



MANUEL SCIURTI

PROGETTARE STRUTTURE IN MURATURA IN ZONA SISMICA

GUIDA E FOGLI DI CALCOLO PER LA VERIFICA
DI ELEMENTI IN MURATURA AI SENSI DELLE NTC 2018
E IL PROGETTO DI INTERVENTI SULLE COSTRUZIONI ESISTENTI



**PRONTO
GRAFILL**

Clicca e richiedi di essere contattato
per informazioni e promozioni



WEBAPP
INCLUSA

GRAFILL

Manuel Sciurti

PROGETTARE STRUTTURE IN MURATURA IN ZONA SISMICA

Ed. I (11-2025)

ISBN 13 978-88-277-0520-9

EAN 9 788827 705209

Collana **COME FARE PER**

DISCLAIMER

Le informazioni contenute in questo libro sono a scopo informativo e non fanno riferimento alla particolare situazione di un individuo o di una persona giuridica.

Non costituiscono oggetto di consulenza. Questi contenuti non possono sostituire la consulenza individuale da esperti in singoli casi concreti.

Nessuno dovrebbe agire sulla base di queste informazioni senza un'adeguata consulenza professionale e senza un esame approfondito della situazione.

L'Autore non si assume alcuna responsabilità per le decisioni prese da parte del lettore sulla base delle informazioni fornite in questo libro.



**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

**CONTATTI
IMMEDIATI**



Pronto GRAFILL
Tel. 091 6823069



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
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.



**PRONTO
GRAFILL**

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

SOMMARIO

PREMESSA	p.	7
1. INTRODUZIONE	"	9
1.1. Impiego della muratura nell'edilizia	"	11
1.2. Le vulnerabilità sismica delle strutture murarie	"	12
1.3. Tipologia di strutture murarie	"	15
2. PROPRIETÀ DELLA MURATURA	"	17
2.1. Le caratteristiche chimiche e fisiche della muratura	"	17
2.2. Altre proprietà fisiche della muratura	"	19
2.3. Il ruolo degli additivi nelle malte	"	20
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	"	21
3.1. Le norme tecniche per le costruzioni del 2018	"	21
3.2. La circolare applicativa del 2019	"	26
3.3. Le caratteristiche della muratura negli standard tecnici	"	27
3.4. Formule di verifica e di progetto per le strutture in muratura	"	28
3.4.1. Resistenza a compressione della muratura	"	29
3.4.2. Resistenza a taglio della muratura	"	30
3.4.3. Modulo di elasticità	"	31
4. ANALISI SISMICA DELLE STRUTTURE	"	32
4.1. Analisi statica lineare	"	32
4.2. Analisi statica non lineare	"	34
4.3. Analisi dinamica lineare	"	35
4.4. Analisi dinamica non lineare	"	36
5. COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA	"	37
5.1. Analisi storico-critica	"	37
5.2. Rilievo geometrico	"	38
5.3. Caratterizzazione dei materiali	"	39

5.4.	Definizione delle azioni agenti	p.	39
5.4.1.	Intensità dell'azione sismica	"	40
5.5.	Lo studio di eventuali difetti	"	40
5.6.	I difetti più comuni nelle strutture in muratura	"	41
5.6.1.	Slittamenti e scollamenti di solai	"	45
5.6.2.	Danneggiamento di archi, cupole o volte	"	45
5.6.3.	Danneggiamento di torri campanarie	"	48
6.	FONDAZIONI DI EDIFICI IN MURATURA	"	50
6.1.	Le tipologie di fondazioni per edifici in muratura	"	50
6.2.	Consolidamento di una fondazione di un edificio in muratura	"	55
6.3.	Dimensionamento di una fondazione in muratura	"	56
6.4.	Degrado delle fondazioni	"	57
6.5.	Campo di applicazione	"	58
7.	INDAGINI IN SITO E IN LABORATORIO	"	59
7.1.	Piano di indagine	"	59
7.2.	Livelli di conoscenza	"	60
7.3.	Livelli di conoscenza delle strutture in muratura	"	60
7.4.	Analisi termografica	"	61
7.5.	Indagine endoscopica	"	61
7.6.	Prove sclerometriche	"	61
7.7.	Prova ultrasonica	"	62
7.8.	Prova Windsor	"	63
7.9.	Carotaggi	"	63
7.10.	Prove con i martinetti piatti	"	63
7.11.	Prove penetrometriche	"	65
7.12.	Prove di carico su pannelli murari	"	66
8.	RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI IN MURATURA	"	68
8.1.	La pericolosità sismica	"	68
8.2.	L'esposizione sismica	"	68
8.3.	La vulnerabilità sismica	"	69
8.4.	Le vulnerabilità nelle costruzioni esistenti in muratura	"	69
9.	INTERVENTI DI RINFORZO SU STRUTTURE IN MURATURA	"	72
9.1.	Tirantature orizzontali e verticali	"	72
9.1.1.	Esercizio: determinazione dei fattori di incremento della resistenza a taglio per via della tirantatura	"	73
9.2.	Applicazione di fibre di vetro	"	74
9.2.1.	Esercizio: resistenza di progetto a compressione di un elemento in muratura confinato	"	76

9.3.	Iniezione di miscele leganti.....	p.	77
9.4.	Inserimento diatoni.....	"	78
9.4.1.	Esercizio: resistenza a compressione della muratura con la presenza dei diatoni	"	79
9.4.2.	Esercizio: resistenza a taglio della muratura con la presenza dei diatoni	"	80
10.	PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN MURATURA IN ZONA SISMICA	"	82
10.1.	I materiali impiegati.....	"	83
10.2.	Analisi dei carichi di copertura.....	"	83
10.3.	Fattorizzazione dei carichi e combinazioni.....	"	83
10.4.	Dimensionamento e verifica del solaio copertura	"	84
10.5.	Definizione dello spettro di risposta	"	85
10.6.	Verifica a scorrimento.....	"	88
10.7.	Verifica a schiacciamento	"	88
11.	ESEMPIO DI CALCOLO ANALISI STATICA LINEARE E DETERMINAZIONE DELLO SPETTRO ELASTICO DI UN EDIFICIO	"	90
12.	LA WEBAPP INCLUSA: CONTENUTI E ATTIVAZIONE	"	160
12.1.	Contenuti della WebApp	"	160
12.2.	Requisiti hardware e software	"	160
12.3.	Attivazione della WebApp	"	160
	BIBLIOGRAFIA	"	161
	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	"	171
	FONTI WEB	"	173
	SOFTWARE DI PROGETTAZIONE CONSIGLIATI	"	180

PREMESSA

Progettare strutture in muratura in zona sismica rappresenta tutt'oggi una delle sfide più impegnative che un progettista operante nel settore delle costruzioni può trovarsi ad affrontare. Nonostante la muratura sia uno dei materiali più antichi dell'edilizia, il suo impiego in aree ad alto rischio sismico richiede un approccio progettuale accurato, capace di considerare le peculiarità del materiale e di applicare con rigore le norme tecniche vigenti.

Negli ultimi decenni, l'evoluzione delle conoscenze tecniche e l'aggiornamento normativo hanno contribuito a ridurre in maniera significativa il rischio associato a questo materiale, modificando profondamente il modo di concepire e sviluppare i progetti di strutture in muratura situate in zona sismica. In tale contesto, il progettista è chiamato non solo a rispettare le prescrizioni tecniche più recenti, ma anche ad affrontare l'analisi di azioni dinamiche complesse, come quelle sismiche, mediante diversi approcci di calcolo:

- analisi statica lineare;
- analisi statica non lineare;
- analisi dinamica lineare;
- analisi dinamica non lineare.

Per affrontare correttamente queste sfide è necessario disporre di strumenti operativi affidabili, come questo manuale, che accompagna il professionista in tutte le fasi del progetto: dall'impostazione concettuale fino alla redazione degli elaborati esecutivi, con il supporto di esempi concreti e riferimenti normativi aggiornati. L'opera si propone infatti come guida completa, chiara e pratica per chi opera nella progettazione strutturale di edifici in muratura in zona sismica, rivolgendosi a ingegneri, architetti, geometri e studenti universitari desiderosi di approfondire tecniche e criteri progettuali secondo le NTC 2018 e la relativa Circolare applicativa del 2019.

Attraverso un approccio applicativo, basato anche sull'esperienza professionale dell'autore, vengono trattati i principali aspetti del comportamento delle strutture in muratura: tipologie costruttive, dettagli esecutivi, criteri di modellazione e verifica. Ampio spazio è riservato all'analisi delle proprietà fisiche e meccaniche del materiale – complesso, eterogeneo e non lineare – e alla valutazione di come queste influenzino la risposta globale dell'edificio in caso di sisma.

Il volume affronta inoltre l'applicazione dei contenuti delle NTC 2018 nella pratica progettuale, anche attraverso l'utilizzo di **fogli di calcolo gestiti dalla WebApp inclusa**. Sono analizzate le principali prescrizioni relative agli edifici in muratura ordinaria e armata,

sia di nuova costruzione che esistenti, con particolare attenzione ai criteri di verifica, alla definizione delle azioni sollecitanti, alla gerarchia delle resistenze e alle regole di buona pratica progettuale.

Il testo guida il lettore in un percorso logico e progressivo, dalle basi teoriche e normative fino alla descrizione delle tecniche di modellazione strutturale, per concludersi con la presentazione di un progetto esemplificativo completo, sviluppato passo dopo passo. Tale progetto costituisce un utile strumento didattico, poiché consente di seguire l'intero iter progettuale, evidenziando le più comuni criticità e proponendo soluzioni operative fondate su criteri ingegneristici, scientificamente validati e conformi alle norme vigenti.

In un'epoca in cui la tutela del costruito assume un ruolo sempre più centrale nelle politiche territoriali e urbane, questo manuale vuole offrire un contributo concreto alla diffusione di una cultura ingegneristica consapevole e responsabile. La qualità di un progetto strutturale, infatti, rappresenta un requisito essenziale per garantire la sicurezza degli occupanti e la durabilità del patrimonio edilizio, soprattutto in un Paese caratterizzato da elevata sismicità come l'Italia.

In quest'ottica, il volume si propone come strumento operativo e di consultazione per chiunque sia chiamato a progettare, verificare o intervenire su edifici in muratura in zona sismica, fornendo non solo solide basi teoriche e tecniche, ma anche indicazioni pratiche per interpretare e applicare correttamente gli standard dell'ingegneria strutturale contemporanea. Una ricca bibliografia consente infine di approfondire ulteriormente gli argomenti trattati.

INTRODUZIONE

Il suolo italiano ha sempre avuto un'elevata pericolosità sismica; per questo motivo si sono sviluppate diverse normative antisismiche nel corso dei decenni. Una delle normative che ha gettato le basi delle attuali conoscenze è l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 2003, ovvero l'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274. Questa normativa disciplina alcuni aspetti, come, per esempio, la forma in pianta che deve avere un edificio per rispondere adeguatamente in caso di sisma. Infatti, è consigliabile che la struttura sia doppiamente simmetrica, al fine di rendere uniforme la risposta per qualunque direzione dell'azione del sisma.

Allo stesso tempo, si suggerisce di adottare una struttura di facile interpretazione, al fine di evitare incertezze in fase di analisi. Dal punto di vista geometrico, è consigliabile che il baricentro delle masse di un determinato piano coincida, per quanto possibile, con il baricentro delle rigidezze. Il baricentro delle masse si determina calcolando il baricentro geometrico di tutte le masse appartenenti a un piano; il baricentro delle rigidezze si determina calcolando il baricentro geometrico delle rigidezze degli elementi strutturali presenti nel medesimo piano. Il coincidere di questi due baricentri permette di evitare fenomeni torsionali sfavorevoli.

Dal punto di vista strutturale, si consiglia di avere un elevato grado di iperstaticità tramite un'elevata ridondanza di elementi strutturali. Questo permette una dissipazione maggiore di energia sismica e, allo stesso tempo, una migliore distribuzione delle sollecitazioni generate dal sisma. In aggiunta, si consiglia un'orditura degli elementi strutturali doppiamente simmetrica, al fine di uniformare la risposta della struttura per qualsiasi direzione del sisma. I solai devono essere sufficientemente rigidi per ripartire le sollecitazioni proporzionalmente alle rigidezze di ciascun elemento strutturale.

Un solaio si definisce infinitamente rigido, secondo le NTC 2018, quando: *«gli orizzontamenti piani possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano medio a condizione che siano realizzati in calcestruzzo armato, oppure in latero-cemento con soletta in calcestruzzo armato di almeno 40 mm di spessore, o in struttura mista con soletta in calcestruzzo armato di almeno 50 mm di spessore collegata agli elementi strutturali in acciaio o in legno da connettori a taglio opportunamente dimensionati»*.

Infine, per garantire una buona interazione struttura-terreno, si necessita una fondazione adeguatamente progettata. Ovvero, una fondazione in grado di trasmettere il carico della struttura sovrastante al terreno senza produrre cedimenti eccessivi oppure delle

PROPRIETÀ DELLA MURATURA

Nel presente capitolo vengono introdotte le proprietà fisiche, chimiche e meccaniche della muratura. Questo al fine di fornire al lettore tutte le conoscenze necessarie per comprendere i vantaggi e gli svantaggi dell'impiego della muratura nell'edilizia.

Infatti, una corretta progettazione prevede la conoscenza del comportamento del materiale sotto stress, permettendo così di dimensionare adeguatamente ciascun elemento strutturale. Di conseguenza, si analizza in maniera approfondita ciascun aspetto del materiale. Quest'ultimo sta trovando sempre più spazio nell'ambito della progettazione edilizia.

2.1. Le caratteristiche chimiche e fisiche della muratura

Il comportamento della muratura in zona sismica dipende fortemente dalle caratteristiche fisiche e chimiche della muratura. Infatti, esse influiscono sulla resistenza meccanica, la deformabilità, la durabilità e la capacità muraria di interagire efficacemente con l'ambiente circostante.

Il laterizio, per esempio, viene ottenuto dalla cottura dell'argilla impura, composta da:

- Silice (SiO_2) per 45–60%;
- Allumina (Al_2O_3) per 15–20%;
- Ossido di calcio (CaO) per 10%;
- Ossido di ferro (Fe_2O_3) per 4–7%.

In questa fase si ha la trasformazione della frazione argillosa in strutture vetrine e cristalline, dando maggiore stabilità al materiale. La porosità influenza la massa volumetrica, ma anche l'assorbimento d'acqua e la resistenza a compressione.

Per esempio, i mattoni pieni hanno una resistenza a compressione compresa tra 5 MPa e 15 MPa, con moduli elastici dell'ordine di circa 3000 MPa. Le pietre naturali, invece, hanno caratteristiche fisiche molto variabili:

- le areniti possiedono una densità di circa 18000 N/m³ e moduli elastici inferiori a 3000 MPa;
- i calcari e i marmi compatti possono raggiungere densità maggiori di 25000 N/m³ con moduli elastici di 7200 MPa.

Per quanto concerne la composizione chimica, nelle rocce calcaree è presente il carbonato di calcio, mentre nelle rocce silicee è presente la silice. L'eterogeneità degli elementi naturali genera marcate differenze nella porosità e nella permeabilità; infatti, i cal-

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

In questo capitolo si introducono tutte le nozioni fondamentali per progettare correttamente un edificio in condizioni sismiche. Infatti, prendendo in riferimento le norme tecniche per le costruzioni del 2018, si introducono tutte le formule necessarie per una corretta progettazione in zona sismica, andando a definire l'azione sollecitante, le caratteristiche del materiale e i criteri normativi.

3.1. Le norme tecniche per le costruzioni del 2018

Attualmente le regole, che disciplinano la progettazione antisismica, sono contenute nelle NTC 2018, ovvero norme tecniche per le costruzioni del 2018. In particolare, il capitolo 2 delle NTC 2018 che introduce il concetto di vita nominale di progetto (acronimo V_N). La vita nominale di progetto è il tempo di mantenimento dei livelli prestazionali di una costruzione, a patto che si esegua la manutenzione ordinaria.

Tabella 3.1. Vita Nominale (fonte: NTC 2018)

Tipo di costruzione	Vita nominale (anni)
Costruzioni temporanee	10
Costruzione con livelli di prestazione ordinari	50
Costruzione con livelli di prestazione elevati	100

Determinata la vita nominale di una costruzione, si può passare a studiare la vita di riferimento che tiene conto dell'esposizione di un edificio mediante una classe d'uso, ovvero del suo grado di affollamento.

Le classi d'uso attualmente disciplinate sono quattro, ovvero:

- Classe d'uso 1: Edifici con presenza occasionale di persone.
- Classe d'uso 2: Edifici suscettibili ad affollamenti.
- Classe d'uso 3: Edifici suscettibili ad affollamenti significativi.
- Classe d'uso 4: Edifici pubblici o strategici importanti.

Di conseguenza si ha che:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (3.1)$$

ANALISI SISMICA DELLE STRUTTURE

In questo capitolo si andranno ad introdurre i vari concetti di analisi sismica delle strutture, al fine di valutare al meglio il comportamento delle costruzioni in caso di terremoto. In particolare, si affronteranno l'analisi statica lineare, l'analisi statica non lineare (chiamata anche *pushover*), l'analisi dinamica lineare e l'analisi dinamica non lineare. Le analisi lineari, sono quelle che considerano un comportamento lineare del materiale, mentre le analisi non lineari prendono in considerazione la non linearità geometrica e del materiale. Le analisi statiche, a differenza di quelle dinamiche, non considerano la variabile tempo.

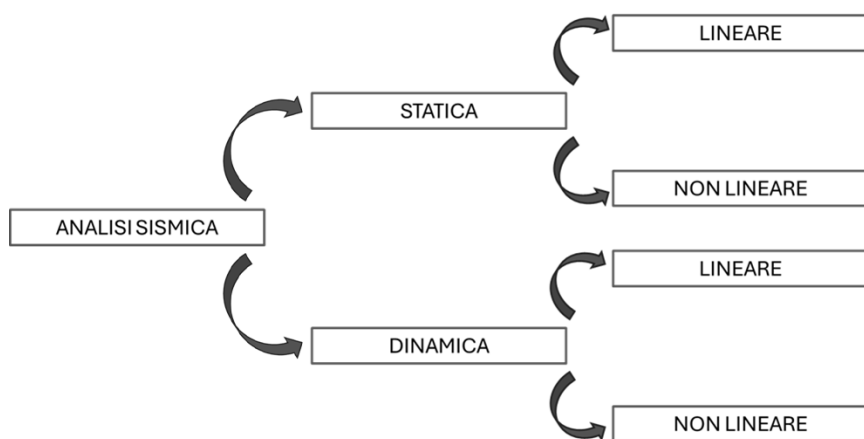


Figura 4.1. Diverse tipologie di analisi

4.1. Analisi statica lineare

L'analisi statica lineare è una tipologia di analisi che simula il comportamento di un sisma applicando delle forze statiche orizzontali distribuite su tutta l'altezza dell'edificio oggetto di studio. Quest'analisi può essere applicata sia per le strutture con un comportamento dissipativo e sia per le strutture con un comportamento non dissipativo.

L'analisi statica lineare può essere applicata a patto che vi siano le seguenti condizioni:

- costruzione regolare in altezza;
- il periodo del modo di vibrare principale (T_1) sia minore di $2,5 T_c$ o T_D .

COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA

L'analisi del costruito consiste nell'esaminare l'edificio oggetto di studio al fine di conoscere il suo stato di salute. Dal punto di vista normativo, questa fase viene definita dal capitolo 8 delle norme tecniche delle costruzioni del 2018.

Iniziando dalla definizione di costruzione esistente, le normative definiscono che: «*Si definisce costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto d'intervento, la struttura completamente realizzata.*».

In linea generale, quando si valuta una costruzione esistente, bisogna considerare:

- la costruzione rispecchia la conoscenza tecnica e tecnologica dell'epoca;
- in essa possono essere insiti dei difetti di costruzione difficilmente ispezionabili;
- può essere soggetta ad azioni eccezionali difficilmente identificabili;
- le strutture possono subire del degrado per via del tempo trascorso dalla loro realizzazione.

Gli obiettivi di un'accurata analisi, dopo aver preso in considerazione le informazioni precedenti, sono:

- determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali;
- la geometria e dettagli costruttivi;
- i carichi permanenti applicati sulla struttura.

Infine, per giungere correttamente a questi risultati, gli step da seguire sono:

- analisi storico-critica;
- rilievo geometrico;
- caratterizzazione meccanica dei materiali;
- definizione delle azioni agenti;
- studio di eventuali difetti;
- valutazione del degrado.

5.1. Analisi storico-critica

In questa fase si analizza lo sviluppo storico dell'edificio. In particolare, si determinano le varie modifiche che ha subito nel tempo, siano esse di natura strutturale oppure modificazioni d'uso.

Inoltre, sempre in questa analisi, si valutano tutte le azioni ordinarie ed eccezionali a cui è stata sottoposta la costruzione nel corso del tempo.

FONDAZIONI DI EDIFICI IN MURATURA

La fondazione è l'interfaccia tra l'edificio e il terreno, rappresentando uno degli elementi più critici di un'opera in muratura. La storia dell'edilizia mostra un'evoluzione continua delle sue forme e dimensioni: in epoca romana, le murature in laterizio e in pietra poggiavano su spesse platee di calcestruzzo semplice o su palificate lignee che permettevano la trasmissione dei carichi al substrato; più tardi, nel veneziano e lungo le rive fluviali, venne introdotto l'impiego di pali di larice o quercia, piantati in numero elevato e collegati da tavoloni. Nei centri storici di campagna, al contrario, si diffusero fondazioni continue, ottenute semplicemente allargando la sezione della muratura con ciottoli di fiume, mattoni di cotto e conci di pietra. La profondità di posa era relativamente modesta, sufficiente a raggiungere gli strati non soggetti al gelo o alle variazioni volumetriche stagionali.

Ai giorni nostri, il D.M. 17 gennaio 2018, ovvero le NTC 2018, disciplina il calcolo delle fondazioni sia in regime statico sia dinamico, mentre gli eurocodici strutturali, in particolare Eurocodice 6 per le strutture in muratura ed Eurocodice 7 per la progettazione geotecnica, costituiscono documenti di comprovata validità. Le NTC 2018 forniscono i criteri per i materiali, l'organizzazione strutturale e le verifiche di sicurezza delle costruzioni in muratura portante, permettendo l'uso non solo della muratura ordinaria e armata, ma anche della muratura confinata. Quest'ultima, riconosciuta per le sue migliori prestazioni meccaniche, prevede che le pareti siano confinate da elementi di calcestruzzo armato.

6.1. Le tipologie di fondazioni per edifici in muratura

Le tipologie di fondazione, per edifici in muratura, possono essere suddivise in due grandi famiglie: superficiali e profonde.

Le fondazioni superficiali, dette anche dirette, hanno lo scopo di trasmettere i carichi su una porzione di terreno situato a una profondità di pochi metri, a patto che vi sia una capacità portante adeguata e un'uniformità sufficiente da evitare cedimenti differenziali eccessivi. La forma più semplice di questa tipologia di fondazioni è costituita dall'aumento della sezione dei muri portanti; si tratta di allargamenti della sezione realizzati con gli stessi materiali della muratura, spesso mattoni, pietre squadrate o ciottoli, che conferiscono una maggiore superficie di appoggio e diminuiscono la pressione sul terreno. La profondità raggiunta varia tra 50 e 70 cm, mentre quando il substrato è roccioso la fondazione può coincidere con il piano di posa dei muri.

INDAGINI IN SITO E IN LABORATORIO

Al fine di determinare le caratteristiche meccaniche dei materiali da costruzione, è necessario eseguire delle prove meccaniche in situ o in laboratorio.

Le prove in situ si dividono in due grandi categorie:

- 1) prove non distruttive;
- 2) prove semi distruttive.

L'aggettivo "distruttivo" dipende dal danneggiamento che esse provocano sulla struttura originale.

In linea generale, le prove non distruttive, chiamate anche "*non destructive test*", determinano le caratteristiche meccaniche per via indiretta, attraverso la misurazione di alcuni parametri fisici, come la durezza superficiale o il modulo elastico. Per fare questo, le prove non distruttive adottano correlazioni empiriche, più o meno accurate, basate su dati sperimentali.

Le prove moderatamente distruttive o semi distruttive, chiamate "*moderately destructive tests*", forniscono invece una misura più diretta della caratteristica meccanica oggetto di studio.

Per quanto riguarda le prove in laboratorio, esse risultano più precise e affidabili, anche se meno economiche rispetto alle prove in situ. Inoltre, la numerosità delle prove in laboratorio è generalmente limitata, proprio per motivi economici; per questo motivo occorre pianificare attentamente il piano di indagine.

7.1. Piano di indagine

Il piano di indagine è un documento molto utile per ottimizzare le risorse in ambito diagnostico. Infatti, esso permette di quantificare il numero e la tipologia di prove necessarie per ottenere le informazioni di interesse, consentendo allo stesso tempo un risparmio economico.

Un'altra informazione utile da ricavare da questo piano è la posizione delle prove non distruttive. Sebbene tali prove non danneggino l'elemento su cui vengono applicate, richiedono comunque un'attività preliminare di preparazione e pulizia della superficie.

Il piano di indagine serve anche a motivare le scelte effettuate, in particolare il numero e la locazione delle prove. Infine, la normativa prescrive diversi livelli di conoscenza da raggiungere, in funzione anche del numero di prove eseguite.

RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI IN MURATURA

Nella definizione del rischio sismico e delle successive altre definizioni si è fatto riferimento al D.M. n. 65/2017.

Il rischio sismico è quindi dato come la combinazione di tre elementi, ovvero la vulnerabilità, la pericolosità e l'esposizione.

Di fatti, può essere esprimibile mediante la seguente formula:

$$\text{Rischio sismico} = \text{vulnerabilità} \cdot \text{esposizione} \cdot \text{pericolosità} \quad (8.1)$$

Volendo dare una definizione a parole del rischio sismico, esso rappresenta la misura dei danni attesi, considerando un determinato arco temporale, il grado di sismicità, la vulnerabilità del costruito e il livello di antropizzazione della zona.

8.1. La pericolosità sismica

La pericolosità sismica esprime la frequenza e l'intensità di un terremoto.

Più in particolare, viene definita come la probabilità che si verifichi un evento sismico in grado di superare una determinata soglia, espressa in termini di PGA (*Peak Ground Acceleration*) o magnitudo, considerando una specifica area di interesse e un certo arco temporale.

A tal fine, sul territorio italiano sono state eseguite zonizzazioni e microzonizzazioni: la prima serve a definire la pericolosità di base per la classificazione sismica, mentre la seconda consente un approfondimento locale.

I metodi per la definizione della pericolosità sono due: deterministico e probabilistico.

Il metodo deterministico si basa sull'analisi dei danni osservati in seguito a eventi sismici accaduti in una determinata zona e in un preciso contesto storico, mentre quello probabilistico studia la probabilità che un fenomeno sismico si verifichi in un certo intervallo di tempo e in una specifica area.

8.2. L'esposizione sismica

L'esposizione sismica indica il numero di persone e di beni immobili che potenzialmente possono essere coinvolti da un evento sismico e i relativi danni.

INTERVENTI DI RINFORZO SU STRUTTURE IN MURATURA

9.1. Tirantature orizzontali e verticali

Le tirantature orizzontali e verticali sono interventi invasivi volti a migliorare le condizioni meccaniche delle strutture in muratura. Per realizzarle si utilizzano barre d'acciaio ad alta resistenza post-tese. La tipologia di barre maggiormente impiegata sono Dywidag o trefoli.

Al fine di ripartire i carichi, alle estremità delle barre vengono installati dei dispositivi metallici. In linea generale, i tiranti verticali vengono posizionati negli angoli dei maschi murari per migliorare la loro resistenza meccanica, in particolare a taglio, mentre i tiranti orizzontali si inseriscono nei solai per irrigidirli.

Successivamente all'inserimento dei tiranti, viene posata una malta cementizia al fine di proteggere le armature dalla corrosione. Dal punto di vista meccanico, l'incremento della resistenza a taglio è così determinato:

Resistenza a taglio delle murature:

$$V_{Rd,f} = \frac{f_{vk0}}{\gamma_M} \cdot b \cdot s \cdot \sqrt{2 \left(1 + \frac{\sigma_0}{\xi \cdot f_{vk0}} \right)} \quad (9.1 - Turnesk e Cacovic)$$

I fattori di amplificazione sono:

$$m_v = \sqrt{2 \left(1 + \frac{\sigma_v}{\sigma_v + \sigma_0} \right)} \quad (9.2)$$

$$m_h = 1 + \sqrt{2 \left(\frac{\sigma_h}{\xi \cdot f_{vk0}} \right)} \quad (9.3)$$

dove:

- s è lo spessore del muro;
- b è la base del pannello murario;
- σ_0 è la tensione iniziale di compressione;
- f_{vk0} è la resistenza caratteristica a taglio in assenza di azione assiale;
- ξ è un coefficiente correttivo;
- γ_M vale: 5 per le verifiche alle tensioni ammissibili, 3 per le verifiche agli SLU e 2 per le verifiche agli SLV.

PROGETTO DI UNA STRUTTURA IN MURATURA IN ZONA SISMICA

Dimensionare e verificare il seguente telaio in muratura in classe di duttilità CD "B".

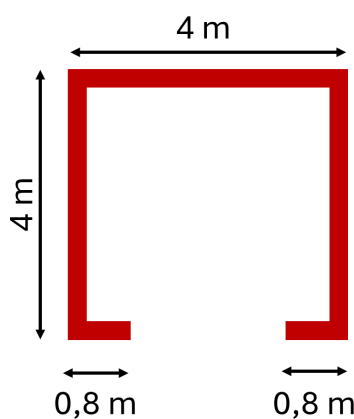


Figura 10.1. Pianta pilastri edificio in muratura

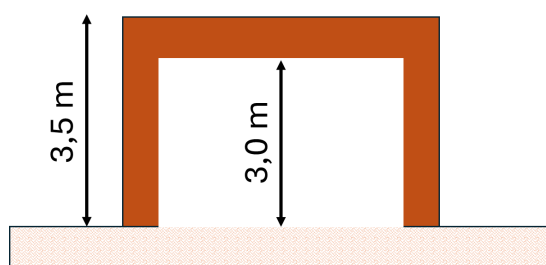


Figura 10.2. Sezione verticale

Si considerano le seguenti caratteristiche:

- Categoria di sottosuolo C;
- Categoria topografica T_1 ;
- $a_g(\text{SLV}) = 0,211 g$;
- $F_0(\text{SLV}) = 2,401$;
- $T_c^*(\text{SLV}) = 0,299 s''$.

ESEMPIO DI CALCOLO

Analisi statica lineare e determinazione dello spettro elastico di un edificio

Determinare lo spettro elastico dell'edificio che presenta le seguenti caratteristiche:

- a_g (SLV) = 0,211 g;
- F_0 (SLV) = 2,411;
- $T_c^* = 0,302$;
- Categoria sottosuolo C;
- Categoria topografica T1;
- Classe di duttilità CD "B";
- Struttura in muratura armata, regolare in altezza e in pianta.

Tabella 11.1. *Peso orizzontamenti*

Solaio	Peso (kN)
Copertura	1700 kN
Secondo piano	2300 kN
Primo piano	2300 kN
TOTALE	1700 kN + 2300 kN + 2300 kN = 6300 kN

Tabella 11.2. *Quote orizzontamenti*

Solaio	Altezza (m)
Copertura	9
Secondo piano	6
Primo piano	3

Determinazione del coefficiente del sottosuolo:

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$S_T = 1,0$$

$$S_S = 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g}$$

LA WEBAPP INCLUSA: CONTENUTI E ATTIVAZIONE

12.1. Contenuti della WebApp

La WebApp inclusa è parte integrante del libro e gestisce i seguenti contenuti:

- **Interventi su edifici esistenti:** foglio di calcolo (in MS Excel) per progettare interventi di rinforzo su strutture esistenti in muratura.
- **Verifiche di resistenza:** foglio di calcolo (in MS Excel) per verificare gli elementi portanti in muratura.
- **Analisi statica lineare e spettro elastico:** foglio di calcolo (in MS Excel) per eseguire l'analisi statica lineare sulle strutture in muratura e per la determinazione dello spettro elastico.
- **Speciale Progettazione Strutturale:** banca dati di normativa e giurisprudenza costantemente aggiornata a cura della redazione di www.lavoripubblici.it.

12.2. Requisiti hardware e software

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

12.3. Attivazione della WebApp

1) Collegati al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0520_9.php

- 2) Inserisci i codici **[A]** e **[B]** riportati alla fine del libro e clicca **[Continua]**;
- 3) Accedi al tuo **account Grafill** oppure creane uno;
- 4) Clicca sul pulsante **[Gcloud]**;
- 5) Clicca sul pulsante **[WebApp]** in corrispondenza del prodotto acquistato;
- 6) Fai il *login* con le credenziali del tuo **account Grafill**;
- 7) Accedi alla WebApp cliccando la copertina del libro nello scaffale **Le mie App**.

