

Lezione

PONTI E GRANDI STRUTTURE

Prof. Pier Paolo Rossi

Università degli Studi di Catania

Azione sismica

Spettri di risposta elastica

D.M. 14/01/2008

Pericolosità sismica di base

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), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento V_R .

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Valutazione della pericolosità sismica

Gli spettri di normativa sono definiti su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione di tre parametri fondamentali

a_g

Accelerazione orizzontale massima del terreno

F_o

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

Periodo di ritorno del sisma

Le forme spettrali di normativa sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento.

Occorre pertanto fissare:

1. Vita di riferimento della costruzione
2. Probabilità di superamento dell'accelerazione al suolo di progetto in detto intervallo di tempo.



La vita di riferimento della costruzione e la probabilità di superamento dell'accelerazione al suolo sono più sinteticamente considerate mediante il periodo di ritorno T_R dell'azione sismica:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Reticolo e intervallo di riferimento

Al fine di valutare a_g , F_0 e T_C^* è definito sul territorio italiano un reticolo di riferimento in cui i punti contigui presentano distanze non superiori a 10 km. Ogni punto del reticolo è individuato mediante le sue coordinate geografiche (longitudine e latitudine).

Nella tabella 1 delle Norme Tecniche per le Costruzioni sono definiti i valori di a_g , F_0 e T_C^* per ciascun punto del reticolo e per nove valori del periodo di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni).

L'intervallo di riferimento è pertanto compreso tra 30 e 2475 anni.

ID	LON	LAT	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$		
			a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*
13111	6.5448	45.134	0.263	2.50	0.18	0.340	2.51	0.21	0.394	2.55	0.22	0.469	2.49	0.24	0.545	2.50	0.24
13333	6.5506	45.085	0.264	2.49	0.18	0.341	2.51	0.21	0.395	2.55	0.22	0.469	2.49	0.24	0.543	2.50	0.24
13555	6.5564	45.035	0.264	2.50	0.18	0.340	2.51	0.20	0.393	2.55	0.22	0.466	2.50	0.24	0.540	2.51	0.24
13777	6.5621	44.985	0.263	2.50	0.18	0.338	2.52	0.20	0.391	2.55	0.22	0.462	2.51	0.24	0.535	2.51	0.24
12890	6.6096	45.188	0.284	2.46	0.19	0.364	2.51	0.21	0.431	2.50	0.22	0.509	2.48	0.24	0.585	2.50	0.24
13112	6.6153	45.139	0.286	2.46	0.19	0.366	2.51	0.21	0.433	2.50	0.22	0.511	2.48	0.24	0.586	2.50	0.25
13334	6.621	45.089	0.288	2.46	0.19	0.367	2.51	0.21	0.434	2.50	0.22	0.511	2.49	0.24	0.586	2.51	0.25
13556	6.6268	45.039	0.288	2.46	0.19	0.367	2.51	0.21	0.433	2.51	0.22	0.510	2.49	0.24	0.584	2.51	0.25

Pericolosità sismica nel sito

Per determinare nel sito di costruzione i valori di a_g , F_0 e T_C^* corrispondenti al desiderato periodo di ritorno del terremoto occorre dapprima determinare il valore assunto dai parametri in oggetto in ciascuno dei nodi del riquadro del reticolo in cui ricade il sito in esame.

In ciascun nodo i valori corrispondenti al desiderato periodo di ritorno del terremoto andranno valutati per interpolazione tra quelli relativi ai periodi di ritorno considerati nella tabella 1 e immediatamente superiori ed inferiori a quelli di interesse per il progetto.

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

in cui p è il generico parametro (a_g , F_0 o T_C^*) da valutare.

Pericolosità sismica nel sito

Per un punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida, Capri gli spettri di risposta sono definiti in base a valori di a_g , F_0 e T_c^* uniformi su tutto il territorio di ciascuna isola.

Vita nominale della costruzione

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere deve essere precisata nei documenti di progetto.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

¹. Le verifiche sismiche di strutture provvisorie o in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni

Classi d'uso della costruzione

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso :

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso <i>III</i> o in Classe d'uso <i>IV</i> , reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso <i>IV</i> . Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Periodo di riferimento azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni

Stati limite d'esercizio

Definizione

Gli stati limite sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Stato limite	Descrizione
OPERATIVITA'	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;
DANNO	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.

Stati limite ultimi

Definizione

Stato limite	Descrizione
SALVAGUARDIA DELLA VITA	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 rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
PREVENZIONE DEL COLLASSO	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.

Probabilità di superamento

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

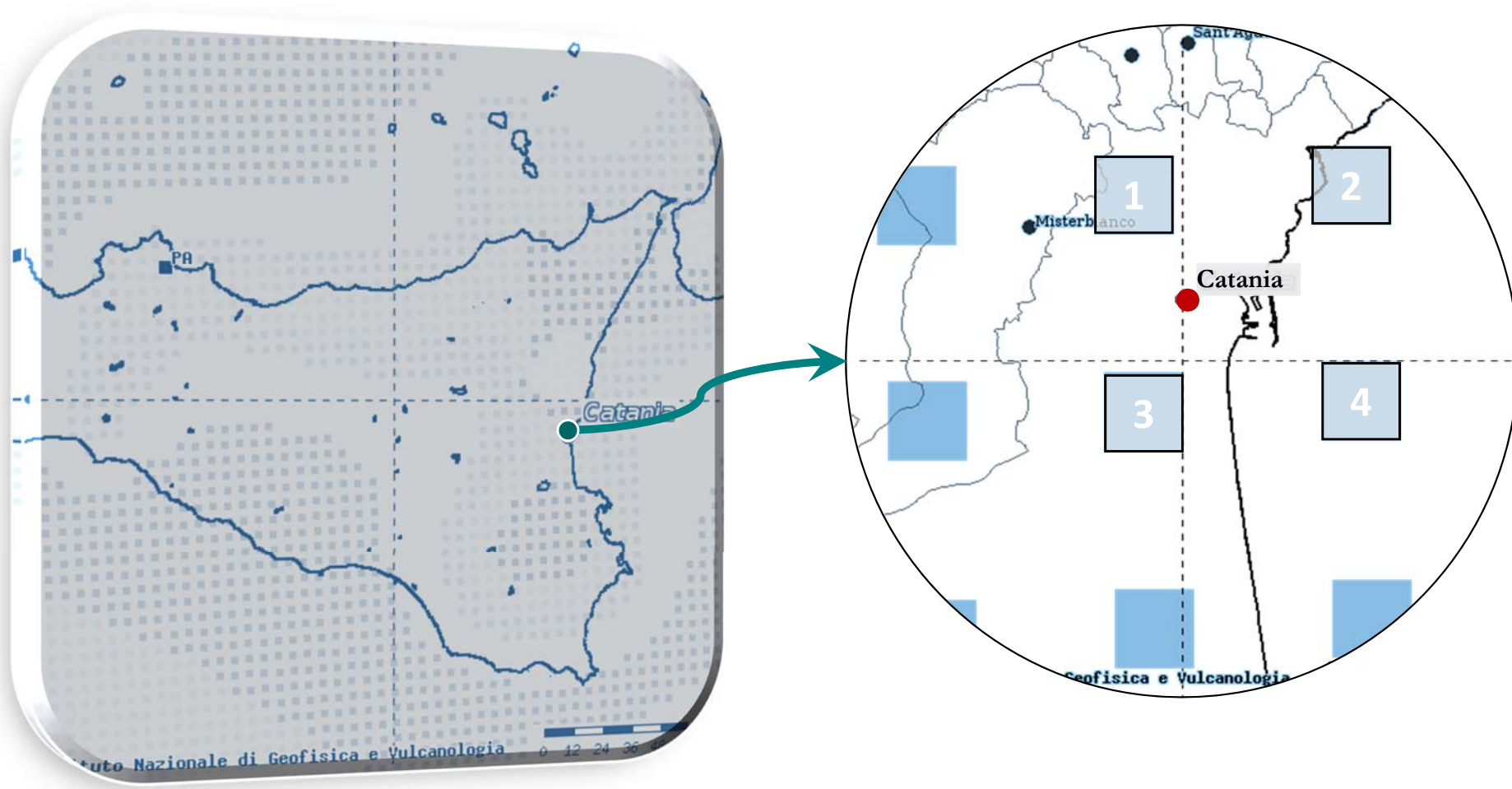
STATI LIMITE	P_{VR}	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

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

Esempio di calcolo dell'accelerazione al suolo D.M. 14/01/2008

Reticolo di riferimento

Particolare della zona di Catania



Dati di riferimento

Città di Catania

T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_C^* (s)
30	0.063	2.553	0.245
50	0.077	2.547	0.263
72	0.089	2.517	0.277
101	0.103	2.514	0.285
140	0.119	2.464	0.294
201	0.140	2.464	0.313
475	0.207	2.459	0.358
975	0.284	2.426	0.442
2475	0.443	2.380	0.530

Periodo di ritorno azione sismica

Vita nominale della costruzione = 50 anni

Classe d'uso della costruzione = 4

Periodo di riferimento della costruzione = 100
anni

PERIODO DI RITORNO PER LA DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

STATI LIMITE DI ESERCIZIO -
SLE

SLO $P_{VR} = 81 \%$

$T_R = 60$ anni

SLD $P_{VR} = 63 \%$

$T_R = 101$ anni

STATI LIMITE
ULTIMI - SLU

SLV $P_{VR} = 10 \%$

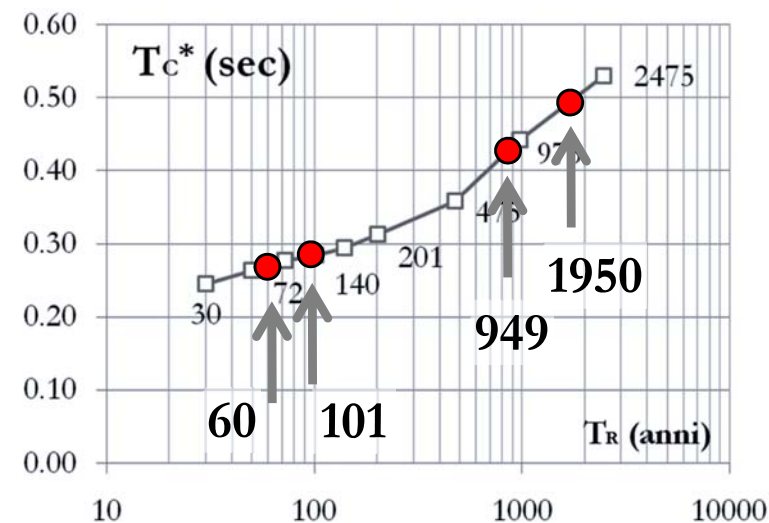
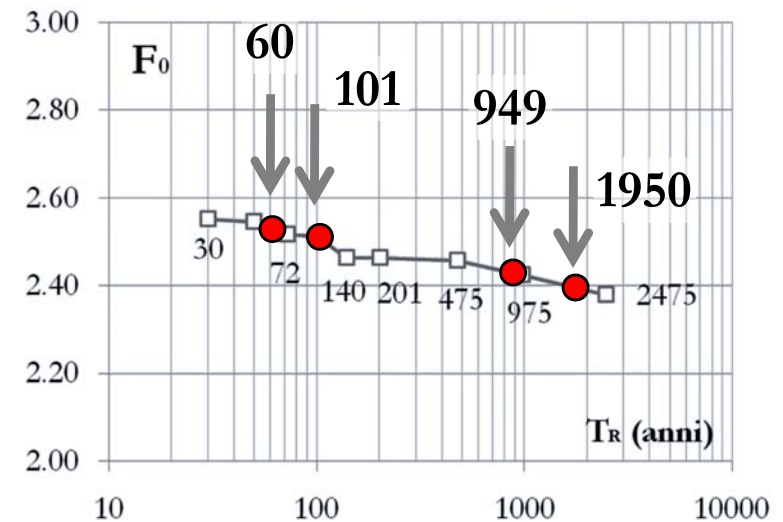
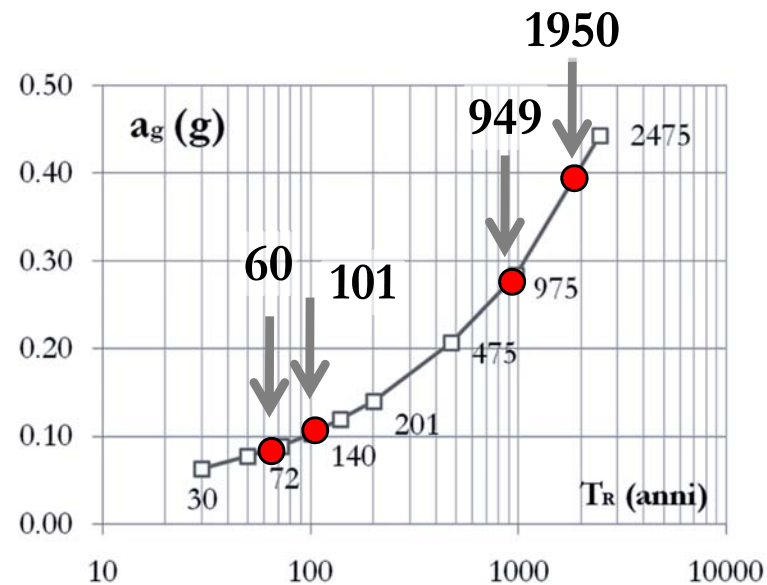
$T_R = 949$ anni

SLC $P_{VR} = 5 \%$

$T_R = 1950$ anni

Dati di riferimento

Città di Catania



	a_g (g)	F_0	T_c^* (s)
SLO	0.083	2.532	0.270
SLD	0.103	2.514	0.285
SLV	0.281	2.427	0.439
SLC	0.395	2.392	0.506

Classificazione del sottosuolo

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.

¹. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso

Classificazione del sottosuolo

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 $N_{SPT,30}$ nei terreni prevalentemente a grana grossa
- della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ nei terreni prevalentemente a grana fina.

Classificazione del sottosuolo

Velocità equivalente delle onde di taglio	$V_{s,30}$	$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} [\text{m/s}]$
Resistenza penetrometrica dinamica equivalente	$N_{\text{SPT},30}$	$V_{\text{SPT},30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{V_{\text{SPT},i}}} [\text{m/s}]$
Resistenza non drenata equivalente	$c_{u,30}$	$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}} [\text{m/s}]$

Categorie di sottosuolo

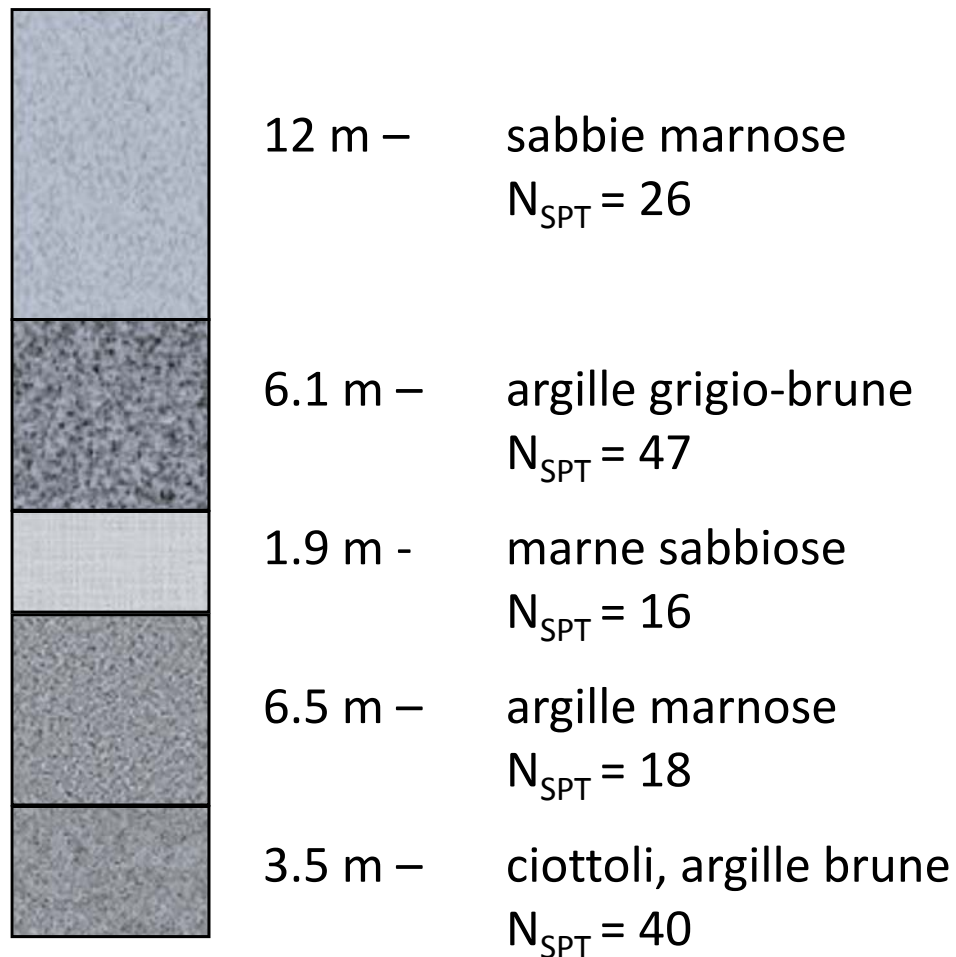
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina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

Categorie di sottosuolo

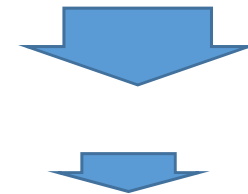
Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie **S1** ed **S2**, è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni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

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.

Esempio



$$N_{SPT} = \frac{30}{\frac{12}{26} + \frac{6.1}{47} + \frac{1.9}{16} + \frac{6.5}{18} + \frac{3.5}{40}}$$



$$N_{SPT} = 25.9$$

Si può considerare
suolo di tipo C, perché
 $15 < N_{SPT} < 50$

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:

T_1	Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T_2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T_3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T_4	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.

Descrizione del moto sismico

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 per le opere e i sistemi geotecnici la componente verticale verrà considerata ove espressamente specificato 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.

Spettro di risposta elastico

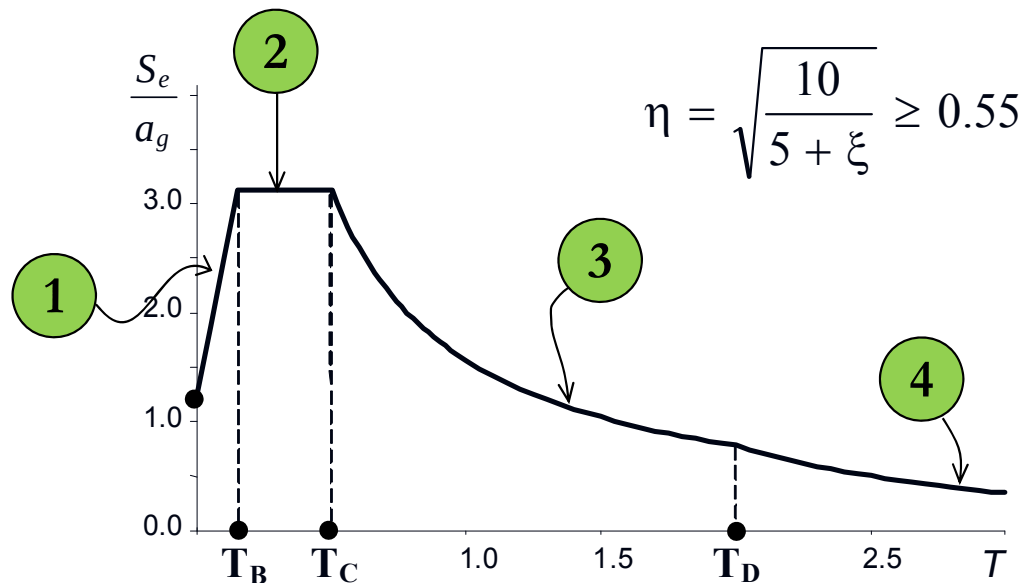
Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore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

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**.

Spettri di risposta di normativa

Accelerazioni orizzontali



Primo tratto –
andamento lineare

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

Secondo tratto –
costante

$$S_e = a_g S \eta F_o$$

Quarto tratto –
decrescente (con $1/T^2$)

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

Terzo tratto – decrescente
(con $1/T$)

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

Spettri di risposta di normativa

Accelerazioni orizzontali

- S** coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:

$$S = S_s S_T$$

dove S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e
 S_T è il coefficiente di amplificazione topografica;

- η** fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione seguente:

$$\eta = [10/(5 + \xi)]^{0.5} \geq 0,55$$

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

- F_o** fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

Spettri di risposta di normativa

Accelerazioni orizzontali

T_C periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, determinato mediante la relazione:

$$T_C = C_C T_C^*$$

T_B periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, determinato mediante la relazione:

$$T_B = T_C / 3$$

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

$$T_D = 4.0 \frac{a_g}{g} + 1.6$$

Amplificazione stratigrafica

CATEGORIA SUOLO	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40F_0 a_g / g \leq 1.20$	$1.10(T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60F_0 a_g / g \leq 1.50$	$1.25(T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50F_0 a_g / g \leq 1.80$	$1.05(T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10F_0 a_g / g \leq 1.60$	$1.15(T_C^*)^{-0.40}$

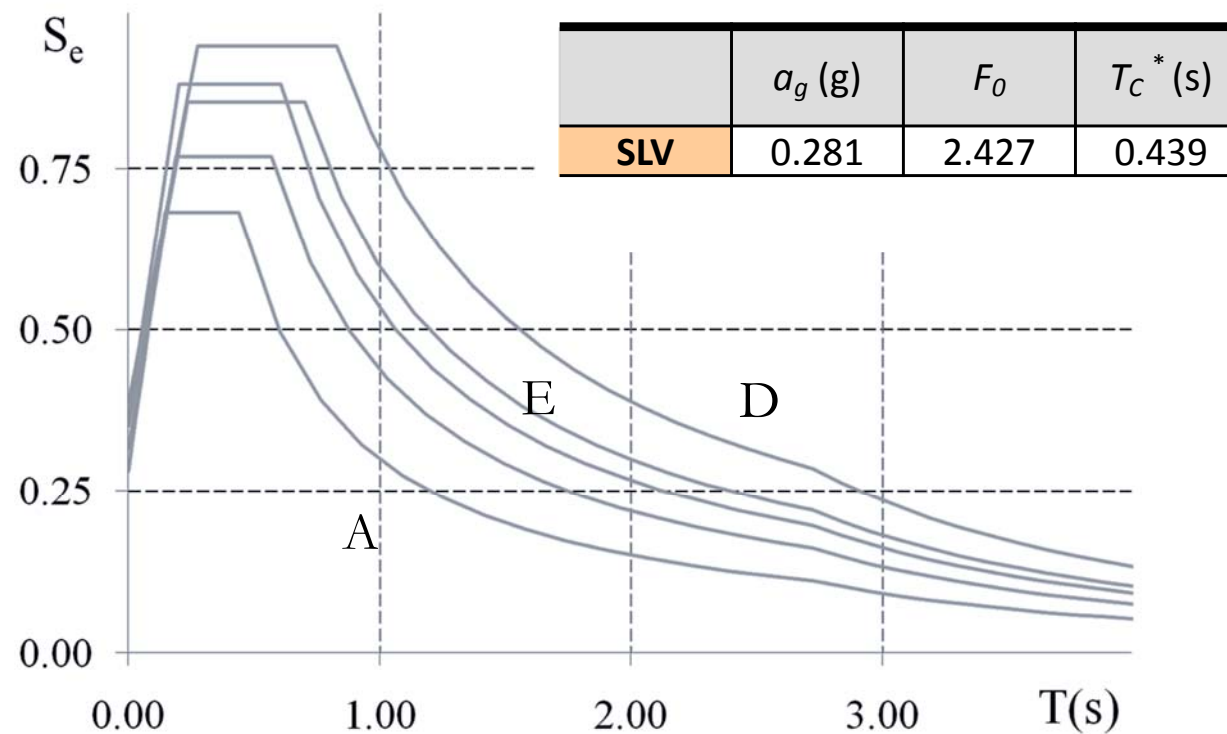
Amplificazione topografica

CATEGORIA TOPOGRAFICA	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T_1	-	1.0
T_2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T_3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T_4	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.

Spettri di risposta di normativa

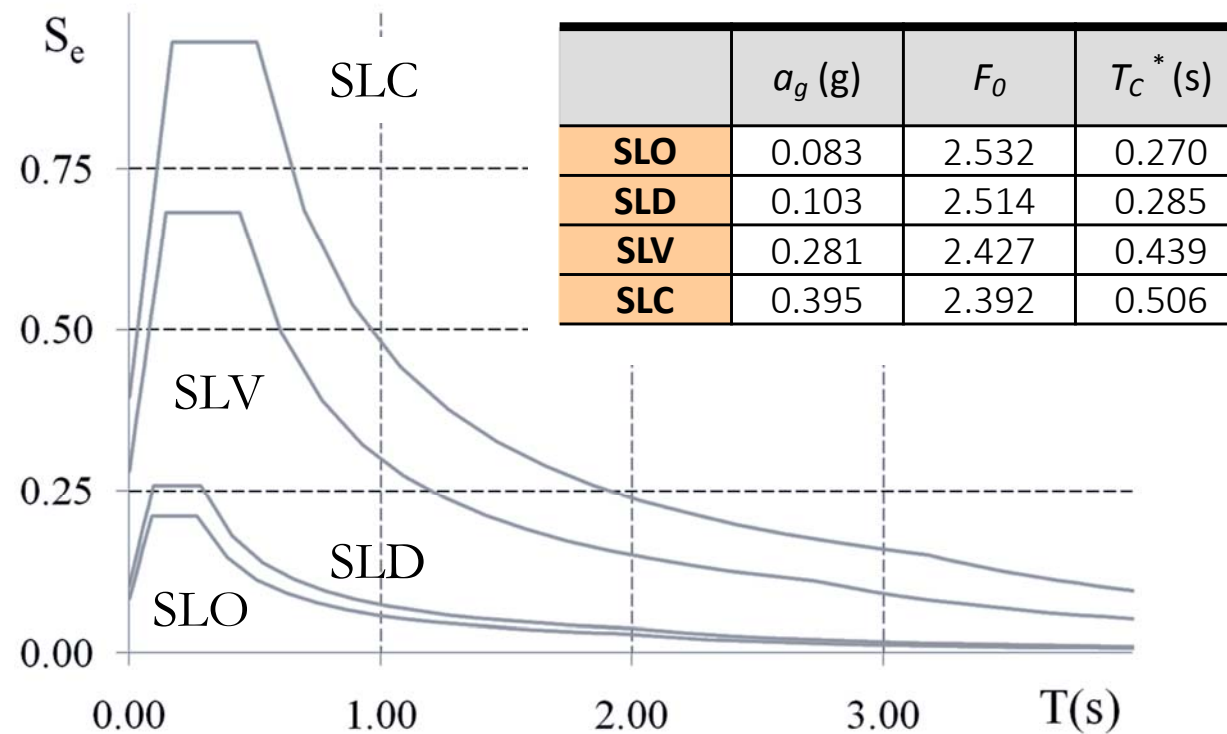
Accelerazioni orizzontali al variare del sottosuolo



Spettri di risposta di normativa

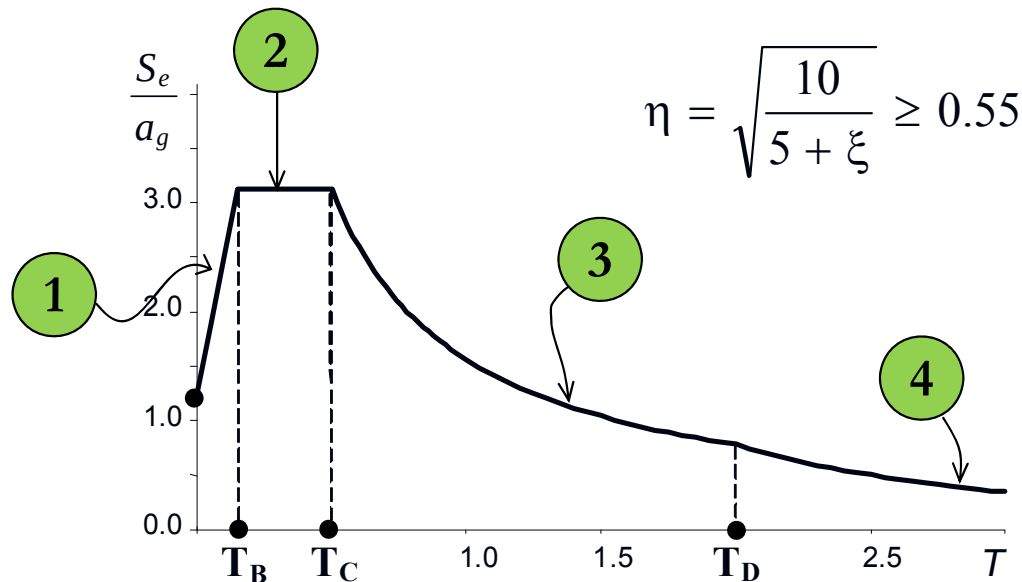
Accelerazioni orizzontali al variare del periodo di ritorno

Sottosuolo tipo A



Spettri di risposta di normativa

Accelerazioni verticali



Primo tratto –
andamento lineare

$$S_{ve} = a_g S \eta F_v \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

Secondo tratto –
costante

$$S_{ve} = a_g S \eta F_v$$

Quarto tratto – decrescente
(con $1/T^2$)

$$S_{ve} = a_g S \eta F_v \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Terzo tratto – decrescente
(con $1/T$)

$$S_{ve} = a_g S \eta F_v \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

Spettri di risposta di normativa

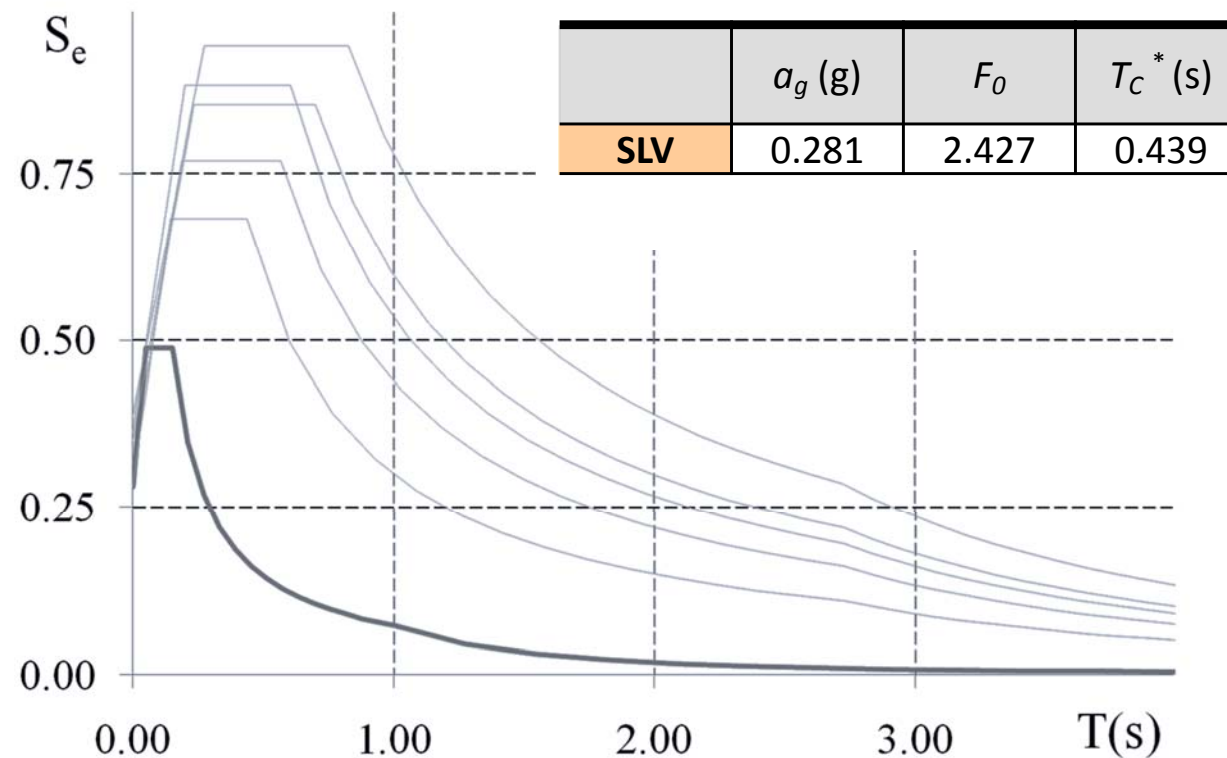
Accelerazioni verticali

$$F_v = 1.35 F_o \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0.5}$$

CATEGORIA SUOLO	S_S	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1.0	0.05 s	0.15 s	1.0 s

Spettri di risposta di normativa

Accelerazioni orizzontali e verticali



Spettri di risposta di normativa

Accelerazioni verticali

La componente verticale dell'azione sismica deve essere considerata solo in presenza di :

- elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m
- elementi precompressi (con esclusione dei solai di luce inferiore a 8 m)
- elementi a mensola di luce superiore a 4 m
- strutture di tipo spingente
- pilastri in falso
- edifici con piani sospesi
- ponti
- costruzioni con isolamento

e purché il sito di costruzione non ricada in zona 3 o 4.

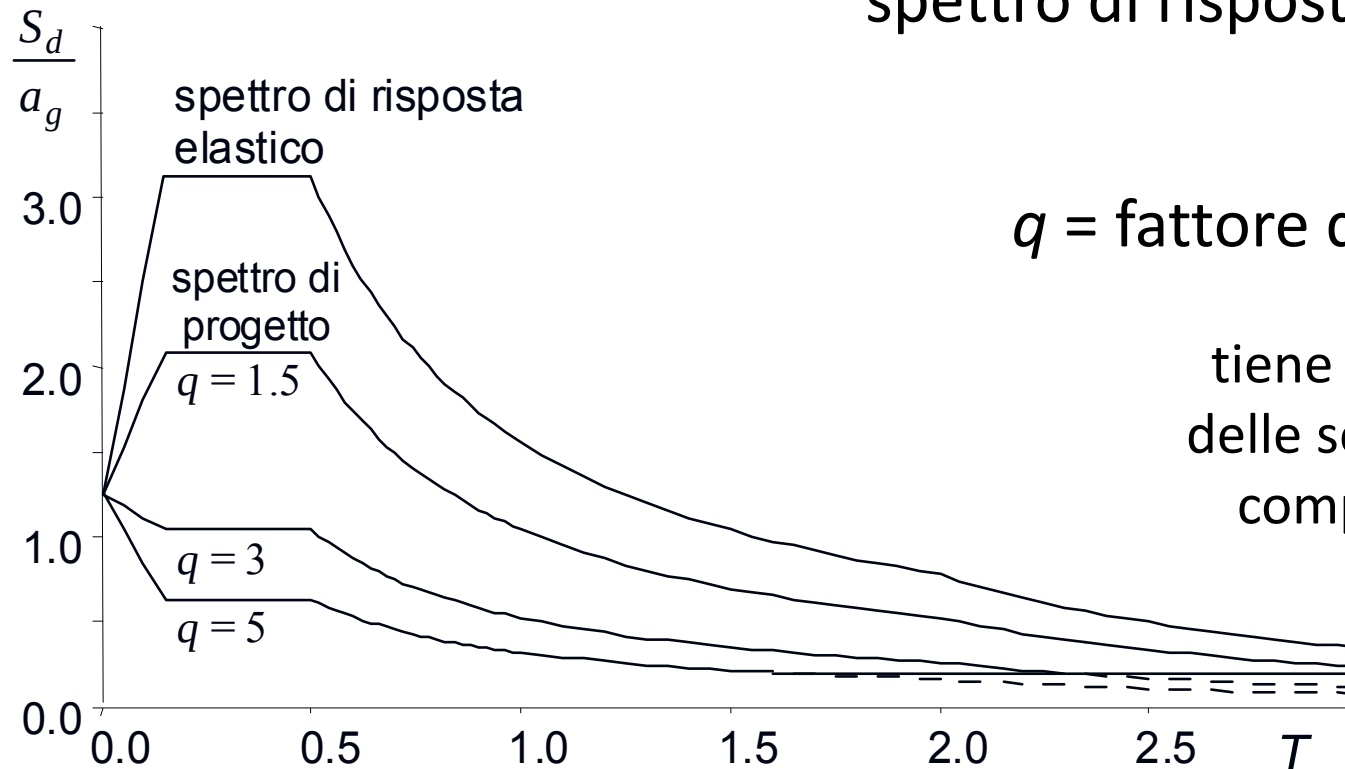
Spettri di progetto per SLU D.M. 14/01/2008

Spettri di progetto di normativa

Componente orizzontale

Le ordinate dello spettro di progetto sono ottenute dividendo quelle dello spettro di risposta elastica per un

fattore q



q = fattore di struttura

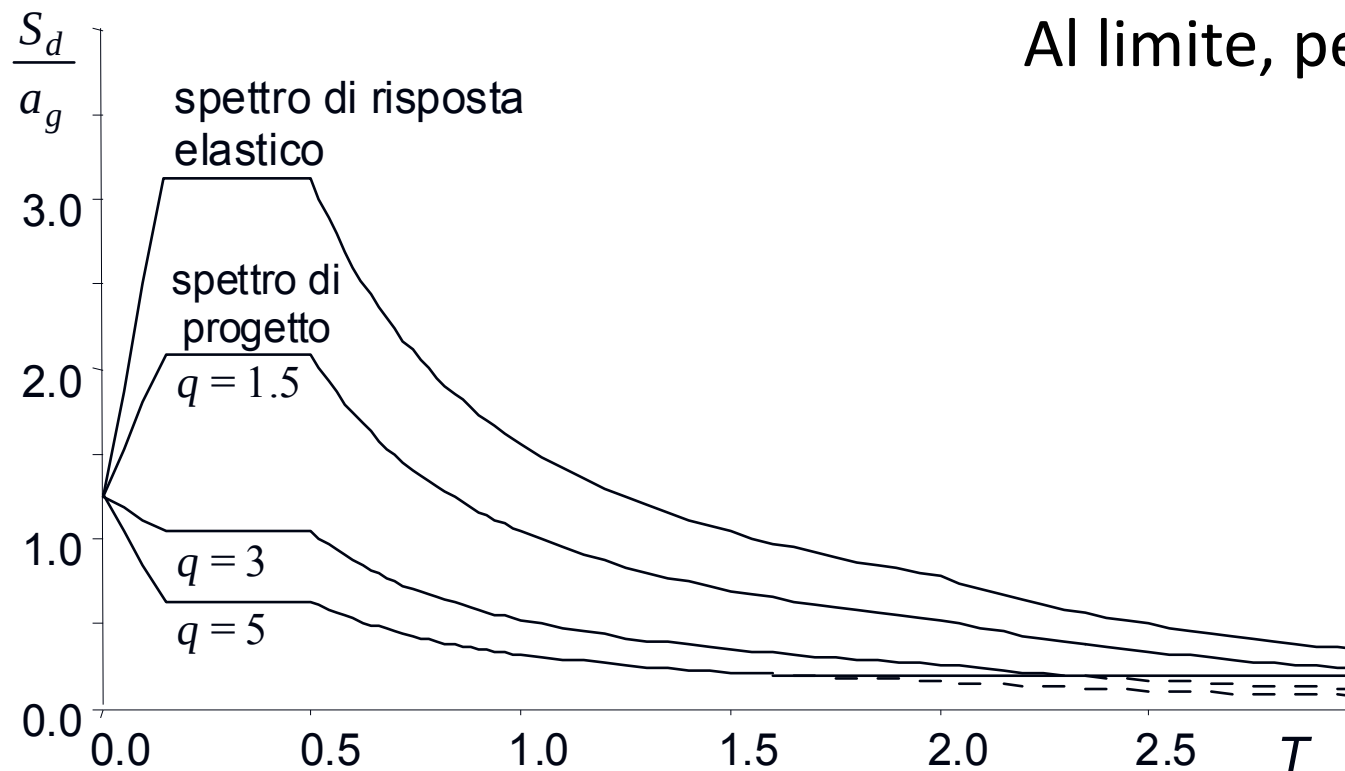
tiene conto della duttilità delle sezioni ma anche del comportamento globale

Spettri di progetto di normativa

Componente orizzontale

Per periodi molto bassi la
riduzione è minore.

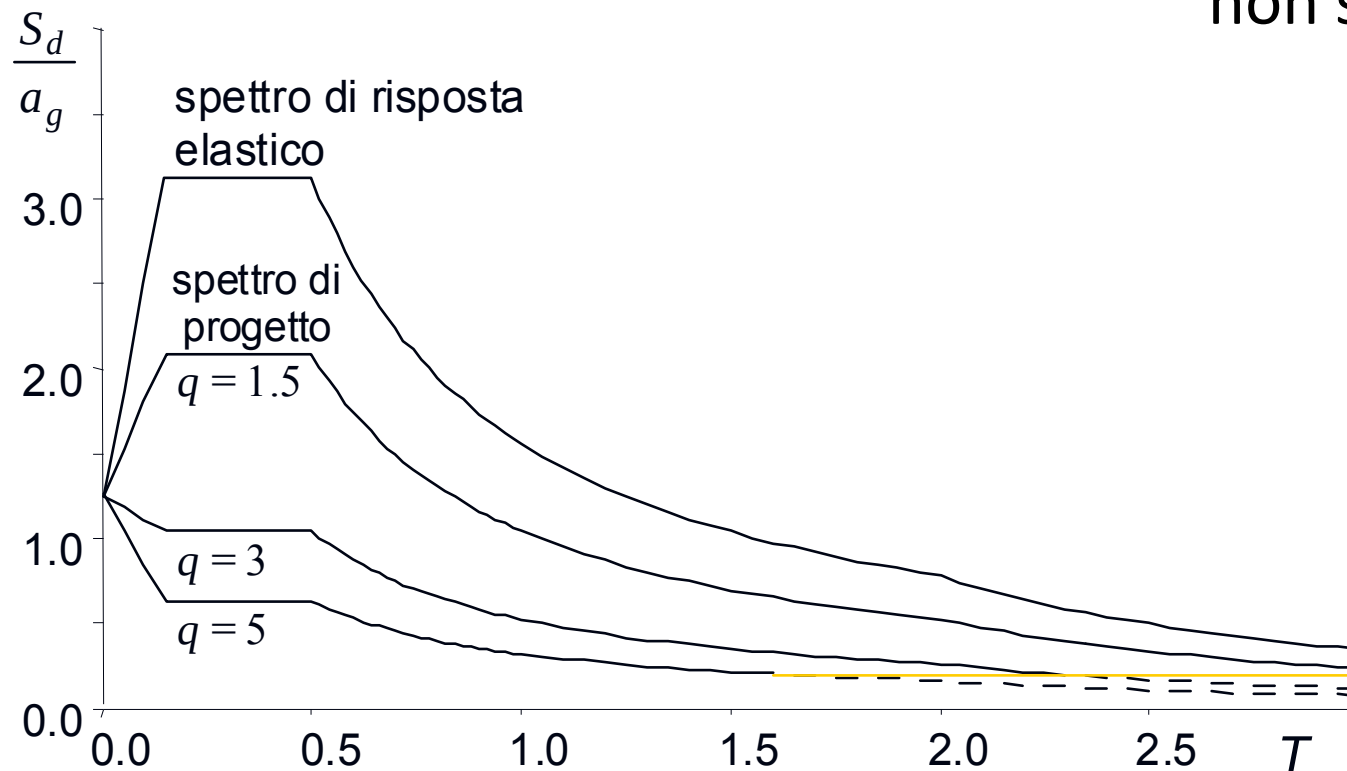
Al limite, per $T = 0$ non si ha
alcuna riduzione



Spettri di progetto di normativa

Componente orizzontale

Per periodi alti vi è un
limite al di sotto del quale
non scendere ($0.2 a_g$)



Spettri di progetto di normativa

Componente verticale

Per la componente verticale dell'azione sismica il valore di q utilizzato, a meno di adeguate analisi giustificative, è

$$q = 1,5$$

per qualunque tipologia strutturale e di materiale,

tranne che per i ponti per i quali è $q = 1$.

Il valore basso del fattore di struttura associato alla componente verticale è giustificato dalla modesta quantità di energia dissipata durante le oscillazioni verticali delle strutture .

Accelerogrammi artificiali o simulati

Entrambi gli stati limite ultimo e di danno potranno essere verificati mediante l'uso di accelerogrammi artificiali o simulati o naturali.

- 1.** L'azione sismica deve essere rappresentata da gruppi di tre accelerogrammi diversi agenti contemporaneamente nelle tre direzioni principali della struttura.
- 2.** 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.

Accelerogrammi artificiali

- 3.** 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 del 5%.

Accelerogrammi artificiali

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 SLU, e $0,15 s \div 1,5 T$, per le verifiche agli SLE.

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.

Accelerogrammi

(EC8 1994)

- 2R.** When specific data are not available, the minimum duration T_s of the stationary part of the accelerograms for epicentral areas should be correlated to the value $\gamma_I a_g / g$ as indicated in Table 4.3

$\gamma_I a_g / g$	0.10	0.20	0.30	0.40
T_s	10 s	15 s	20 s	25 s

Accelerogrammi registrati

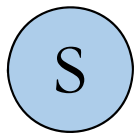
L'uso di accelerogrammi registrati è ammesso, a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente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

Accelerogrammi simulati

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.

Combinazione dell'azione sismica



Combinazione sismica

impiegata per gli stati limite ultimi e d'esercizio

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

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

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

dove :

per traffico normale e passerelle pedonali	$\psi_2 = 0$
per traffico pesante in ponti stradali	$\psi_2 = 0.2$
per traffico pesante in ponti ferroviari	$\psi_2 = 0.3$

Variabilità spaziale del moto

Nei punti di contatto con il terreno di opere con sviluppo longitudinale significativo, il moto sismico può avere caratteristiche differenti, a causa del carattere asincrono del fenomeno di propagazione, delle disomogeneità e discontinuità eventualmente presenti, e della diversa risposta locale del terreno. Degli effetti sopra indicati dovrà tenersi conto quando tali effetti possono essere significativi e in ogni caso quando le condizioni di sottosuolo siano così variabili lungo lo sviluppo dell'opera da richiedere l'uso di accelerogrammi o di spettri di risposta diversi.

Variabilità spaziale del moto

In assenza di modelli fisicamente più accurati e adeguatamente documentati, un criterio di prima approssimazione per tener conto della variabilità spaziale del moto consiste nel sovrapporre agli effetti dinamici, valutati ad esempio con lo spettro di risposta, gli effetti pseudo-statici indotti dagli spostamenti relativi.

Nel dimensionamento delle strutture in elevazione tali effetti possono essere trascurati quando il sistema fondazione-terreno sia sufficientemente rigido da rendere minimi gli spostamenti relativi. Negli edifici ciò avviene, ad esempio, quando si collegano in modo opportuno i plinti di fondazione.

Variabilità spaziale del moto

Nel caso in cui sia necessario valutare gli effetti della variabilità spaziale del moto richiamati nel paragrafo precedente, il valore dello spostamento relativo tra due punti i e j caratterizzati dalle proprietà stratigrafiche del rispettivo sottosuolo ed il cui moto possa considerarsi indipendente, può essere stimato secondo l'espressione seguente:

$$d_{ij\max} = 1.25\sqrt{d_{gi}^2 + d_{gj}^2}$$

dove d_{gi} e d_{gj} sono gli spostamenti massimi del suolo nei punti i e j , calcolati con riferimento alle caratteristiche locali del sottosuolo.

FINE