NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

MODULO 10

- *COSTRUZIONI ESISTENTI* -

Relatore: Ing. Federico Carboni

Dottore di Ricerca in "Strutture e Infrastrutture"
presso l'Università Politecnica delle Marche

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti possono essere eseguiti con riferimento ai soli Stati Limite Ultimi

Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni

- Riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali, significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali, situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione
- Provati errori di progetto o di costruzione
- Cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione
- Interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidezza

SCOPO DELLA VALUTAZIONE

La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se

- L'uso della costruzione possa continuare senza interventi
- L'uso della costruzione debba essere modificato
  (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso)
- Sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante

In merito, il Progettista deve esplicitare in un'apposita relazione i livelli di sicurezza e le eventuali conseguenti limitazioni da imporre nell'uso della costruzione

La valutazione della sicurezza dovrà effettuarsi altresì ogni qual volta si eseguano interventi strutturali e dovrà determinare il livello di sicurezza prima e dopo l'intervento

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO

Sono interventi di adeguamento quelli atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni

E' fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, a chiunque intenda

- Sopraelevare la costruzione
- Ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione
- Apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10% (attualmente tale percentuale è del 20%)
- Effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente

Si precisa che una variazione dell'altezza dell'edificio per la realizzazione di cordoli sommitali, sempre che resti immutato il numero di piani,
non è considerata sopraelevazione o ampliamento ai sensi dei punti sovrastanti

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO

Sono interventi di miglioramento quelli atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni

Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme

E' possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate per cui si rendono necessari gli interventi di adeguamento

In generale ricadono in questa categoria tutti gli interventi che, non rientrando nella categoria dell'adeguamento, fanno variare significativamente la rigidezza, la resistenza e/o la duttilità dei singoli elementi o parti strutturali e/o introducono nuovi elementi strutturali, così che il comportamento strutturale locale o globale, particolarmente rispetto alle azioni sismiche, ne sia significativamente modificato

Gli interventi di adeguamento e miglioramento devono essere sottoposti a collaudo statico

RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

Si definiscono riparazioni o interventi locali quegli interventi che interessino elementi isolati e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti

A condizione che l'intervento non cambi significativamente il comportamento globale della struttura, soprattutto ai fini della resistenza alle azioni sismiche a causa di una variazione non trascurabile di rigidezza o peso, rientrano ad esempio in questa tipologia

- La riparazione, il rafforzamento o la sostituzione di singoli elementi strutturali come travi, architravi, porzioni di solaio, pilastri e pannelli murari
- La sostituzione di coperture e solai
- Interventi di ripristino o rinforzo delle connessioni tra elementi strutturali diversi, anche attraverso l'introduzione di catene o tiranti
- Interventi di variazione della configurazione di un elemento strutturale attraverso la sua sostituzione o un rafforzamento localizzato, come ad esempio l'apertura di un vano in una parete muraria, accompagnata da opportuna cerchiatura di rinforzo e irrigidimento

In tal caso il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati, documentando che non si siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altri parti e della struttura nel suo insieme

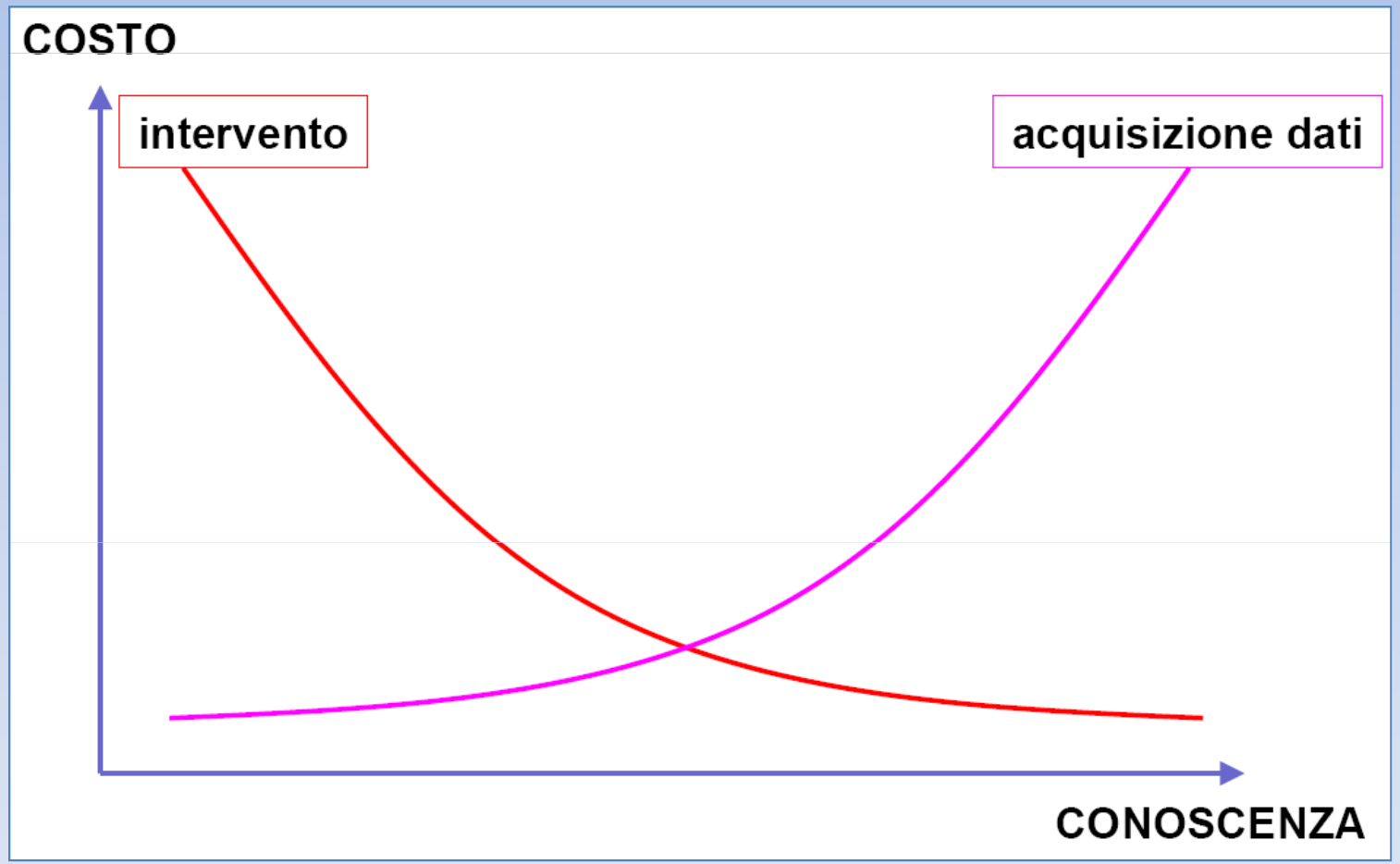
PROCEDURA PER LA PROGETTAZIONE

Il modello per la valutazione della sicurezza deve essere definito e giustificato dal Progettista caso per caso tenendo conto delle indicazioni generali di seguito esposte

- Analisi storico critica
  Ricostruzione del processo di realizzazione e delle successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché degli eventi che lo hanno interessato
- Rilievo
  Individuazione dell'organismo esistente della costruzione tenendo presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi, nonché i dissesti, in atto o stabilizzati, i quadri fessurativi e i meccanismi di danno
- Caratterizzazione meccanica dei materiali
  Caratterizzazione basata sulla documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali
- Livelli di conoscenza e fattori di confidenza
  Individuazione dei livelli di conoscenza e dei correlati fattori di confidenza come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza da applicare ai diversi parametri coinvolti nel modello sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive anzidette
- Azioni
  Individuazione dei carichi permanenti attraverso accurato rilievo geometrico strutturale

COSTO DEGLI INTERVENTI

Approfondire adeguatamente il livello di conoscenza appare fondamentale al fine di minimizzare i costi che dovranno rendersi necessari per l'intervento sulla costruzione esistente



LIVELLI DI CONOSCENZA - MURATURA

I livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e i conseguenti valori dei fattori di confidenza per gli edifici in muratura sono desumibili dalla tabella a lato

In particolare, è possibile osservare come siano distinti

3 differenti Livelli di Conoscenza

in funzione del grado di approfondimento delle

verifiche in situ
sui dettagli costruttivi

e delle

indagini in situ
sulle proprietà dei materiali

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1 Limitata		verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8B.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8B.1		1.35
			Indagini in situ estese		
LC2 Adeguata	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.		Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8B.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8B.1		1.20
LC3 Accurata		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8B.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8B.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8B.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8B.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).	Tutti	1.00

VERIFICHE IN SITU - MURATURA

Le verifiche in situ devono essere rivolte all'esame dei dettagli costruttivi, rilevando la qualità dei collegamenti verticali ed orizzontali, l'esistenza di architravi efficienti, la presenza di elementi atti ad eliminare le spinte, la presenza di elementi vulnerabili, la tipologia e le caratteristiche costruttive della muratura

Verifiche in situ limitate

Sono basate su rilievi di tipo visivo effettuati ricorrendo a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, oltre che l'ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti

La qualità dei collegamenti può valutarsi anche sulla base di una conoscenza appropriata delle tipologie dei solai e della muratura

Verifiche in situ estese ed esaustive

Sono basate su rilievi di tipo visivo effettuati ricorrendo a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, oltre che l'ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti

L'esame dei dettagli costruttivi è opportuno sia esteso in modo sistematico all'intero edificio

INDAGINI IN SITU - MURATURA

Le indagini in situ devono essere rivolte alla valutazione delle proprietà dei materiali, rilevando la presenza o meno di elementi di collegamento trasversali, la tessitura, la forma, tipologia e dimensione degli elementi, l'orizzontalità delle giaciture, il regolare sfalsamento dei giunti, la qualità e la consistenza della malta

Indagini in situ limitate

Sono basate su esami visivi condotti dopo la rimozione di una zona di intonaco di almeno 1m x 1m, preferibilmente in corrispondenza degli angoli

E' da valutare anche la qualità della connessione interna e trasversale attraverso saggi localizzati che interessino lo spessore murario

Indagini in situ estese

Le indagini visive devono effettuarsi in maniera estesa e sistematica, con saggi superficiali ed interni per ogni tipo di muratura presente

Prove con martinetto piatto doppio e prove di caratterizzazione della malta e delle pietre e/o mattoni consentono di individuare la tipologia della muratura

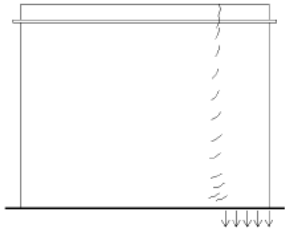
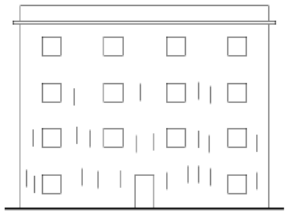
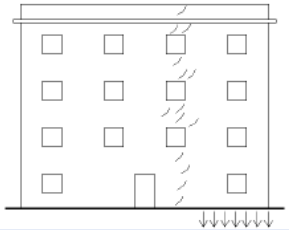
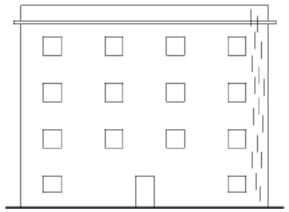
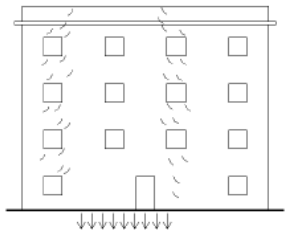
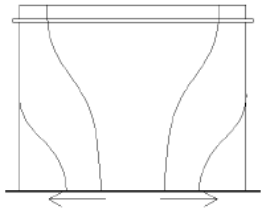
Indagini in situ esaustive

In aggiunta alle verifiche visive,ai saggi interni ed alle prove richieste per le indagini in situ estese

deve effettuarsi una ulteriore serie di prove sperimentali che, per numero e qualità, siano tali da consentire di valutare le caratteristiche meccaniche della muratura

QUADRO FESSURATIVO DELLA MURATURA

Deve inoltre essere rilevato e rappresentato l'eventuale quadro fessurativo (classificando possibilmente ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato) e deformativo, individuando così l'origine e le possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio

Lesioni nella costruzione	Cause	Lesioni nella costruzione	Cause
Muratura portante senza aperture con lesioni ad andamento variabile da orizzontale alla base a verticale in sommità, localizzate su una fascia verticale. 	Cedimento dell'estremità della fondazione posta oltre la zona in cui sono concentrate le lesioni.	Lesioni verticali situate in corrispondenza delle zone di muratura portante al livello delle aperture (zone di minore resistenza). 	Schiacciamento della muratura.
Muratura portante con lesioni inclinate localizzate su una fascia verticale in corrispondenza delle zone di minore resistenza. 	Cedimento dell'estremità della fondazione posta oltre la zona in cui sono concentrate le lesioni.	Lesioni verticali localizzate su una fascia verticale, ad una estremità della facciata. 	Rotazione nel muro trasversale attorno alla sua base con perdita dell'ammorsamento fra i due muri.
Muratura portante con lesioni inclinate localizzate su due fasce verticali in corrispondenza delle zone di minore resistenza. 	Cedimento verticale di un tratto intermedio della fondazione.	Lesioni ad andamento verticale con caratteristica forma ad imbuto. Il distacco fra i bordi delle lesioni è maggiore alla base della muratura. 	Allontanamento di masse di terreno senza che si verifichi cedimento verticale, causate da dilatazioni e contrazioni del terreno, movimenti franosi, eventi sismici.

PARAMETRI MECCANICI MURATURA

Nella tabella sono indicati i valori di riferimento che possono essere adottati nelle analisi, secondo quanto indicato precedentemente in funzione del Livello di Conoscenza acquisito

I valori di riferimento dei parametri meccanici per le diverse tipologie di muratura, sono da considerarsi validi perle seguenti condizioni

- malta di caratteristiche scarse
- assenza di ricorsi (listature)
- paramenti non o mal collegati
- muratura non consolidata
- tessitura a regola d'arte

Tipologia di muratura	f_m (N/cm^2)	τ_0 (N/cm^2)	E (N/mm^2)	G (N/mm^2)	w (kN/m^3)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

CORREZIONE PARAMETRI MECCANICI

Di seguito sono dunque rappresentati i coefficienti correttivi dei parametri meccanici indicati nella tabella precedente da applicarsi qualora la muratura abbia caratteristiche migliori

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramen-to di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5
Da applicare a (valori da ridurre per spessori > 70cm)	f_m, τ_0 E, G	f_m, τ_0 [½] E, G	f_m, τ_0	f_m, τ_0	f_m, τ_0 E, G	f_m, τ_0 E, G	f_m, τ_0 E, G

EDIFICI SEMPLICI IN MURATURA

È consentito applicare le norme semplificate per edifici in muratura, utilizzando al posto della resistenza caratteristica a compressione f_k il valore medio f_m diviso per il fattore di confidenza FC

Oltre alle condizioni ivi prescritte, dopo l'eventuale intervento di adeguamento, è necessario accertarsi che risulti verificato quanto segue

- le pareti ortogonali siano tra loro ben collegate
- i solai siano ben collegati alle pareti
- tutte le aperture abbiano architravi dotate di resistenza flessionale
- tutti gli elementi spingenti eventualmente presenti siano dotati di accorgimenti atti ad eliminare o equilibrare le spinte orizzontali
- tutti gli elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità siano stati eliminati
- le murature non siano a sacco o a doppio paramento, ed in generale di cattiva qualità e scarsa resistenza (es. muratura in "foratoni", o con spessori chiaramente insufficienti)

LIVELLI DI CONOSCENZA - C.A./ACCIAIO

Gli aspetti che definiscono i Livelli di Conoscenza delle strutture in c.a. o in acciaio sono i seguenti

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1 Limitata	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e *limitate* verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e *limitate* prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2 Adeguata		Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3 Accurata		Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

PROVE SU EDIFICI IN C.A.

Le prove opportune nell'identificazione dei dettagli costruttivi e delle proprietà dei materiali sono illustrate nella seguente tabella valida orientativamente per edifici in c.a.

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro…)	
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Dove ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire non più del 50% delle prove distruttive con un più ampio numero (almeno il triplo) di prove non distruttive tarate su quelle distruttive

PROVE SU EDIFICI IN ACCIAIO

Le prove opportune nell'identificazione dei dettagli costruttivi e delle proprietà dei materiali sono illustrate nella seguente tabella valida orientativamente per edifici in acciaio

	Rilievo (dei collegamenti)(a)	Prove (sui materiali) (b)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro…)	
Verifiche limitate	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell'edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Verifiche estese	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di acciaio per piano dell'edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di acciaio per piano dell'edificio, 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio

Dove ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire non più del 50% delle prove distruttive con un più ampio numero (almeno il triplo) di prove non distruttive tarate su quelle distruttive

FATTORI DI CONFIDENZA - C.A./ACCIAIO

I Fattori di Confidenza desunti in funzione del Livello di Conoscenza possono quindi essere utilizzati, in assenza di valutazioni più approfondite, per definire le resistenze dei materiali da utilizzare nelle formule di verifica degli elementi strutturali

Le resistenze medie, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono divise per i Fattori di Confidenza

Nel caso di progettazione in presenza di azioni sismiche, i Fattori di Confidenza sono utilizzati anche per le verifiche in termini di deformazioni

I Fattori di Confidenza possono anche essere valutati in modo differenziato per diversi materiali sulla base di considerazioni condotte su un insieme di dati significativo per gli elementi in esame

CRITERI DI VERIFICA - C.A./ACCIAIO

La tabella seguente riassume i valori delle proprietà dei materiali e i criteri di analisi e verifica

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="2">Modello Lineare</td><td colspan="2">Modello Non Lineare</td></tr>
<tr><td>Domanda</td><td>Capacità</td><td>Domanda</td><td>Capacità</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Tipo di elemento o meccanismo (e/m)</td><td rowspan="3">Duttile / Fragile</td><td colspan="2">Accettazione del Modello Lineare (ML)
(per il controllo dei valori di $\rho_i = D_i/C_i$)</td><td rowspan="8">Dall'analisi.
Usare i valori medi nel modello.</td><td rowspan="5">In termini di deformazione.
Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC.</td></tr>
<tr><td>Dall'analisi.
Usare i valori medi dei moduli nel modello.</td><td>In termini di resistenza.
Usare i valori medi.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Verifiche (se il ML è accettato)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Duttile</td><td>Dall'analisi.</td><td>In termini di deformazione.
Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Verifiche (se il ML è accettato)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Fragile</td><td>Se $\rho_i \leq 1$, dall'analisi.</td><td rowspan="3">In termini di resistenza.
Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC e per il coefficiente parziale.</td><td rowspan="3">In termini di resistenza.
Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC e per il coefficiente parziale.</td></tr>
<tr><td>Se $\rho_i > 1$, dall'equilibrio con la resistenza degli e/m duttili.
Usare i valori medi <u>moltiplicati</u> per FC.</td></tr>
<tr></tr>
</table>

Essendo ρ_i il rapporto tra il momento D_i fornito dall'analisi sismica e il momento resistente C_i

VALUTAZIONE PER AZIONI SISMICHE

Nella valutazione della sicurezza o nella progettazione di interventi sulle costruzioni esistenti soggette ad azioni sismiche, particolare attenzione sarà posta agli aspetti che riguardano la duttilità, dovendo quindi assumere le informazioni necessarie a valutare se i dettagli costruttivi, i materiali utilizzati e i meccanismi resistenti siano in grado di continuare a sostenere cicli di sollecitazioni o deformazioni anche dopo il superamento delle soglie di plasticizzazione

Per quanto detto, specie per le costruzioni in cemento armato o in acciaio, l'analisi sismica globale deve utilizzare, per quanto possibile, metodi di analisi che consentano di valutare in maniera appropriata sia la resistenza che la duttilità disponibile

L'impiego di metodi di calcolo lineari richiede, da parte del progettista, un'opportuna definizione del fattore di struttura in relazione alle caratteristiche globali e locali della struttura in esame

In ogni caso, il fattore di struttura q va scelto nel campo fra 1,5 e 3,0 sulla base della regolarità nonché dei tassi di lavoro dei materiali sotto le azioni statiche, adottando comunque il valore 1,5 per la progettazione e verifica di elementi fragili per cui non è richiesto il controllo della duttilità

AGGREGATI EDILIZI IN MURATURA

Nell'analisi di un edificio in muratura facente parte di un aggregato edilizio occorre tenere conto delle possibili interazioni derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti

A tal fine dovrà essere individuata l'unità strutturale oggetto di studio, evidenziando le azioni che su di essa possono derivare dalle unità strutturali contigue

Oltre a quanto normalmente previsto per gli edifici non disposti in aggregato, dovranno essere valutati gli effetti di spinte non contrastate causate da orizzontamenti sfalsati di quota sulle pareti in comune con le unità strutturali adiacenti, meccanismi locali derivanti da prospetti non allineati ed unità strutturali adiacenti di differente altezza

La verifica di una unità strutturale può eseguirsi in via semplificativa mediante un'analisi statica non lineare che analizzi e verifichi separatamente ciascun interpiano dell'edificio (tipo POR)

Con l'esclusione di unità strutturali d'angolo o di testata, l'analisi potrà anche essere svolta trascurando gli effetti torsionali, mentre in caso contrario è comunque ammesso il ricorso ad analisi semplificate, purché si tenga conto di possibili effetti torsionali e dell'azione aggiuntiva trasferita dalle unità adiacenti attraverso opportuni coefficienti maggiorativi delle azioni

CRITERI DI INTERVENTO

Gli interventi devono mirare prioritariamente a contrastare lo sviluppo di meccanismi locali e/o di meccanismi fragili e, quindi, a migliorare il comportamento globale della struttura

Il rispetto della priorità anzidetta garantisce tipicamente un rapporto ottimale costi/benefici nel progetto dell'intervento

In ogni caso l'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata, considerando la variazione nella distribuzione delle rigidezze e delle resistenze e la conseguente eventuale interazione con le parti restanti della struttura

Particolare attenzione deve essere inoltre posta alla fase esecutiva degli interventi, in quanto una cattiva esecuzione può peggiorare il comportamento globale delle costruzioni

TIPI DI INTERVENTO

In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti

- Riparazione di eventuali danni presenti
- Riduzione delle carenze dovute ad errori grossolani
- Miglioramento della capacità deformativa (duttilità) di singoli elementi
- Riduzione delle condizioni che determinano situazioni di forte irregolarità degli edifici, in termini di massa, resistenza e/o rigidezza, anche legate alla presenza di elementi non strutturali
- Riduzione delle masse, anche mediante demolizione parziale o variazione di destinazione d'uso
- Riduzione dell'impegno degli elementi strutturali originari mediante l'introduzione di sistemi di isolamento o di dissipazione di energia
- Riduzione dell'eccessiva deformabilità degli orizzontamenti
- Miglioramento dei collegamenti degli elementi non strutturali

INTERVENTI SU EDIFICI IN MURATURA

In aggiunta alle indicazioni a validità generale, per le strutture in muratura dovranno inoltre essere valutati e curati gli aspetti seguenti

- Miglioramento dei collegamenti tra solai e pareti o tra copertura e pareti e fra pareti confluenti in incroci murari ed angolate
  inserimento di tiranti in corrispondenza delle pareti portanti
  cerchiature esterne di edifici di dimensioni ridotte
  ammorsatura di murature deteriorate o scadenti mediante scuci e cuci o collegamenti locali
  perforazioni armate (comunque invasive)
  cordoli di sommità
  efficace connessione dei solai di piano e delle coperture con collegamenti puntuali
  (va evitata l'esecuzione di cordolature ai livelli intermedi eseguite nello spessore della parete, specie se di muratura in pietrame, dati gli effetti negativi che le aperture in breccia producono nella distribuzione delle sollecitazioni sui paramenti)

- Riduzione ed eliminazione delle spinte non contrastate di coperture, archi e volte
  inserimento di catene
  realizzazione di contrafforti o ringrossi murari
  placcaggio all'estradosso con fasce di materiale composito

- Rafforzamento delle pareti intorno alle aperture

INTERVENTI SU EDIFICI IN C.A. O ACCIAIO

In aggiunta alle indicazioni a validità generale, per le strutture in calcestruzzo armato e per quelle in acciaio dovranno inoltre essere valutati e curati gli aspetti seguenti

- Rinforzo di tutti o parte degli elementi
- Aggiunta di nuovi elementi resistenti, quali pareti in c.a. o controventi in acciaio
- Eliminazione di eventuali comportamenti a piano debole
- Introduzione di un sistema strutturale aggiuntivo in grado di resistere per intero all'azione sismica di progetto
- Eventuale trasformazione di elementi non strutturali in elementi strutturali (ad esempio attraverso l'incamiciatura in c.a. di pareti in laterizio)

INTERVENTI SU EDIFICI IN ACCIAIO

Per le strutture in acciaio dovranno infine essere valutati e curati anche gli aspetti seguenti

- Miglioramento della stabilità locale e flesso-torsionale degli elementi
- Miglioramento della stabilità globale della struttura
- Incremento della resistenza dei collegamenti
- Miglioramento dei dettagli costruttivi nelle zone dissipative
- Miglioramento dei dettagli costruttivi nei collegamenti trave-colonna
- Introduzione di indebolimenti locali controllati finalizzati ad un miglioramento del meccanismo globale di collasso

INTERVENTI SU ELEMENTI NON STRUTTURALI

Le Norme Tecniche per le Costruzioni contengono prescrizioni esplicite per la progettazione e l'ancoraggio sismico di sistemi e componenti non strutturali

In generale i sistemi che hanno un'elevata vulnerabilità, una grande importanza, e un basso costo di adeguamento sismico e una limitata interruzione dei servizi necessaria per portare a termine l'adeguamento, sono da considerarsi come candidati per l'adeguamento in tutte le zone sismiche

I sistemi a bassa vulnerabilità o poca importanza, costosi o gravosi da adeguare in termini di interruzione dei servizi dovrebbero essere considerati per l'adeguamento nelle zone 1 e 2

In ogni caso, fornire protezione sismica ad una nuova installazione rispetto ad una già esistente comporta generalmente minori costi diretti, nonché aggiuntivi per interruzione dei servizi, e di conseguenza alcune tipologie di componenti non strutturali che dovrebbero essere sismicamente ancorati se installati ex novo, potrebbero non richiedere un intervento, in quanto economicamente non conveniente, nel caso in cui siano già esistenti

ELENCO DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI (1)

La Tabella illustra alcune raccomandazioni non esaustive sulla necessità di interventi di adeguamento o di ancoraggio

Le raccomandazioni sono fornite sia per installazioni già esistenti che nuove, e dipendono sia dal tipo di componente o di sistema che dalla zona sismica in cui si trova l'opera

Le raccomandazioni in Tabella si basano sulle osservazioni dei danni degli ultimi terremoti e sulla vulnerabilità, importanza e costi di adeguamento sismico presunti per sistemi tipici

Componente	Vulnerabilità(1)	Importanza	Costo & interruzione per l'adeguamento	Valutazione / adeguamento se esistenti nelle zone(2):				Ancoraggi se nuovi nelle zone(2,3):			
Gas per uso medico											
Serbatoi di ossigeno	Alta	Alta	Basso	1	2	3		1	2	3	4
Bombole di azoto	Molto alta	Alta	Molto basso	1	2	3	4	1	2	3	4
Impianto elettrico d'emergenza											
Batterie per la corrente elettrica d'emergenza	Molto alta	Alta	Molto basso	1	2	3	4	1	2	3	4
Generatore della elettrico d'emergenza	Alta	Alta	Basso	1	2	3		1	2	3	4
Batterie per i generatori di corrente elettrica d'emergenza	Media	Alta	Molto basso	1	2	3		1	2	3	
Ascensori											
Guide dell'ascensore	Molto alta	Alta	Medio-alto	1	2			1	2	3	4
Motori e generatori dell'ascensore	Medio-alta	Alta	Medio	1				1	2	3	
Pannelli elettrici e di controllo dell'ascensore	Variabile	Alta	Basso	1	2			1	2	3	
Apparecchiature per la comunicazione											
Computers e schermi nei "call centers" d'emergenza	Medio-alta	Medio-alta	Molto basso	1	2	3		1	2	3	4
Armadietti non ancorati che supportano le apparecchiature telefoniche per i "call centers" d'emergenza	Alta	Alta	Basso	1	2	3		1	2	3	4
Interruttori e pannelli da muro dell'impianto telefonico dei "call centers" d'emergenza	Bassa	Alta	Medio					1	2	3	

ELENCO DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI (2)

La Tabella illustra alcune raccomandazioni non esaustive sulla necessità di interventi di adeguamento o di ancoraggio

Le raccomandazioni sono fornite sia per installazioni già esistenti che nuove, e dipendono sia dal tipo di componente o di sistema che dalla zona sismica in cui si trova l'opera

Le raccomandazioni in Tabella si basano sulle osservazioni dei danni degli ultimi terremoti e sulla vulnerabilità, importanza e costi di adeguamento sismico presunti per sistemi tipici

Componente	Vulnerabilità[1]	Importanza	Costo & interruzione per l'adeguamento	Valutazione / adeguamento se esistenti nelle zone[2]:		Ancoraggi se nuovi nelle zone[2,3]:		
Apparecchiature e rifornimenti medici								
Scaffali per stoccaggio di medicinali e altri importanti materiali medici di scorta	Alta	Alta	Basso	1	2	1	2	3
Apparecchiature mediche	Variabile	Alta	Variabile	1	2	1	2	3
Componenti fissati al pavimento o sul tetto[4]								
Caldaie	Media	Medio-alta	Basso	1	2	1	2	3
Cabine contenenti i trasformatori elettrici	Bassa	Alta	Medio-basso	1		1	2	3
Tipici componenti da installarsi sul pavimento o sul tetto montati su isolatori per le vibrazioni	Medio-alta	Media	Medio-basso	1	2	1	2	3
Tipici componenti o serbatoi fissati al pavimento o installati sul tetto con un rapporto di ribaltamento >1.6, componenti soggetti al ribaltamento	Alta	Media	Basso	1	2	1	2	3
Tipici componenti o serbatoi fissati al pavimento o installati sul tetto con un rapporto di ribaltamento tra 1 e 1.6.	Media	Media	Basso	1	2	1	2	3
Tipici componenti o serbatoi fissati al pavimento o installati sul tetto con un rapporto di ribaltamento < 1	Media	Media	Basso	1	2	1	2	
Pedane d'appoggio	Medio-bassa	Variabile	Medio-alto			1	2	

ELENCO DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI (3)

La Tabella illustra alcune raccomandazioni non esaustive sulla necessità di interventi di adeguamento o di ancoraggio

Le raccomandazioni sono fornite sia per installazioni già esistenti che nuove, e dipendono sia dal tipo di componente o di sistema che dalla zona sismica in cui si trova l'opera

Le raccomandazioni in Tabella si basano sulle osservazioni dei danni degli ultimi terremoti e sulla vulnerabilità, importanza e costi di adeguamento sismico presunti per sistemi tipici

Componente	Vulnerabilità[1]	Importanza	Costo & interruzione per l'adeguamento	Valutazione / adeguamento se esistenti nelle zone[2]:	Ancoraggi se nuovi nelle zone[2,3]:
Sistemi di distribuzione					
Tubature sospese nei sistemi critici con un diametro nominale >200 mm e su attacchi lunghi più di 500 mm	Media	Alta	Medio	1 2	1 2 3
Tubature sospese di diametro nominale >100 mm e attacchi lunghi più di 300 mm	Medio-bassa	Medio-alta	Medio		1 2
Condotto per gli impianti di riscaldamento, ventilazione, e condizionamento d'aria	Bassa	Medio-alta	Medio		1
Componenti dell'impianto elettrico come condotti contenenti i cavi e piattaforme di sostegno dei condotti per la distribuzione dell'energia elettrica	Bassa	Alta	Medio		1
Componenti architettonici					
Soffitto sospeso o a pannelli	Bassa	Medio-bassa	Medio		1
Lampadari su controsoffitti	Bassa	Media	Medio-basso	1	1 2
Tamponamenti interni non armati in muratura	Media	Media	Molto alto		1 2
Muri esterni di mattoni non rinforzati	Media	Media	Molto alto		1 2
Sostanze Pericolose					
Tamponamenti e altri componenti in aree con materiale biologico o infettivo	Variabile	Alta	Variabile	1 2 3 4	1 2 3 4
Aree con stoccaggio o uso di materiale pericolosi di tipo chimico, nucleare o biologico	Variabile	Alta	Variabile	1 2 3 4	1 2 3 4

(1) La vulnerabilità è quella assunta per alta sismicità.

(2) Le raccomandazioni si basano sulle osservazioni dei danni dei terremoti passati e sull'ipotesi di vulnerabilità, importanza e costi di adeguamento per sistemi tipici.

POSSIBILI INTERVENTI SU TUBAZIONI DI GAS (1)

Criterio di confronto	Valvole ad attivazione manuale	Valvole sismiche ad attivazione automatica	Valvole ad eccesso di flusso (istallazione al contatore)	Valvole ad eccesso di flusso (istallazione all'apparecchio)	Sensori di metano	Sistemi ibridi
Principio di funzionamento	Sono istallate dal fornitore in corrispondenza di ogni contatore	Interrompono automaticamente il flusso del gas quando avvertono una eccitazione sismica al di sopra di una soglia di taratura	Interrompono automaticamente il flusso di gas se un danno provoca, a valle del dispositivo, una perdita di entità superiore ad una soglia di taratura	Interrompono automaticamente il flusso di gas se un danno provoca, a valle del dispositivo, una perdita di entità superiore ad una soglia di taratura	Individuano la elevata concentrazione di gas metano e producono un segnale di allarme	Sistema modulare costituito da una unità centrale di controllo, sensori, dispositivi di controllo e di allarme
Requisiti di installazione e manutenzione	Nessuno, in quanto già previste come parte dell'impianto	Installazione da parte di personale qualificato	Installazione da parte di personale qualificato. Devono essere dimensionate per uno specifico carico di lavoro dell'impianto e adeguate in caso di modifiche dell'impianto.	Installazione anche da parte dell'utente. Devono essere dimensionate per uno specifico carico di lavoro dell'apparecchio e adeguate in caso di modifiche dell'apparecchio.	Installazione anche da parte dell'utente.	Di solito istallazione da parte di personale qualificato (se in associazione con dispositivi di intercettazione automatica)
Benefici	Presenti in ogni impianto. Istruzioni per il loro utilizzo di solito sono presenti nelle informazioni divulgate dal fornitore.	Interrompono il flusso quando il livello di eccitazione potrebbe essere sufficiente a danneggiare le tubature del gas. Devono essere certificate in base ad uno standard	Interrompono il flusso solo quando si verificano condizioni di pericolo dovute ad una perdita di gas. Devono essere certificate in base ad uno standard	Interrompono il flusso solo quando si verificano condizioni di pericolo dovute ad una perdita di gas. Devono essere certificate in base ad uno standard	Avvisano l'utente quando si verifica una situazione potenzialmente pericolosa, lasciandogli la scelta su come intervenire.	Sono modulari e possono essere personalizzati per varie esigenze. Ogni modulo è dotato di funzioni specifiche.

POSSIBILI INTERVENTI SU TUBAZIONI DI GAS (2)

Criterio di confronto	Valvole ad attivazione manuale	Valvole sismiche ad attivazione automatica	Valvole ad eccesso di flusso (istallazione al contatore)	Valvole ad eccesso di flusso (istallazione all'apparecchio)	Sensori di metano	Sistemi ibridi
Possibili inconvenienti	Possono essere utilizzate solo se qualcuno è presente, conosce la localizzazione delle valvole e (se richiesta) dispone dell'apposita chiave per la chiusura della valvola	Si può interrompere il flusso di gas anche se non si verificano condizioni realmente pericolose. Le scosse successive alla prima possono causare l'interruzione del gas anche dopo il ripristino della fornitura. Potrebbero essere attivate da vibrazioni non causate da terremoti.	Non interrompono il flusso di gas se la perdita è al di sotto della soglia di taratura, anche se si sono verificate condizioni di pericolo. Potrebbero non attivarsi se il carico di lavoro dell'impianto si modifica e le valvole non vengono adeguate.	Non fornisce protezione per i danni a monte del dispositivo. Non interrompono il flusso di gas se la perdita è al di sotto della soglia di taratura, anche se si sono verificate condizioni di pericolo. Potrebbero non attivarsi se il carico di lavoro dell'impianto si modifica e le valvole non vengono adeguate.	E' necessario che l'utente sia presente per udire il segnale di allarme e porre in essere le misure necessarie. Si potrebbe verificare un allarme a causa di vapori diversi dal gas metano.	
Altri aspetti	Le operazioni sulla valvola potrebbero essere difficili quando questa fosse bloccata, oppure impossibili per utenti disabili, feriti o anziani	Installazioni diffuse sul territorio potrebbero causare interruzioni generalizzate di forniture e ritardi nel ripristino. Eventuale necessità nel post-terremoto di usare il gas per rendere potabile l'acqua. Non sono sensibili ai cambiamenti di flusso o di pressione.	Disponibili con o senza bypass (consentono il ripristino automatico). Non sono sensibili allo scuotimento sismico.	Disponibili con o senza bypass (consentono il ripristino automatico). Devono essere efficaci per ogni apparecchio. Non sono sensibili allo scuotimento sismico.		

PROGETTO ELEMENTI NON STRUTTURALI

Gli effetti dell'azione sismica sugli elementi costruttivi senza funzione strutturale possono essere determinati applicando agli elementi detti una forza orizzontale F_a definita come segue

$$F_a = (S_a \cdot W_a)/q_a$$

Dove

F_a è la forza orizzontale agente sul baricentro dell'elemento nella direzione più sfavorevole

W_a è il peso dell'elemento

S_a è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento strutturale subisce durante il sisma

q_a è il fattore di struttura dell'elemento i cui valori si possono desumere dalla tabella seguente

Elemento non strutturale	q_a
Parapetti o decorazioni aggettanti	1,0
Insegne e pannelli pubblicitari	
Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	
Pareti interne ed esterne	2,0
Tramezzature e facciate	
Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa	
Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggianti sul pavimento	
Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	

ACCELERAZIONE ELEMENTI NON STRUTTURALI

L'accelerazione massima S_a, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento strutturale subisce durante il sisma, in assenza di analisi più accurate può essere calcolata come

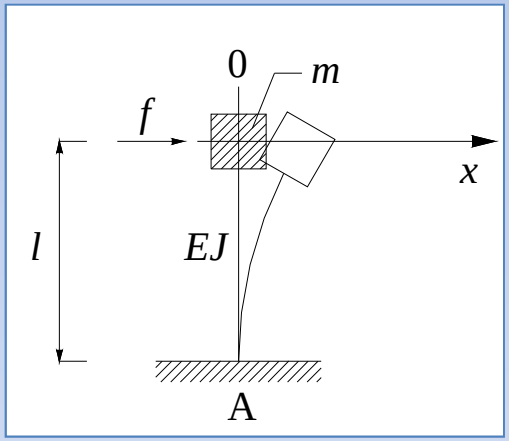
$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0{,}5 \right] \geq \alpha \cdot S$$

Dove

- α è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo A da considerare per lo stato limite in esame (SLO, SLD, SLV o SLC) e l'accelerazione di gravità g
- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche
- T_a è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale
- T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione nella direzione considerata
- Z è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione, da assumersi pari a 0 per strutture con isolamento sismico
- H è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione

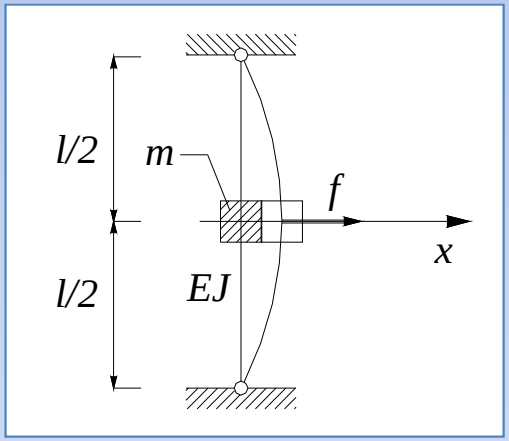
PERIODI FONDAMENTALI DI VIBRAZIONE

Lo studio del problema della determinazione del periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale può esemplificarsi adottando degli schemi a mensola o a trave appoggiata in cui la massa risulti concentrata in corrispondenza della parte flessibile



parapetti, ciminiere, antenne, serbatoi, armadi e librerie

$$T_a = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J}}$$



pareti interne ed esterne, tramezzature e facciate

$$T_a = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J}}$$

PERIODI FONDAMENTALI DI VIBRAZIONE

Lo studio del problema della determinazione del periodo fondamentale di vibrazione della costruzione può esemplificarsi adottando le formulazioni proposte dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, valide per costruzioni civili o industriali che soddisfino le seguenti condizioni

altezza non superiore ai 40 m

massa distribuita uniformemente lungo l'altezza

Espressa l'altezza H della costruzione in metri, si ottiene

Costruzioni con struttura a telaio in acciaio	$T_1 = 0{,}085 \cdot H^{3/4}$
Costruzioni con struttura a telaio in c.a.	$T_1 = 0{,}075 \cdot H^{3/4}$
Costruzioni con altro tipo di struttura	$T_1 = 0{,}055 \cdot H^{3/4}$

Essendo il periodo T_1 ricavato in secondi

BIBLIOGRAFIA

Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008

Circolare applicativa del D.M. 14 gennaio 2008

Ordinanza Presidente Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 n. 3274

Ordinanza Presidente Consiglio dei Ministri 3 maggio 2005, n. 3431

Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996

Circolare Ministeriale 10 aprile 1997, n.65

"Edifici Esistenti: Valutazione dello stato di fatto ed adeguamento", di Nicola Nisticò

"Adeguamento strutturale degli edifici", di Gianfranco Minniti