



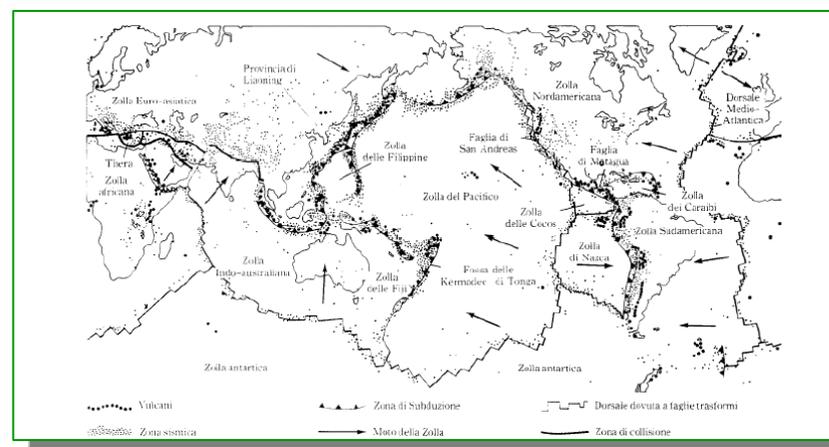
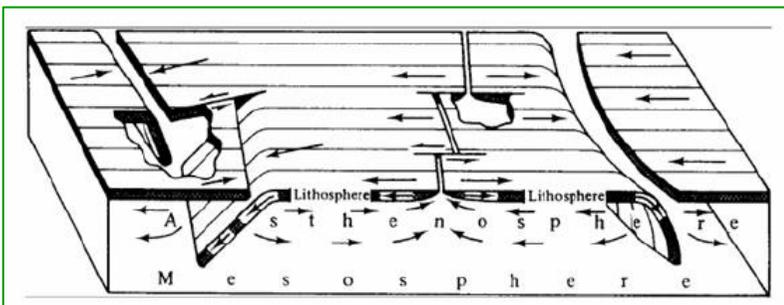
NOZIONI di COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Terremoto

TERREMOTO

Un terremoto (dal latino *terrae motu* ossia movimento della terra) è un rapido movimento della superficie terrestre dovuto al brusco rilascio dell'energia accumulatasi all'interno della Terra in un punto ideale chiamato ipocentro o fuoco. Il punto sulla superficie della Terra, posto sulla verticale dell'ipocentro è detto epicentro

I terremoti si concentrano in genere in zone delimitate ovvero lungo i margini tra le diverse placche (Wegener, 1915-Teoria della Tettonica delle Placche) componenti lo strato più superficiale del nostro pianeta

- la litosfera è suddivisa in frammenti chiamati zolle o placche che subiscono movimenti fra loro
- vi sono 7 zolle continentali (africana, euroasiatica, nord e sudamericana, antartica, indo-australiana e pacifica)
- 14 zolle hanno dimensioni sub-continentali



distribuzione dei terremoti



NOZIONI di COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Misura del Moto Sismico

MISURA del MOTO SISMICO: Magnitudo

I terremoti si misurano attraverso due parametri equivalenti:

- la **magnitudo** (frequentemente misurata attraverso la scala Richter) è una misura dell'energia sprigionata da un terremoto nel punto in cui esso si è originato (ipocentro); è una misura fisica che dipende soltanto dall'energia sprigionata dal terremoto nel punto in cui si è generato; la magnitudo del terremoto è legata all'energia rilasciata in corrispondenza dell'epicentro attraverso la relazione:

$$\text{Log}E = 12.24 + 1.44M_L$$

dalla quale è facile notare come l'aumento di un'unità in termini di magnitudo del terremoto è equivalente all'aumento di energia pari a 28 volte

Il più grande terremoto mai registrato è stato di magnitudo 8.9 della scala Richter (Colombia Ecuador 1906, Giappone 1933)

Da un punto di vista ingegneristico si ritiene che i terremoti di magnitudo inferiore a 5 non siano distruttivi per le strutture civili

MISURA del MOTO SISMICO: Intensità

2 - l'**intensità macrosismica** (misurata tramite la scala Mercalli Cancani Sieberg) è invece una misura degli effetti che il terremoto ha prodotto sull'uomo, sugli edifici presenti nell'area colpita dal sisma, sull'ambiente

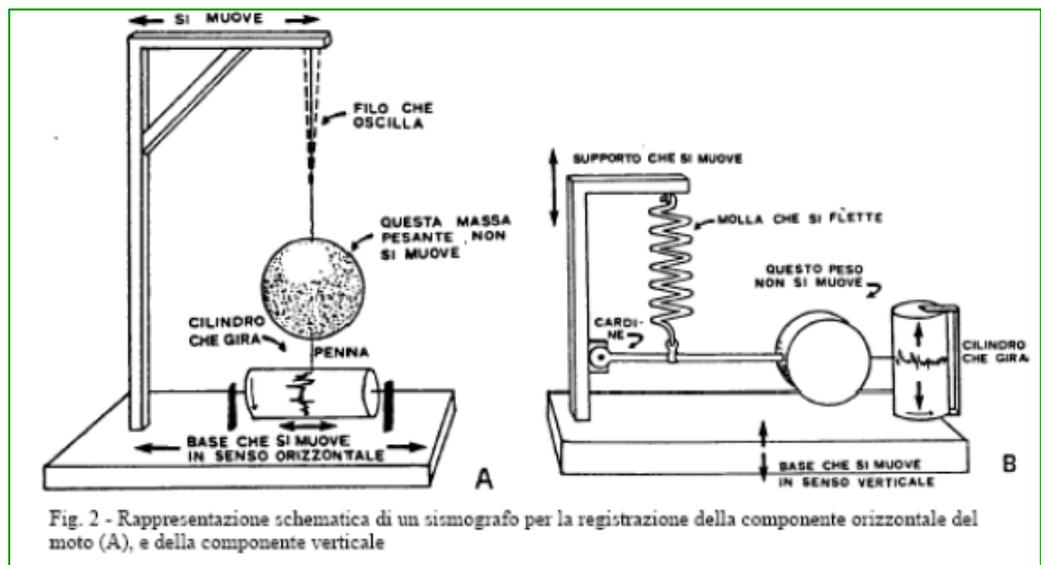
grado	scossa	descrizione
I	strumentale	non avvertito
II	leggerissima	avvertito solo da poche persone in quiete, gli oggetti sospesi esilmente possono oscillare
III	leggera	avvertito notevolmente da persone al chiuso, specie ai piani alti degli edifici; automobili ferme possono oscillare lievemente
IV	mediocre	avvertito da molti all'interno di un edificio in ore diurne, all'aperto da pochi; di notte alcuni vengono destati; automobili ferme oscillano notevolmente
V	forte	avvertito praticamente da tutti, molti destati nel sonno; crepe nei rivestimenti, oggetti rovesciati; a volte scuotimento di alberi e pali
VI	molto forte	avvertito da tutti, moltispaventati corrono all'aperto; spostamento di mobili pesanti, caduta di intonaco e danni ai comignoli; danni lievi
VII	fortissima	tutti fuggono all'aperto; danni trascurabili a edifici di buona progettazione e costruzione, da lievi a moderati per strutture ordinarie ben costruite; avvertito da persone alla guida di automobili
VIII	rovinosa	danni lievi a strutture antisismiche; crolli parziali in edifici ordinari; caduta di ciminiere, monumenti, colonne; ribaltamento di mobili pesanti; variazioni dell'acqua dei pozzi
IX	disastrosa	danni a strutture antisismiche; perdita di verticalità a strutture portanti ben progettate; edifici spostati rispetto alle fondazioni; fessurazione del suolo; rottura di cavi sotterranei
X	disastrosissima	distruzione della maggior parte delle strutture in muratura; notevole fessurazione del suolo; rotaie piegate; frane notevoli in argini fluviali o ripidi pendii
XI	catastrofica	poche strutture in muratura rimangono in piedi; distruzione di ponti; ampie fessure nel terreno; condutture sotterranee fuori uso; sprofondamenti e slittamenti del terreno in suoli molli
XII	grande catastrofe	danneggiamento totale; onde sulla superficie del suolo; distorsione delle linee di vista e di livello; oggetti lanciati in aria

MISURA del MOTO SISMICO: Magnitudo e Intensità

magnitudo Richter	energia joule	grado Mercalli
< 3.5	< 1.6 E+7	I
3.5	1.6 E+7	II
4.2	7.5 E+8	III
4.5	4 E+9	IV
4.8	2.1 E+10	V
5.4	5.7 E+11	VI
6.1	2.8 E+13	VII
6.5	2.5 E+14	VIII
6.9	2.3 E+15	IX
7.3	2.1 E+16	X
8.1	> 1.7 E+18	XI
> 8.1	.	XII

magnitudo Richter	effetti sisma
meno di 3.5	Generalmente non sentita, ma registrata.
3.5-5.4	Spesso sentita, ma raramente causa dei danni.
sotto 6.0	Al massimo lievi danni a solidi edifici. Causa danni maggiori su edifici non in c.a. edificati in piccole regioni.
6.1-6.9	Può arrivare ad essere distruttiva in aree di quasi 100 km, attraversando anche zone abitate.
7.0-7.9	Terremoto maggiore. Causa seri danni su grandi aree.
8 o maggiore	Grande terremoto. Può causare seri danni su vaste aree di svariate centinaia km.

MISURA del MOTO SISMICO

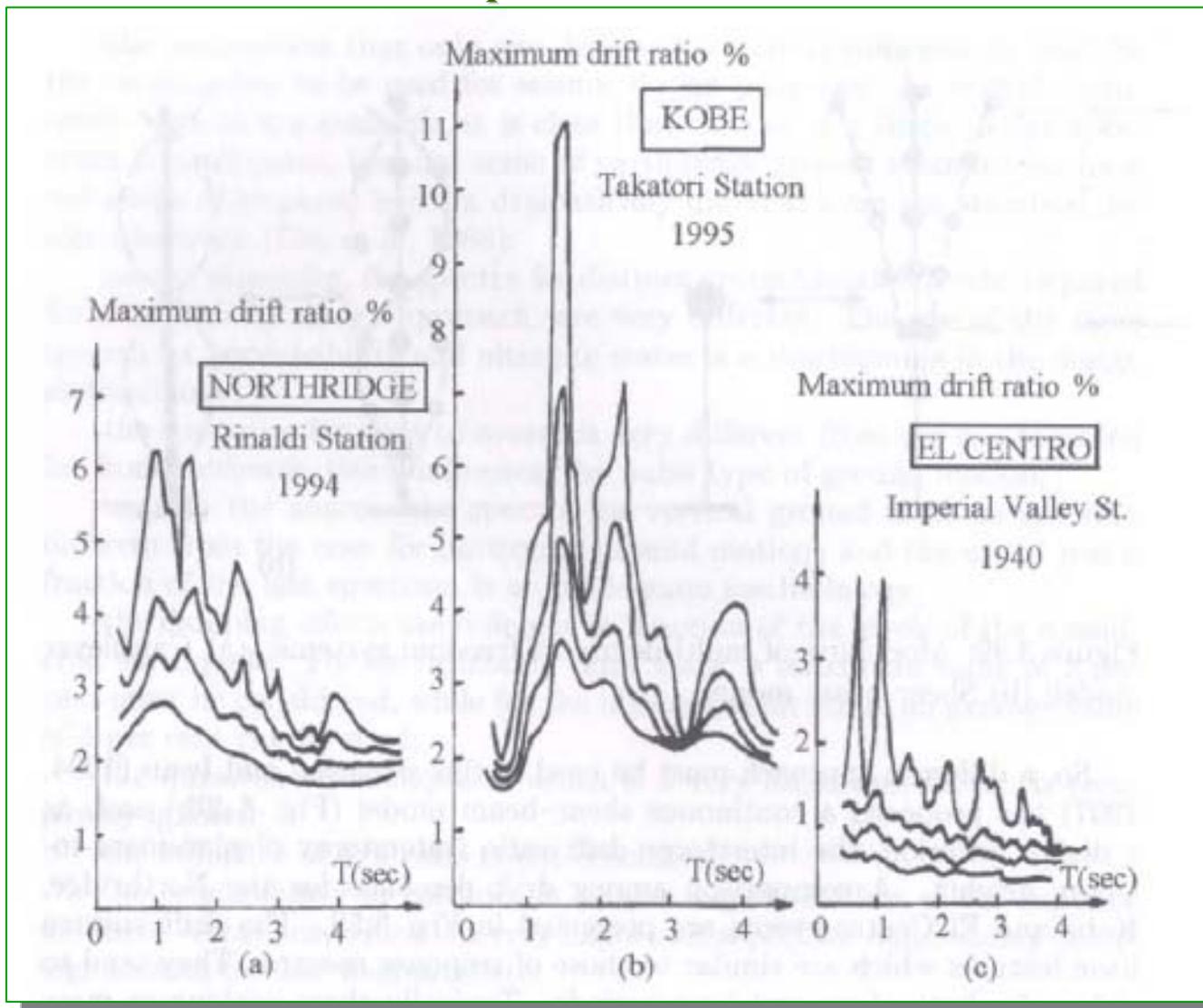


Sismografo



Rete Accelerometrica Nazionale

MISURA del MOTO SISMICO: Spettro



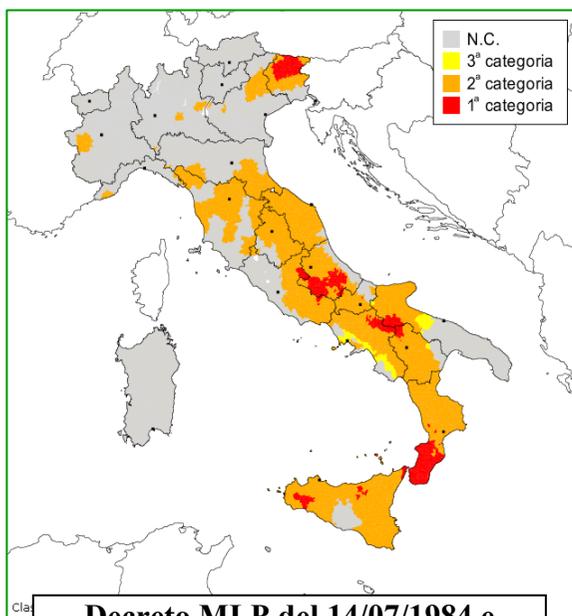
Spettri



NOZIONI di COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Rischio Sismico

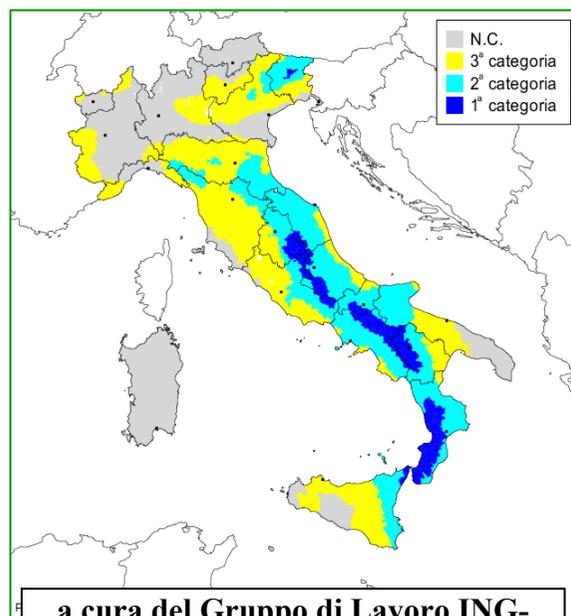
RISCHIO SISMICO: Evoluzione delle Mappe di Rischio Sismico

Pericolosità Sismica (1984)



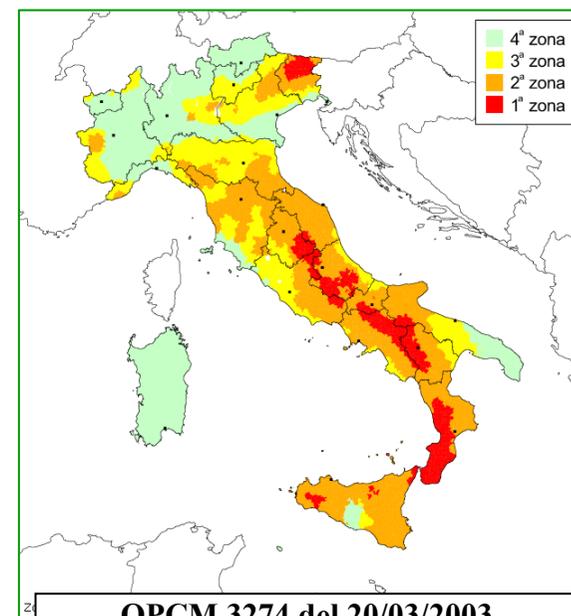
Decreto MLP del 14/07/1984 e decreti successivi

Proposta di Riclassificazione Sismica (1998)



a cura del Gruppo di Lavoro ING-GNDT-SSN costituito dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi

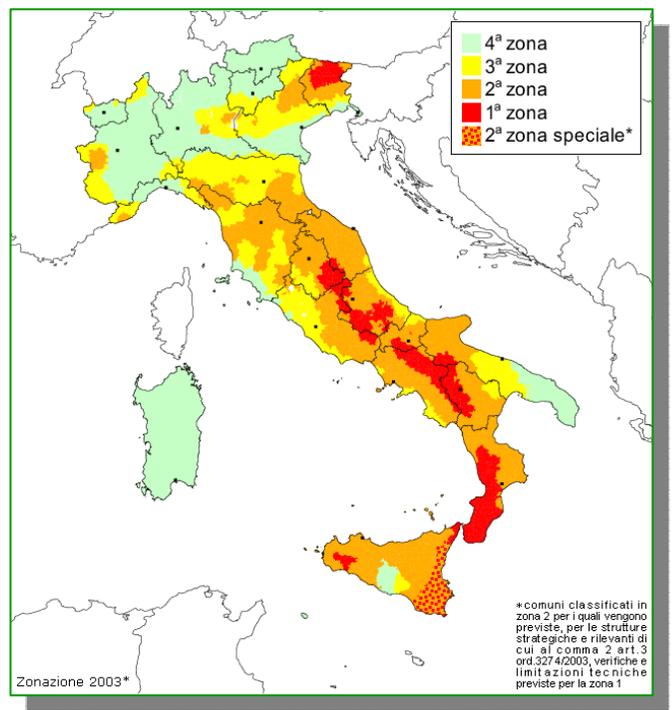
Pericolosità Sismica (2003)



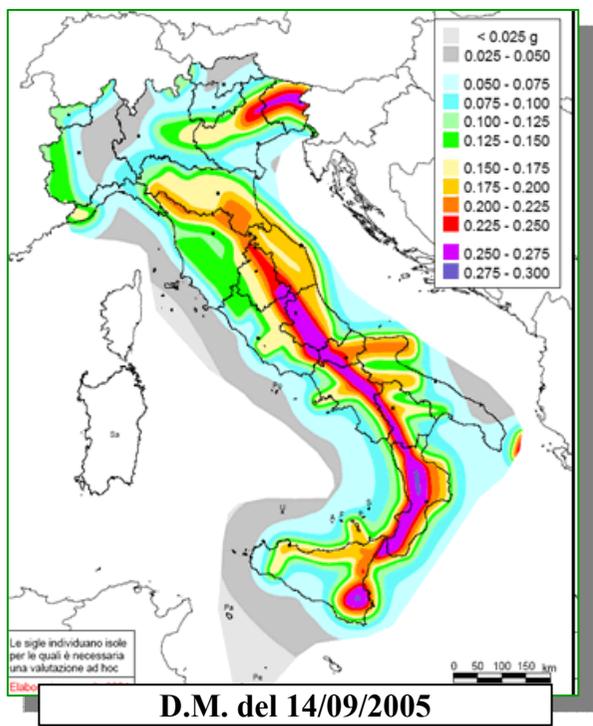
OPCM 3274 del 20/03/2003

RISCHIO SISMICO: Evoluzione delle Mappe di Rischio Sismico

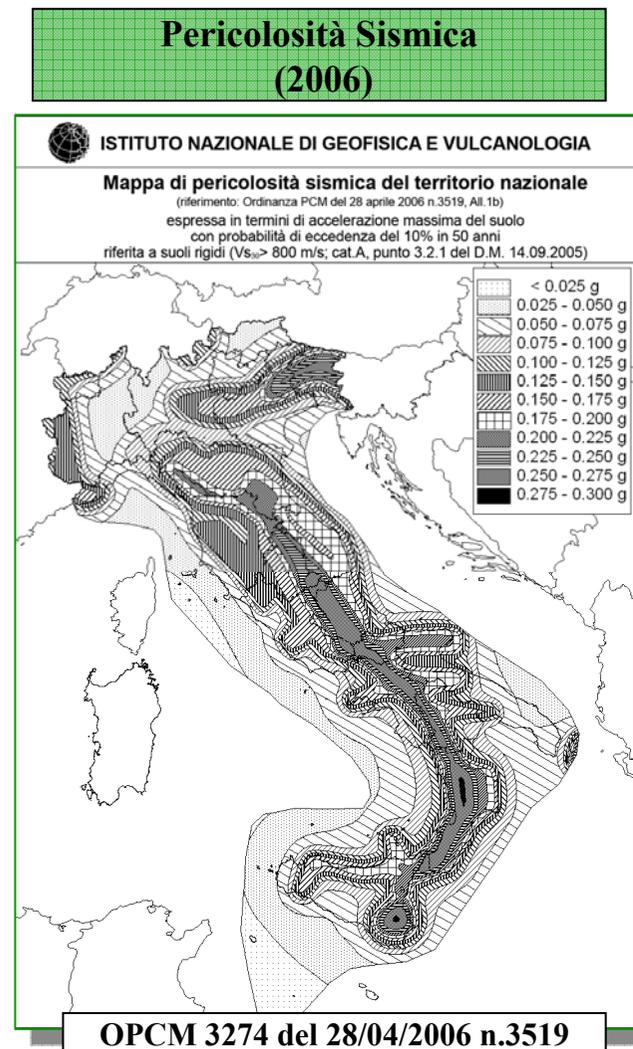
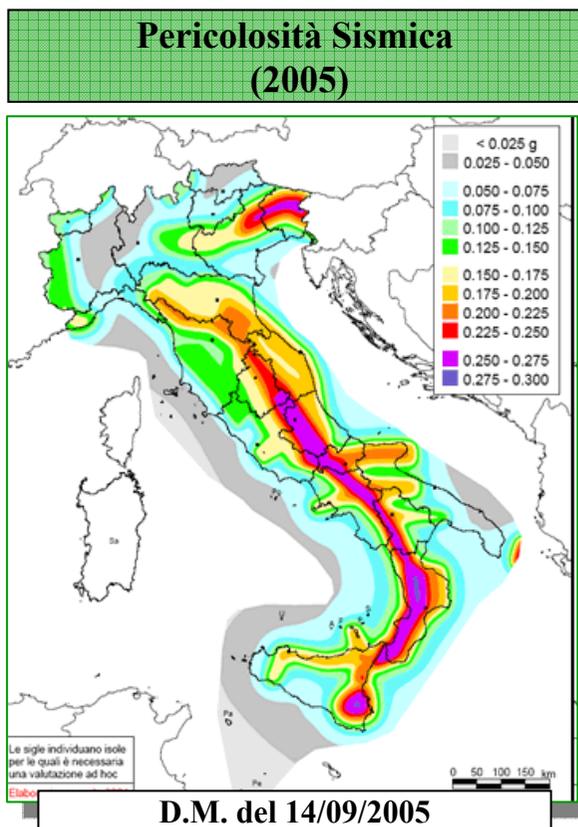
Pericolosità Sismica del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a marzo 2004)



Pericolosità Sismica (2005)



RISCHIO SISMICO: Evoluzione delle Mappe di Rischio Sismico



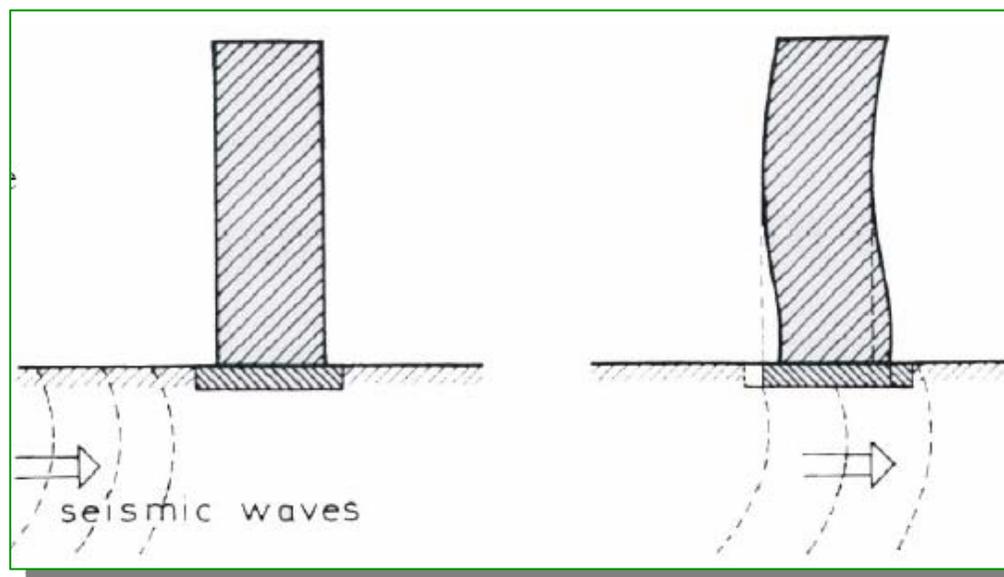


NOZIONI di COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Costruzioni in Zona Sismica

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Risposta Strutturale

Per poter governare la risposta della struttura per diverse intensità del terremoto, la progettazione moderna richiede, in funzione dell'intensità dell'azione sismica, la verifica a più livelli:

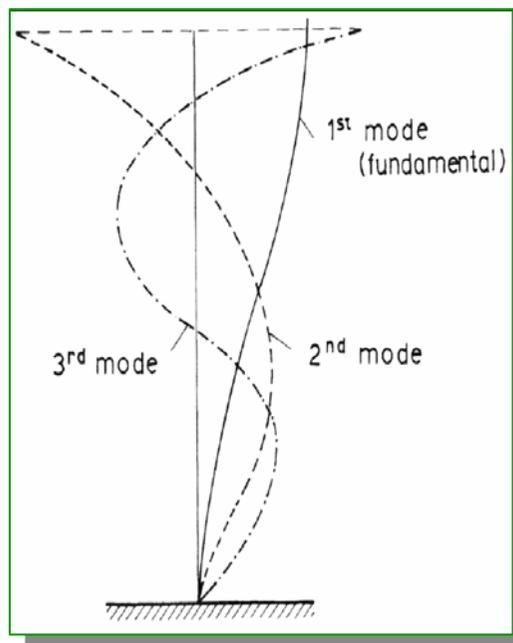
- verifica della **richiesta di rigidezza, resistenza**;
- verifica della **duttilità strutturale** ovvero della capacità di dissipare l'energia trasmessa dal sisma. L'analisi della duttilità richiede però la conoscenza preliminare della risposta dinamica delle strutture ad azioni di tipo sismico



COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Risposta Strutturale

Lo studio della risposta dinamica di una struttura può essere facilmente effettuato analizzando i **modi propri di vibrazione** (pari al numero dei GdL); in ciascun modo tutte le masse del sistema oscillano in fase, passando quindi dalla posizione di riposo o da quella di massimo spostamento nello stesso istante

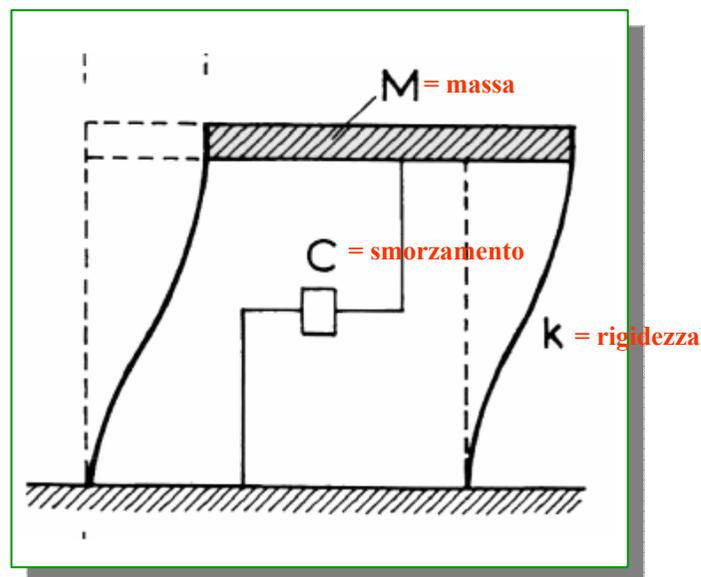
Si dice **periodo di vibrazione**, il tempo impiegato dal sistema per coprire un'intera oscillazione; il primo modo, o modo fondamentale del sistema, corrisponde al periodo proprio più lungo



COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Risposta Strutturale

La risposta delle strutture può generalmente essere stimata sovrapponendo il contributo di pochi modi di vibrazione, dato che i modi “più alti” influenzano solo il modo degli edifici molto flessibili ed, in genere, solo i piani più alti

Spesso il contributo del primo modo al moto del sistema è pari a circa l'80 % del totale; per questo motivo è di radicale importanza in sismica una dettagliata conoscenza dell'oscillatore ad un grado di libertà, cui si fa sistematicamente riferimento nelle analisi



Oscillatore semplice

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Equazione del Moto

Si consideri una massa M (solaio) collegata al suolo mediante una molle (le due colonne) che rimane in campo elastico ($V = k \cdot u$) quando la massa oscilla sotto l'azione sismica:

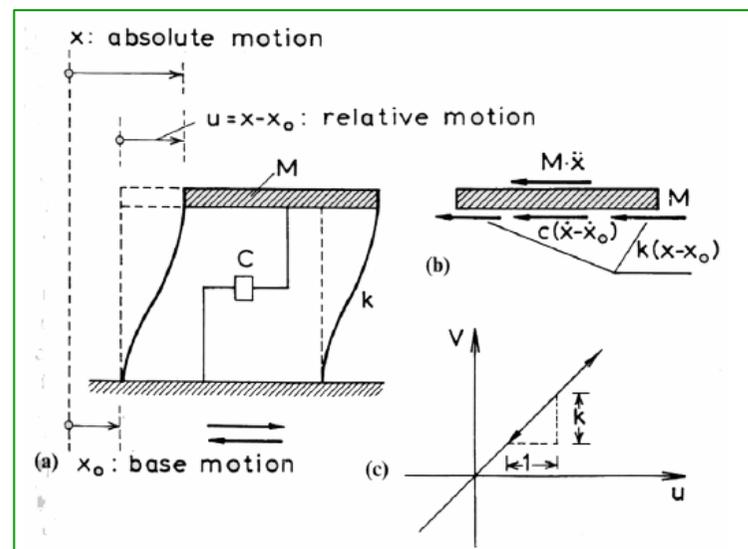
$$\ddot{x}_0(t)$$

lo spostamento, la velocità e l'accelerazione della massa M , utilizzando i simboli di figura, risultano

$$x = x_0 + u$$

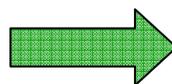
$$\dot{x} = \dot{x}_0 + \dot{u}$$

$$\ddot{x} = \ddot{x}_0 + \ddot{u}$$



Applicando il Principio di D'Alembert dell'equilibrio dinamico si ottiene l'equazione del moto:

$$M \ddot{x} + c (\dot{x} - \dot{x}_0) + k (x - x_0) = 0$$



$$M \ddot{u} + c \dot{u} + k u = -M \ddot{x}_0(t)$$

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Equazione del Moto

Quando durante l'oscillazione la forza eccitatrice torna a zero il sistema continua a vibrare liberamente.

- Nel caso di smorzamento nullo ($c = 0$) si ottiene:

$$u = u_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right) + \text{condizioni iniziali, essendo } T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}} = \frac{2\pi}{\omega} \text{ [s]}$$

il **periodo naturale del sistema**, in cui M è la massa del sistema, k la costante elastica della molla ed ω la frequenza angolare (in rad/s) e φ la fase

- Nel caso di smorzamento non nullo ($c \neq 0$), si ottiene:

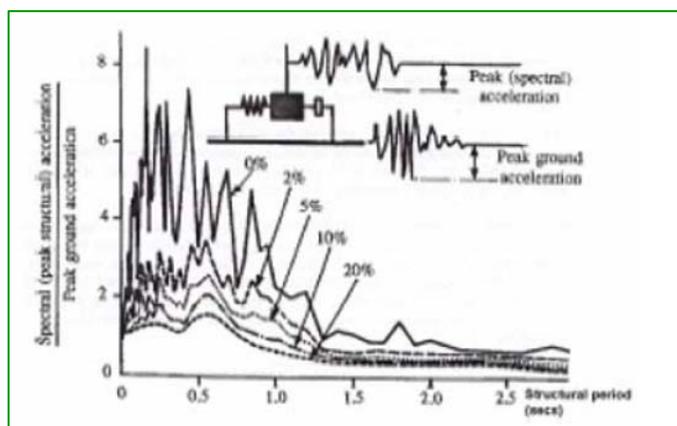
$$u = u_0 \exp\left[-\frac{c}{2M}t\right] (A \sin(\gamma t) + B \cos(\gamma t)) + \text{condizioni iniziali,}$$

$$\text{in cui } \gamma = \sqrt{\frac{k}{M} - \left(\frac{c}{2M}\right)^2}$$

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Spettro di Risposta

Nella progettazione strutturale non occorre in pratica conoscere interamente il moto della struttura in esame soggetta al moto sismico, ma è sufficiente valutare la massima ampiezza dello spostamento relativo, della velocità relativa o dell'accelerazione assoluta

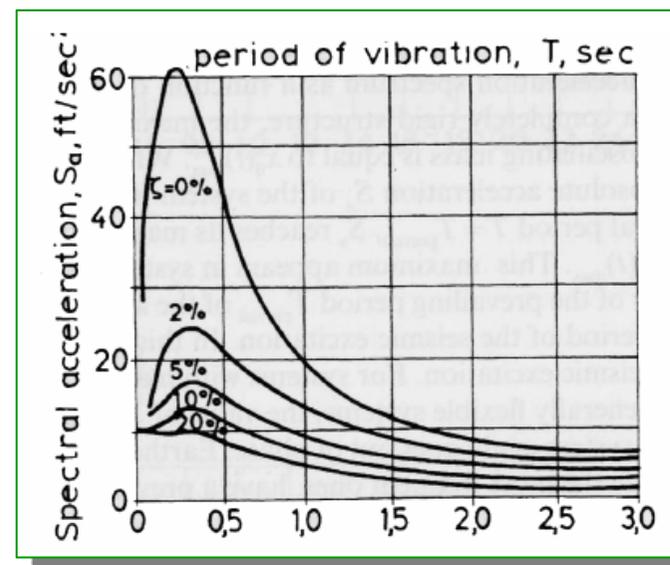
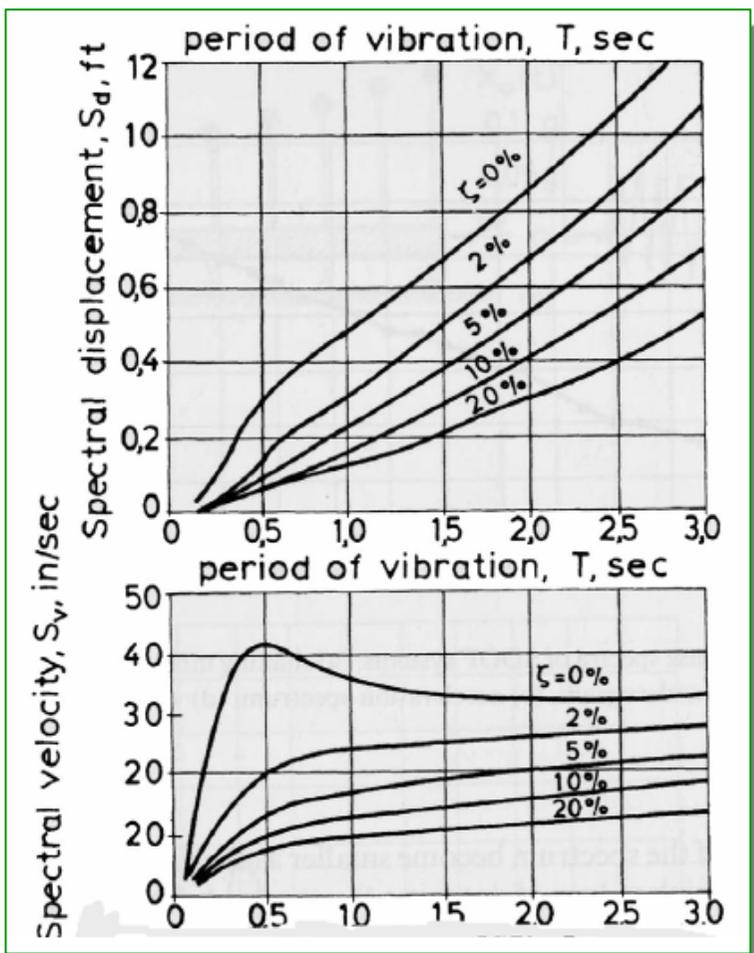
A tal fine è stato introdotto il concetto di **spettro di risposta**, cioè il diagramma le cui ordinate indicano il valore massimo di uno di suddetti parametri di risposta in funzione del periodo naturale di un sistema ad un grado di libertà. Ciò significa che lo spettro di risposta per un dato terremoto descrive le caratteristiche di tutti gli oscillatori semplici di periodo compreso fra 0 ed ∞ . L'ordinate dello spettro dipendono ovviamente dal valore del rapporto di smorzamento ζ : decrescono all'aumentare di ζ . Una rappresentazione interessante del moto sismico si ottiene utilizzando la trasformata di Fourier:



Rappresentazione schematica della misura di uno spettro di risposta al variare dello smorzamento dell'oscillatore semplice

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Spettro di Risposta

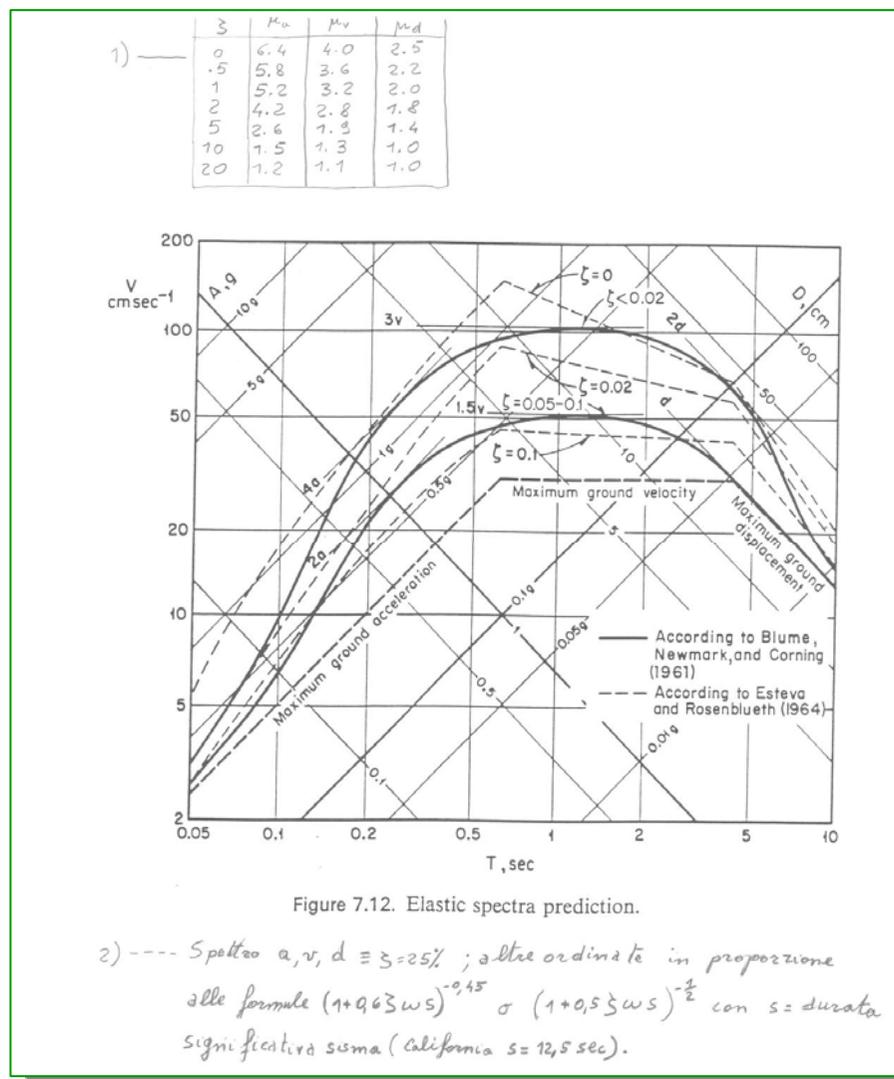
Spettri di risposta dello spostamento relativo, della velocità relativa e dell'accelerazione assoluta



per $T = 0$ (struttura rigida), l'accelerazione massima della struttura coincide con la massima accelerazione del moto del terreno

al crescere del periodo l'accelerazione assoluta del sistema cresce fino al raggiungimento del valore massimo di T (pari solitamente a 2-6 volte l'accelerazione massima del suolo). Il sistema ad un grado di libertà si trova in risonanza.

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Spettro di Risposta



COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Duttilità

Si utilizza il termine **duttilità** nella valutazione delle prestazioni strutturali nei confronti dei fenomeni sismici indicando la **quantità di energia che può essere dissipata tramite le deformazioni plastiche di alcuni elementi strutturali, oppure più diffusamente il rapporto tra lo spostamento a collasso e lo spostamento a snervamento della struttura**

E' possibile definire differenti livelli di duttilità, ognuno riferito ad un diverso elemento strutturale, tra i quali esistono delle relazioni di dipendenza:

duttilità del materiale, $\mu\varepsilon$, intesa come massima deformazione plastica che un materiale può subire prima della rottura;

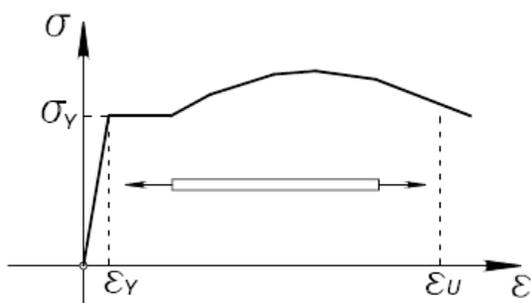
duttilità delle sezioni trasversali, $\mu\chi$, intesa come massima curvatura plastica raggiungibile, dipendente dalla forma della sezione e dalla duttilità dei materiali che la costituiscono;

duttilità di elementi strutturali (nodi trave-colonna, travi, colonne, ...) $\mu\varphi$, dipendente dalla duttilità dei materiali utilizzati e dalla duttilità delle sezioni trasversali degli elementi;

duttilità strutturale, $\mu\delta$, derivante dalla duttilità dei singoli elementi strutturali e dalla loro disposizione relativa all'interno del telaio

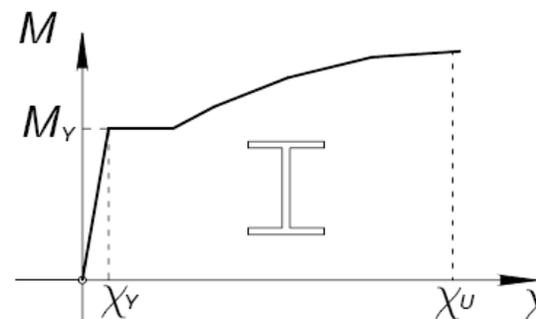
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Duttilità

Duttilità del materiale



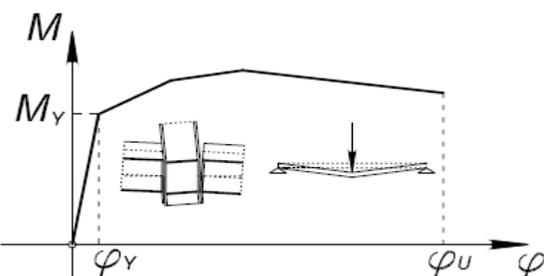
$$\mu_\epsilon = \frac{\epsilon_U}{\epsilon_Y}$$

Duttilità della sezione



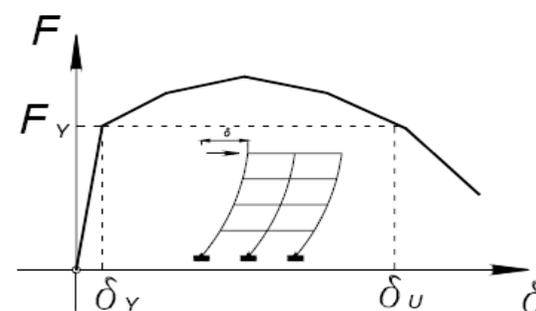
$$\mu_\epsilon = \frac{\chi_U}{\chi_Y}$$

Duttilità degli elementi strutturali



$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_U}{\varphi_Y}$$

Duttilità della struttura



$$\mu_\delta = \frac{\delta_U}{\delta_Y}$$

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Duttilità

Progettare strutture di tipo duttile permette di:

salvaguardarsi da rotture di tipo fragile, e quindi improvvise e catastrofiche che si possono verificare quando le forze di inerzia dovute al sisma superano la capacità del sistema;

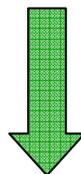
dissipare energia tramite i cicli isteretici indotti dalle forze cicliche dovute al sisma, evitando quindi che si manifestino oscillazioni eccessive in termini di accelerazione e spostamento;

avere vantaggi economici in quanto sarebbe troppo dispendioso progettare una struttura affinché rimanga in campo elastico sotto l'azione di carichi che sono estremamente rari;

aumentare i periodi propri, cosicché se questi erano maggiori del periodo fondamentale del terremoto (struttura flessibile), lo smorzamento indotto dalla dissipazione allontana ulteriormente la struttura dalla risonanza con il moto del terreno, riducendo ulteriormente la risposta.

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Duttilità

un approccio progettuale ottimale deve prevedere **adeguate prestazioni strutturali per ciascun livello di intensità dell'azione sismica**



La struttura deve resistere ad:

- azioni di piccola entità senza danneggiarsi
- azioni di moderata entità subendo danni “riparabili”
- azioni di elevata entità senza raggiungere il collasso



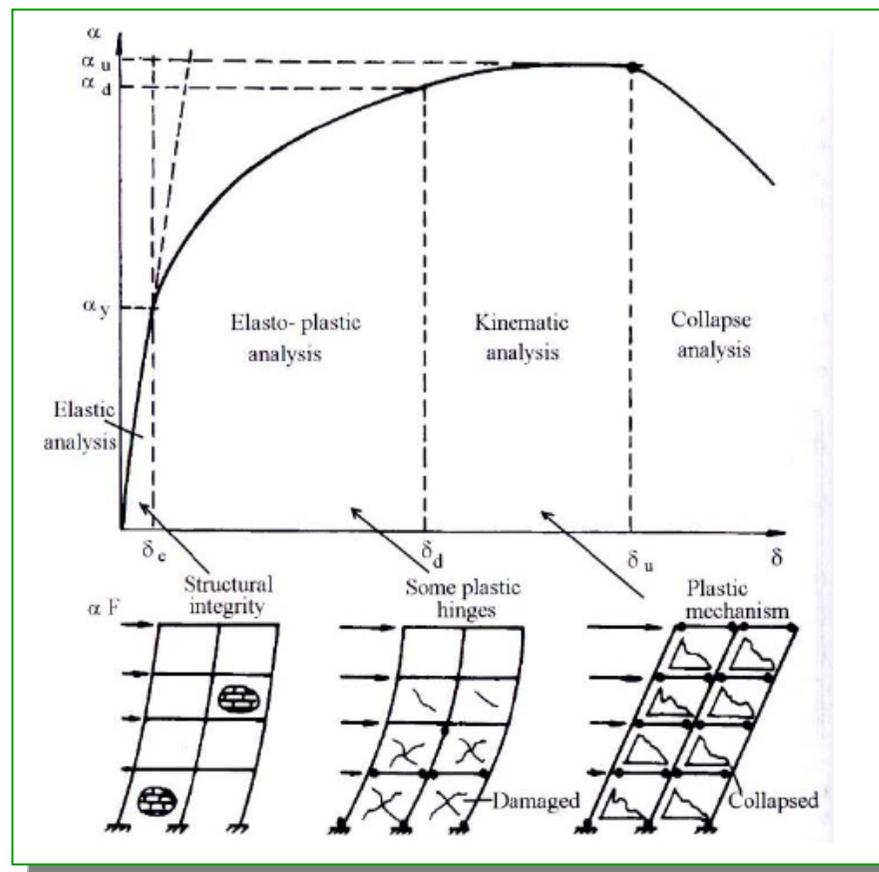
NOZIONI di COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Verifica Strutturale

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Livelli di Verifica

stato limite di servizio (per terremoti frequenti): gli elementi strutturali e non strutturali non devono subire danni

stato limite di danno (per terremoti occasionali): possono verificarsi danni negli elementi strutturali e solo un moderato danneggiamento nelle strutture

stato limite ultimo (per terremoti rari): possono verificarsi danni ad elementi strutturali e non, ma la sicurezza delle vite umane deve essere garantita



COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Requisiti di Sicurezza e Livelli di Verifica

Le norme disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento e miglioramento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni

Lo scopo delle norme è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile

In aggiunta alle prescrizioni contenute nelle norme, le strutture devono soddisfare le prescrizioni contenute nella normativa vigente relativa alle combinazioni di carico non sismiche

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Requisiti di Sicurezza

SICUREZZA NEI CONFRONTI DELLA STABILITÀ (Stato Limite Ultimo -SLU)

Sotto l'effetto della azione sismica di progetto, le strutture degli edifici, ivi compresi gli eventuali dispositivi antisismici di isolamento e/o dissipazione, pur subendo danni di grave entità agli elementi strutturali e non strutturali, devono mantenere una residua resistenza e rigidità nei confronti delle azioni orizzontali e l'intera capacità portante nei confronti dei carichi verticali

PROTEZIONE NEI CONFRONTI DEL DANNO (Stato Limite di Esercizio -SLE)

Le costruzioni nel loro complesso, includendo gli elementi strutturali e quelli non strutturali, ivi comprese le apparecchiature rilevanti alla funzione dell'edificio, non devono subire danni gravi ed interruzioni d'uso in conseguenza di eventi sismici che abbiano una probabilità di occorrenza più elevata di quella della azione sismica di progetto. Per particolari categorie di costruzioni, in relazione alla necessità di mantenerle pienamente funzionali anche dopo terremoti violenti, si possono adottare valori maggiorati delle azioni, facendo riferimento a probabilità di occorrenza simili o più vicine a quelle adottate per la sicurezza nei confronti del collasso

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Soddisfacimento dei Requisiti di Sicurezza

Lo **stato limite ultimo** si considera soddisfatto se vengono seguite le disposizioni contenute nelle norme, con riferimento particolare a:

- la scelta della azione sismica di progetto in relazione alla zonazione sismica ed alle categorie di suolo di fondazione
- l'adozione di un modello meccanico della struttura in grado di descriverne con accuratezza la risposta sotto azione dinamica
- la scelta di un metodo di analisi adeguato alle caratteristiche della struttura;
- l'esecuzione con esito positivo delle verifiche di resistenza ed i compatibilità degli spostamenti
- l'adozione di tutte le regole di dettaglio volte ad assicurare caratteristiche di duttilità agli elementi strutturali ed alla costruzione nel suo insieme, secondo quanto indicato nei capitoli relativi a strutture realizzate con i diversi materiali

Lo **stato limite di esercizio** si considera soddisfatto se vengono seguite le disposizioni contenute nelle norme, con particolare riferimento allo spettro di progetto, agli effetti del II ordine ed ai dettagli costruttivi contenuti nei capitoli relativi a strutture realizzate con i diversi materiali



NOZIONI di COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Definizione dell'Azione Sismica

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2 AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{V_R} , come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T_C^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2.1 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I.

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{V_R} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo¹, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*) $N_{SPT,30}$ (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle presenti norme.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie **S1** ed **S2** di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 3.2.III – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [\text{m/s}]. \quad (3.2.1)$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente $N_{\text{SPT},30}$ è definita dall'espressione

$$N_{\text{SPT},30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{\text{SPT},i}}}. \quad (3.2.2)$$

La resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ è definita dall'espressione

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}. \quad (3.2.3)$$

Nelle precedenti espressioni si indica con:

- h_i spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- $N_{\text{SPT},i}$ numero di colpi N_{SPT} nell' i -esimo strato;
- $c_{u,i}$ resistenza non drenata nell' i -esimo strato;
- N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
- M numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;
- K numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

Nel caso di sottosuoli costituiti da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fina, distribuite con spessori confrontabili nei primi 30 m di profondità, ricadenti nelle categorie da **A** ad **E**, quando non si disponga di misure dirette della velocità delle onde di taglio si può procedere come segue:

- determinare $N_{SPT,30}$ limitatamente agli strati di terreno a grana grossa compresi entro i primi 30 m di profondità;
- determinare $c_{u,30}$ limitatamente agli strati di terreno a grana fina compresi entro i primi 30 m di profondità;
- individuare le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri $N_{SPT,30}$ e $c_{u,30}$;
- riferire il sottosuolo alla categoria peggiore tra quelle individuate al punto precedente.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

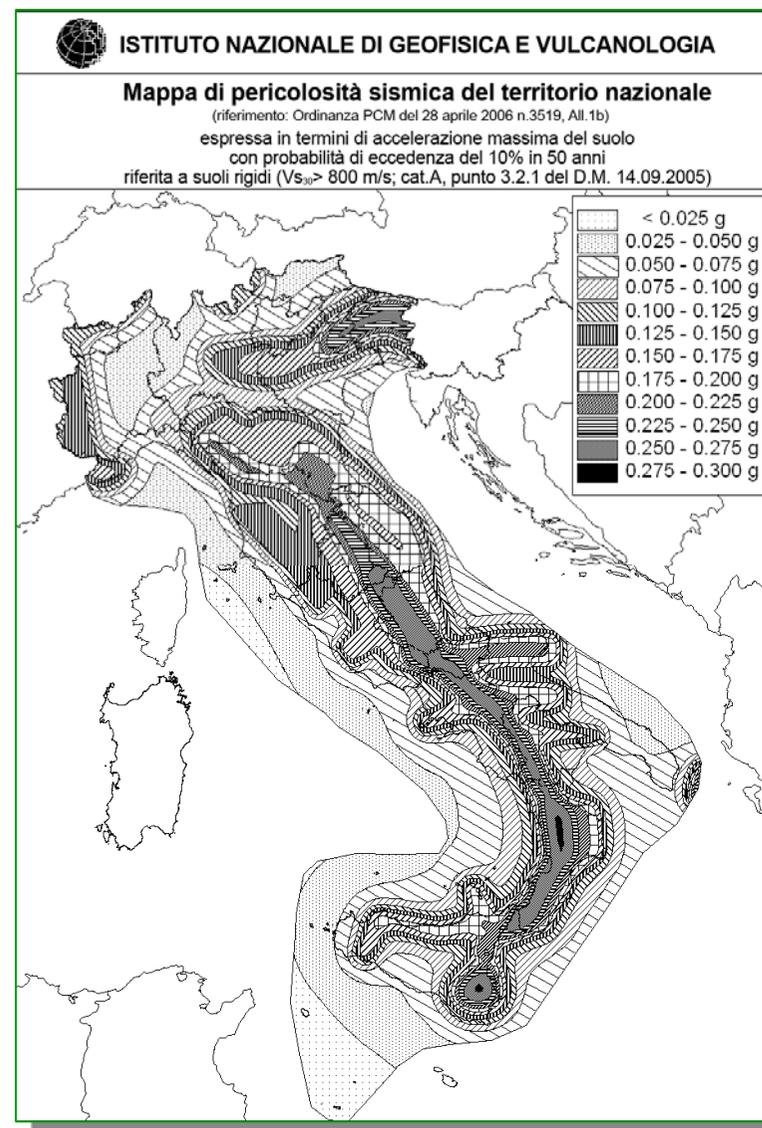
Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Calcolo dell'Accelerazione al Suolo

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale viene suddiviso in aree sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A. I valori di a_g espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono, salvo più accurate determinazioni, che possono portare a differenze comunque non superiori al 20%



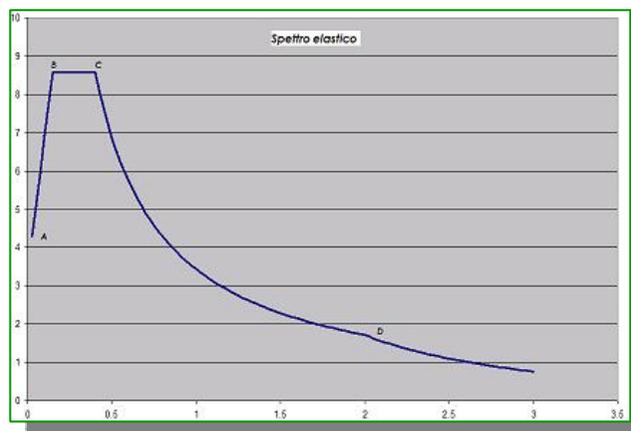
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Descrizione dell'Azione Sismica

Il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo è costituito dallo **spettro di risposta elastico**

Per applicazioni particolari, il moto del suolo può essere descritto mediante **accelerogrammi**

Il moto orizzontale è considerato composto da due componenti ortogonali indipendenti, caratterizzate dallo stesso spettro di risposta

In mancanza di documentata informazione specifica, la componente verticale del moto sismico si considera rappresentata da uno spettro di risposta elastico diverso da quello delle componenti orizzontali



D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2.3 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

3.2.3.1 Descrizione del moto sismico in superficie e sul piano di fondazione

Ai fini delle presenti norme l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti. Salvo quanto specificato nel § 7.11 per le opere e i sistemi geotecnici la componente verticale verrà considerata ove espressamente specificato (v. Cap. 7) e purché il sito nel quale la costruzione sorge non sia in Zone 3 e 4.

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

Sulla base di apposite analisi di risposta sismica locale si può poi passare dai valori in superficie ai valori sui piani di riferimento definiti nel § 3.2.2; in assenza di tali analisi l'azione in superficie può essere assunta come agente su tali piani.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

La componente che descrive il moto verticale è caratterizzata dal suo spettro di risposta o dalla componente accelerometrica verticale. In mancanza di documentata informazione specifica, in via semplificata l'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie possono essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali. La componente accelerometrica verticale può essere correlata alle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

Per la definizione delle forme spettrali (spettri elastici e spettri di progetto) e degli accelerogrammi, si rimanda ai paragrafi successivi.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2.3.2 Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_r} (v. § 2.4 e § 3.2.1).

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta mediante accelerogrammi. Analogamente si opera in presenza di sottosuoli di categoria **S1** o **S2**.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2.3.2.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned} \tag{3.2.4}$$

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Nelle (3.2.4) inoltre

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_s \cdot S_T, \tag{3.2.5}$$

essendo S_s il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.V) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.VI);

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55, \tag{3.2.6}$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$$T_C = C_c \cdot T_C^*, \tag{3.2.7}$$

dove T_C^* è definito al § 3.2 e C_c è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.V);

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$$T_B = T_C / 3, \tag{3.2.8}$$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6. \tag{3.2.9}$$

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2.3.2.2 Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned} \tag{3.2.10}$$

nelle quali T e S_{ve} sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \tag{3.2.11}$$

I valori di a_g , F_o , S , η sono definiti nel § 3.2.3.2.1 per le componenti orizzontali; i valori di S_s , T_B , T_C e T_D , salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella Tab. 3.2.VII.

Tabella 3.2.VII – Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale

Categoria di sottosuolo	S_s	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati in Tab. 3.2.VI.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2.3.2.3 Spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali $S_{De}(T)$ si ricava dalla corrispondente risposta in accelerazione $S_e(T)$ mediante la seguente espressione:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \times \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (3.2.12)$$

purché il periodo di vibrazione T non ecceda i valori T_E indicati in Tab. 3.2.VIII.

Tabella 3.2.VIII – Valori dei parametri T_E e T_F

Categoria sottosuolo	T_E [s]	T_F [s]
A	4,5	10,0
B	5,0	10,0
C, D, E	6,0	10,0

Per periodi di vibrazione eccedenti T_E , le ordinate dello spettro possono essere ottenute dalle formule seguenti:

per $T_E < T \leq T_F$

$$S_{De}(T) = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \cdot \left[F_0 \cdot \eta + (1 - F_0 \cdot \eta) \cdot \frac{T - T_E}{T_F - T_E} \right] \quad (3.2.13)$$

per $T > T_F$

$$S_{De}(T) = d_g \quad (3.2.14)$$

dove tutti i simboli sono già stati definiti, ad eccezione di d_g , definito nel paragrafo successivo.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2.3.3 Spostamento orizzontale e velocità orizzontale del terreno

I valori dello spostamento orizzontale d_g e della velocità orizzontale v_g massimi del terreno sono dati dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} d_g &= 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \\ v_g &= 0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \end{aligned} \quad (3.2.15)$$

dove a_g , S , T_C , T_D assumono i valori già utilizzati al § 3.2.3.2.1.

3.2.3.4 Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_r} considerata (v. §§ 2.4 e 3.2.1).

3.2.3.5 Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

Qualora le verifiche agli stati limite ultimi non vengano effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_r} considerata (v. §§ 2.4 e 3.2.1), con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule 3.2.4 η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura definito nel capitolo 7.

Si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0,2a_g$.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2.3.6 Impiego di accelerogrammi

Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l'uso di accelerogrammi, o artificiali o simulati o naturali. Ciascun accelerogramma descrive una componente, orizzontale o verticale, dell'azione sismica; l'insieme delle tre componenti (due orizzontali, tra loro ortogonali ed una verticale) costituisce un gruppo di accelerogrammi.

La durata degli accelerogrammi artificiali deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di a_g e di S_s . In assenza di studi specifici la durata della parte pseudo-stazionaria degli accelerogrammi deve essere almeno pari a 10 s; la parte pseudo-stazionaria deve essere preceduta e seguita da tratti di ampiezza crescente da zero e decrescente a zero, di modo che la durata complessiva dell'accelerogramma sia non inferiore a 25 s.

Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione. La coerenza con lo spettro elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto del maggiore tra gli intervalli $0,15s \div 2,0s$ e $0,15s \div 2T$, in cui T è il periodo fondamentale di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e $0,15 s \div 1,5 T$, per le verifiche agli stati limite di esercizio. Nel caso di costruzioni con isolamento sismico, il limite superiore dell'intervallo di coerenza è assunto pari a $1,2 T_{is}$, essendo T_{is} il periodo equivalente della struttura isolata, valutato per gli spostamenti del sistema d'isolamento prodotti dallo stato limite in esame.

L'uso di accelerogrammi artificiali non è ammesso nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici.

L'uso di accelerogrammi generati mediante simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione è ammesso a condizione che siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione.

L'uso di accelerogrammi registrati è ammesso, a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

Gli accelerogrammi registrati devono essere selezionati e scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse per il problema in esame.

D.M. 2008 – Norme Tecniche sulle Costruzioni

3.2.4 COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA CON LE ALTRE AZIONI

Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni già fornita in § 2.5.3 e che qui si riporta:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (3.2.16)$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} . \quad (3.2.17)$$

I valori dei coefficienti ψ_{2j} sono riportati nella Tabella 2.5.I

Nel caso dei ponti, nelle espressioni 3.2.16 e 3.2.17 si assumerà per i carichi dovuti al transito dei mezzi $\psi_{2j} = 0,2$, quando rilevante.

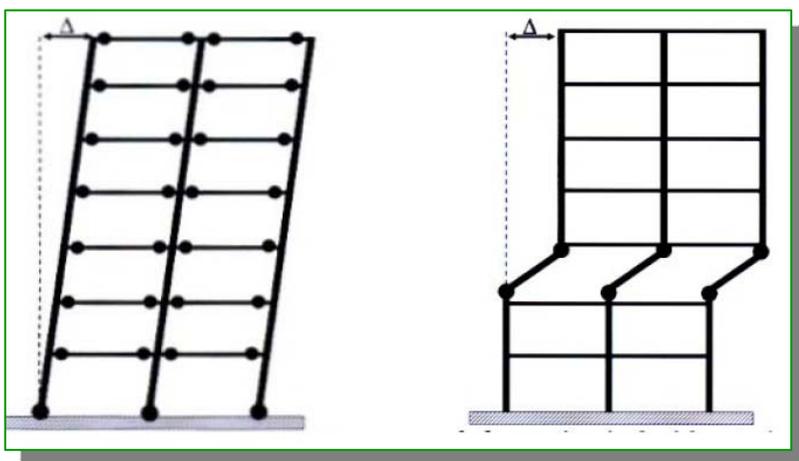


NOZIONI di COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto

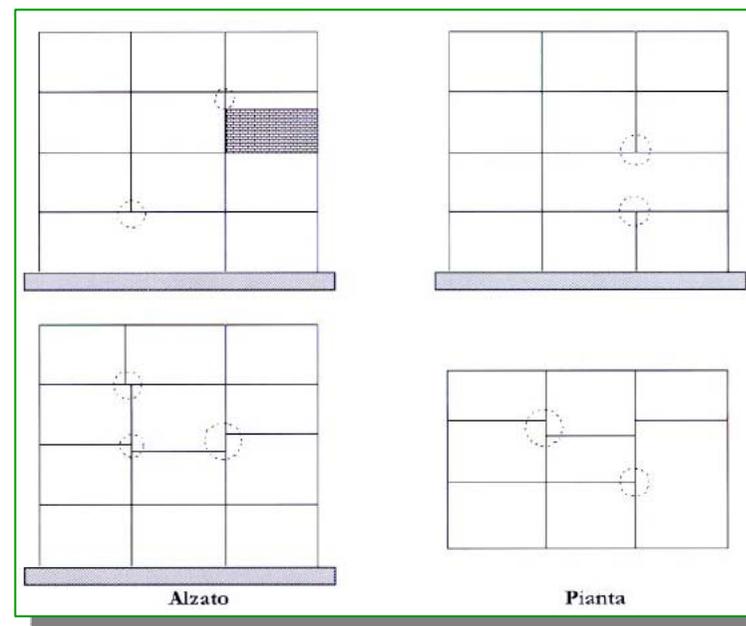
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto – Effetti della Irregolarità

Le strutture sono definite **regolari** quando possiedono una distribuzione uniforme della resistenza, rigidità e massa e dimensioni di piano lungo la loro altezza e possono essere caratterizzate da una distribuzione simmetrica di massa e della rigidità in pianta.

Irregolarità verticale



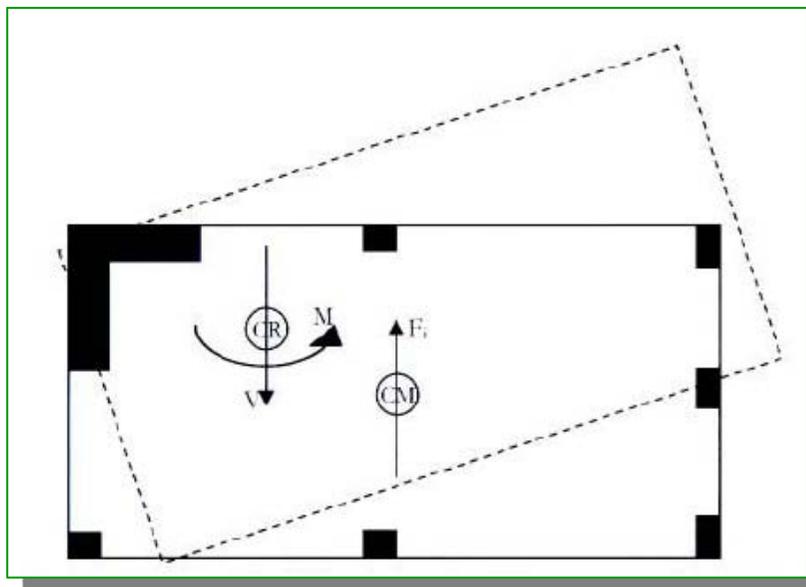
L'irregolarità verticale ad una non uniforme distribuzione della rigidità o resistenza, a causa della presenza di piani deboli o "soffici", improvvisa variazione della massa di piani adiacenti, a rientranze o sporgenze della struttura o irregolarità nella topografia del terreno



Irregolarità verticale dovuta da una non uniforme distribuzione della rigidità o resistenza

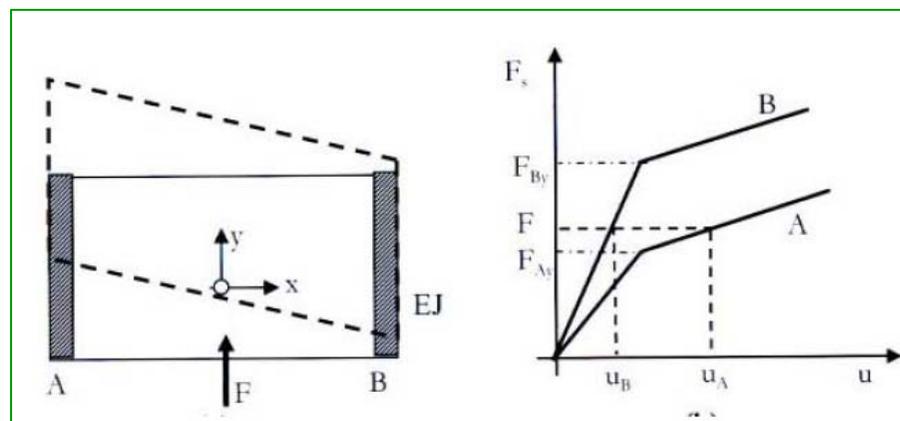
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto – Effetti della Irregolarità

Irregolarità orizzontale



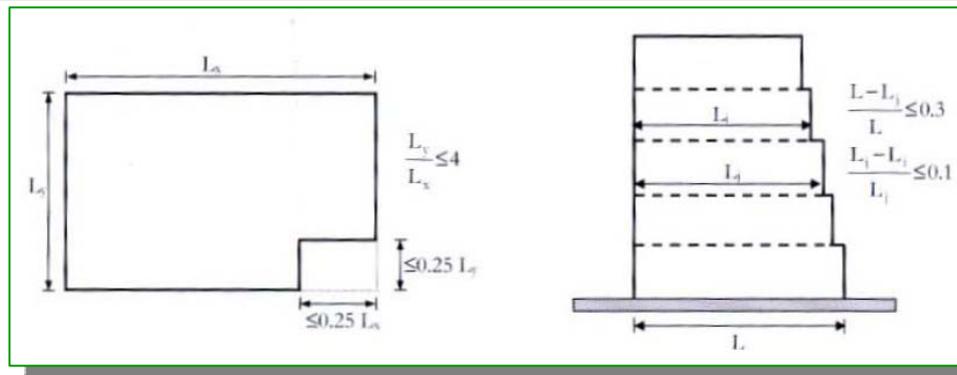
L'irregolarità orizzontale può essere dovuta ad angoli rientranti alla presenza di diverse tipologie strutturali ed alla forma della pianta

Irregolarità dovuta a elementi di diversa rigidità

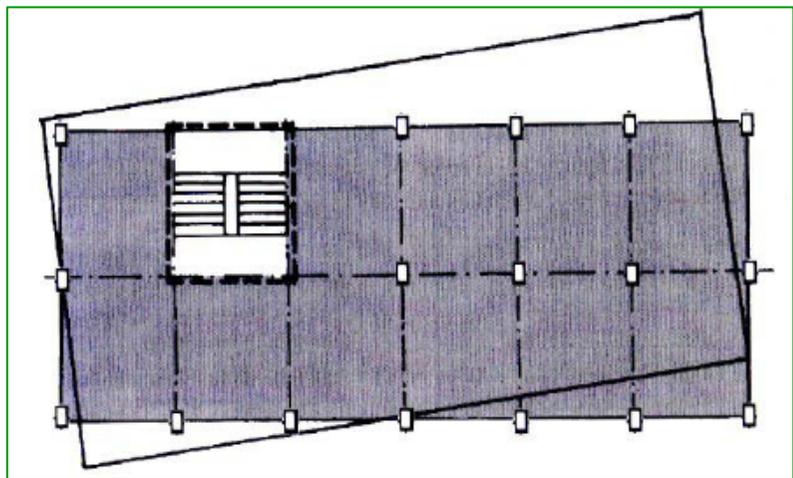


COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto – Effetti della Irregolarità

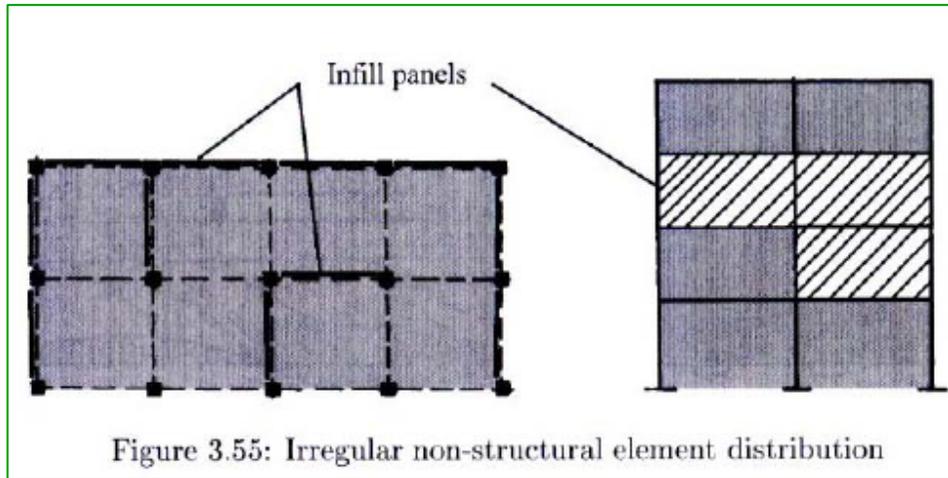
Irregolarità dovuta a rientranze o sporgenze della struttura



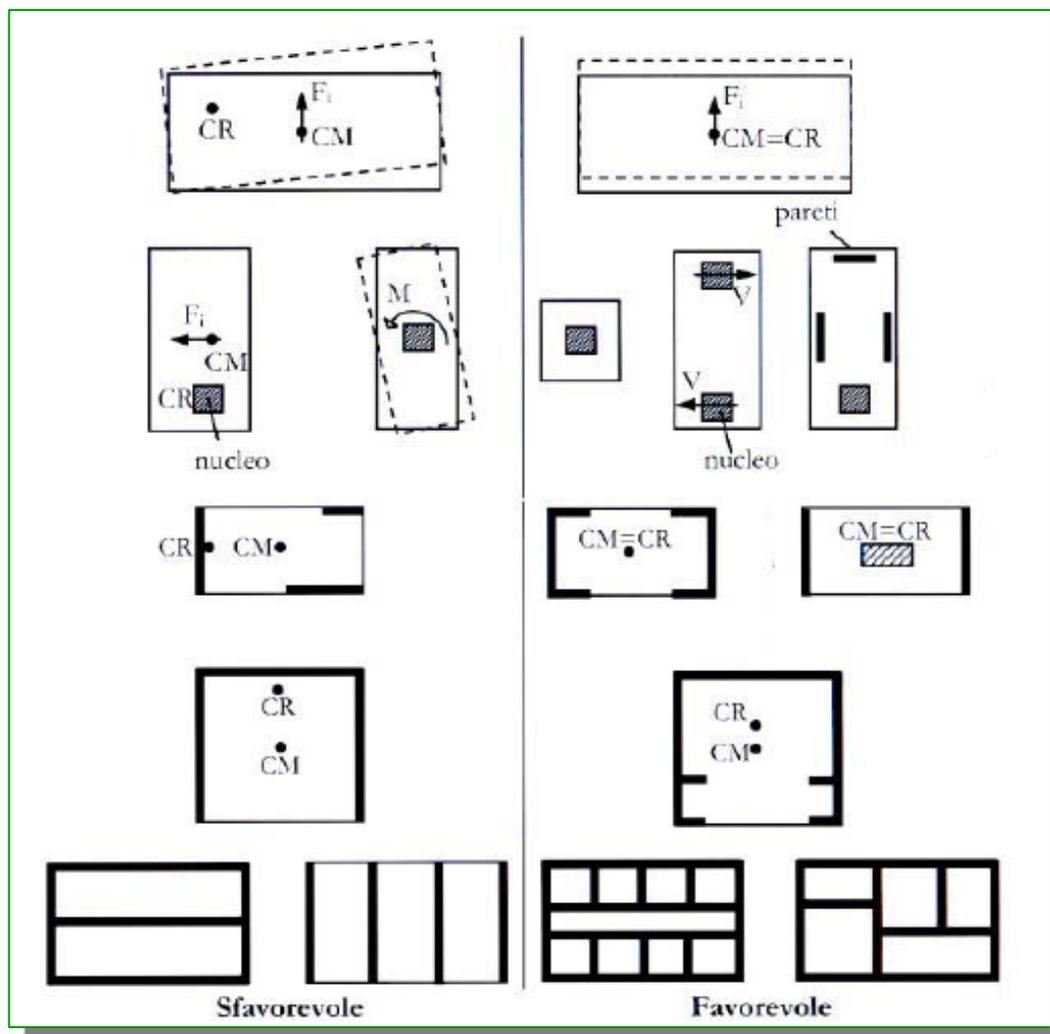
Irregolarità dovuta alla presenza del corpo scale



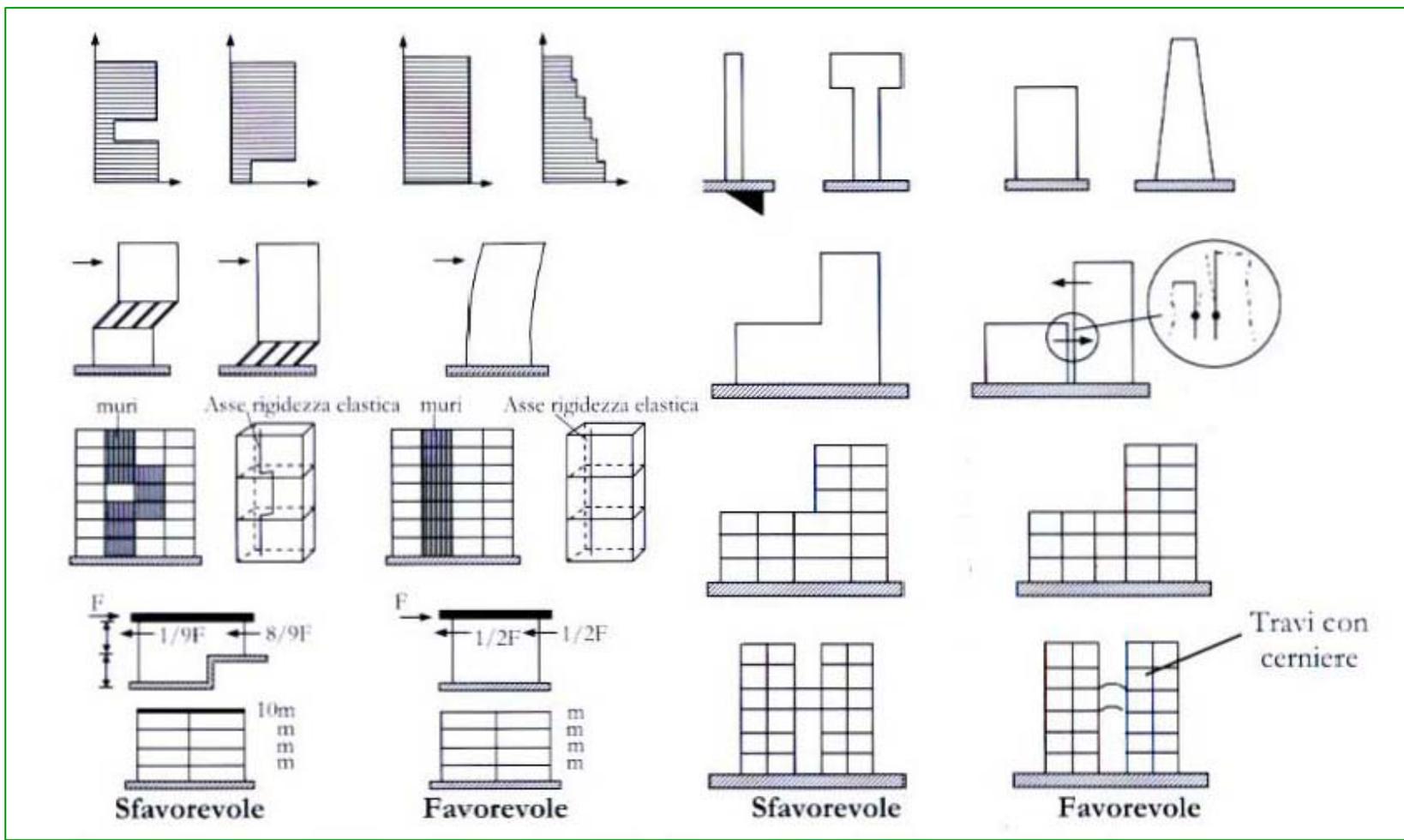
Irregolarità di elementi non strutturali



COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto – Effetti della Irregolarità



COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto – Effetti della Irregolarità



COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto – Effetti della Irregolarità



mancanza di un adeguato ancoraggio in fondazione



scorrimento fra muri e fondazione



irregolarità nella rigidezza e resistenza delle colonne



mancanza di un adeguato ancoraggio delle barre di armatura

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto – Effetti della Irregolarità



instabilità locale



irregolarità strutturale



effetti torsionali non previsti



effetti torsionali non previsti

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto – Effetti della Irregolarità



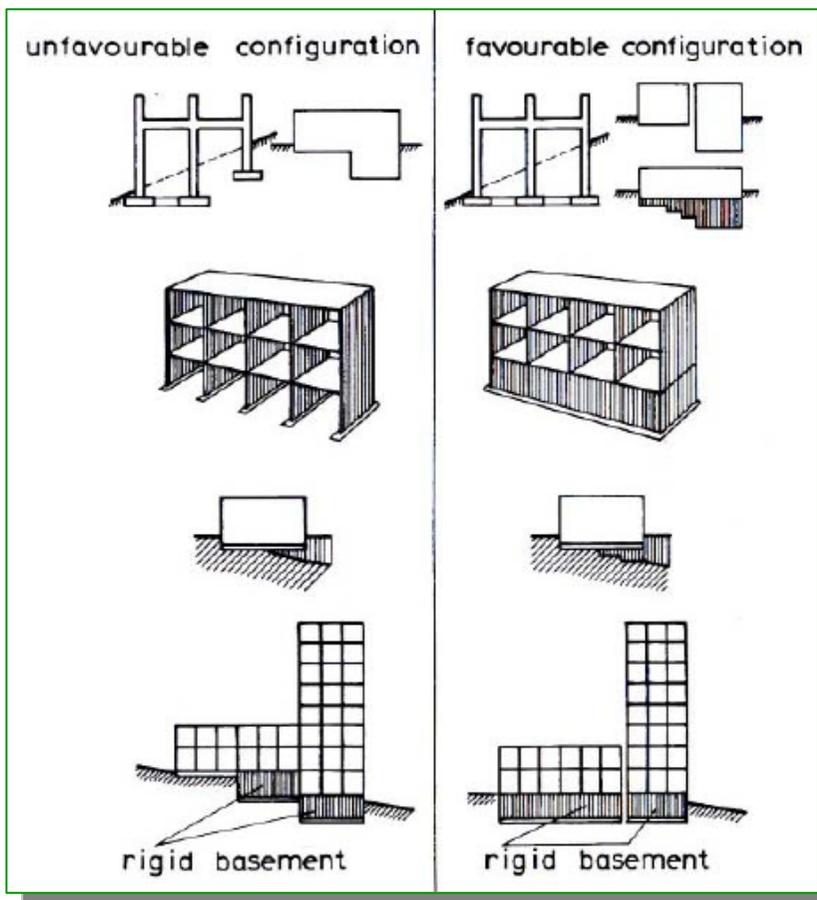
Irregolarità strutturale



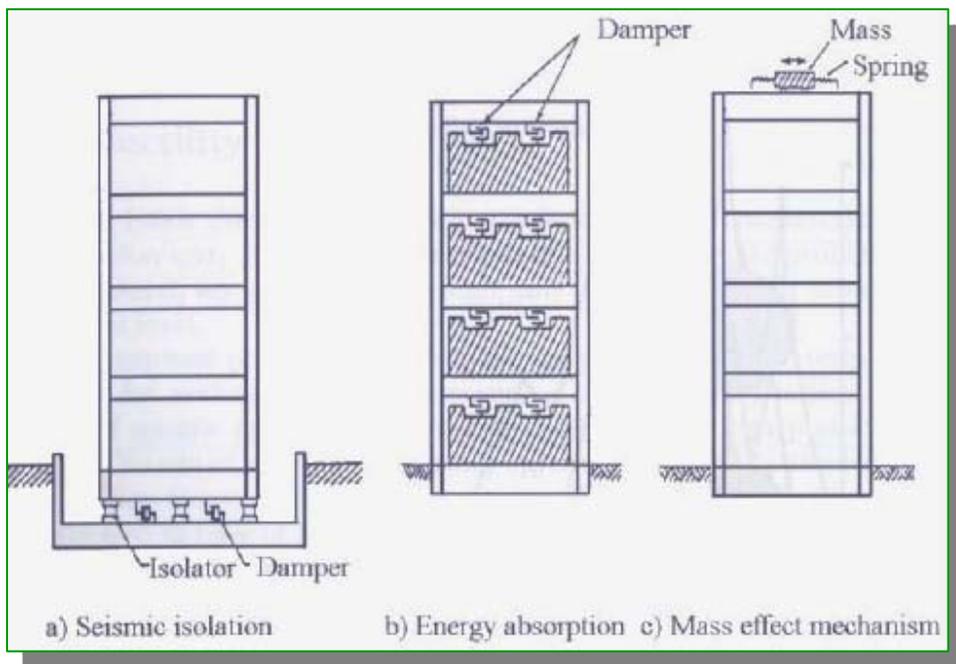
Irregolarità strutturale

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto

Configurazioni di fondazione

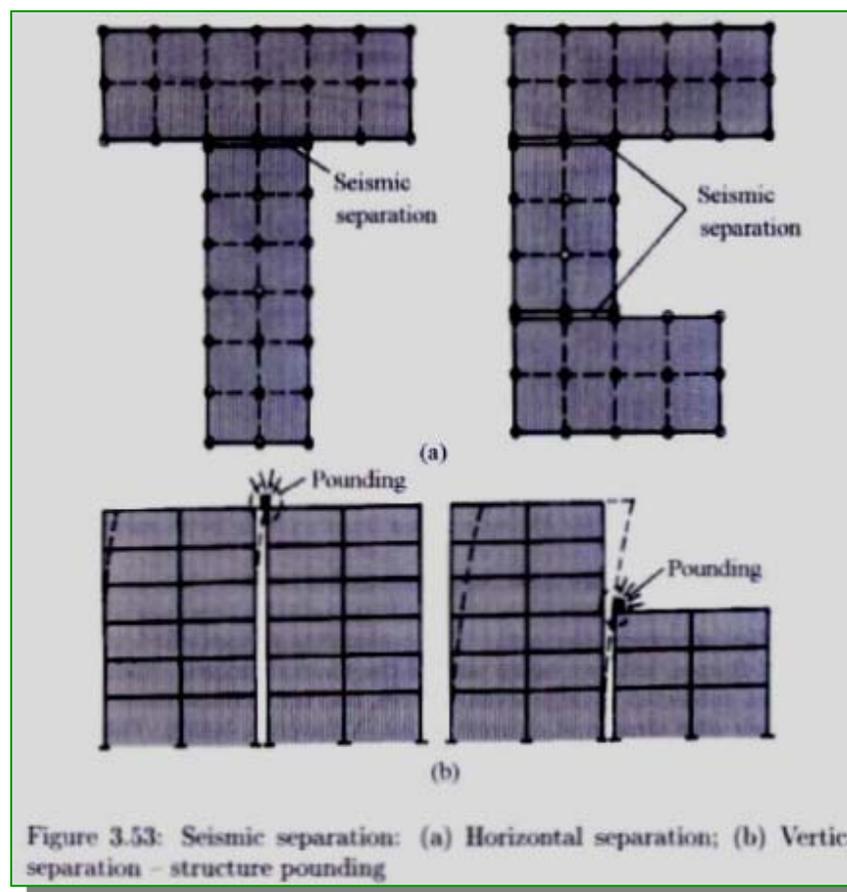


Dissipatori



COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto

Separazione sismica



COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto

Solai infinitamente rigidi

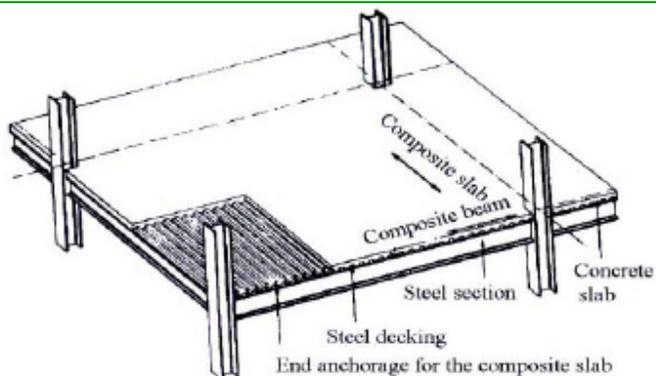
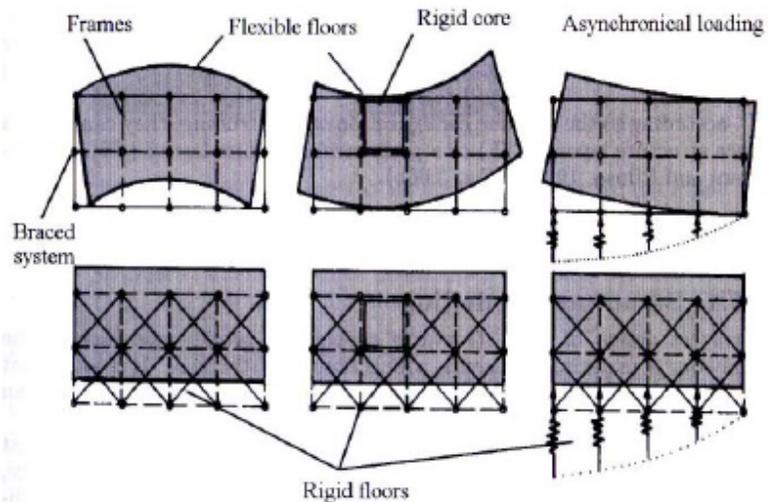
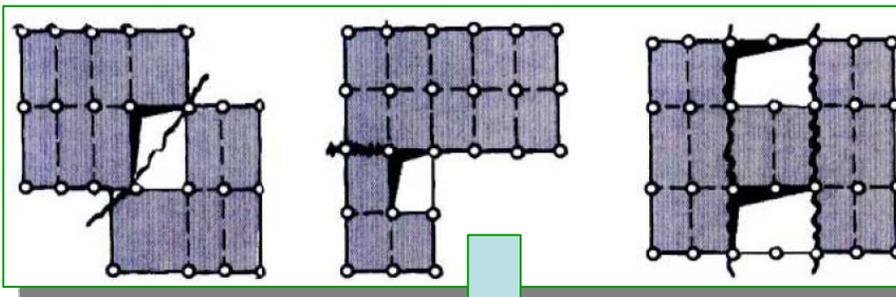


Figure 3.57: Floor system



I solai devono essere sufficientemente rigidi da garantire un'efficace ed uniforme distribuzione dell'azione sismica fra gli elementi verticali resistenti.

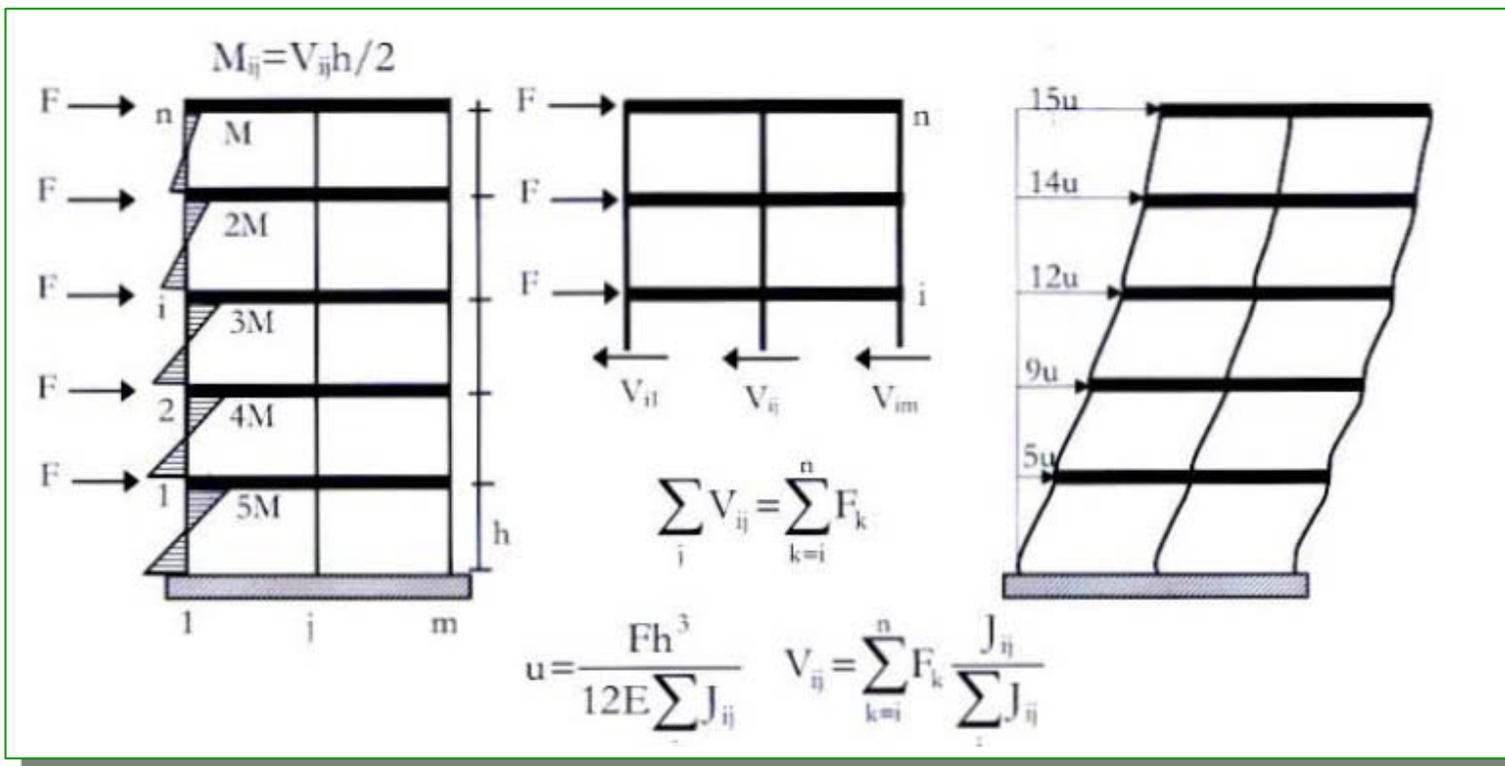
I solai devono rimanere in fase elastica durante il terremoto in modo da garantire un'adeguata distribuzione dell'azione sismica



le aperture orizzontali nei solai devono essere adeguatamente controllate in modo da non provocare riduzioni di rigidezza o rotture lungo linee di minor resistenza

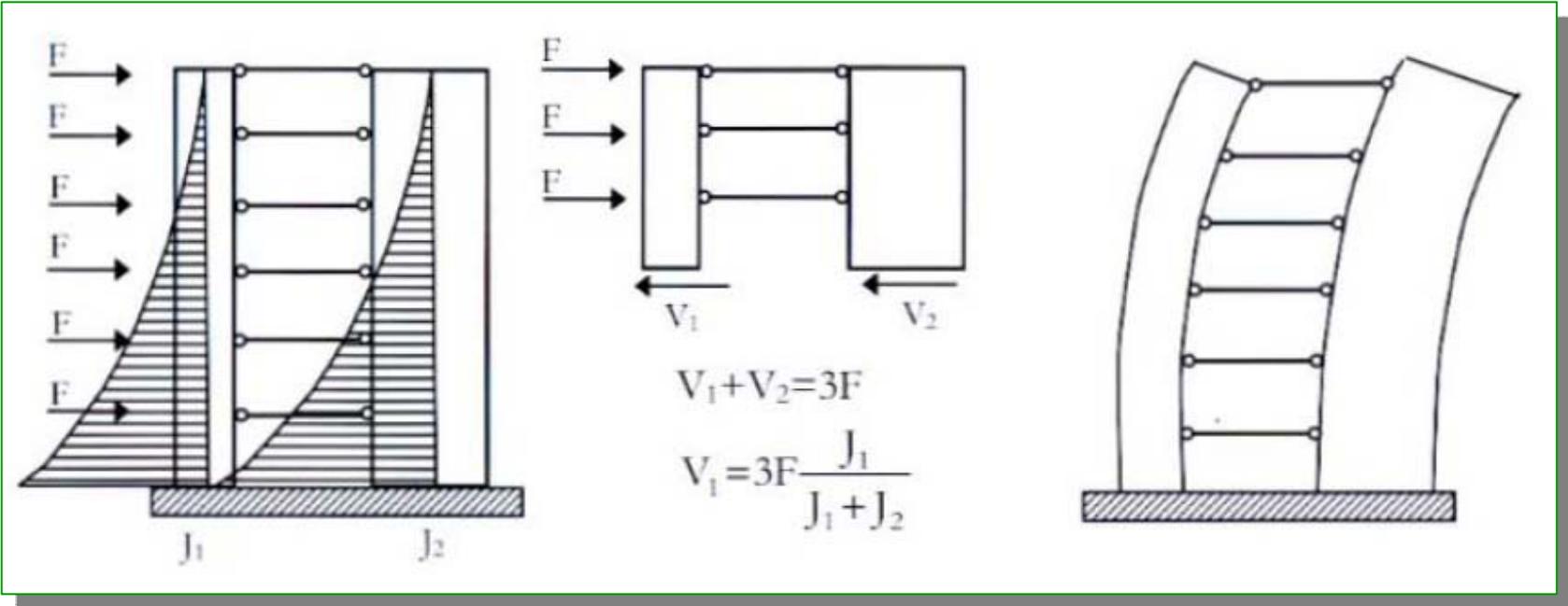
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto

Telaio tipo Shear Type



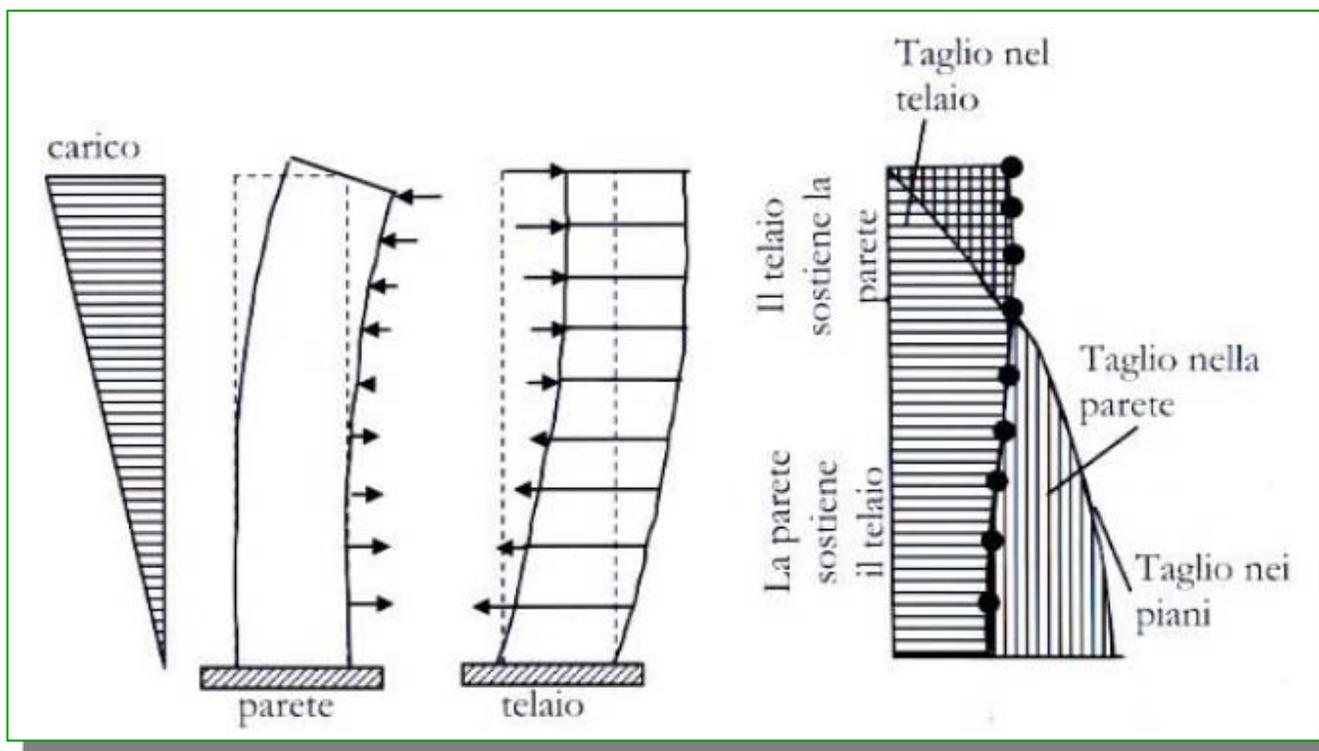
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto

Sistemi a parete



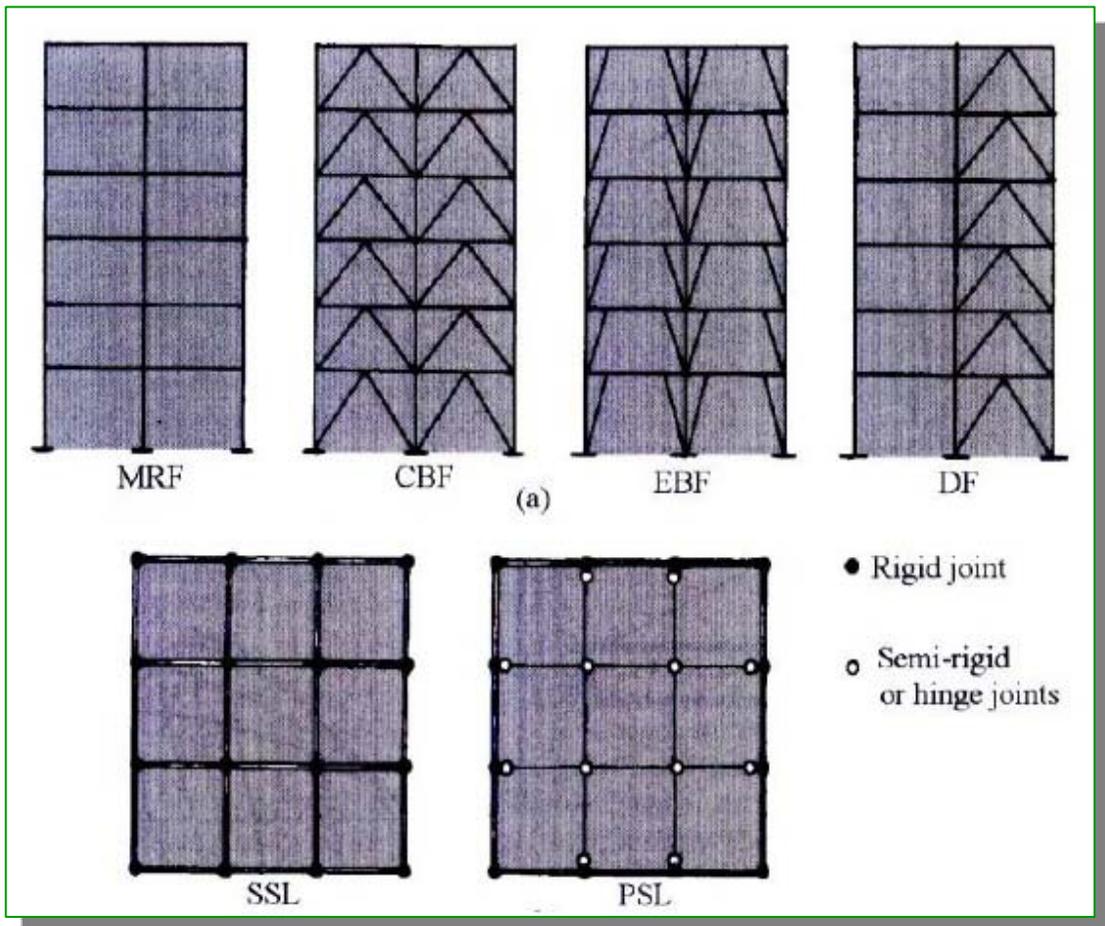
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto

Interazione fra parete e telaio



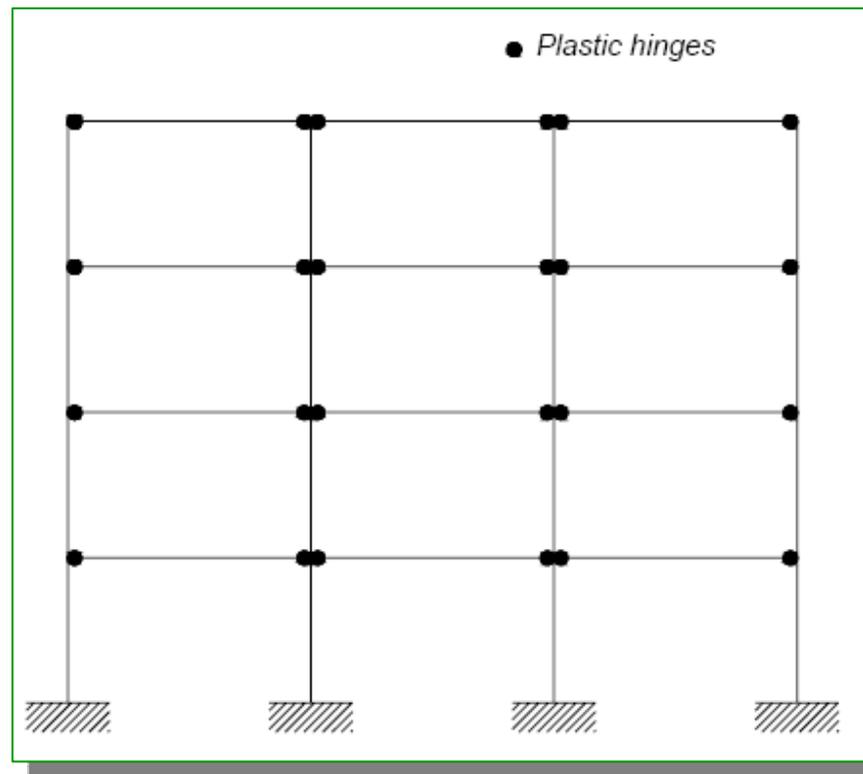
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto

Sistemi strutturali tipici delle costruzioni in acciaio



COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Criteri di Progetto

Localizzazione ottimale delle cerniere plastiche



O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Definizione dei criteri di progetto

<i>Sistema costruttivo</i>	<i>Sotto - sistema strutturale</i>
Edifici con struttura in cemento	a telaio; armato a pareti; misto a telai e pareti; a nucleo; a ossatura pendolare in acciaio; con pareti o nuclei che costituiscono il sistema resistente principale per le azioni orizzontali; prefabbricato.
Edifici con struttura in acciaio	a telaio; a telaio con controventi concentrici; a telaio con controventi eccentrici; a mensola; intelaiato controventato.
Edifici con struttura mista in acciaio e calcestruzzo	a telaio; a telaio con controventi concentrici; a telaio con controventi eccentrici; a mensola; intelaiato controventato.
Edifici con struttura in muratura	a pareti in muratura ordinaria; a pareti in muratura armata.
Edifici con struttura in legno	
Edifici isolati	
Edifici esistenti	

O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Definizione dei criteri di progetto

Gli edifici devono avere quanto più possibile caratteristiche di: semplicità, simmetria, Iperstaticità e regolarità

In funzione della regolarità di un edificio saranno richieste scelte diverse in relazione al metodo di analisi e ad altri parametri di progetto

Si definisce regolare un edificio che rispetti sia i criteri di regolarità in pianta sia i criteri di regolarità in altezza

Un edificio è regolare in pianta se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- a) la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze**
- b) il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui l'edificio risulta inscritto è inferiore a 4**
- c) eventuali rientri o sporgenze non superano il 25% della dimensione totale dell'edificio nella direzione del rientro o della sporgenza**
- d) i solai possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali**

O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Definizione dei criteri di progetto

Un edificio è regolare in altezza se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

e) tutti i sistemi resistenti verticali dell'edificio (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza dell'edificio

f) massa e rigidezza rimangono costanti o si riducono gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla cima dell'edificio (le variazioni da un piano all'altro non superano il 20%)

g) il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza richiesta dal calcolo non è significativamente diverso per piani diversi (il rapporto fra la resistenza effettiva e quella richiesta calcolata ad un generico piano non deve differire più del 20% dall'analogo rapporto determinato per un altro piano)

h) eventuali restringimenti della sezione dell'edificio avvengono in modo graduale, rispettando i seguenti limiti: ad ogni piano il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo piano, né il 10% della dimensione corrispondente al piano immediatamente sottostante



NOZIONI di COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Modellazione Strutturale

O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Modello Strutturale

Il modello della struttura dovrà rappresentare in modo adeguato la distribuzione di massa e rigidità effettiva considerando, laddove appropriato, il contributo degli elementi non strutturali

Il modello della struttura sarà costituito da elementi resistenti piani a telaio o a parete connessi da diaframmi orizzontali

Se i diaframmi orizzontali, tenendo conto delle aperture in essi presenti, sono sufficientemente rigidi, i gradi di libertà dell'edificio possono essere ridotti a tre per piano, concentrando masse e momenti di inerzia al centro di gravità di ciascun piano

Gli edifici regolari in pianta possono essere analizzati considerando due modelli piani separati, uno per ciascuna direzione principale

In aggiunta all'eccentricità effettiva, dovrà essere considerata un'eccentricità accidentale pari al 5% della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica

Nel caso di edifici con struttura in cemento armato, composta acciaio -calcestruzzo e in muratura, la rigidità degli elementi può essere valutata considerando gli effetti della fessurazione, considerando la rigidità secante a snervamento.

In caso non siano effettuate analisi specifiche, la rigidità flessionale e a taglio di elementi in cemento armato può essere assunta pari alla metà della rigidità dei corrispondenti elementi non fessurati



NOZIONI di COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Metodi di Analisi

O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Metodi di Analisi Strutturale

Nelle norme sono ammessi quattro metodi di analisi caratterizzati da complessità e precisione crescenti. Essi sono:

- a) statica lineare (Analisi tramite la forza laterale equivalente)
- b) dinamica modale (Metodo di sovrapposizione modale)
- c) statica non lineare (Analisi tipo “*Push-over*”)
- d) dinamica non lineare (Analisi dinamica non-lineare)

La scelta tra un metodo e l'altro dipende dalle caratteristiche (regolarità, periodi propri caratteristici) e dall'importanza della struttura che si sta studiando. In particolare, le norme definiscono “metodo normale”, per la definizione delle sollecitazioni di progetto, l'analisi modale associata allo spettro di progetto ed applicata ad un modello tridimensionale dell'edificio.

O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Metodi di Analisi Strutturale

Considerazioni sulla regolarità in pianta ed in altezza della struttura permettono di considerare al posto di un modello tridimensionale due modelli piani separati e al posto dell'analisi modale una semplice analisi statica lineare, secondo quanto riassunto nella tabella:

<i>Regolarità geometrica</i>		<i>Semplificazioni ammesse</i>	
<i>Pianta</i>	<i>Altezza</i>	<i>Modello</i>	<i>Analisi</i>
Sì	Sì	Piano	Statica lineare
Sì	No	Piano	Dinamica modale
No	Sì	Spaziale	Statica lineare
No	No	Spaziale	Dinamica modale

Nella progettazione di edifici nuovi l'utilizzo di metodi di analisi più sofisticati, come l'analisi statica non lineare e quella dinamica non lineare, è, quindi, a discrezione del progettista, al quale è lasciato il compito di valutare quale tipo di analisi, in relazione al tipo di progetto affrontato, dà informazioni sufficienti per realizzare un'opera che abbia il carattere prestazionale richiesto dalle norme

O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Metodi di Analisi Strutturale: Analisi Statica Lineare

L'analisi statica lineare può essere effettuata per costruzioni regolari in altezza a condizione che il primo periodo di vibrazione, nella direzione in esame, della struttura (T1) non superi 2,5 TC. Per edifici che non superino i 40 m di altezza, in assenza di calcoli più dettagliati, T1 può essere stimato utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = C_1 H^{3/4}$$

dove H è l'altezza dell'edificio, in metri, dal piano di fondazione e C1 vale:

- 0,085 per edifici con struttura a telaio in acciaio,
- 0,075 per edifici con struttura a telaio in calcestruzzo e
- 0,050 per edifici con qualsiasi altro tipo di struttura.

L'analisi statica consiste nell'applicazione di un sistema di forze distribuite lungo l'altezza dell'edificio assumendo una distribuzione lineare degli spostamenti

O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Metodi di Analisi Strutturale: Analisi Statica Lineare

La forza da applicare a ciascun piano è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_h \frac{(z_i \cdot W_i)}{\sum_j (z_j \cdot W_j)}$$

dove: $F_h = S_d(T_1) W \lambda / g$

F_i è la forza da applicare al piano i

W_i e W_j sono i pesi delle masse ai piani i e j rispettivamente

z_i e z_j sono le altezze dei piani i e j rispetto alle fondazioni

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto

W è il peso complessivo della costruzione, calcolato secondo quanto indicato per ogni tipo strutturale

$\lambda = 0,85$ se l'edificio ha almeno tre piani e se $T_1 < 2 T_C$, $\lambda = 1,0$ in tutti gli altri casi

g è l'accelerazione di gravità.

O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Metodi di Analisi Strutturale: Analisi Dinamica Modale

L'analisi modale, associata allo spettro di risposta di progetto, è da considerarsi il metodo normale per la definizione delle sollecitazioni di progetto e va applicata ad un modello tridimensionale dell'edificio

Due modelli piani separati possono essere utilizzati a condizione che siano rispettati i criteri di regolarità in pianta

Dovranno essere considerati tutti i modi con massa partecipante superiore al 5%, oppure un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%

La combinazione dei modi al fine di calcolare sollecitazioni e spostamenti complessivi potrà essere effettuata calcolando la radice quadrata della somma dei quadrati dei risultati ottenuti per ciascun modo a condizione che il periodo di vibrazione di ciascun modo differisca di almeno il 10% da tutti gli altri

In caso contrario dovrà essere utilizzata una combinazione quadratica completa



NOZIONI di COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA: Verifiche

O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Verifiche agli SLU

- Elementi duttili: travi e pilastri a (presso)flessione
 - *Verifica di resistenza: come per condizioni non sismiche*
 - *Verifica di duttilità: soddisfatta con l'adozione delle regole di gerarchia delle resistenze e delle regole di dettaglio costruttivo*
- Elementi/meccanismi fragili: resistenza a taglio di travi e pilastri
 - *Verifica di resistenza: positiva se maggiore della sollecitazione massima che ad essi può essere trasmessa dagli elementi collegati*
- Effetti del 2° ordine: trascurabili se $\theta = (P \cdot d_r) / (V \cdot h) \leq 0.1$
 - θ non può essere > 0.3*
 - per $0.1 < \theta < 0.3$ azioni sismiche orizzontali incrementate del fattore: $\alpha = 1/(1 - \theta)$*
- Diaframmi-Solai: da verificarsi con le forze sismiche ottenute dall'analisi amplificate del 30%

O.P.C.M. n. 3474 del 20/03/2003

Verifiche agli SLE

Limitazioni dei danni



Limitazioni agli spostamenti
di interpiano: d_r

- Tamponature rigidamente collegate alla struttura e dotate di rigidità propria significativa (tamponature esterne/interne in laterizi ≥ 1 testa)

$$d_r \leq 0,005 \cdot h$$

- Tamponature con collegamenti elastici alla struttura

$$d_r \leq 0,0075 \cdot h$$