

Statica per l'edilizia storica

Università degli Studi di Cagliari
Corso di Laurea Magistrale in
Architettura
A.A. 2016-2017

Prof. ing. Antonio Cazzani, Dr. ing. Flavio Stochino

antonio.cazzani@unica.it

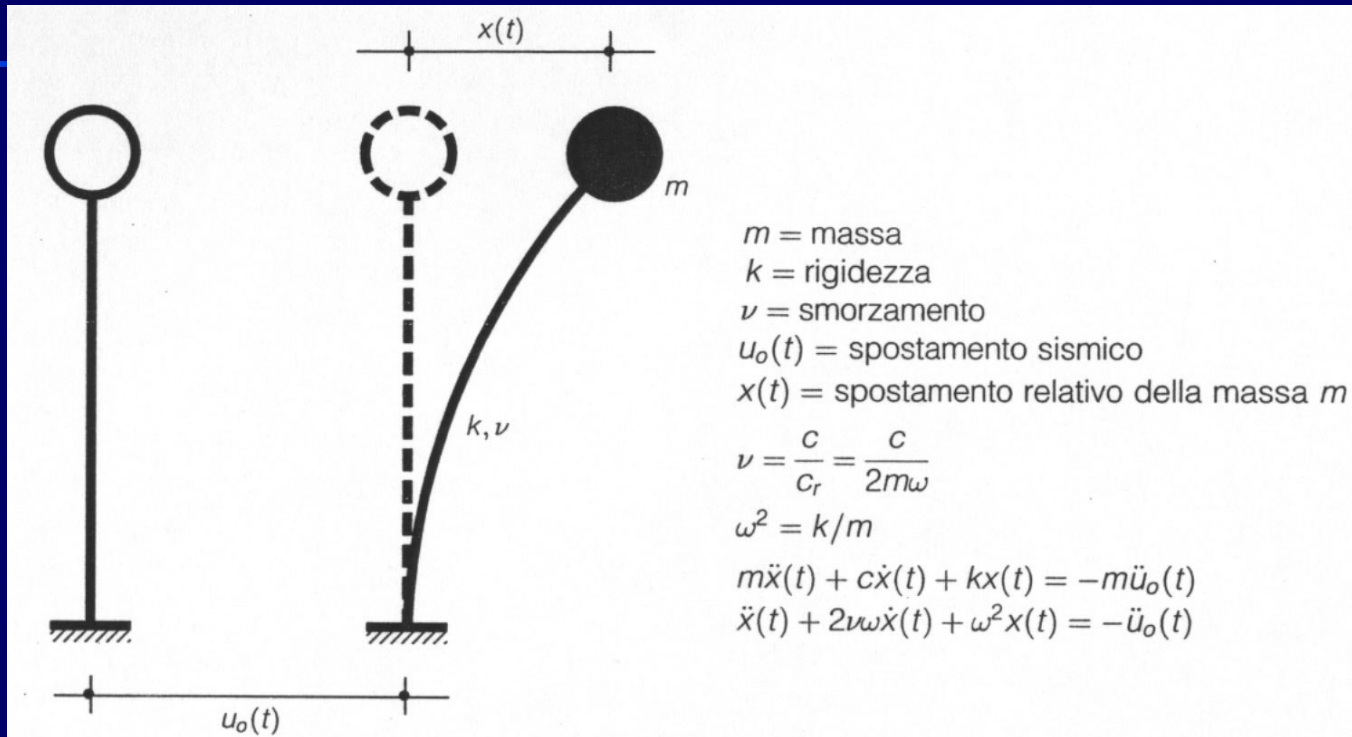
<http://people.unica.it/antoniocazzani/ses/>

Lezione 16 – Elementi di analisi sismica

Sommario

- L'oscillatore semplice soggetto a moto impresso: spettri di risposta
- L'oscillatore semplice in regime elasto-plastico
- Gli spettri di risposta della normativa sismica

L'oscillatore semplice soggetto a moto impresso (1/3)



Tramite l'approccio di Duhamel è possibile integrare l'equazione del moto dell'oscillatore semplice sopra indicato, lo spostamento relativo $x(t)$ risulta così espresso:

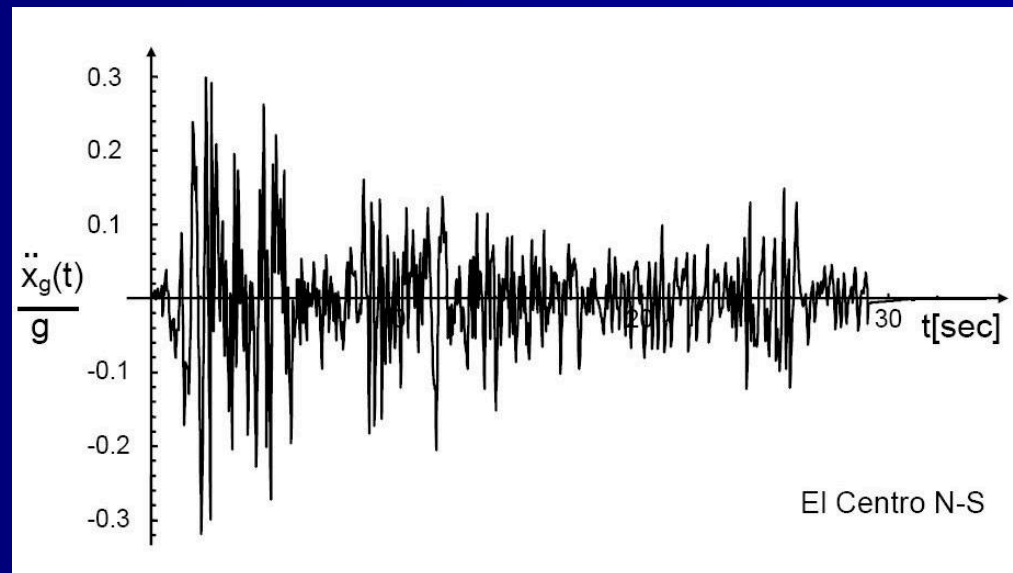
$$x(t) = \frac{1}{\Omega} \int_0^t \ddot{u}_o(\tau) e^{-\nu\omega(t-\tau)} \sin(\Omega(t-\tau)) d\tau$$

L'oscillatore semplice soggetto a moto impresso (2/3)

Un accelerogramma è una rappresentazione in funzione del tempo delle accelerazioni indotte al suolo in un dato sito, in tre direzioni tra loro perpendicolari, durante un evento sismico.

Possiamo distinguere tra:

- *Accelerogrammi naturali*: registrati sperimentalmente dopo un evento sismico, conservano le caratteristiche specifiche del terremoto in termini di intensità, magnitudo e distanza.
- *Accelerogrammi spettro-compatibili*: vengono generati artificialmente a partire da alcune caratteristiche attese per le loro componenti.
- *Accelerogrammi derivati da modelli sismologici*: ottenuti attraverso la modellazione dei fenomeni di generazione dei terremoti.



L'oscillatore semplice soggetto a moto impresso (3/3)

Nel caso in cui il moto del terreno provenga da un terremoto il problema principale consiste nel fatto che tale moto e la corrispondente accelerazione $d^2 u(t)/dt^2$ non sono noti!

Infatti è molto difficile costruire un accelerogramma di progetto basato su un'analisi statistica dei terremoti passati.

Infatti tale approccio presenta alcuni svantaggi:

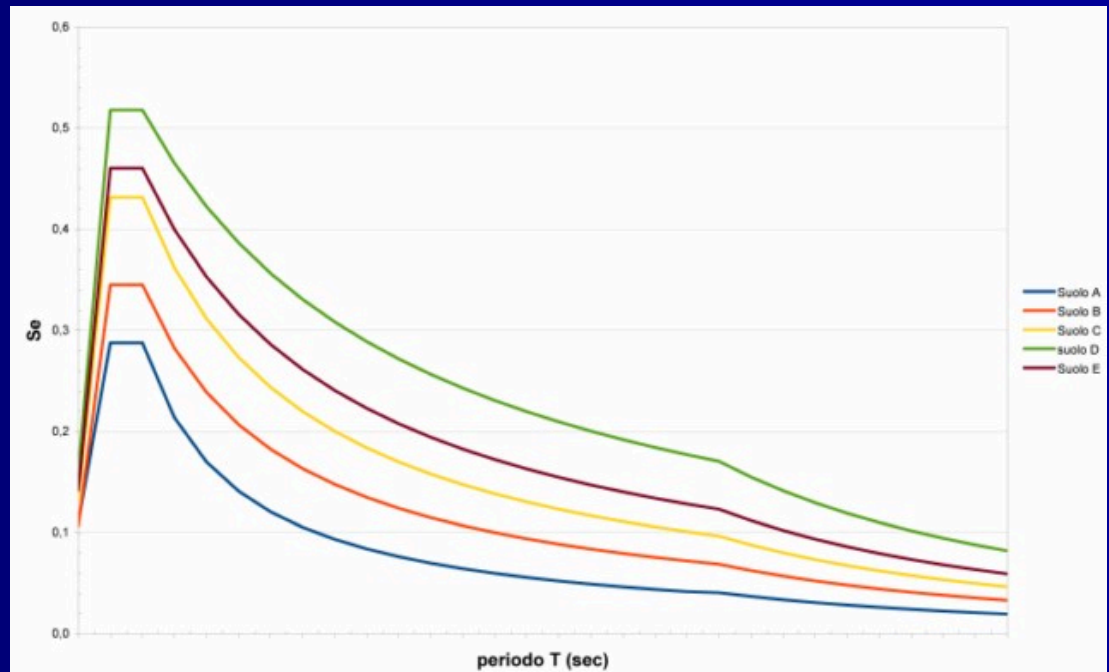
- Non è facilmente identificabile una famiglia di terremoti avvenuti nel luogo in cui si trova la costruzione. Solo in alcune zone della terra si ha una mappatura sismica precisa. Basare l'accelerogramma di progetto su pochi terremoti registrati potrebbe essere a svantaggio di sicurezza.
- Se anche fosse possibile individuare tale famiglia di terremoti rappresentativi degli eventi sismici nel luogo analizzato la struttura andrebbe verificata accelerogramma per accelerogramma con un onere computazionale molto oneroso.

Spettro di risposta (SR) (1/9)

Lo spettro di risposta di un dato terremoto è un diagramma nel quale viene riportato, in funzione del periodo proprio T e per diversi valori del fattore di smorzamento ν la massima risposta (in termini di spostamento massimo, velocità massima, accelerazione massima) di un oscillatore ad un grado di libertà sotto l'azione di quel terremoto.



Maurice Biot (1905-1985)
Immagine tratta da
www.olemiss.edu



Spettro di risposta (SR) (2/9)

In generale lo SR serve per:

- Valutare la violenza di un terremoto
- Applicare la dinamica a verifiche sismiche
- Effettuare le verifiche sismiche in tempi ragionevoli

I vantaggi principali dell'utilizzo degli SR consistono in:

- Facilità nel rappresentare un'intera famiglia di terremoti in un unico diagramma
- Rappresentazione sintetica di tutti gli effetti di un certo terremoto: con alcune elaborazioni statistiche si possono calcolare quali siano gli SR che forniscano le massime accelerazioni che una struttura con periodo T e smorzamento ν subisce per una certa zona sismica con una certa probabilità (confronto con Accelerogrammi).

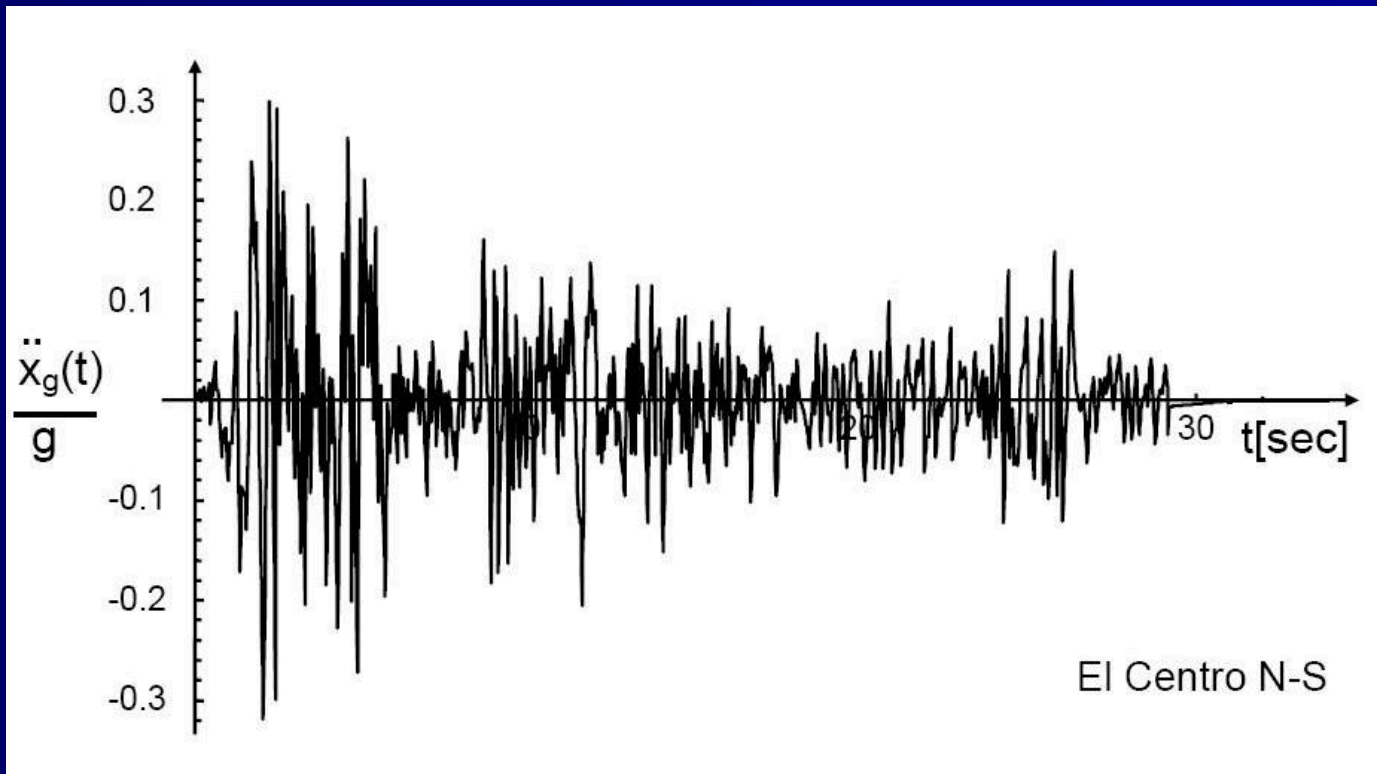
Si può distinguere tra tanti tipi di SR, i più utilizzati sono quelli che rappresentano:

- Spostamenti relativi.
- Velocità relative.
- Accelerazioni assolute.

Spettro di risposta (SR) (3/9)

Le fasi di costruzione di uno SR sono di seguito sintetizzate:

1. Si sceglie l'accelerogramma di un certo terremoto.



(Immagine tratta da en.wikipedia.org)

Spettro di risposta (SR) (4/9)

Le fasi di costruzione di uno SR sono di seguito sintetizzate:

1. Si sceglie l'accelerogramma di un certo terremoto.
2. Si sceglie un certo oscillatore ad un grado di libertà con un certo periodo proprio T , un certo smorzamento ν e lo si sottopone a quel terremoto scelto.

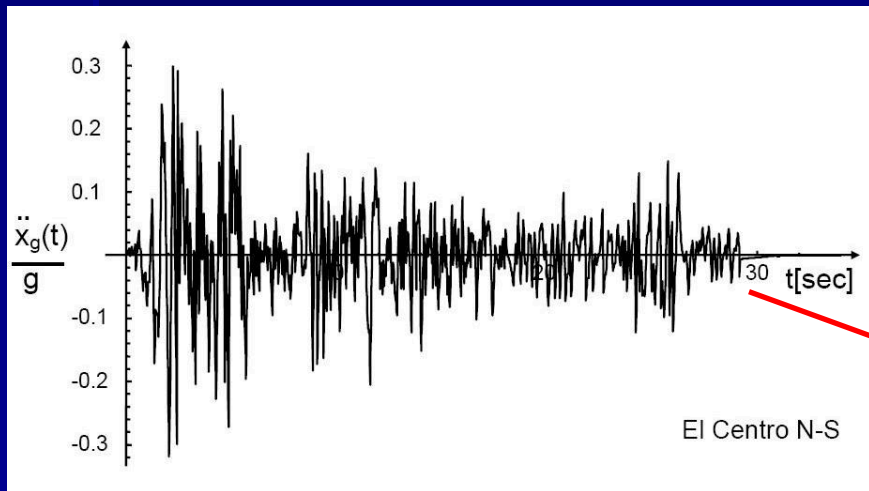
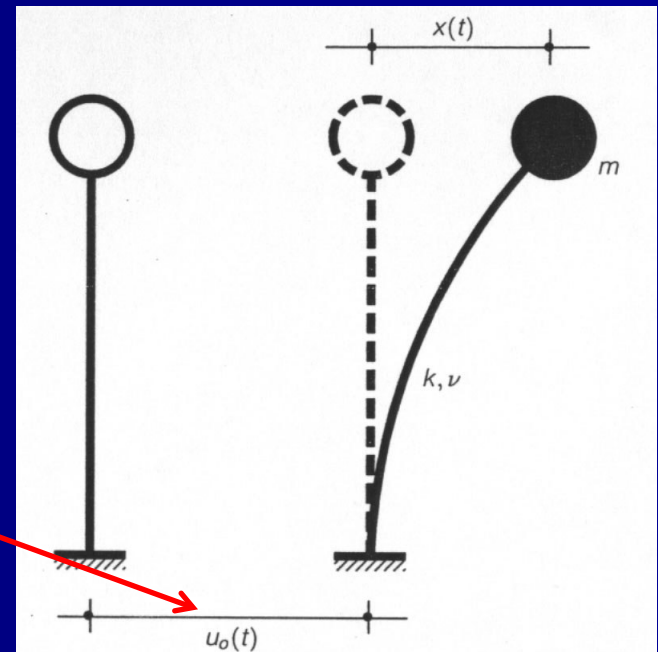


Immagine tratta da en.wikipedia.org



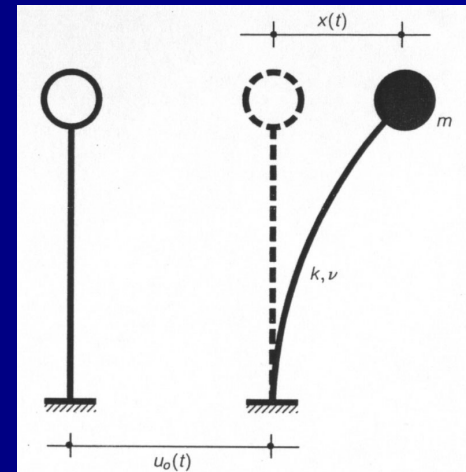
(Immagine tratta da Carbone op.cit.)

Spettro di risposta (SR) (5/9)

Le fasi di costruzione di uno SR sono di seguito sintetizzate:

1. Si sceglie l'accelerogramma di un certo terremoto.
2. Si sceglie un certo oscillatore ad un grado di libertà con un certo periodo proprio T , un certo smorzamento ν e lo si sottopone a quel terremoto scelto.
3. Tramite le tecniche viste in precedenza (ad esempio con l'integrale di Duhamel) si trova lo spostamento relativo $x(t)$ dell'oscillatore dovuto a quel particolare terremoto.

$$x(t) = \frac{1}{\Omega} \int_0^t \ddot{u}_0(\tau) e^{-\nu\omega(t-\tau)} \sin(\Omega(t-\tau)) d\tau$$

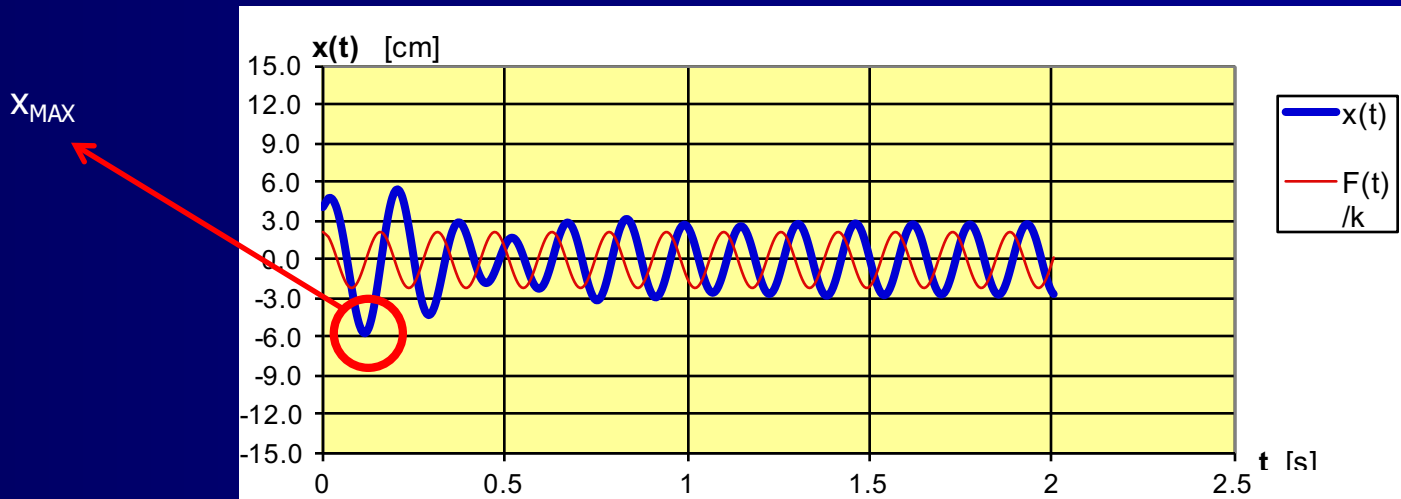


(Immagine tratta da Carbone op.cit)

Spettro di risposta (SR) (6/9)

Le fasi di costruzione di uno SR sono di seguito sintetizzate:

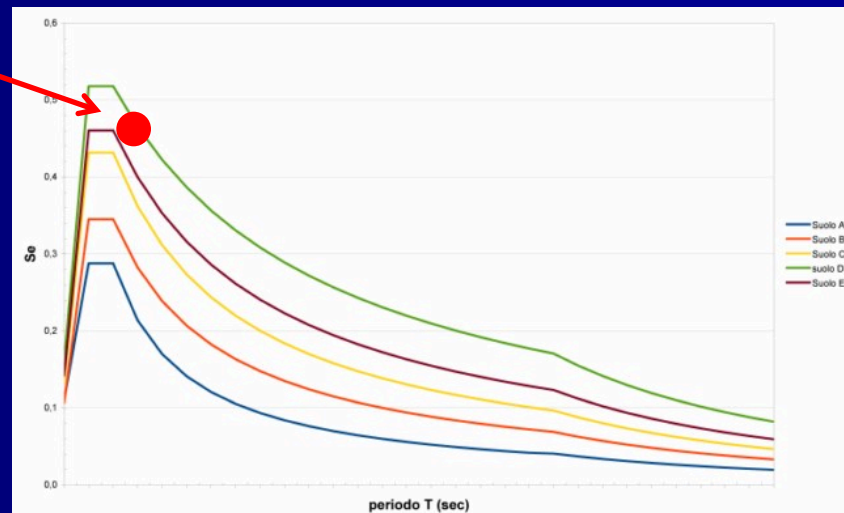
1. Si sceglie l'accelerogramma di un certo terremoto.
2. Si sceglie un certo oscillatore ad un grado di libertà con un certo periodo proprio T , un certo smorzamento ν e lo si sottopone a quel terremoto scelto.
3. Tramite le tecniche viste in precedenza (ad esempio con l'integrale di Duhamel) si trova lo spostamento relativo $x(t)$ dell'oscillatore dovuto a quel particolare terremoto.
4. Si valuta il valore assoluto del massimo spostamento raggiunto: x_{MAX} .



Spettro di risposta (SR) (7/9)

Le fasi di costruzione di uno SR sono di seguito sintetizzate:

1. Si sceglie l'accelerogramma di un certo terremoto.
2. Si sceglie un certo oscillatore ad un grado di libertà con un certo periodo proprio T , un certo smorzamento ν e lo si sottopone a quel terremoto scelto.
3. Tramite le tecniche viste in precedenza (ad esempio con l'integrale di Duhamel) si trova lo spostamento relativo $x(t)$ dell'oscillatore dovuto a quel particolare terremoto.
4. Si valuta il valore assoluto del massimo spostamento raggiunto: x_{MAX} .
5. Si riporta tale valore x_{MAX} in un diagramma che abbia in ordinata i valori di x_{MAX} ed in ascissa il periodo proprio T dell'oscillatore.

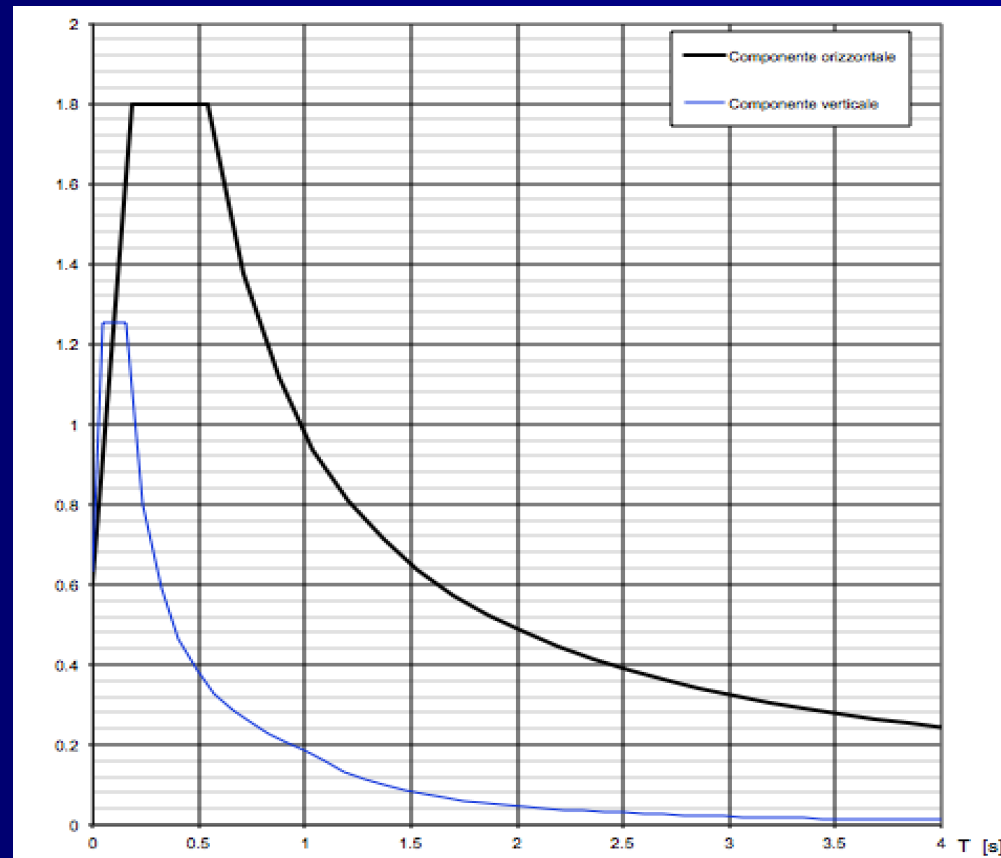


Spettro di risposta (SR) (8/9)

Le fasi di costruzione di uno SR sono di seguito sintetizzate:

1. Si sceglie l'accelerogramma di un certo terremoto.
2. Si sceglie un certo oscillatore ad un grado di libertà con un certo periodo proprio T , un certo smorzamento ν e lo si sottopone a quel terremoto scelto.
3. Tramite le tecniche viste in precedenza (ad esempio con l'integrale di Duhamel) si trova lo spostamento relativo $x(t)$ dell'oscillatore dovuto a quel particolare terremoto.
4. Si valuta il valore assoluto del massimo spostamento raggiunto: x_{MAX} .
5. Si riporta tale valore x_{MAX} in un diagramma che abbia in ordinata i valori di x_{MAX} ed in ascissa il periodo proprio T dell'oscillatore.
6. Si ripetono i passi 2-5 per oscillatori con stesso smorzamento ν , ma diverso periodo T costruendo tutti i punti necessari per completare la curva.
7. Si ripetono tutti i passi precedenti con oscillatori che abbiano diversi valori ν , costruendo tutte le altre curve.

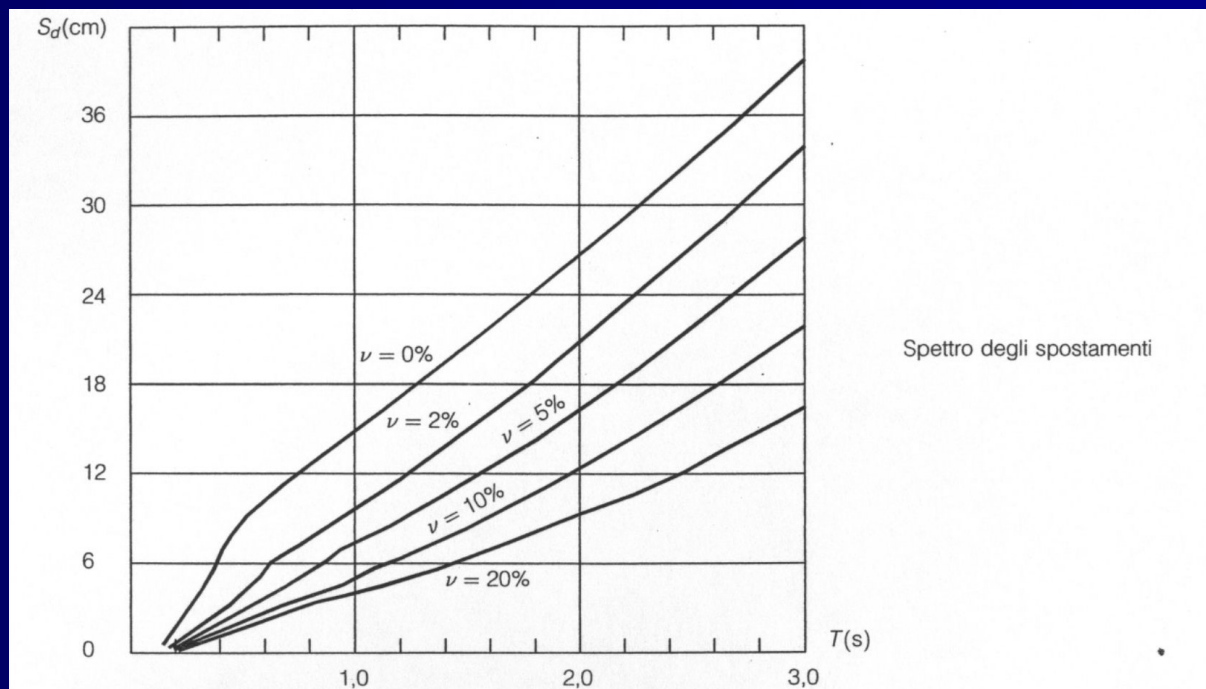
Spettro di risposta (SR) (9/9)



Spettro di risposta per spostamenti massimi relativi (1/2)

Gli SR per spostamenti massimi relativi si calcolano considerando il valore assoluto del massimo spostamento subito dall'oscillatore come mostrato negli esempi precedenti.

Questo tipo di SR è molto interessante poiché permette di determinare con molta facilità quali siano le forze statiche equivalenti al sisma.



(Immagine tratta da Carbone op.cit)

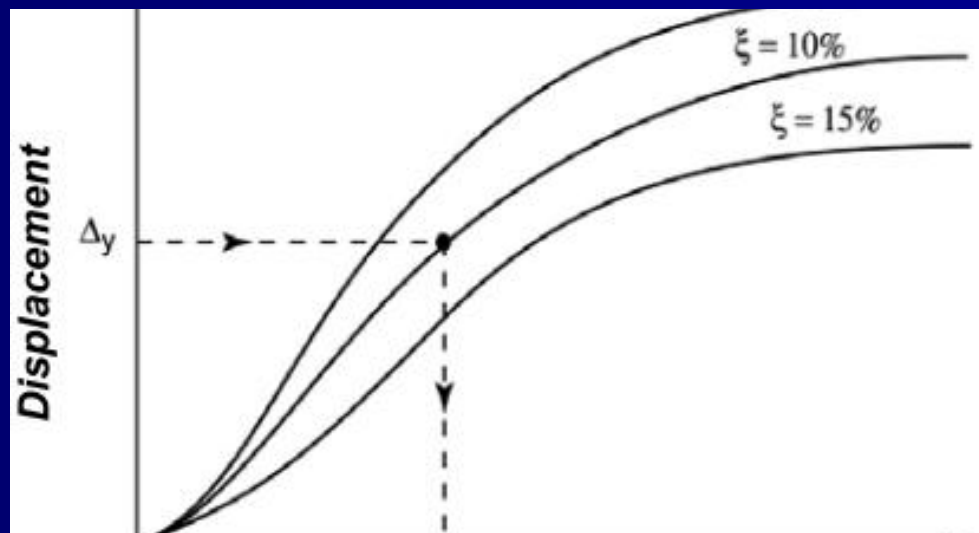
Spettri di risposta di progetto ricavati dal terremoto di El Centro (1940)

Spettro di risposta degli spostamenti: i valori spettrali crescono con il periodo proprio.

Spettro di risposta per spostamenti massimi relativi

Tali SR presentano le stesse caratteristiche in estremità:

1. Per qualunque fattore di smorzamento ν per i valori di periodo molto bassi $T \rightarrow 0$, gli SR partono dal valore nullo.
2. Per qualunque fattore di smorzamento ν per i valori di periodo molto alti $T \rightarrow \infty$, tutti gli SR hanno un asintoto orizzontale coincidente con lo spostamento massimo del terreno. Infatti per rigidità molto basse lo spostamento relativo coincide con lo spostamento del terreno.

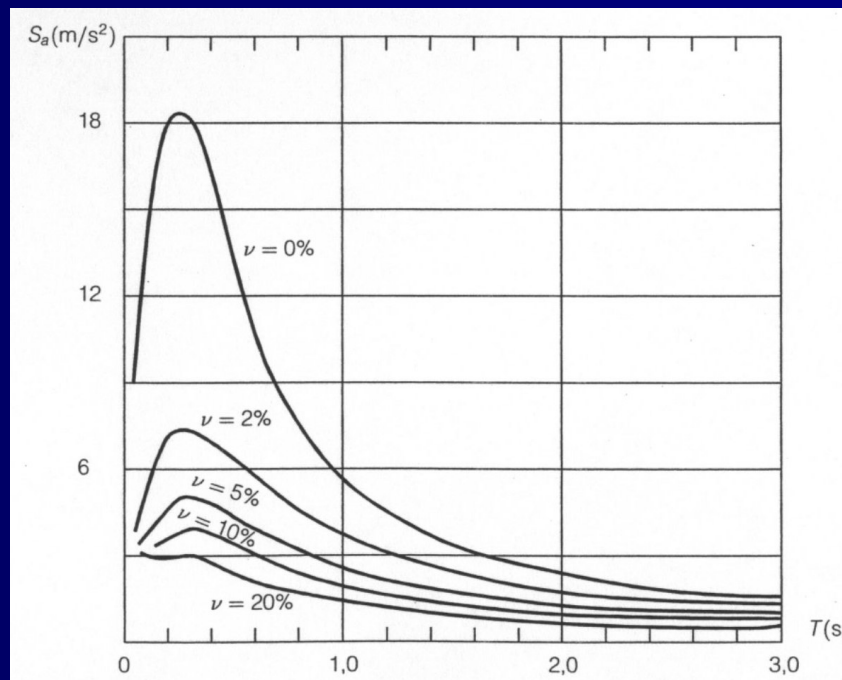


(Immagine tratta da California Building Code op.cit.)

Spettro di risposta per accelerazioni massime assolute

Questi SR si costruiscono calcolando la massima accelerazione dell'oscillatore. Anche in questo caso possiamo osservare alcune caratteristiche peculiari:

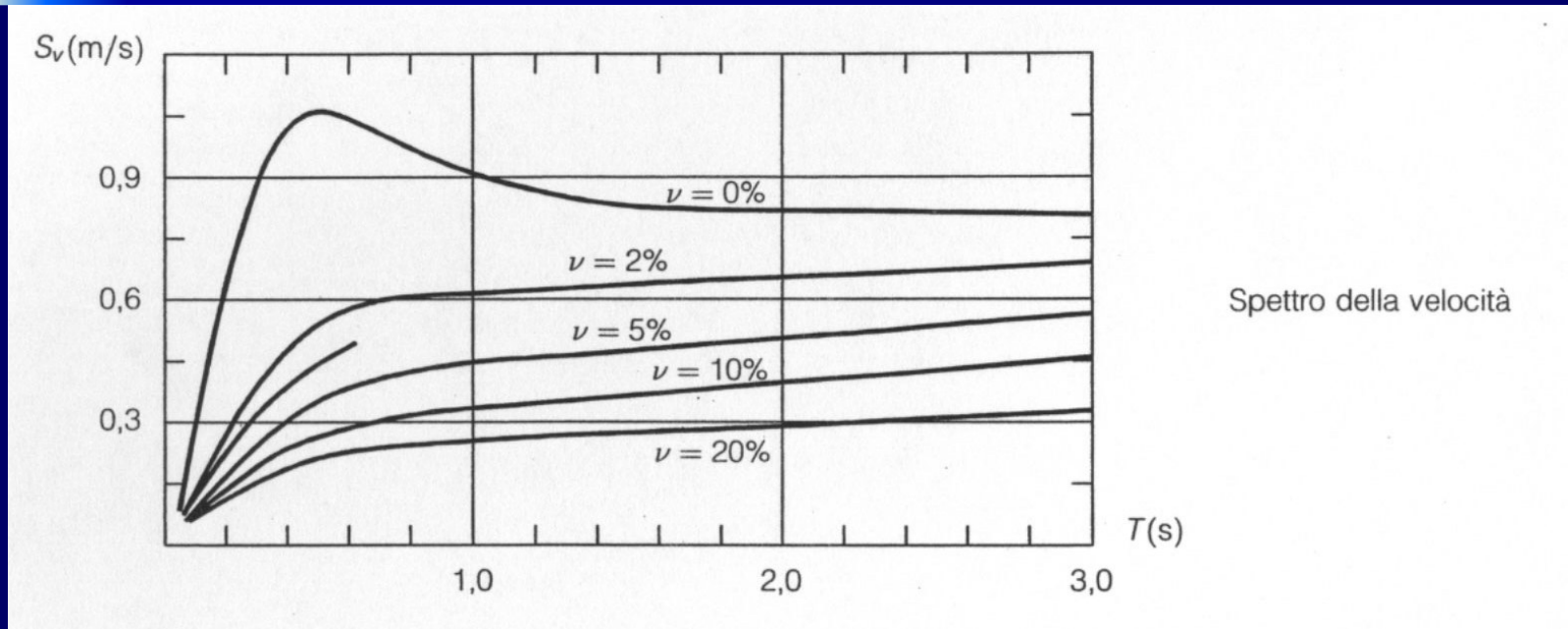
1. Per $T \rightarrow 0$, l'accelerazione dell'oscillatore coincide con quella del terreno: l'accelerazione relativa è nulla.
2. Per $T \rightarrow \infty$ l'accelerazione tende a 0. In altre parole un oscillatore molto flessibile (m/k per $k \rightarrow 0$) non subisce spostamenti durante un sisma poiché si muove solo il terreno al di sotto lasciandolo completamente "isolato".



Spettri di risposta di progetto ricavati dal terremoto di El Centro (1940)

(Immagine tratta da Carbone op.cit.)

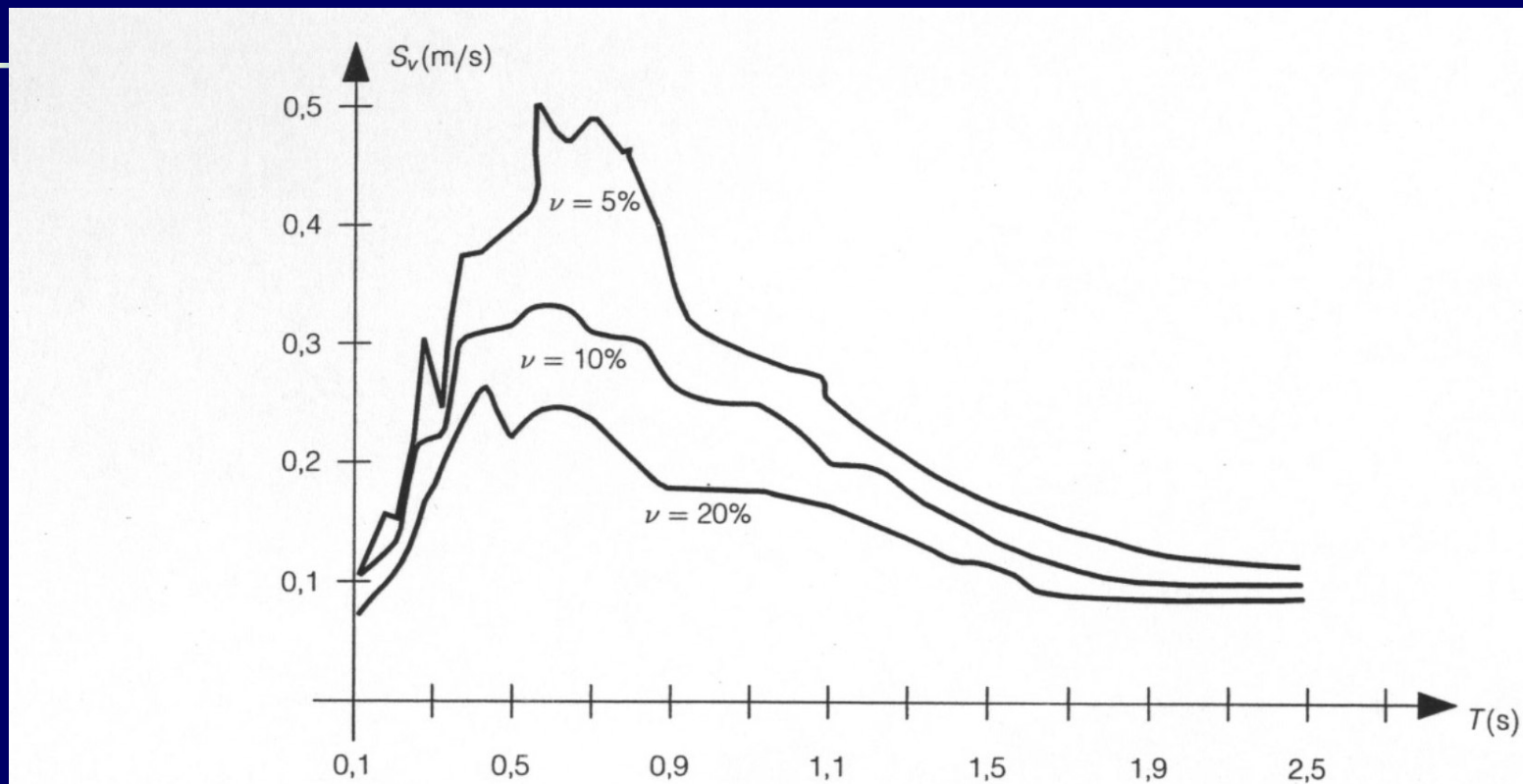
Spettro di risposta per velocità massime relative (1/2)



Spettri di risposta di progetto ricavati dal terremoto di El Centro (1940) (Immagine tratta da Carbone op.cit.)

Spettro di risposta delle velocità: i valori spettrali tendono a un valore costante al crescere del periodo proprio.

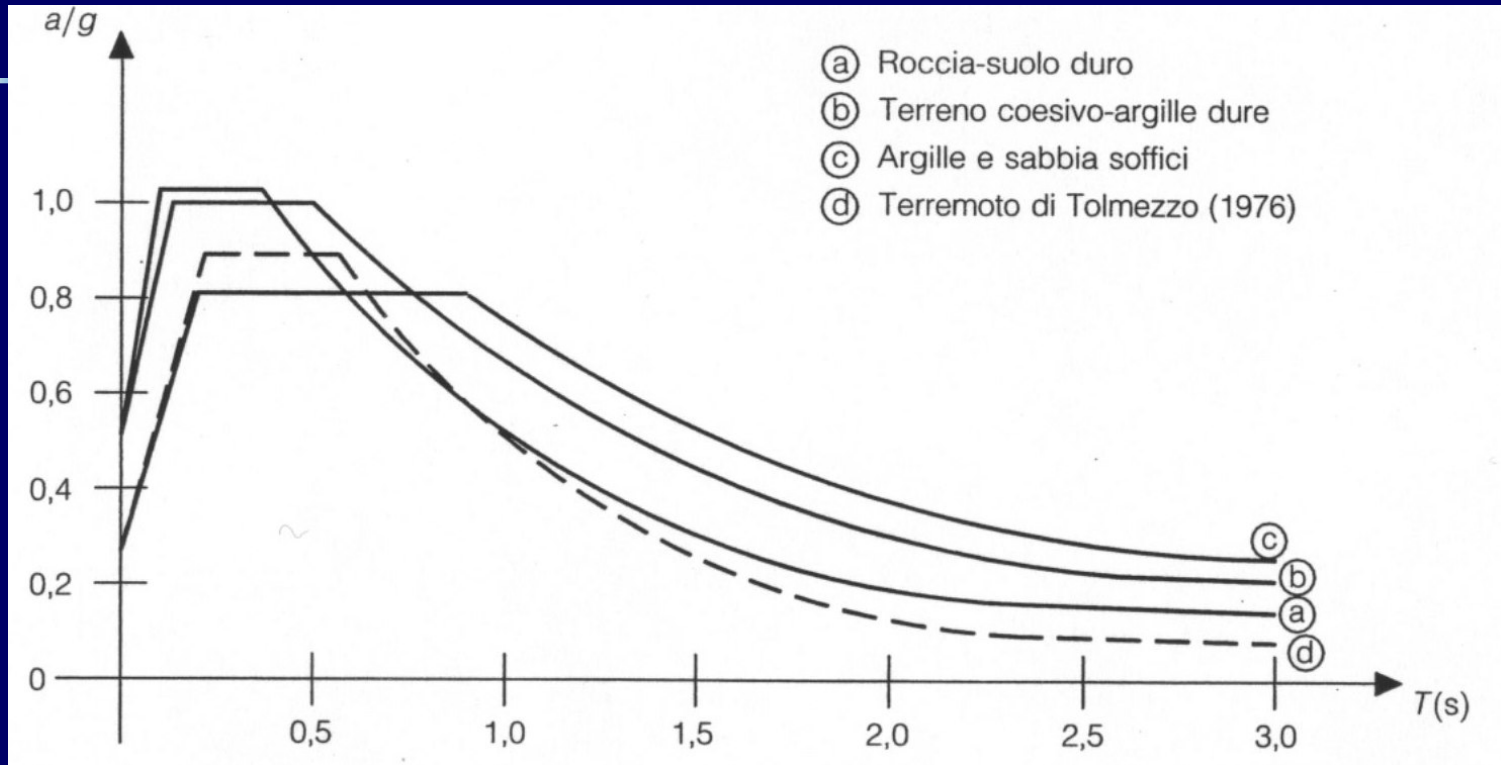
Spettro di risposta per velocità massime relative (2/2)



Spettro di risposta ricavato dal terremoto di Tolmezzo (1976) (Immagine tratta da Carbone op.cit.)

Spettro di risposta delle velocità: i valori spettrali decrescono (a differenza di quanto accade nello spettro relativo al terremoto di El Centro) al crescere del periodo proprio.

Spettri di risposta: influenza del terreno



(Immagine tratta da Carbone op.cit.)

Spettri di risposta di progetto ricavati dal terremoto di Tolmezzo (1976)

Spettro di risposta delle accelerazioni: i valori spettrali tengono conto del terreno di imposta degli edifici per rappresentare gli effetti di amplificazione o riduzione della velocità e della potenza delle onde sismiche in base alle condizioni locali.

Gli spettri di risposta di progetto:

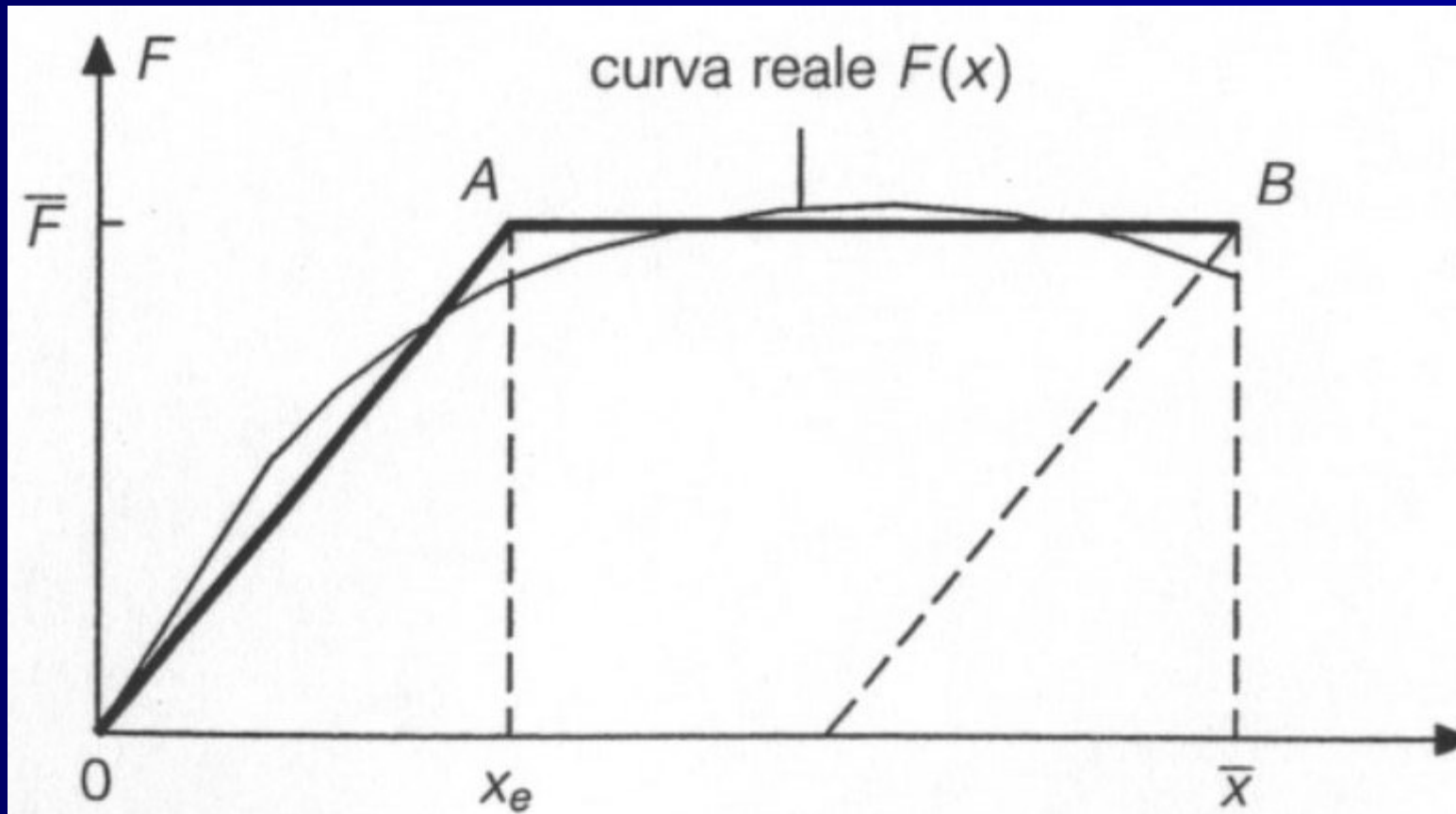
Gli SR mostrati finora prevedono un comportamento puramente elastico della struttura. Immaginare che la struttura resista a qualunque sisma in campo elastico significherebbe dover affrontare dei costi di costruzione e manutenzione troppo onerosi per tutte le strutture, ad eccezione forse di quelle strategiche (basi militari, ospedali ecc.).

La filosofia progettuale delle correnti norme strutturali prevede che ***in caso di sisma si possa superare il comportamento elastico consentendo deformazioni plastiche con danneggiamenti tali da rendere necessaria l'eventuale demolizione e ricostruzione della struttura. L'importante è che resti una sufficiente capacità portante per carichi verticali indispensabile per salvaguardare le vite umane.***

Per ottenere tali prestazioni è necessario avere:

- Progettazioni orientate verso l'intero sistema resistente e non solo verso i singoli elementi locali.
- Strutture progettate in campo elastico per azioni normali con grandi riserve di resistenza in grado di sopportare azioni sismiche in campo plastico.
- Gerarchia delle resistenze tra gli elementi strutturali: alcuni elementi (travi) devono poter subire deformazioni plastiche prima di altre (pilastri) in maniera da garantire una resistenza residua ai carichi verticali mentre si ha dissipazione di energia sismica mediante creazione di cerniere plastiche.

Comportamento costitutivo per oscillatori elasto-plastici:



(Immagine tratta da Carbone op.cit.)

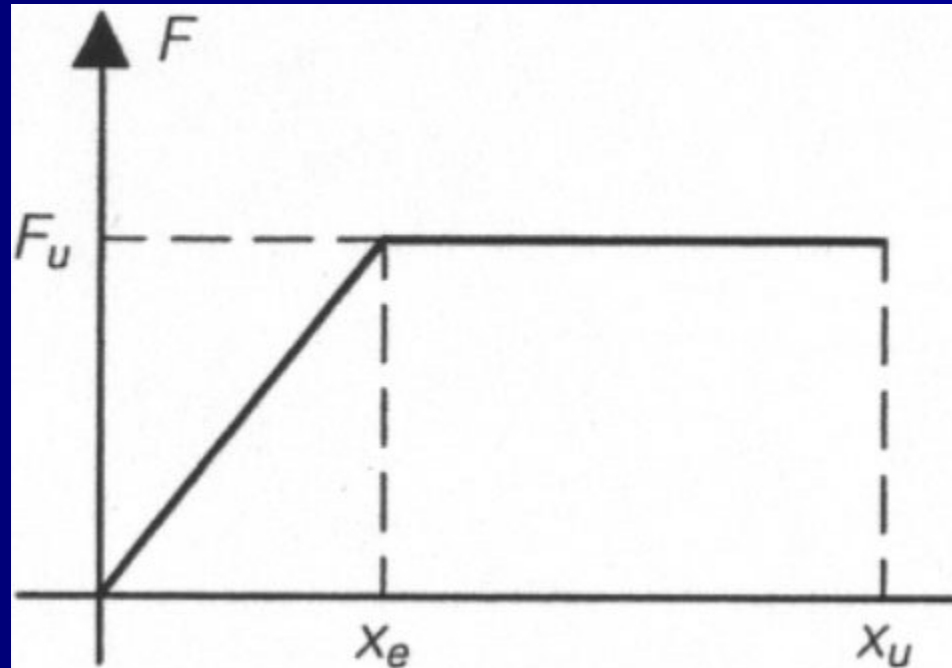
Duttilità e fattore di riduzione del terremoto

Resistenza: max valore di forza statica che il sistema può sopportare F_u

Rigidezza: pendenza del tratto elastico $k=F_u/x_e$

Duttilità: ampiezza del campo plastico esprimibile come $\mu=x_u/x_e$

(Immagine tratta da Carbone op.cit.)



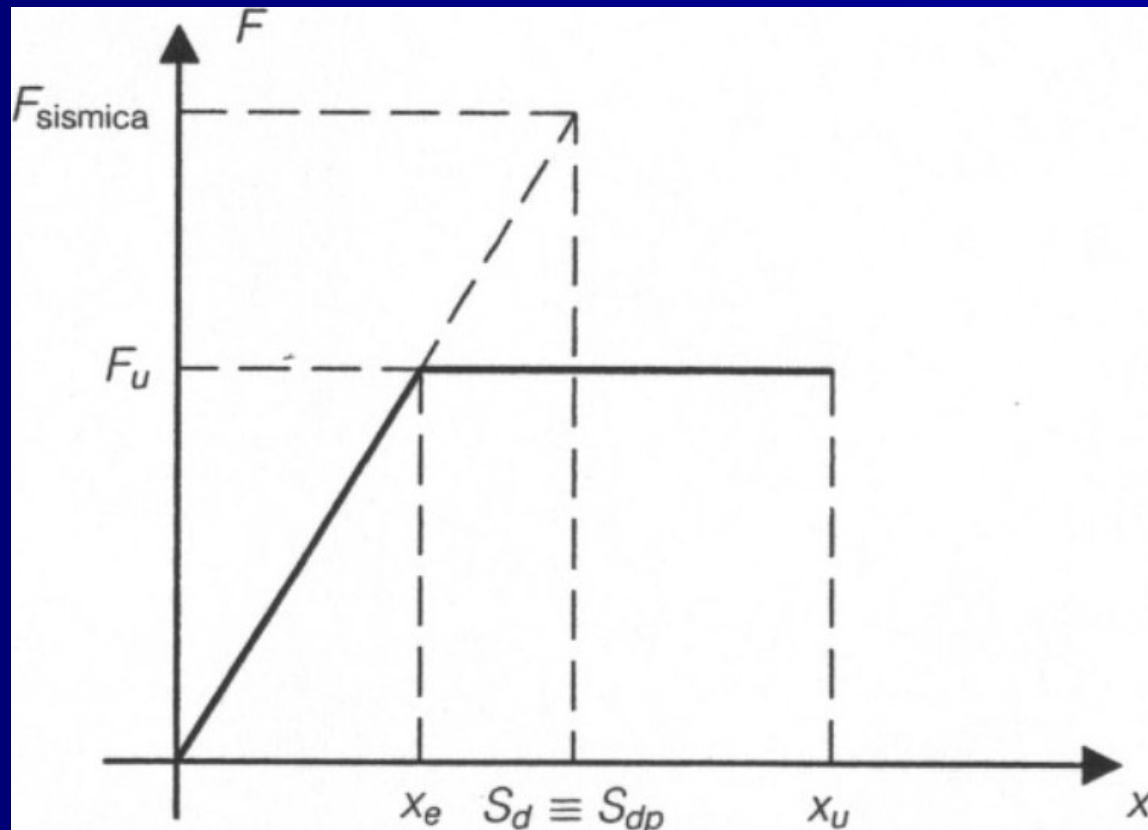
Duttilità e fattore di riduzione del terremoto

In caso di risposta puramente elastica $x_{ep,max}$ rappresenta il massimo spostamento subito dall'oscillatore a causa del sisma.

Nel caso di oscillatore elastoplastico reale questa risposta non è possibile ed il rapporto:

$$\rho = x_{ep,max} / x_e$$

Rappresenta il **fattore di riduzione del terremoto** che a livello superficiale indica di quanto è necessario uscire dal campo elastico per resistere al sisma.



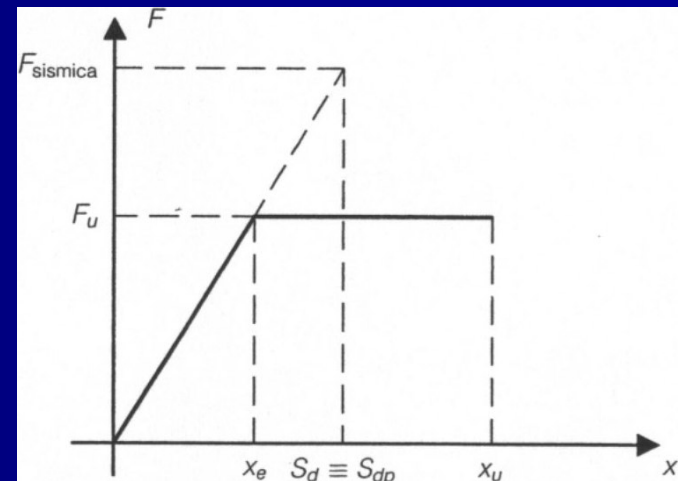
Duttilità e fattore di riduzione del terremoto

Ma con un'analisi più approfondita ρ indica di quanto ridurre gli spostamenti elastici ricavati dallo spettro di risposta delle accelerazioni e quindi di quanto ridurre le forze statiche equivalenti con cui fare le verifiche:

$$\rho = \frac{x_{ep,MAX}}{x_e} = \frac{kx_{ep,MAX}}{kx_e} = \frac{F_{sismica}}{F_u} = \frac{M\ddot{x}_{ep,MAX}}{M\ddot{x}_e} = \frac{\ddot{x}_{ep,MAX}}{\ddot{x}_e}$$

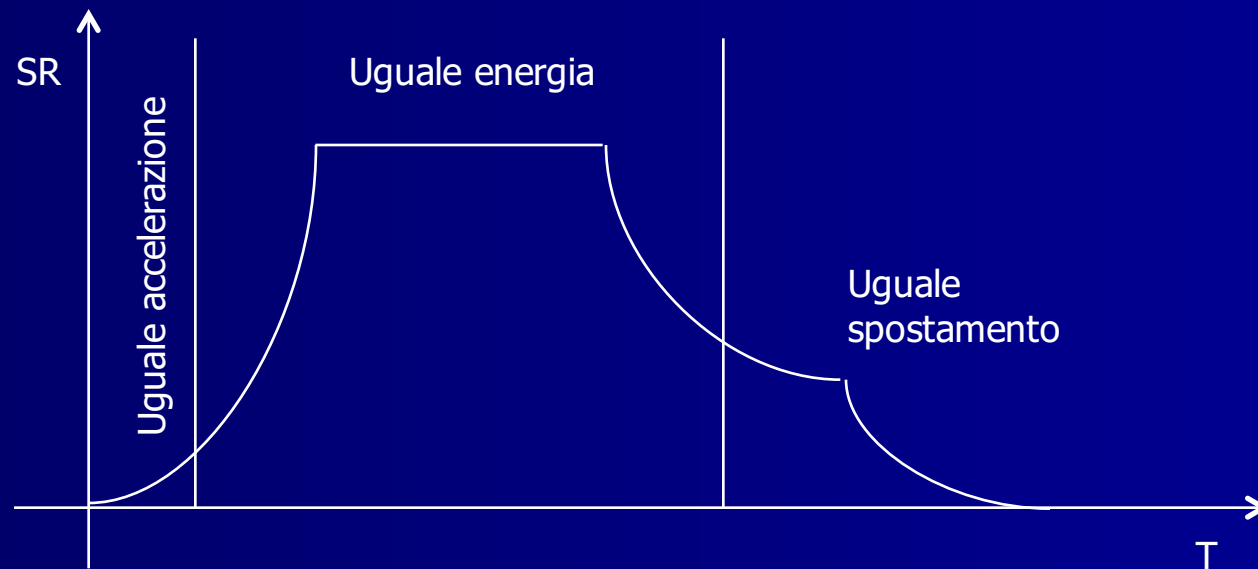
Si chiama appunto fattore di riduzione poiché è la quantità per cui dividere lo SR elastico per fare in modo che sotto il terremoto di progetto l'oscillatore elastoplastico raggiunga il limite elastico senza superarlo.

Tale fattore di riduzione risulta strettamente correlato alla duttilità strutturale, ma il legame in forma chiusa non è ricavabile per tutti i casi possibili. Per questo motivo ci si accontenta di una formulazione approssimata.



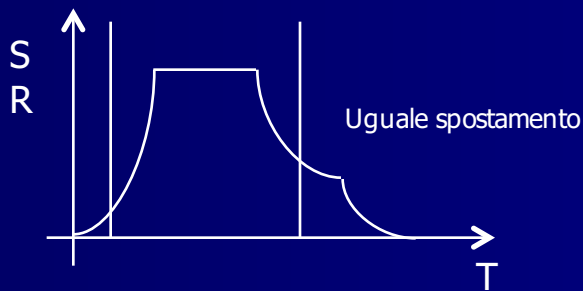
Duttilità e fattore di riduzione del terremoto

Distinguendo lo spettro di risposta in tre zone: uguale accelerazione, energia e spostamento si possono fare alcune considerazioni approssimate.



Duttività e fattore di riduzione del terremoto: Uguale spostamento

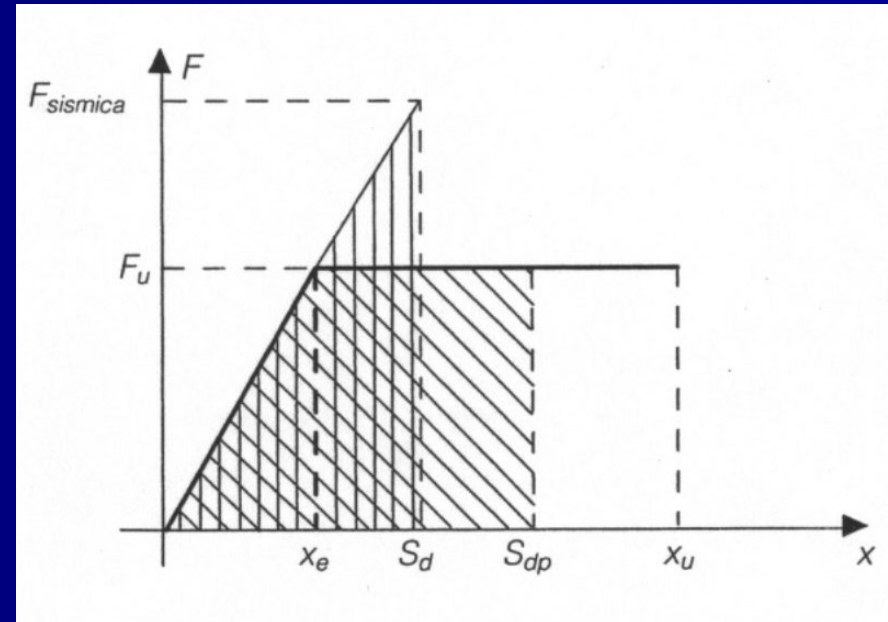
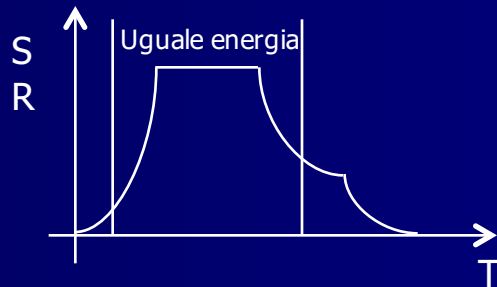
Nella zona di uguale spostamento ci troviamo nelle parti di spettro con periodi più alti in cui lo spostamento massimo dell'oscillatore coincide con lo spostamento massimo del terreno.



Grosso modo il valore del fattore di riduzione coincide con il valore della duttilità dell'oscillatore:
 $\rho = \mu = x_u / x_e$

Duttilità e fattore di riduzione del terremoto: Uguale energia

Nella zona di uguale energia si sfrutta l'ipotesi che l'energia fornita dal terremoto debba essere pari a quella necessaria per arrivare al massimo spostamento dell'oscillatore:



(Immagine tratta da Carbone op.cit)

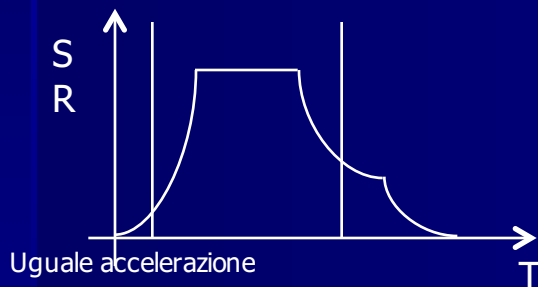
$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (F_{sismica} - F_u) (x_{ep,MAX} - x_e) &= F_u (x_u - x_e) = \\ &= \frac{1}{2} k (x_{ep,MAX} - x_e)^2 = k x_e (x_u - x_e) = \\ &= \frac{1}{2} \frac{k}{x_e^2} (x_{ep,MAX} - x_e)^2 = \frac{k x_e}{x_e^2} (x_u - x_e) = \\ &= \rho^2 = 2\mu - 1 \Rightarrow \rho = \sqrt{2\mu - 1} \end{aligned}$$

$$\rho = \sqrt{2\mu - 1}$$

Duttilità e fattore di riduzione del terremoto: Uguale accelerazione

Nella zona di uguale accelerazione lo spettro di risposta converge per ogni oscillatore e la massima accelerazione coincide con quella del terreno.

In questa zona dello specchio non vi è correlazione tra fattore di riduzione e duttilità.



Pertanto in questa zona dello spettro si assume che $\rho=0$. È molto raro comunque che un edificio venga progettato per stare in questa zona dello SR, infatti strutture con alti valori di rigidezza che rispondono in campo elastico al sisma hanno altissimi costi di realizzazione e di manutenzione.

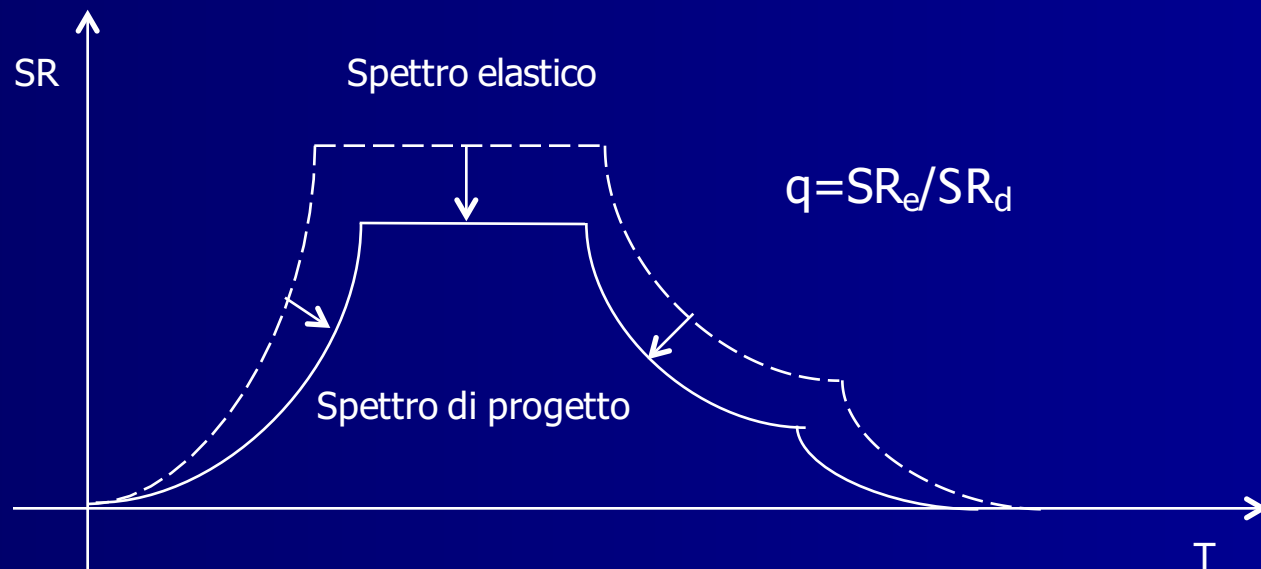
Il fattore di riduzione del terremoto è strettamente legato alle caratteristiche di duttilità della struttura, quindi può essere visto come una caratteristica della struttura stessa.

Nella normativa italiana si assume in via semplificativa che il fattore di riduzione sia pari al fattore di struttura:

$$q = \rho$$

Il fattore di struttura è il fattore di riduzione che permette di ottenere gli spettri di progetto (riferiti ad un oscillatore a comportamento anelastico) da quelli degli spettri di risposta elastici (riferiti ad un oscillatore a comportamento elastico lineare).

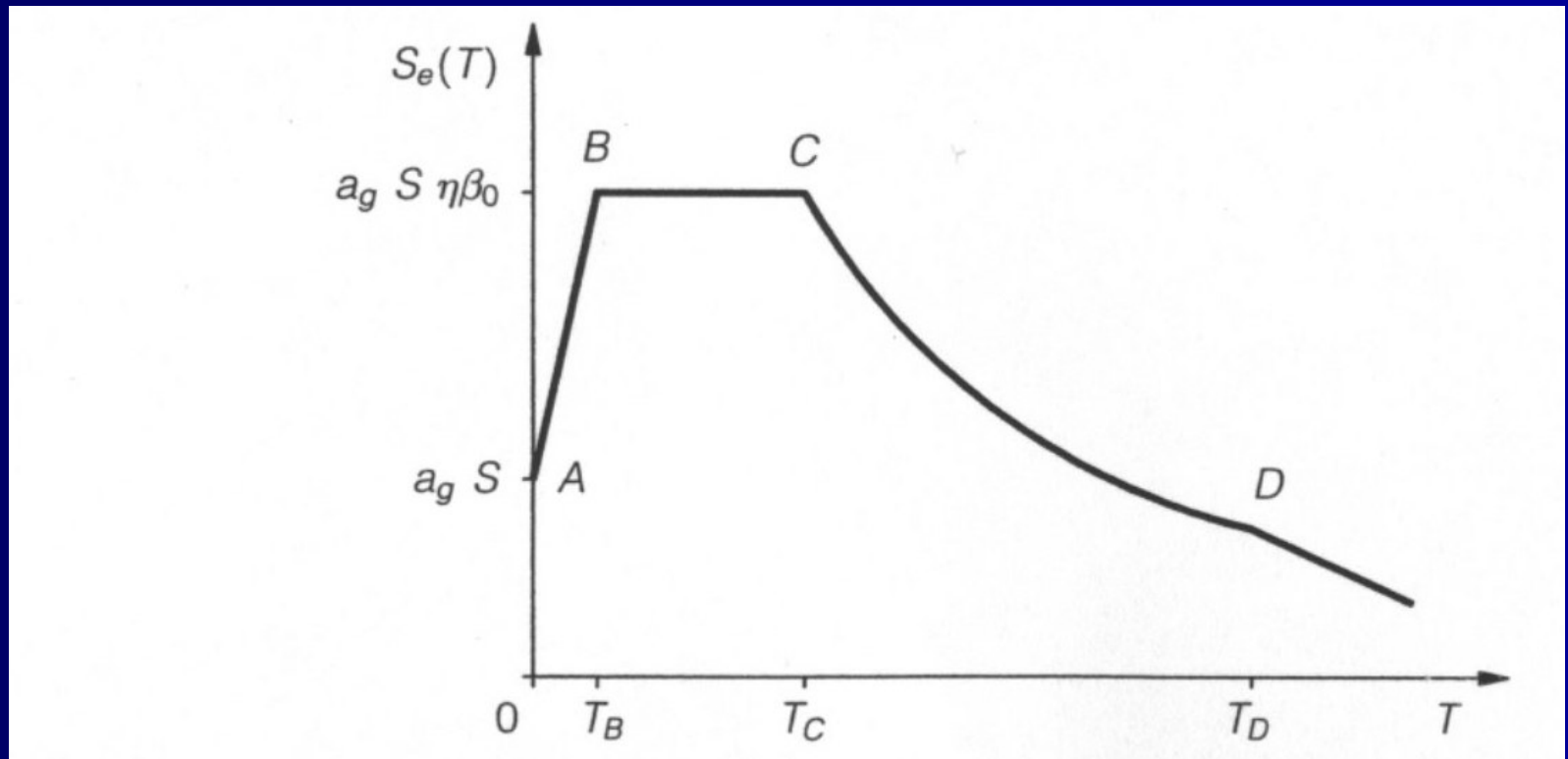
Spettri di risposta elastici e di progetto



Il fattore di struttura è il fattore di riduzione che permette di ottenere gli spettri di progetto (riferiti ad un oscillatore a comportamento anelastico) da quelli degli spettri di risposta elastici (riferiti ad un oscillatore a comportamento elastico lineare).

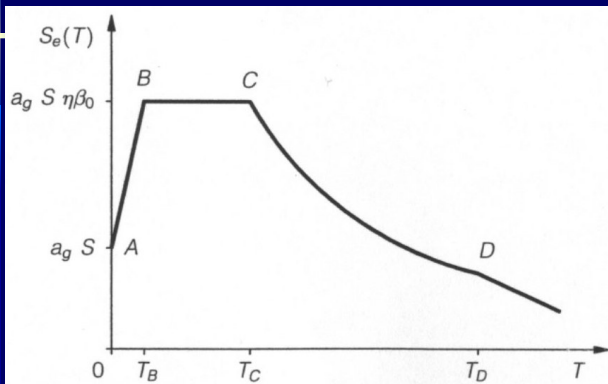
Spettri di risposta nella normativa italiana

-DM 14/01/08 cap. 3



(Immagine tratta da Carbone op.cit)

Spettri di risposta nella normativa italiana: spettro risposta elastico componente orizzontale



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

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

$$S = S_S \cdot S_T, \quad (3.2.5)$$

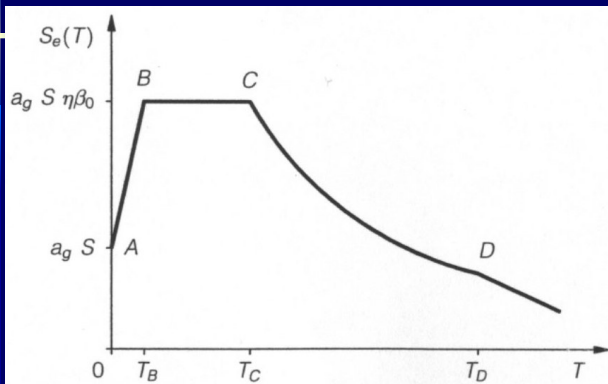
essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.V) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.VI);

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

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

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

Spettri di risposta nella normativa italiana: spettro risposta elastico componente orizzontale



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

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

$$T_C = C_C \cdot T_C^*, \quad (3.2.7)$$

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

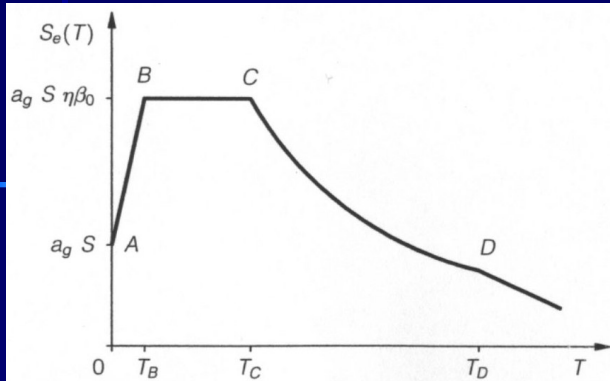
T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$$T_B = T_C / 3, \quad (3.2.8)$$

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

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

Spettri di risposta nella normativa italiana: spettro risposta elastico componente orizzontale



$$0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Amplificazione stratigrafica

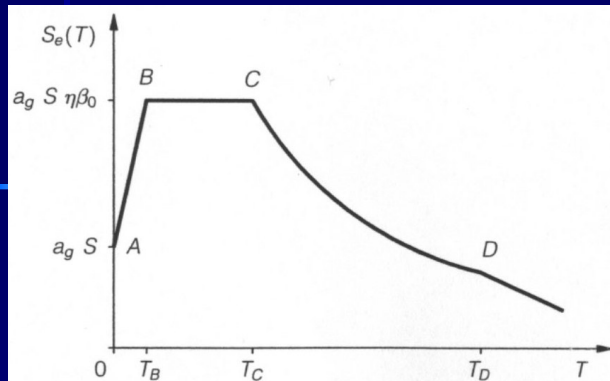
Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_S e C_C valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Spettri di risposta nella normativa italiana: spettro risposta elastico componente orizzontale



$$0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario.

Riferimenti bibliografici e iconografici

- M. Como, *Statica delle costruzioni storiche in muratura. Archi, volte, cupole, architetture monumentali, edifici sotto carichi verticali e sotto sisma*, Aracne: Roma, 2010.
- California Building Code, Title 24, Part 2 (First Printing), 2007.
- I.V. Carbone, A. Fiore, G. Pistone, *Le costruzioni in muratura*, Hoepli: Milano, 2001.
- R. W. Clough, J. Penzien, *Dynamics of structures*, McGraw-Hill: New York, 1975³.
- D.M. 14/01/2008, Norme tecniche per le costruzioni.
- F. Iacobelli, *Progetto e verifica delle costruzioni in muratura in zona sismica*, EPC Libri: Roma, 2006⁴
- S. Sbacchis, *Elementi strutturali negli edifici in muratura*, Grafill editoria tecnica, Palermo 2001.