La muratura armata in laterizio rappresenta un sistema costruttivo basato sull'utilizzo di elementi nei quali sono predisposti appositi incavi atti ad alloggiare un'armatura in acciaio verticale ed orizzontale. Dopo l'alloggiamento delle barre negli incavi verticali, essi vengono riempiti mediante calcestruzzo in modo che l'armatura possa sviluppare l'adesione. Il sistema viene poi integrato da una stesa di barre in senso orizzontale, annegate ad intervalli sui letti di malta (Figura 10.1).

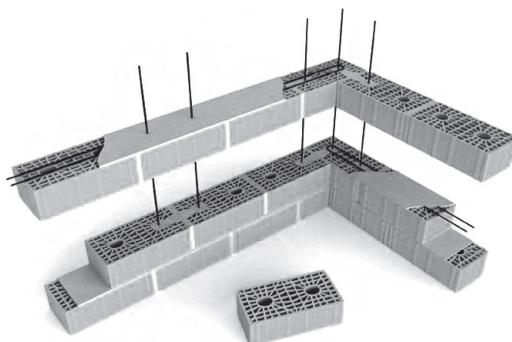


Figura 10.1. Esempio di muratura armata (sistema "Taurus")

Questa disposizione consente dunque di far fronte alla debole resistenza a trazione dei blocchi in laterizio (per ipotesi di norma, considerata nulla), in modo simile a quanto avviene per il calcestruzzo armato.

Quando un pannello murario non armato viene sollecitato a pressoflessione si è visto che lo schema di funzionamento risulta come indicato in Figura 9.2. L'introduzione di una barra d'armo verticale in zona tesa lo modifica come indicato in Figura 10.6: i blocchi di laterizio, garantiranno la resistenza a compressione; l'armatura, quella a trazione.

Allo stesso modo, un'armatura verticale, diffusa sulla lunghezza  $L$  del pannello garantirà resistenza alle azioni ortogonali al piano del muro, mentre le barre orizzontali, dette anche staffe, ne aumenteranno rigidità e duttilità. La muratura armata è dunque un idoneo sistema strutturale atto a far fronte alle azioni sismiche.

I produttori di laterizio hanno sviluppato e brevettato sistemi che consentono:

- un facile montaggio in opera;
- una geometria resistente dei blocchi non penalizzata dagli incavi predisposti per l'inserimento delle barre verticali;
- un miglioramento delle qualità meccaniche del prodotto.

## 10.2. Armatura

### 10.2.1. Tipi ammessi

Le barre di armatura possono essere costituite da vari materiali quali:

- acciaio al carbonio;
- acciaio inossidabile;
- acciaio con rivestimento speciale.

Per le armature orizzontali è ammesso l'impiego di tralici elettrosaldati o altre armature conformate in modo da garantire adeguata aderenza ed ancoraggio, nel rispetto delle pertinenti normative di comprovata validità. In ogni caso le armature devono avere adeguata protezione nei confronti della corrosione. Generalmente ciò è ottenuto mediante il ricoprimento e/o l'annegamento nel materiale cementizio con idonei spessori.

### 10.2.2. Caratteristiche meccaniche e dimensionali delle barre d'armo in acciaio

L'acciaio per barre d'armo ammesso dalla normativa tecnica italiana<sup>1</sup> è classificato in:

- Tipo B450C;
- Tipo B450 A.

In Tabella 10.1 sono riportati il peso e le sezioni per i diametri disponibili in commercio, mentre in Tabella 10.2 sono indicati i valori delle tensioni di snervamento e di rottura.

**Tabella 10.1.** *Diametro e peso delle barre d'armo*

Ø in mm	Peso in daN per m	Numero dei tondi e corrispondente sezione in cm <sup>2</sup>										Ø in mm
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
3	0,056	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,63	0,70	3
4	0,098	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00	1,13	1,26	4
5	0,153	0,20	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	5
6	0,221	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83	6
7	0,300	0,38	0,77	1,16	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85	7
8	0,392	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03	8
9	0,496	0,64	1,27	1,91	2,54	3,18	3,82	4,45	5,09	5,73	6,36	9
10	0,613	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	10
11	0,741	0,95	0,95	1,90	2,85	3,80	4,75	5,70	6,65	7,60	9,50	11
12	0,882	1,13	2,26	3,39	4,52	5,66	6,79	7,91	9,05	10,18	11,31	12

[segue]

<sup>1</sup> In pratica si tratta delle caratteristiche definite per le barre da c.a.

## VERIFICHE SISMICHE

### 11.1. Descrizione dell'edificio

In questo capitolo sono illustrati e discussi alcuni aspetti concettuali e di calcolo relativi alla verifica sismica di un edificio residenziale con struttura portante in muratura ordinaria.

Lo scopo è quello di cogliere l'ordine di grandezza dei numeri in gioco. Quest'ultimo aspetto è di fondamentale importanza per poter giudicare della bontà dei risultati riportati nelle elaborazioni di calcolo automatico eseguiti dai software strutturali in uso.

L'edificio presenta una pianta a forma rettangolare e un piano fuori terra con solaio di copertura in laterocemento di spessore 20+5 cm ordito secondo lo schema di Figura 11.1 e conforme alle disposizioni tecniche al fine dell'ipotesi "infinitamente rigida".

Il sito di riferimento sia classificato con terreno di tipo C con superficie pianeggiante di classe topografica  $T_1$  (vedi tabelle 7.10 e 7.11).

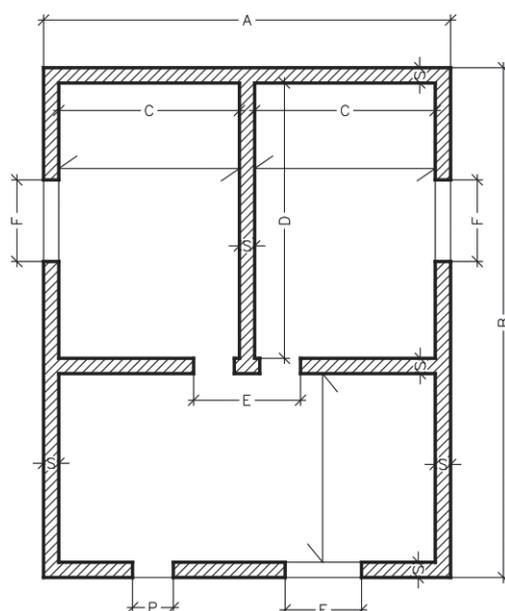


Figura 11.1. Pianta edificio

Dal punto di vista degli elementi portanti vengono considerati i pannelli che presentano continuità da terra a solaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- $f_k = 62 \text{ daN/cm}^2$ ;
- $f_{vk0} = 3 \text{ daN/cm}^2$ ;
- $E = 62.000 \text{ daN/cm}^2$ ;
- $G = 24.800 \text{ daN/cm}^2$ ;
- P. proprio muratura =  $1.500 \text{ daN/cm}^3$ .

Si abbiano inoltre i seguenti dati dimensionali:

- $A = 800 \text{ cm}$ ;
- $B = 1.000 \text{ cm}$ ;
- $C = 355 \text{ cm}$ ;
- $D = 540 \text{ cm}$ ;
- $E = 210 \text{ cm}$ ;
- $F = 160 \text{ cm}$ ;
- $P = 80 \text{ cm}$ ;
- $H = 305 \text{ cm}$  (altezza interpiano);
- $S = 30 \text{ cm}$ .

## 11.2. Caratteristiche della costruzione e del sito di riferimento

Si ipotizzano i parametri sismici riportati in Tabella 11.1.

Tabella 11.1. Parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$

Stato limite	$T_R$ (anni)	$a_g / g$	$F_o$	$T_c^*$ (s)
SLD	50	0,0917	2,452	0,26
SLV	475	0,259	2,410	0,330

## 11.3. Fattore di comportamento

In base alle indicazioni riportate al paragrafo 7.6 si hanno i seguenti valori:

- Costruzione regolare in altezza:  $K_R = 1$
- Valore di  $\alpha_u / \alpha_1 = 1,7$ ;
- Valore di  $q_0 = 1,75 \cdot \alpha_u / \alpha_1$ ;
- Fattore di comportamento  $q = q_0 \times K_R = 1 \times 1,75 \times 1,7 = 2,975$ .

## 11.4. Diagrammi degli spettri di risposta in termini di accelerazione

Con i dati indicati in precedenza e l'utilizzo del programma spettri è possibile ottenere i diagrammi relativi agli spettri elastici in accelerazione. Si ipotizzi un sottosuolo di classe C e con coefficiente topografico  $T_1$ .

## MURATURE FIBRORINFORZATE

### 12.1. Generalità

Nel paragrafo 4.4 sono state elencate alcune tipologie di intervento sulle murature previste dalle NTC, ai fini dell'applicazione dei coefficienti correttivi indicati nella Tabella 4.2 per gli edifici esistenti.

Fino a qualche anno fa uno degli interventi più diffusi nell'ambito del rinforzo sismico era l'intonaco armato. La tecnica prevede la realizzazione di una armatura metallica su entrambe le facce del paramento murario, annegata in uno strato cementizio di alcuni centimetri (betoncino), necessari quantomeno al ricoprimento delle barre (almeno 5 cm per ogni faccia, vedi Figura 12.1). Vi è da segnalare che tale intervento incrementa in modo sensibile le masse e le rigidità dei paramenti murari e, di conseguenza, altera le condizioni relative alle azioni sismiche pre-intervento, spesso aumentandole.

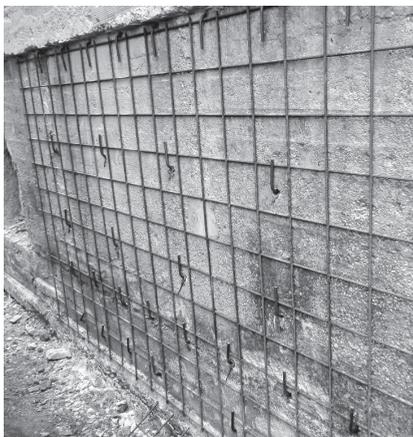


Figura 12.1. Incamiciatura con intonaco armato

Negli ultimi anni si sono affermate tecniche di consolidamento basate su sistemi compositi che hanno apportato molti vantaggi quali: la riduzione degli spessori, la diminuzione degli incrementi di massa, le elevate proprietà meccaniche, le caratteristiche anticorrosive, la facilità di impiego, l'invasività relativamente bassa. Si tratta di sistemi che vengono classificati con i seguenti acronimi:

- FRP (*Fiber Reinforced Polymer*, fibrorinforzati a matrice polimerica);
- FRCM (*Fibre/Fabric Reinforced Cementitious Matrix/Mortar*, fibrorinforzati a matrice cementizia);
- CRM (*Composite Reinforced Mortar*, malta cementizia o a base di calce, rinforzata con materiale composito).

## 12.2. Sistemi FRP

I compositi per il rinforzo strutturale di tipo FRP sono caratterizzati da una *armatura* costituita da un tessuto (termine generico per indicare le fibre lunghe di vetro, carbonio o arammide), e da una *matrice* che, oltre a proteggere le fibre, funge da mezzo di trasferimento degli sforzi tra fibre ed elemento strutturale da rinforzare. Le fibre utilizzate nei rinforzi FRP sono caratterizzate da resistenza e rigidità elevate. In Tabella 12.2 si riportano, a titolo indicativo, le caratteristiche in comparazione con quelle degli acciai d'armo.

**Tabella 12.1.** Valori indicativi dei parametri meccanici di alcuni materiali

	Modulo di elasticità normale $E$	Resistenza a trazione $\sigma_r$	Deformazione a rottura $\epsilon_r$	Coefficiente di dilatazione termica $\alpha$	Densità $\rho$
	[GPa]	[MPa]	[%]	[ $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ]	[g/cm <sup>3</sup> ]
Fibre di vetro E	70 – 80	2000 – 3500	3.5 – 4.5	5 – 5.4	2.5 – 2.6
Fibre di vetro S	85 – 90	3500 – 4800	4.5 – 5.5	1.6 – 2.9	2.46 – 2.49
Fibre di carbonio (alto modulo)	390 – 760	2400 – 3400	0.5 – 0.8	-1.45	1.85 – 1.9
Fibre di carbonio (alta resistenza)	240 – 280	4100 – 5100	1.6 – 1.73	-0.6 – -0.9	1.75
Fibre aramidiche	62 – 180	3600 – 3800	1.9 – 5.5	-2	1.44 – 1.47
Matrice polimerica	2.7 – 3.6	40 – 82	1.4 – 5.2	30 – 54	1.10 – 1.25
Acciaio da costruzione	206	250 – 400 (snervamento) 350 – 600 (rottura)	20 – 30	10.4	7.8

I tessuti si trovano commercializzati in vari tipi di materiale e in varie geometrie di maglia (più o meno fitta; unidirezionale o bidirezionale) in modo da offrire prestazioni meccaniche differenziate a seconda delle esigenze.

Le matrici più utilizzate per la fabbricazione dei compositi fibrorinforzati di tipo FRP sono quelle polimeriche a base di resine termoindurenti. Tali resine sono disponibili in forma parzialmente polimerizzata e si presentano liquide o pastose a temperatura ambiente. Per miscelazione con un opportuno reagente esse polimerizzano (reticolano) fino a diventare un materiale solido vetroso. Le resine termoindurenti più diffuse nel settore civile sono le epossidiche, le resine poliesteri o vinilesteri.

## CONTENUTI E ATTIVAZIONE DELLA WEBAPP

### 13.1. Contenuti della WebApp

La WebApp inclusa gestisce i seguenti **Fogli elettronici di calcolo**:

- **Baricentri masse e rigidzze**, che determina il baricentro delle masse e il baricentro delle rigidzze.
- **Spettri-NTC (ver.1.0.3)**, che determina lo spettro elastico e di progetto.
- **Verifica carichi concentrati**, che esegue la verifica a schiacciamento delle murature per carichi concentrati.
- **Verifica taglio muratura esistente**, che esegue la verifica a taglio di muratura ordinaria esistente.
- **Verifica taglio muratura ordinaria**, che esegue la verifica a taglio di muratura ordinaria con sezione interamente reagente e con sezione parzializzata.
- **Rigidzza parete**, che determina la rigidzza di un pannello murario a sezione rettangolare.
- **Verifica pressoflessione muratura ordinaria**, che esegue la verifica a pressoflessione allo SLU di muratura ordinaria.

### 13.2. Requisiti hardware e software

- Dispositivi con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android;
- Accesso ad internet e browser web con Javascript attivo;
- Software per la gestione di documenti Office e PDF.

### 13.3. Attivazione della WebApp

- Collegarsi al seguente indirizzo internet:

[https://www.grafill.it/pass/0363\\_2.php](https://www.grafill.it/pass/0363_2.php)

- Inserire i codici **[A]** e **[B]** riportati nell'ultima pagina del presente volume e cliccare sul pulsante **[Continua]**;
- Accedere al **Profilo utente Grafill** oppure crearne uno su **www.grafill.it**;
- Cliccare sul pulsante **[G-CLOUD]**;

- Cliccare sul pulsante **[Vai alla WebApp]** a fianco del prodotto acquistato;
- Fare il *login* usando le stesse credenziali di accesso al **Profilo utente Grafill**;
- Accedere alla WebApp abbinata alla presente pubblicazione cliccando sulla relativa immagine di copertina presente nello scaffale **Le mie App**.

