



MANUEL SCIURTI

VULNERABILITÀ SISMICA DELLE STRUTTURE E INTERVENTI DI RINFORZO

COSTRUZIONI IN CEMENTO ARMATO,
MURATURA E ACCIAIO



**PRONTO
GRAFILL**
Clicca e richiedi di essere contattato
per **informazioni e promozioni**



WEBAPP INCLUSA
CON AGGIORNAMENTO AUTOMATICO

**GRAFILL**

Manual Sciurti

VULNERABILITÀ SISMICA DELLE STRUTTURE E INTERVENTI DI RINFORZO

Ed. I (06-2023)

ISBN 13 978-88-277-0394-6

EAN 9 788827 7 03946

Collana **MANUALI** (290)

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](tel:0916823069)



Whatsapp
[grafill.it/whatsapp](https://www.grafill.it/whatsapp)



Messenger
[grafill.it/messenger](https://www.grafill.it/messenger)



Telegram
[grafill.it/telegram](https://www.grafill.it/telegram)

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

INTRODUZIONE	p.	7
1. IL PATRIMONIO EDILIZIO ITALIANO E LE SUE CRITICITÀ	"	9
1.1. Distribuzione del patrimonio edilizio	"	9
2. LA NORMATIVA ANTISISMICA ITALIANA	"	13
3. RISCHIO SISMICO: PERICOLOSITÀ, ESPOSIZIONE E VULNERABILITÀ	"	16
3.1. La pericolosità sismica	"	16
3.2. L'esposizione sismica	"	16
3.3. La vulnerabilità sismica.....	"	17
4. ANALISI DEL COSTRUITO	"	18
4.1. Analisi storico-critica	"	19
4.2. Rilievo Geometrico.....	"	19
4.3. Caratterizzazione dei materiali	"	20
4.3.1. Piano di indagine e valutazione del degrado.....	"	20
4.4. Definizione delle azioni agenti	"	20
4.4.1. Intensità dell'azione sismica.....	"	21
4.5. Lo studio di eventuali difetti	"	22
4.5.1. I difetti più comuni nelle strutture in cemento armato	"	22
4.5.1.1. I difetti in travi, tamponature e solette	"	22
4.5.1.2. I difetti nei pilastri in cemento armato	"	24
4.5.1.3. I difetti nelle scale in cemento armato	"	25
4.5.2. I difetti più comuni nelle strutture in muratura	"	26
4.5.2.1. Slittamenti e scollamenti di solai	"	29
4.5.2.2. Danneggiamento di archi, cupole o volte	"	29
4.5.2.3. Danneggiamento di torri campanarie	"	31
4.5.3. I difetti più comuni nelle strutture in acciaio	"	32
4.5.3.1. La corrosione delle strutture in acciaio.....	"	32

5. INDAGINI IN SITO E IN LABORATORIO	p.	34
5.1. Piano di indagini.....	"	34
5.2. Livelli di conoscenza	"	34
5.2.1. Livelli di conoscenza delle strutture in cemento armato e acciaio.....	"	35
5.2.2. Livelli di conoscenza delle strutture in muratura	"	36
5.3. Analisi termografica	"	36
5.4. Indagine pacometrica	"	37
5.5. Indagine endoscopica	"	37
5.6. Prove sclerometriche	"	37
5.7. Prova ultrasonica	"	38
5.8. Prova Windsor.....	"	39
5.9. Carotaggi	"	39
5.10. Prove con i martinetti piatti	"	40
5.11. Prove penetrometriche	"	41
5.12. Prove di carico su pannelli murari	"	42
5.13. Test della nebbia salina neutra	"	43
5.14. Test corrosione ciclica.....	"	43
5.15. Test di corrosione ciclica con esposizione ai raggi UV.....	"	43
5.16. Test dell'umidità.....	"	44
6. MATERIALE DA COSTRUZIONE	"	45
6.1. Il conglomerato cementizio armato	"	45
6.2. Acciaio	"	47
6.3. Laterizio.....	"	47
6.4. Malta.....	"	48
7. VULNERABILITÀ DELLE COSTRUZIONI IN CEMENTO ARMATO	"	49
8. VULNERABILITÀ DELLE COSTRUZIONI IN MURATURA	"	52
9. VULNERABILITÀ DELLE COSTRUZIONI IN ACCIAIO	"	54
10. INTERVENTI DI RINFORZO PER OPERE IN CEMENTO ARMATO	"	56
10.1. Controventi in acciaio sulle strutture in cemento armato.....	"	56
10.2. Incamiciatura in acciaio dei pilastri.....	"	59
10.3. Esempio di calcolo: aumento di resistenza a taglio di un pilastro incamiciato in acciaio	"	61
10.4. L'applicazione dei materiali fibrorinforzati	"	62

10.5.	Esempio di calcolo: resistenza di progetto del calcestruzzo confinato	p.	65
10.6.	Esempio di calcolo: deformazione ultima calcestruzzo confinato	"	67
10.7.	Esempio di calcolo: resistenza di progetto a taglio fornita dal FRP	"	68
10.8.	Esempio di calcolo: momento resistente con il contributo del FRP	"	69
10.9.	Esempio di calcolo: resistenza torsionale fornita dal FRP	"	70
11.	INTERVENTI DI RINFORZO PER OPERE IN MURATURA	"	72
11.1.	Tirantature orizzontali e verticali	"	72
11.2.	Esempio di calcolo: determinazione dei fattori di incremento della resistenza a taglio per via della tirantature	"	73
11.3.	Applicazione di fibre di vetro	"	74
11.4.	Esempio di calcolo: resistenza di progetto a compressione di un elemento in muratura confinato	"	76
11.5.	Iniezione di miscele leganti	"	77
11.6.	Inserimento diatoni	"	78
11.7.	Esempio di calcolo: resistenza a compressione della muratura con la presenza dei diatoni	"	79
11.8.	Esempio di calcolo: resistenza a taglio della muratura con la presenza dei diatoni.....	"	80
12.	INTERVENTI DI RINFORZO PER OPERE IN ACCIAIO	"	81
12.1.	Rinforzo di strutture esistenti	"	81
12.2.	Esempio di calcolo: rinforzo di una reticolare in acciaio.....	"	81
12.3.	Esempio di calcolo: rinforzo di un telaio in acciaio.....	"	84
13.	CONTENUTI E ATTIVAZIONE DELLA WEBAPP	"	88
13.1.	Contenuti della WebApp.....	"	88
13.2.	Requisiti hardware e software	"	88
13.3.	Attivazione della WebApp	"	88
BIBLIOGRAFIA		"	89

INTRODUZIONE

Libro dedicato a tutti i professionisti che lavorano nell'ambito dell'adeguamento e miglioramento sismico del costruito. Quest'opera vuole essere un utile strumento per valutare correttamente lo stato di salute di un edificio, per poi fornire tutti gli strumenti necessari a progettare eventuali interventi di ripristino di sicurezza. Infatti, verranno fornite tutte le informazioni necessarie a comprendere il grado di vulnerabilità di una struttura, per poi giungere ad una valutazione finale. Successivamente verranno introdotti tutti gli interventi di miglioramento e adeguamento sismico, fornendo tutti gli strumenti teorici e pratici per progettarli al meglio.

Le strutture prese in considerazione saranno quelle in conglomerato cementizio armato, muratura e acciaio, in quanto risultano essere quelle più comuni sul suolo italiano. La prima parte verterà dunque sull'analisi del costruito soffermandosi sulla tipologia di strutture attualmente presenti in Italia, sulla storia della normativa antisismica italiana. La seconda parte si concentrerà sull'analisi del costruito, in particolare su come avviene la valutazione del rischio sismico, specificando le varie prove in sito e in laboratorio impiegate. Infine, l'ultima parte di quest'opera verterà sulla progettazione di tutti quegli interventi volti a ripristinare la sicurezza, fornendo formule ed esempi pratici di progettazione. Il tutto facendo continuo riferimento alla normativa attualmente in vigore, ovvero le norme tecniche per le costruzioni del 2018, acronimo NTC 2018.

IL PATRIMONIO EDILIZIO ITALIANO E LE SUE CRITICITÀ

Il patrimonio edilizio italiano è situato su un territorio avente una pericolosità sismica che porta, più o meno di frequente, al verificarsi di terremoti di medio-alta intensità. Dagli inizi del Novecento, gli eventi sismici che hanno causato decessi e danni considerevoli sono stati diversi, tra questi si può ricordare quello di Messina e Reggio Calabria del 1908, quello di Avezzano del 1915, quello dell'Irpinia del 1980 e quello dell'Aquila del 2009.

Tabella 1.1. *Terremoti e relativa perdita di vita umana*

ANNO	LOCALITÀ	MORTI
1905	Nicastro	557
1907	Canolo e San Luca	167
1908	Messina e Reggio Calabria	120000
1915	Avezzano	33000
1930	Bisaccia e Lacedonia	1404
1968	Poggioreale	370
1976	Friuli-Venezia Giulia	989
1980	Irpinia	2914
2009	L'Aquila	309
2016	Accumoli	299

Da ciò se ne deduce che numero di vittime stimato, causate dai terremoti, si aggira attorno a 164000 persone, paragonabile al numero di vittime civile italiane durante la Seconda guerra mondiale, ovvero circa 153000. Dal punto di vista economico, i danni causati dal sisma sono ingenti, prendendo in considerazione i dati forniti dal Manifesto ISI - Ingegneria sismica, intitolato "Classificare la vulnerabilità sismica dei fabbricati" e dei dati forniti da ANCE - Cresme, lo stato ha speso ben 181 miliardi di euro tra il 1944 e il 2012, circa 2,6 miliardi l'anno, ovvero quasi 0,2 del PIL.

1.1. Distribuzione del patrimonio edilizio

Da queste considerazioni, di carattere economico, si passa a valutare la tipologia di costruito, facendo riferimento al 15° censimento generale della popolazione e delle abi-

LA NORMATIVA ANTISISMICA ITALIANA

Al fine di conoscere con quali regole progettuali sono state progettate le strutture portanti di un edificio esistente, risulta opportuno conoscere la normativa in vigore durante il periodo della sua realizzazione.

In questa sede è bene notare che, in alcuni casi, le normative antisismiche sono precedenti ad un terremoto particolarmente distruttivo. Il primo accenno a normativa antisismica in Italia risale al 1627, dove viene introdotto il sistema baraccato alla beneventana. Procedendo in ordine cronologico, la seconda normativa di interesse venne emanata nel 1784 da Ferdinando IV di Borbone, intitolata *"Istruzioni per la ricostruzione di Reggio"*. In questa normativa vengono definiti requisiti geometrici e tecnologici, come per esempio, lo spessore delle murature, l'altezza dello zoccolo di fondazione e le dimensioni degli elementi costituenti le costruzioni in muratura.

Il primo decreto dell'Italia unificata risulta essere il n. 511 del 16 settembre 1906, intitolato *"Norme per le costruzioni, ricostruzioni e riparazioni degli edifici privati pubblici e di uso pubblico nella regione calabrese e nei comuni della provincia di Messina danneggiati dal terremoto"*.

In questo decreto si disciplina quanto segue:

- Costruzioni di strade;
- Ripristino di lesioni causate dal terremoto;
- Qualità dei materiali (calcestruzzo e muratura);
- Distanze e geometrie;
- Demolizioni e ricostruzioni.

Nel 1924 e nel 1927 vengono emanati due importanti decreti per disciplinare le tecniche costruttive nelle località colpite dei terremoti. In particolare, si sta parlando del Regio Decreto n. 1099 del 23 ottobre 1925 e del Regio Decreto n. 431 del 13 marzo del 1927. In questi due decreti vengono definite le altezze massime degli edifici, il numero di piani ammessi e criteri tecnologici per le costruzioni in cemento armato e muratura. Nel 1935, con il regio decreto legislativo del 25 marzo, n. 640, vengono imposti i metodi di calcolo forniti dalla scienza delle costruzioni per determinare le sollecitazioni di strutture staticamente indeterminate. Si passa ora ad analizzare una delle più importanti normative dal dopoguerra, ovvero la Legge n. 64 del 2 febbraio 1974. Con questa legge viene approvata

RISCHIO SISMICO: PERICOLOSITÀ, ESPOSIZIONE E VULNERABILITÀ

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:

$$\text{Rischio sismico} = \text{vulnerabilità} \times \text{esposizione} \times \text{pericolosità}$$

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

3.1. La pericolosità sismica

La pericolosità sismica esprime la frequenza e l'intensità con cui un terremoto si verifica. Più in particolare, viene definita la probabilità con la quale si verifica un terremoto che supera una determinata soglia, sia essa espressa in termini di PGA (*Peak Ground Acceleration*) o magnitudo, considerando una determinata area di interesse e arco temporale. A tal fine, sono state eseguite, sul territorio italiano, delle zonizzazioni e delle microzonizzazioni. La zonizzazione serve a definire la pericolosità di base al fine di stilare una classificazione sismica, mentre una microzonizzazione serve per un approfondimento locale. I metodi per definire la pericolosità sono sostanzialmente due: il metodo deterministico e il metodo probabilistico. Il metodo deterministico si fonda sull'analisi dei danni osservati, causati da eventi sismici, accaduti in una determinata zona e in un determinato contesto storico. Il metodo probabilistico, invece, si basa sullo studio della probabilità che un determinato fenomeno sismico si verifichi in un intervallo di tempo e in una determinata zona.

3.2. L'esposizione sismica

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

ANALISI DEL COSTRUITO

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 (rubricato "Costruzioni esistenti") delle norme tecniche delle costruzioni del 2018, di cui al D.M. 7 gennaio 2018, pubblicato sulla G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018 - Suppl. Ord. n. 8.

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 quanto segue:

- 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, una volta 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 i seguenti:

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

INDAGINI IN SITO E IN LABORATORIO

Al fine di determinare le caratteristiche meccaniche dei materiali da costruzione, si necessita di eseguire delle prove meccaniche in situ o in laboratorio. Le prove in situ si dividono in due grandi categorie, prove non distruttive e 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 determinazione di alcuni parametri fisici, come la durezza superficiale o il modulo elastico. Per fare questo, le prove non distruttive adottano delle correlazioni empiriche, più o meno accurate, basate su dei dati sperimentali. Nelle prove moderatamente distruttive o semi distruttive, chiamate "*moderately destructive tests*", invece hanno una misura più diretta della caratteristica meccanica oggetto di studio. Per quanto riguarda le prove in laboratorio, esse risultano più precise ed affidabili, anche se poco economiche rispetto alle prove in situ. Inoltre, la numerosità delle prove in laboratorio risulta essere molto limitata, proprio per la natura economica, per questo motivo occorre studiare bene il punto di indagine.

5.1. Piano di indagini

Il piano di indagini è un documento molto utile al fine di ottimizzare le risorse in ambito diagnostico. Infatti, esso permette di quantificare il numero e la tipologia di prove necessarie al fine di determinare le informazioni di interesse, e, allo stesso tempo, risparmiare risorse economiche. Inoltre, un'altra informazione utile da ricavare da questo piano, è la posizione delle prove non distruttive. In quanto, esse, seppur non danneggino l'elemento su cui vengono applicate, necessitano di un'attività di preparazione e di pulizia della superficie. Il piano di indagini consiste anche nel motivare le scelte fatte, in particolare il numero e la locazione delle prove. Infine, la normativa prescrive vari livelli di conoscenza da raggiungere in funzione, anche, del numero di prove eseguite.

5.2. Livelli di conoscenza

I livelli di conoscenza, definiti dalle NTC 2018, definiscono il grado di conoscenza della struttura, principalmente i parametri di interesse sono: geometria della struttura,

MATERIALE DA COSTRUZIONE

Il materiale da costruzione è uno dei parametri che ha la maggiore influenza sulla vulnerabilità sismica di una costruzione esistente. Infatti, le caratteristiche meccaniche determinano la capacità resistente e la capacità di disperdere energia in caso di sisma. Più in particolare, si parla di materiali duttili e di materiali fragili, i materiali duttili sono in grado di dissipare una grande quantità di energia, attraverso cicli di isteresi, senza repentine diminuzioni di resistenza, viceversa i materiali fragili raggiungono la rottura senza evidenti deformazioni. Prendendo come riferimento la deformazione, si nota come il calcestruzzo sia un materiale molto più fragile dell'acciaio. Infatti, si ha che per quanto riguarda il calcestruzzo il rapporto deformazione ultima/deformazione di snervamento è pari a 1,75, mentre per l'acciaio, tale rapporto è pari a 5,52.

Per quanto riguarda il conglomerato cementizio armato, vi sono diversi parametri che vanno ad influire sulla sua capacità di essere duttile o meno. Uno di questi è il confinamento, infatti da risultati sperimentali è emerso che il calcestruzzo confinato ha una duttilità maggiore del calcestruzzo non confinato. Più in particolare, il calcestruzzo risulta essere maggiormente duttile quando è confinato con spirali rispetto quando vi sono le staffe.

Per quanto riguarda l'acciaio, la sua duttilità è influenzata dalla sua resistenza, infatti più il materiale è resistente, minore sarà la sua duttilità.

Per quanto riguarda il legno, il comportamento è di tipo fragile, per via della sua scarsa duttilità. Questo fenomeno è legato principalmente ai nodi, i quali riducono la capacità di dissipare energia. Per ovviare a questo problema, si introducono degli elementi in acciaio, come unione, a quelli del legno, in modo da indurre un comportamento complessivamente dissipativo.

6.1. Il conglomerato cementizio armato

Il conglomerato cementizio armato è formato dall'unione di diversi materiali, quali il calcestruzzo e le barre di armatura. Il calcestruzzo a sua volta è una miscela che si ottiene mescolando cemento, acqua, sabbia e ghiaia. Gli aggregati vengono classificati in funzione della loro resistenza a compressione, meglio ancora, della loro resistenza a compressione cubica caratteristica, infatti si hanno le classi:

VULNERABILITÀ DELLE COSTRUZIONI IN CEMENTO ARMATO

La vulnerabilità sismica, come già detto, è la propensione di un edificio a subire dei danni per via del sisma. Per quanto riguarda le strutture in cemento armato, essa dipende da numerosi fattori come la qualità del materiale da costruzione, la presenza o meno di fessure e lesioni, l'accuratezza dei dettagli costruttivi, la disposizione in pianta degli elementi strutturali e la presenza o meno di errori di progettazione. Le strutture in cemento armato si suddividono in diverse tipologie, secondo le NTC 2018. Ovvero:

- strutture a telaio;
- strutture a pareti;
- strutture miste telaio/pareti;
- strutture a pendolo inverso;
- strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano;
- strutture deformabili torsionalmente.

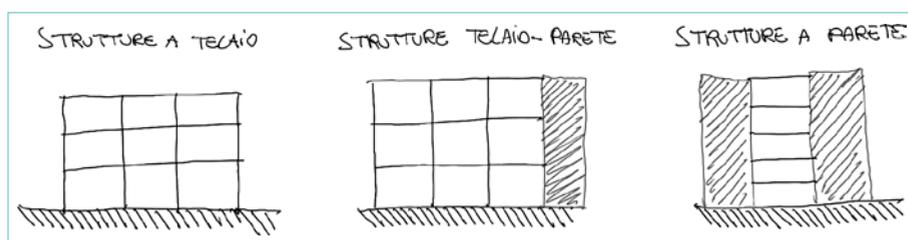


Figura 7.1. Tipologie strutture in c.a.

Le strutture a telaio sono quelle strutture in cui la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a telai spaziali, aventi resistenza a taglio alla base pari al 65% della resistenza a taglio totale.

Nelle strutture a pareti, la resistenza alle azioni verticali e alle azioni orizzontali è affidata principalmente alle pareti, aventi resistenza a taglio alla base pari al 65% della resistenza a taglio totale. Le pareti, a seconda della forma in pianta, si definiscono semplici o composte, a seconda della assenza o presenza di opportune "travi di accoppiamento". Le pareti si definiscono semplici quando sono formate da un singolo elemento di base rettangolare, mentre composte se vi sono più elementi di base rettangolare. Una parete,

VULNERABILITÀ DELLE COSTRUZIONI IN MURATURA

L'analisi di vulnerabilità di una struttura in muratura consiste nel rilevare i probabili meccanismi di collasso che si possono manifestare.

A differenza delle strutture in cemento armato e acciaio, le strutture in muratura possono presentare diverse caratteristiche del materiale costruttivo, per via della loro natura e tipologia. Infatti, non è raro trovare all'interno di una costruzione in muratura diverse qualità e spessori di malta, lo stesso vale anche per la tipologia di muratura utilizzata.

Per quanto riguarda una parete in muratura, essa può essere modellizzata come un telaio equivalente. Ovvero, gli elementi verticali vengono definiti maschi, i collegamenti orizzontali sono gli elementi di fascia, mentre i nodi rigidi connettono maschi murari con gli elementi di fascia.

Per quanto concerne i maschi murari, particolare attenzione va data alle sollecitazioni di taglio combinate con la presenza di compressione uniforme.

I comportamenti che si possono instaurare sono:

- crisi per scorrimento;
- crisi per fessurazione diagonale.

Queste tipologie di crisi possono avvenire nel caso si verificassero questi stati di sollecitazione:

- compressione semplice;
- taglio puro;
- copresenza di taglio e compressione.

Nel caso di compressione semplice, le fessurazioni sono verticali, tipiche di fenomeni di schiacciamento. Caso diverso di taglio puro, dove le fessurazioni sono inclinate di 45° . Infine, con la copresenza di taglio e compressione si hanno delle fessurazioni con un angolo maggiore di 45° . Vi è poi la rottura per scorrimento, questa rottura si manifesta con la classica forma a scaletta. Questa tipologia di fessurazione indica se si è in presenza di mattone forte/malta debole oppure mattone debole/malta forte. In caso di malta debole, le fessurazioni seguiranno il giunto di malta, in caso di mattone debole le fessurazioni tenderanno a rompere il mattone.

Per quanto concerne gli orizzontamenti, nelle costruzioni in muratura, il ruolo fondamentale nel valutare la vulnerabilità è sicuramente la loro capacità di mantenere la loro rigidità a seguito di un evento sismico.

VULNERABILITÀ DELLE COSTRUZIONI IN ACCIAIO

Le principali strutture in acciaio, normate dalle NTC sono:

- strutture a telaio;
- strutture con controventi concentrici;
- strutture con controventi eccentrici;
- strutture a mensola o a pendolo inverso;
- strutture intelaiate con controventi concentrici;
- strutture intelaiate con tamponature.

Le strutture a telaio sono composte da telai che resistono alle forze orizzontali con un comportamento prevalentemente flessionale. In queste strutture le zone dissipative sono principalmente collocate alle estremità delle travi, in prossimità dei collegamenti trave-colonna, dove si possono formare le cerniere plastiche e l'energia è dissipata per mezzo della flessione ciclica plastica.

Nelle strutture con controventi concentrici, le forze orizzontali sono assorbite principalmente da membrature soggette a forze assiali. In queste strutture le zone dissipative sono principalmente collocate nelle diagonali tese. Nelle strutture in acciaio aventi controventi eccentrici, le forze orizzontali sono principalmente assorbite da membrature caricate assialmente, ma la presenza di eccentricità di schema permette la dissipazione di energia nei traversi per mezzo del comportamento ciclico a flessione e/o a taglio. I controventi eccentrici possono essere classificati come dissipativi quando la plasticizzazione dei traversi dovuta alla flessione e/o al taglio precede il raggiungimento della resistenza ultima delle altre parti strutturali. Nelle strutture con controventi concentrici, le azioni orizzontali sono assorbite sia da telai sia da controventi agenti nel medesimo piano verticale. Infine, le strutture intelaiate con tamponature sono costituite da strutture intelaiate con le quali le tamponature in muratura o calcestruzzo sono in contatto, non collegate.

Nell'analisi della vulnerabilità sismica delle strutture in acciaio, va prestata particolare attenzione all'analisi dei collegamenti, siano essi bullonati o saldati. Nelle saldature in particolare è possibile riscontrare delle gocciolature lungo i cordoni di saldatura, le quali possono essere indice di una non perfetta esecuzione. Un altro aspetto da valutare è la presenza o meno di corrosione. La corrosione atmosferica può provocare un'aggressione dell'elemento metallico per ossidazione e aerazione differenziata. I principali fattori

INTERVENTI DI RINFORZO PER OPERE IN CEMENTO ARMATO

10.1. Controventi in acciaio sulle strutture in cemento armato

I controventi in acciaio vengono applicati nelle strutture in cemento armato, quando vi è necessità di proteggerle e/o di assorbire eventuali sollecitazioni orizzontali generate dal sisma. Infatti, qualora gli elementi portanti in una struttura in c.a., come travi e pilastri, fossero soggetti a fessure e a lesioni al punto da non garantire gli standard normativi, si possono applicare dei controventi in acciaio al fine di ripristinare gli standard richiesti.

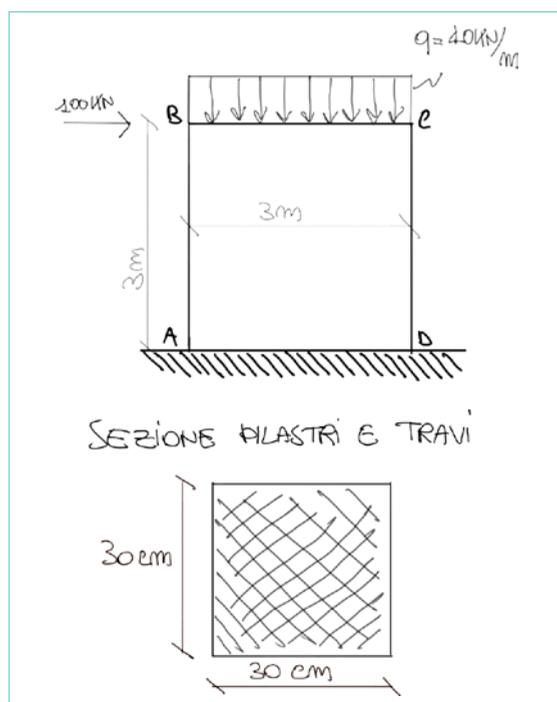


Figura 10.1. Telaio in cemento armato

I controventi sono elementi composti da aste soggette principalmente a sforzo assiale, ovvero puntoni per elementi soggetti a compressione e tiranti per elementi soggetti a trazione. L'applicazione permette di ottenere i seguenti vantaggi:

INTERVENTI DI RINFORZO PER OPERE IN MURATURA

11.1. Tirantature orizzontali e verticali

Le tirantature orizzontali e verticali sono degli interventi invasivi volti a migliorare le condizioni meccaniche delle strutture in muratura.

Per realizzarle, si utilizzano delle barre d'acciaio ad alta resistenza post-tese. La tipologia di barre, che maggiormente viene 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. I tiranti orizzontali si inseriscono nei solai per irrigidirli. Successivamente, l'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 determinata come di seguito esposto.

Resistenza a taglio delle murature:

$$V_{Rd} = \frac{f_{vk0}}{\gamma_M} \cdot b \cdot t \cdot \sqrt[2]{1 + \frac{\sigma_0}{\xi \cdot f_{vk0}}} \quad (\text{Turnesk e Cacovic})$$

I fattori di amplificazione sono:

$$m_v = \sqrt[2]{1 + \frac{\sigma_v}{\sigma_v + \sigma_0}} \qquad m_h = 1 + \sqrt[2]{\frac{\sigma_h}{\xi \cdot f_{vk0}}}$$

dove:

- t 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 verifiche agli SLU e 2 verifiche agli SLV.

INTERVENTI DI RINFORZO PER OPERE IN ACCIAIO

12.1. Rinforzo di strutture esistenti

Al fine di incrementare la resistenza alle azioni sismiche delle strutture esistenti in acciaio, un intervento che spesso si utilizza è il rinforzo nelle strutture esistenti.

Questo intervento consiste nell'incrementare la sezione resistente, di uno o più elementi in acciaio, mediante l'applicazione di lastre o profili in acciaio, e può riguardare sistemi di copertura o elementi strutturali.

12.2. Esempio di calcolo: rinforzo di una reticolare in acciaio

Si prende, per esempio, questo semplice telaio in acciaio e si vuole intervenire incrementando la sezione dei profili ad L 40x40x5.

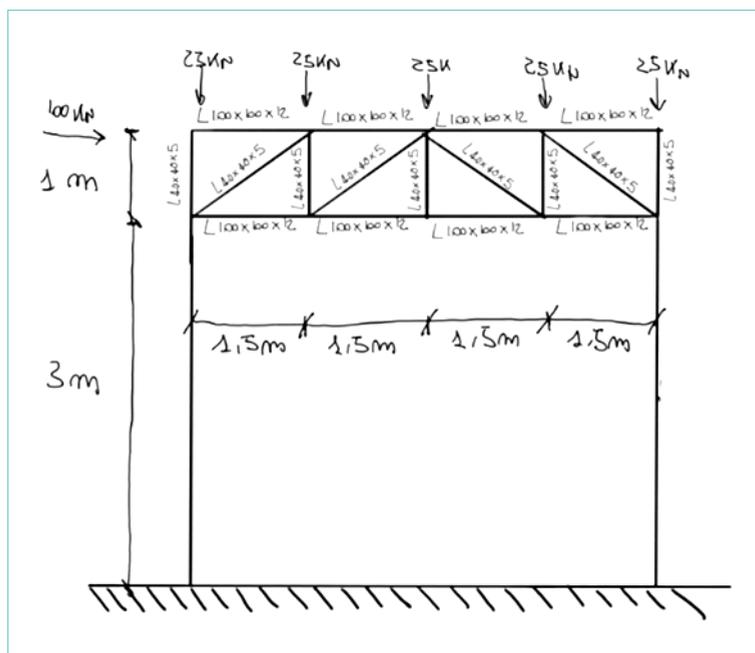


Figura 12.1. Struttura in acciaio

CONTENUTI E ATTIVAZIONE DELLA WEBAPP

13.1. Contenuti della WebApp

La **WebApp inclusa** gestisce le seguenti utilità che consentono di mettere in pratica le nozioni descritte nel presente manuale:

- **Foglio di calcolo muratura** (in formato *.xlsx) che consente di progettare interventi di rinforzo per opere in muratura.
- **Foglio di calcolo cemento armato** (in formato *.xlsx) che consente di progettare interventi di rinforzo per opere in cemento armato.

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 gestire documenti PDF e Office.

13.3. Attivazione della WebApp

- 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**;
- Per **accedere alla WebApp** cliccare sulla copertina del libro presente nello scaffale **Le mie App**.

