

Corso

Progetto di strutture in zona sismica

Catania

ottobre 2017 - gennaio 2018

09 - Spettri di risposta di normativa

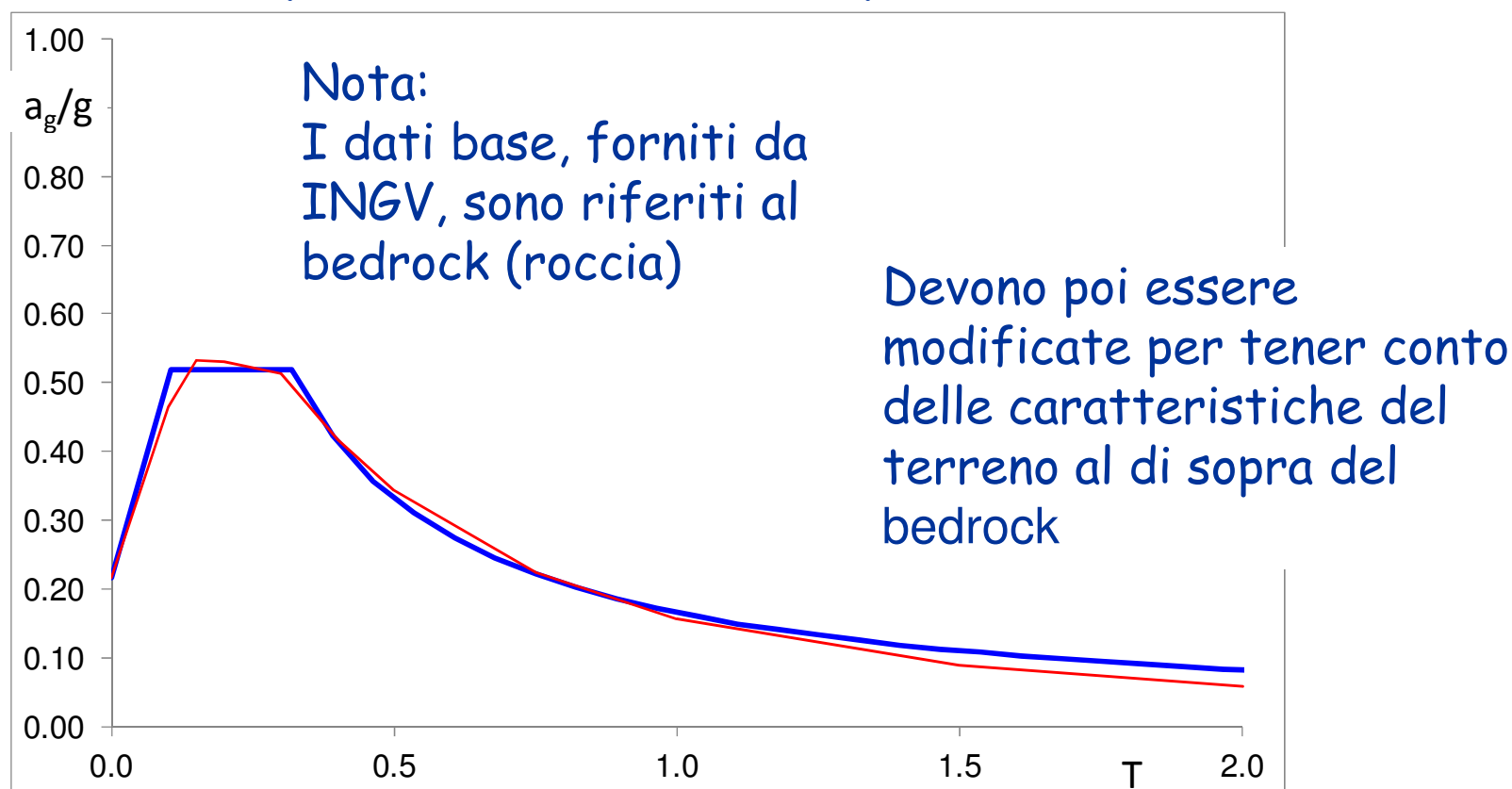
25 ottobre 2017

Aurelio Ghersi

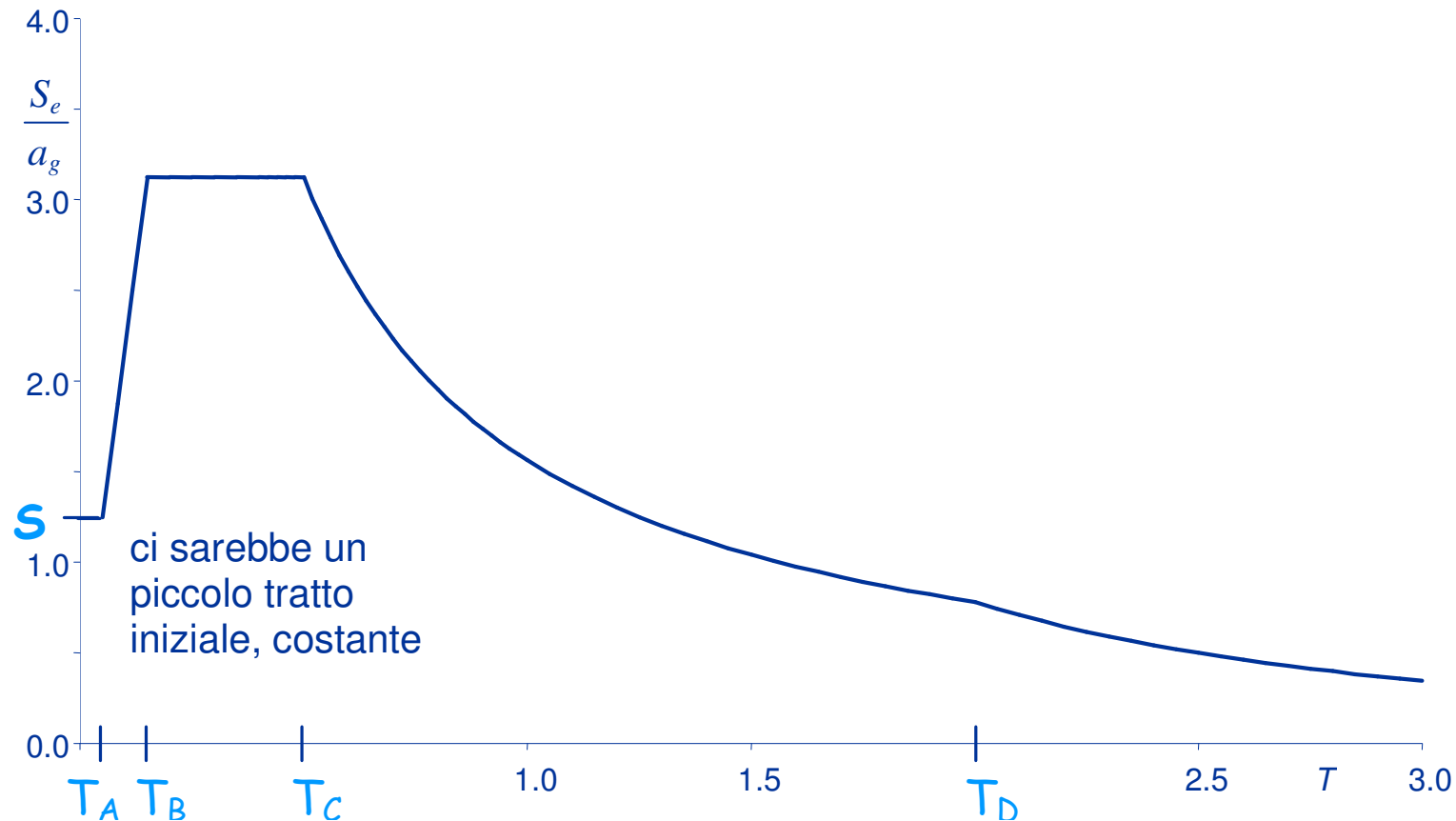
Spettri di risposta elastica
Norme Tecniche per le Costruzioni

Spettri di risposta elastica di normativa

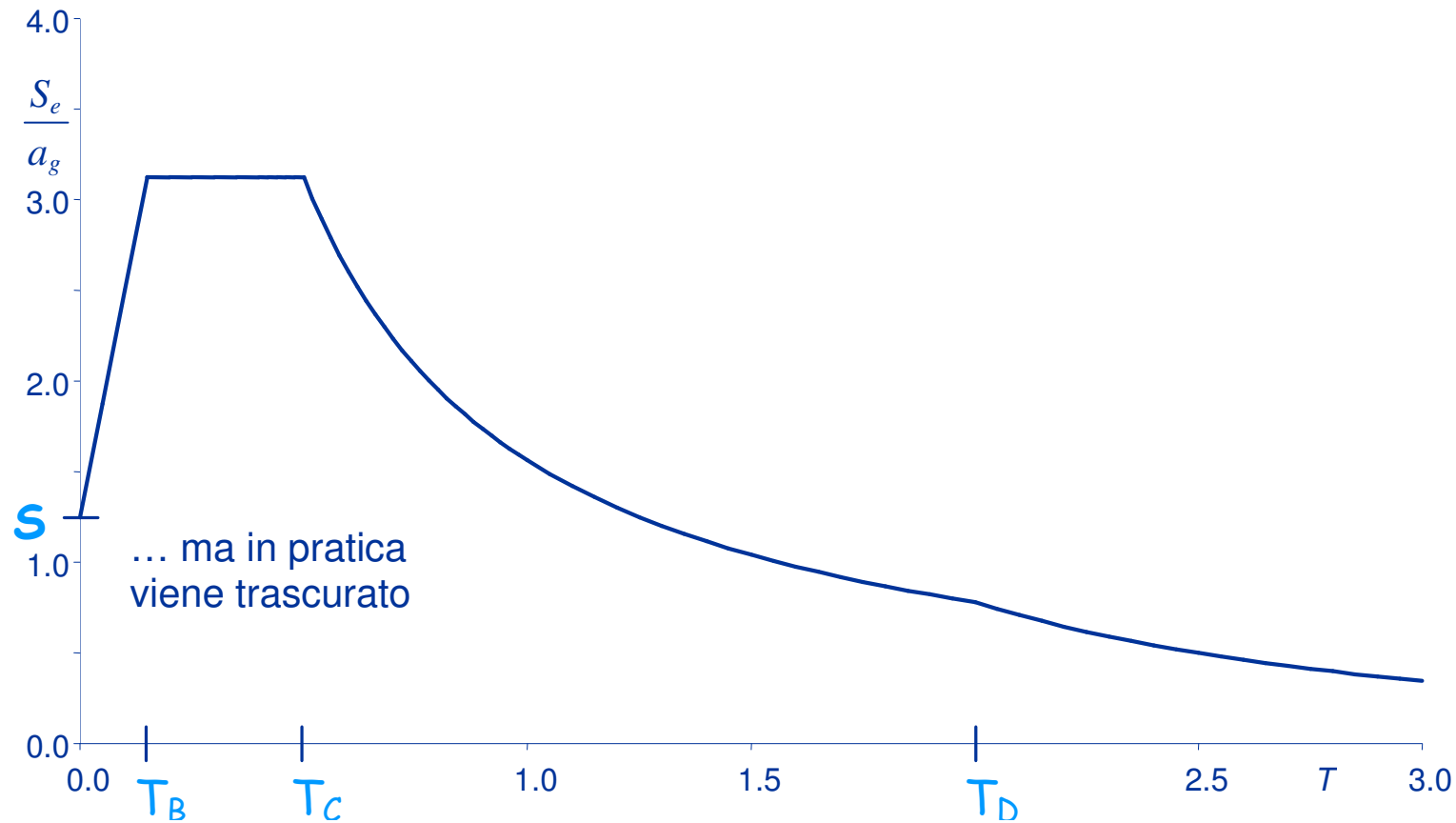
- La forma degli spettri mediani (linea rossa) è stata semplificata (linea blu) in modo da usare le stesse formule (con parametri diversi) per tutti i siti



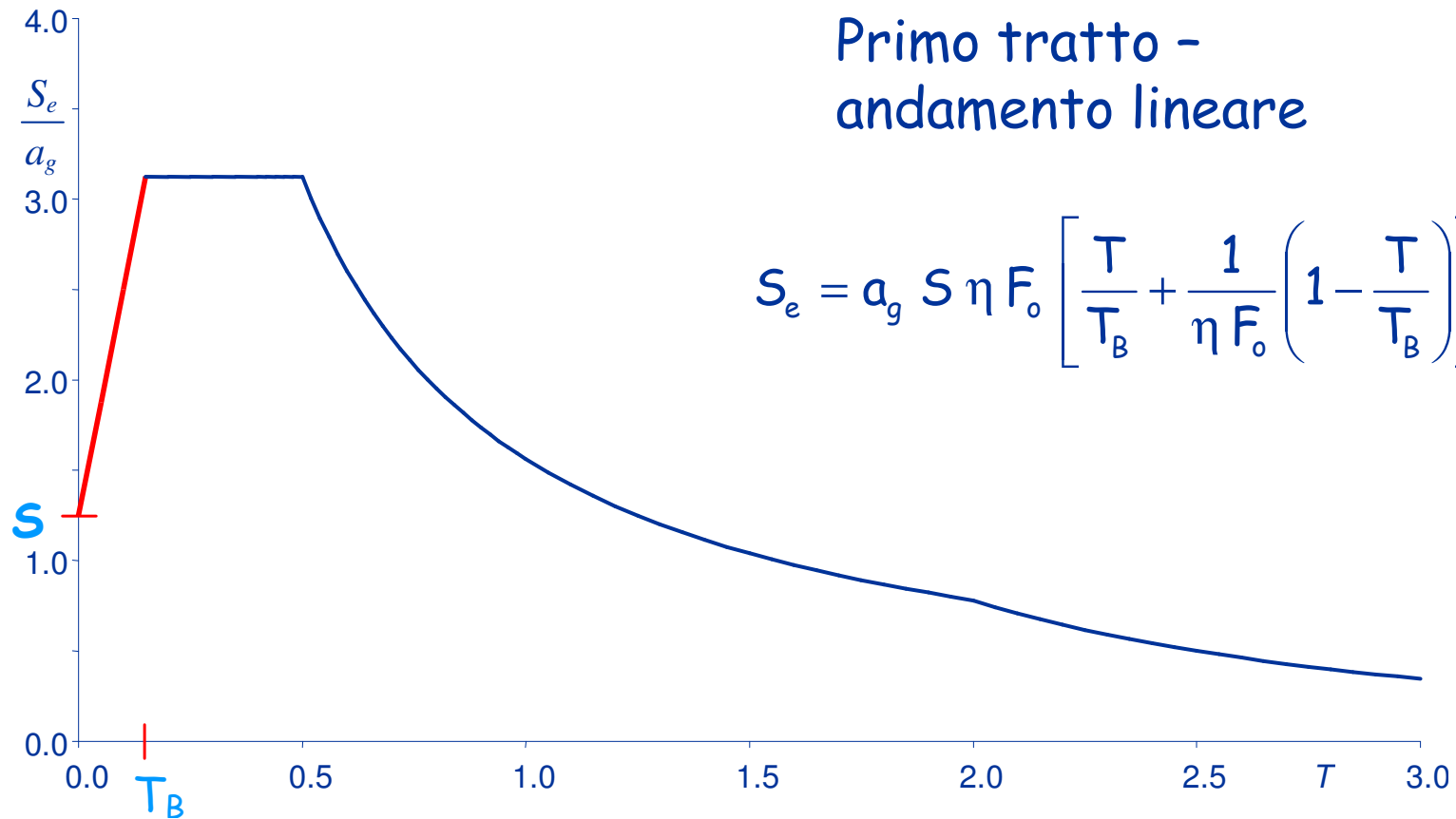
Forma generale degli spettri di risposta elastica



Forma generale degli spettri di risposta elastica



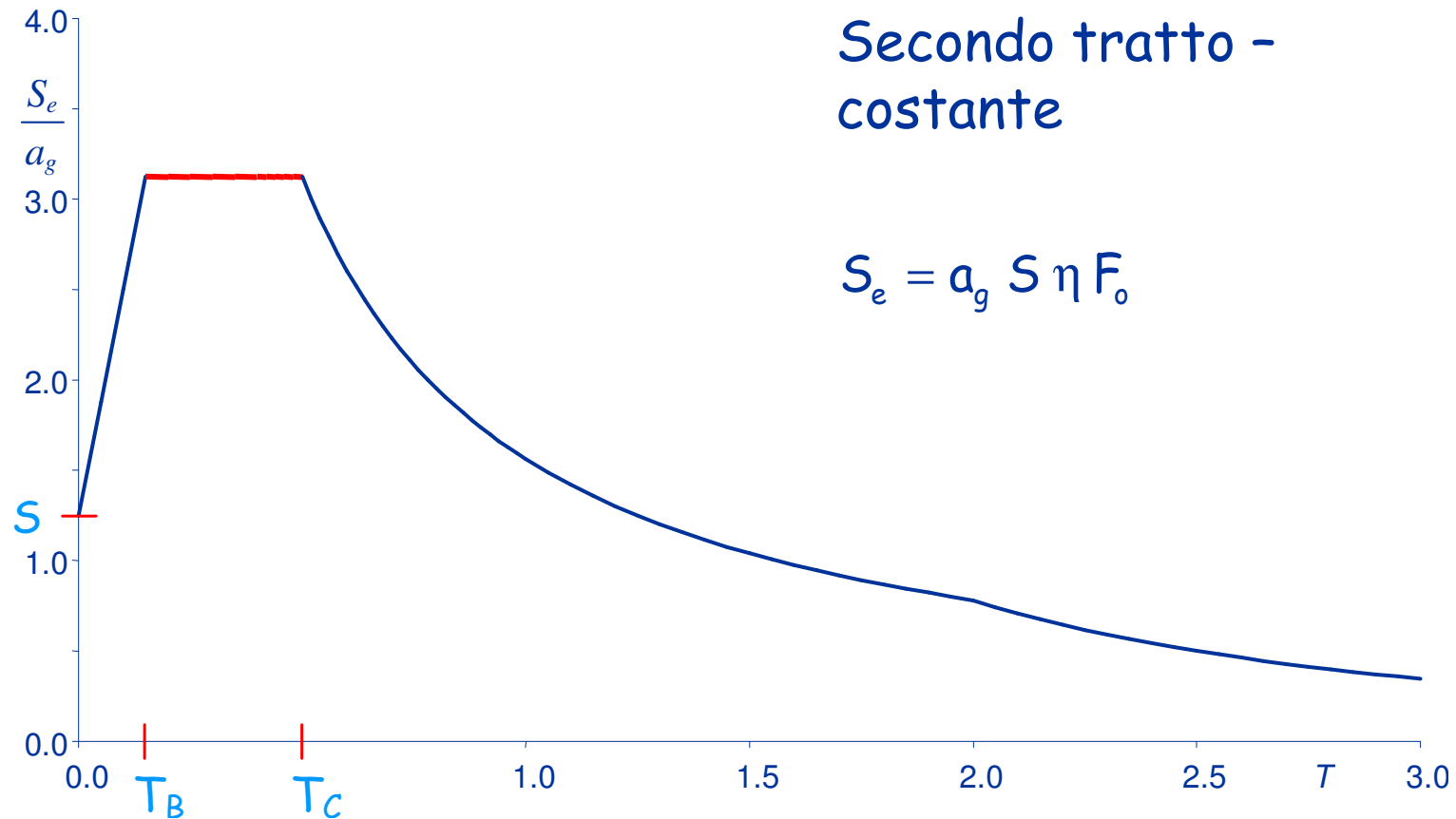
Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



Amplificazione, legata
al tipo di terreno

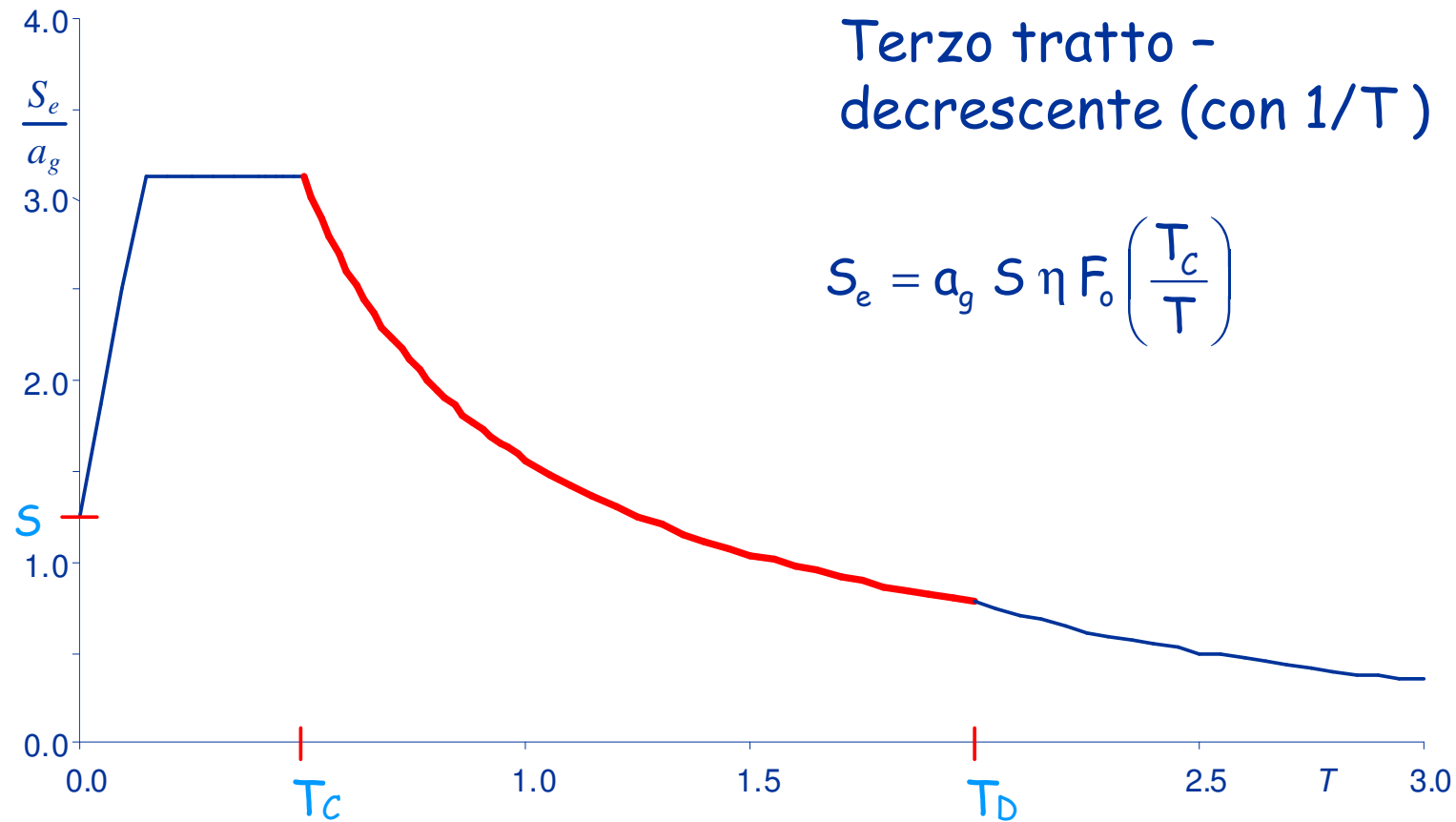
$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



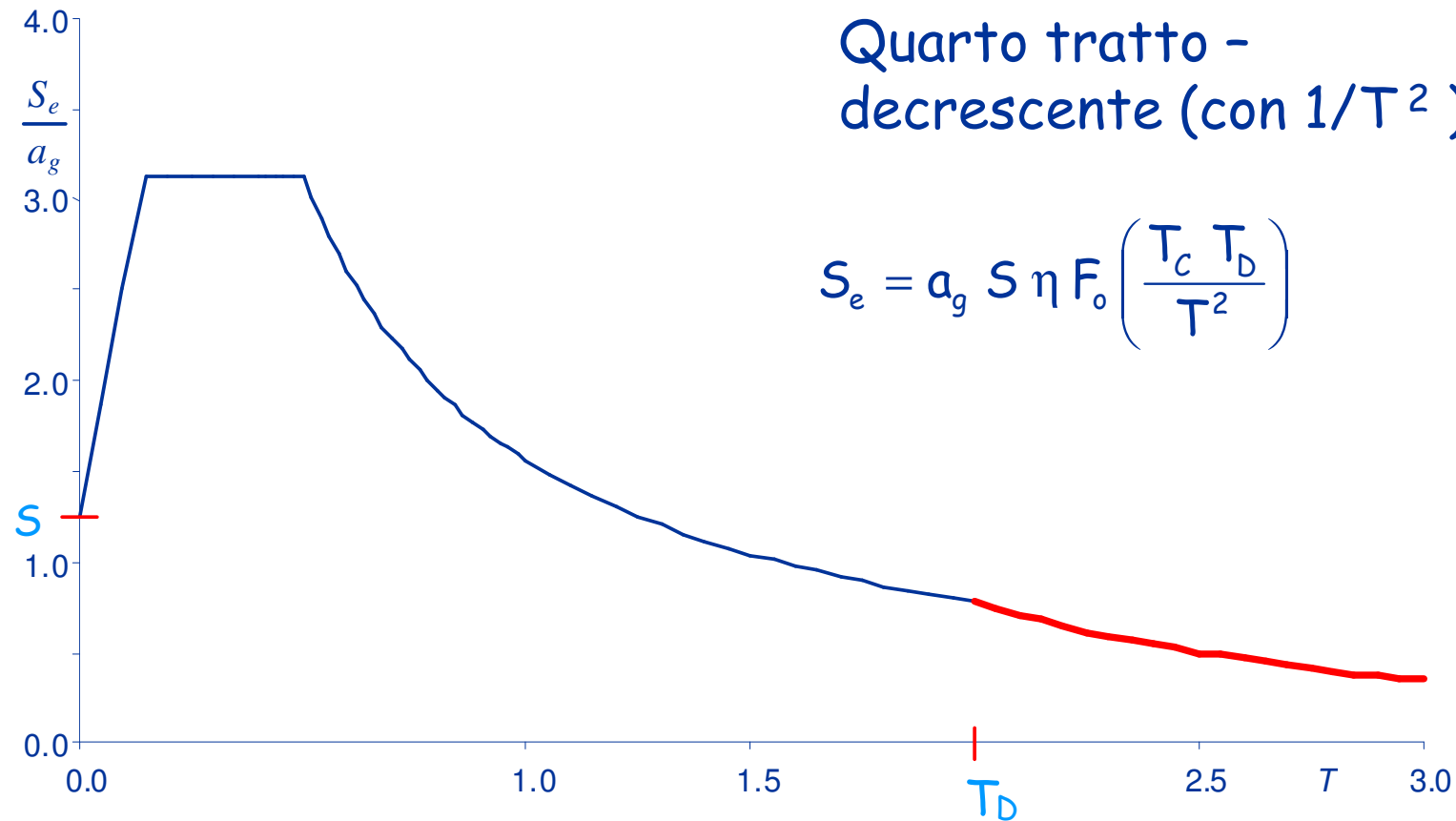
$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali

Per definire uno spettro di risposta elastico occorre indicare i parametri

- a_g accelerazione del terreno (su roccia)
- S amplificazione dovuta al tipo di terreno
- T_B T_C T_D periodi che separano i diversi tratti
- ξ smorzamento della struttura

S T_B T_C T_D si ricavano a partire dai tre parametri

$$a_g \quad F_o \quad T_C^*$$

(che sono legati al sito e al periodo di ritorno T_R)
e dipendono anche dalle caratteristiche del terreno

Classificazione dei suoli e spettri di risposta

NTC08

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)

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, 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.

Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori di $N_{SPT,30}$ nei terreni prevalentemente a grana grossa e di $c_{u,30}$ nei terreni prevalentemente a grana fina.

Classificazione dei suoli e spettri di risposta

NTC08

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)

Bozza NTC

Unico parametro da usare è la velocità delle onde di taglio V_s ma tali valori "sono ottenuti mediante specifiche prove ovvero, con giustificata motivazione ..., sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche"

Classificazione dei suoli e spettri di risposta

Confronto NTC08 - Bozza NTC

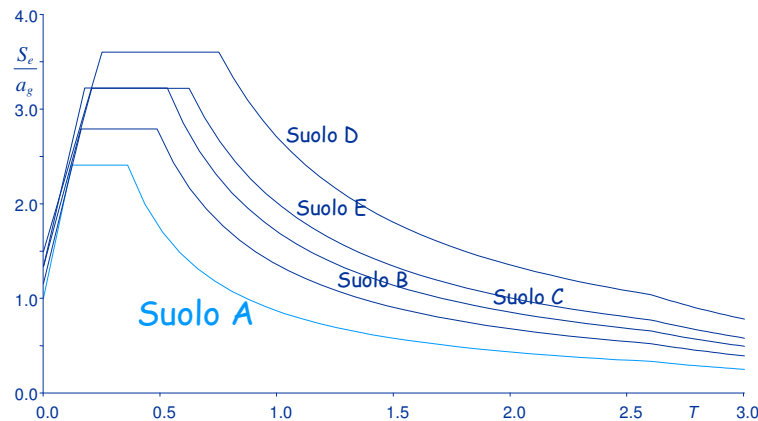
- In Bozza NTC scompare il riferimento a N_{SPT} e c_u
- In Bozza NTC scompare la tabella 3.2.III che descriveva le categorie aggiuntive S1 e S2
- In Bozza NTC si parla di $V_{s,eq}$ valutata nella profondità H del substrato roccioso, ovvero con $V_s \geq 800$ m/s (ma se $H > 30$ m si fa riferimento a 30 m)

$V_{s,eq}$

Velocità media di propagazione delle onde di taglio negli H m superiori del suolo

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



Suolo A

Ammassi rocciosi affioranti o
terreni molto rigidi

$$V_{S30} > 800 \text{ m/s}$$

eventualmente comprendenti in
superficie terreni di caratteristiche
meccaniche più scadenti con
spessore massimo pari a 3 m

Valori orientativi per terremoti
con alto periodo di ritorno

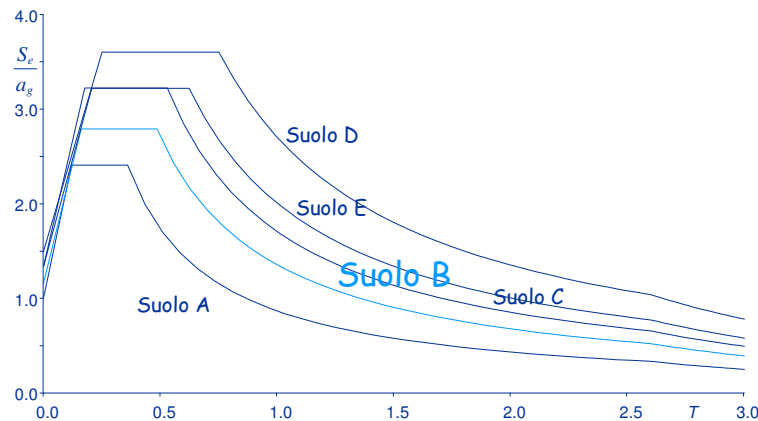
$$S = 1$$

$$T_B = 0.15 \text{ s}$$

$$T_C = 0.4 \text{ s}$$

$$T_D = 2.5 \text{ s}$$

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



Suolo B

Rocce tenere, depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità

$$360 \text{ m/s} < V_{S30} < 800 \text{ m/s}$$

Valori orientativi per terremoti
con alto periodo di ritorno

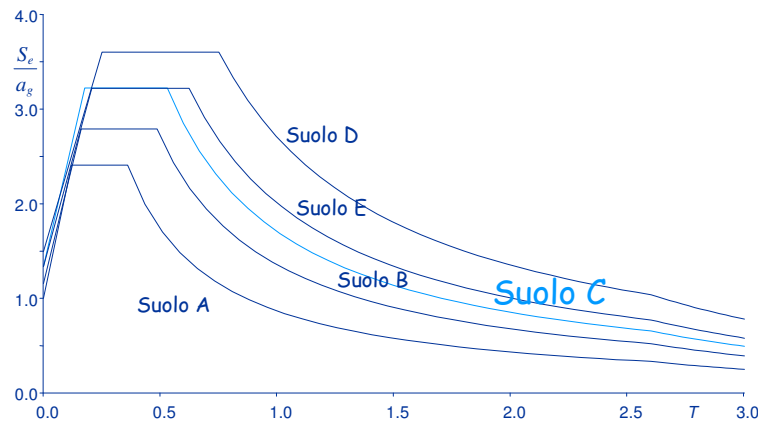
$$S = 1.20 \quad T_B = 0.15 \text{ s} \quad T_C = 0.5 \text{ s}$$

Per NTC08 anche:

Resistenza penetrometrica
 $N_{SPT} > 50$

Coesione non drenata
 $c_u > 250 \text{ kPa}$

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



Valori orientativi per terremoti
con alto periodo di ritorno

$$S = 1.30 \quad T_B = 0.15 \text{ s} \quad T_C = 0.5 \text{ s}$$

Suolo C

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità

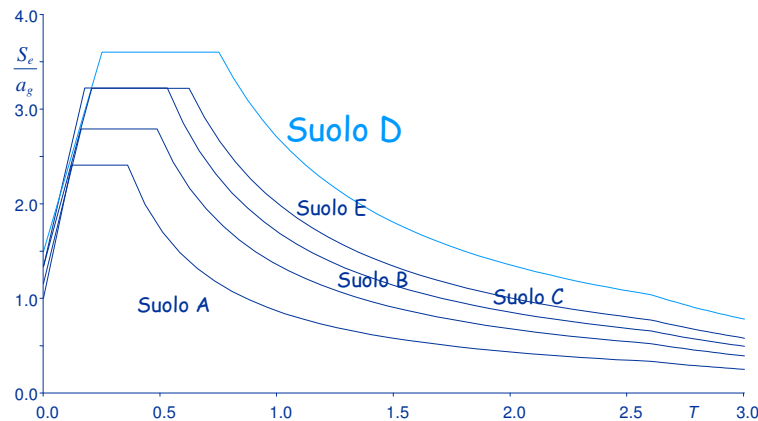
$$180 \text{ m/s} < V_{S30} < 360 \text{ m/s}$$

Per NTC08 anche:

Resistenza penetrometrica
 $15 < N_{SPT} < 50$

Coesione non drenata
 $70 < c_u < 250 \text{ kPa}$

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



$$S = 1.45 \quad T_B = 0.25 \text{ s} \quad T_C = 0.8 \text{ s}$$

Valori orientativi per terremoti
con alto periodo di ritorno

Suolo D

Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità

$$V_{S30} < 180 \text{ m/s}$$

Per NTC08 anche:

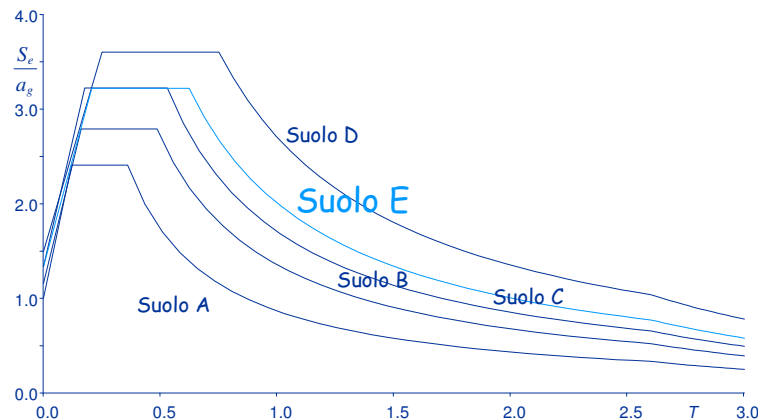
Resistenza penetrometrica

$$N_{SPT} < 15$$

Coesione non drenata

$$c_u < 70 \text{ kPa}$$

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



$$S = 1.30 \quad T_B = 0.2 \text{ s} \quad T_C = 0.6 \text{ s}$$

Valori orientativi per terremoti
con alto periodo di ritorno

V_{S30}

Velocità media di propagazione
delle onde di taglio nei 30 m
superiori del suolo

Suolo E

Terreni con caratteristiche e
valori di velocità equivalente
riconducibili a quelle definite per
le categorie C o D, con
profondità del substrato non
superiore a 20 m

Bozza NTC

profondità del substrato non
superiore a 30 m

Classificazione dei suoli e spettri di risposta

Suolo S1

Depositi con strato di almeno
10 m di argille di bassa
consistenza ed elevato indice
di plasticità e contenuto di
acqua

$$V_{S30} < 100 \text{ m/s}$$

Coesione non drenata
 $10 < c_u < 20 \text{ kPa}$

Suolo S2

Depositi di terreni soggetti a
liquefazione

I suoli S1 e S2
non esistono più
nelle Bozza NTC

Per questi tipi di terreno occorrono studi speciali

Classificazione sismica oggi (NTC)

La normativa fornisce a_g , F_o , T_c^*

A che servono?




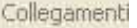
- consentono di definire lo spettro di risposta

I valori sono forniti per ogni punto e per qualsiasi periodo di ritorno

Serve veramente tutta questa precisione?

Determinazione dei dati sismici

Periodo di riferimento V_R


Indirizzo  <http://www.acca.it/EdiLus-MS/>   

EdiLus-MS


Mappe Sismiche


EdiLus-MS è il software ACCA per individuare la pericolosità sismica di tutte le località italiane direttamente dalla mappa. Scrivi l'indirizzo e/o sposta il segnalino sul sito che ti interessa e otterrai dinamicamente tutti i parametri di pericolosità sismica.

ad es. "Via M. Ciandulli, 114 MONTESILVA"





latitudine: longitudine:

Classe dell'edificio: 

Vita Nominale: Struttura 

Periodo di Riferimento per l'azione sismica




POWERED BY  Immagini © 2008 DigitalGlobe, Spot Image, GeoEye. Map data © 2008 Tele Atlas. [Termini e condizioni d'uso](#)

42.74387633, 12.74042845

Parametri di pericolosità Sismica




"Stato Limite"	T_r [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T^*_c [s]
Operatività	30	0.071	2.422	0.270
Danno	50	0.089	2.416	0.280
Salvaguardia Vita	475	0.222	2.385	0.320
Prevenzione Collasso	975	0.284	2.392	0.332


SOFTWARE
ACCA software S.p.A.
il software per l'edilizia
Tel.: 0827/69.504 - Fax: 0827/60.12.35
P.IVA 01883740647 - E-mail: info@acca.it

[Termini e Condizioni di utilizzo di EdilLus-MS](#)

Determinazione dei dati sismici

Periodo di riferimento V_R


Indirizzo  <http://www.acca.it/EdiLus-MS/>  Vai  Collegamenti

EdiLus-MS

Mappe Sismiche

EdiLus-MS è il software ACCA per individuare la pericolosità sismica di tutte le località italiane direttamente dalla mappa. Scrivi l'indirizzo e/o sposta il segnalino sul sito che ti interessa e otterrai dinamicamente tutti i parametri di pericolosità sismica.

ad es. "Via M. Ciandulli, 114 Montefeltro (MC)"






latitudine: longitudine:

Classe dell'edificio:

Vita Nominale: Struttura

Periodo di Riferimento per l'azione sismica

 Mappa  Satellite  Ibrida

Dati corrispondenti

Stato limite e periodo di ritorno

Parametri di pericolosità Sismica

"Stato Limite"	T_r [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T^*_c [s]
Operatività	30	0.071	2.422	0.270
Danno	50	0.089	2.416	0.280
Salvaguardia Vita	475	0.222	2.385	0.320
Prevenzione Collasso	975	0.284	2.392	0.332

42.74387633, 12.74042845

Termini e Condizioni di utilizzo di EdilLus-MS

Spettri di risposta NTC

S - amplificazione dovuta al terreno

- Dipende da
 - S_S - Categoria di sottosuolo
 - S_T - Categoria topografica

$$S = S_S \times S_T$$

Categoria sottosuolo	S_S
A	1.00
B	$1.00 \leq 1.4 - 0.4 F_o \frac{a_g}{g} \leq 1.20$
C	$1.00 \leq 1.7 - 0.6 F_o \frac{a_g}{g} \leq 1.50$
D	$0.90 \leq 2.4 - 1.5 F_o \frac{a_g}{g} \leq 1.80$
E	$1.00 \leq 2.0 - 1.1 F_o \frac{a_g}{g} \leq 1.60$

Intervengono
anche F_o e a_g

Vedere foglio
Excel "Spettri"
per applicazioni

Spettri di risposta NTC

S - amplificazione dovuta al terreno

- Dipende da

S_S - Categoria di sottosuolo

S_T - Categoria topografica

$$S = S_S \times S_T$$

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 $i > 30^\circ$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera	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

Spettri di risposta NTC

T_B, T_C, T_D - periodi

- T_C dipende dal suolo e da T_C^*

Categoria sottosuolo	C_C
A	1.00
B	$1.10 (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.05 (T_C^*)^{-0.33}$
D	$1.25 (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.15 (T_C^*)^{-0.40}$

$$T_C = C_C \times T_C^*$$

Vedere foglio
Excel "Spettri"
per applicazioni

Spettri di risposta NTC

T_B, T_C, T_D - periodi

- T_C dipende dal suolo e da T_C^*

- T_B dipende da T_C $T_B = T_C / 3$

- T_D dipende da a_g $T_D = 4.0 \times \frac{a_g}{g} + 1.6$

Vedere foglio
Excel "Spettri"
per applicazioni

Spettri di risposta NTC

Esempio: Messina (sito di riferimento per l'esempio)

Per $T_r=475$ anni $a_g=0.250 \text{ g}$ $F_o=2.410$ $T_c^*= 0.360 \text{ s}$
 Per $T_r=50$ anni $a_g=0.082 \text{ g}$ $F_o=2.316$ $T_c^*= 0.292 \text{ s}$

Valori che definiscono lo spettro di risposta elastico
 Accelerazioni orizzontali, terremoto con $T_r=475$ anni (SLV)

Categoria suolo	PGA su roccia a_g	S	S a_g	F_o	T_B	T_C	T_D
A	0.250 g	1.000	0.250 g	2.410	0.120 s	0.360 s	2.600 s
B		1.159	0.290 g		0.162 s	0.486 s	2.600 s
C		1.339	0.335 g		0.177 s	0.530 s	2.600 s
D		1.496	0.374 g		0.250 s	0.750 s	2.600 s
E		1.337	0.334 g		0.208 s	0.623 s	2.600 s

Spettri di risposta NTC

Esempio: Messina (sito di riferimento per l'esempio)

Per $T_r=475$ anni $a_g=0.250 \text{ g}$ $F_o=2.410$ $T_C^*= 0.360 \text{ s}$
 Per $T_r=50$ anni $a_g=0.082 \text{ g}$ $F_o=2.316$ $T_C^*= 0.292 \text{ s}$

Valori che definiscono lo spettro di risposta elastico
 Accelerazioni orizzontali, terremoto con $T_r=50$ anni (SLD)

Categoria suolo	PGA su roccia a_g	S	$S a_g$	F_o	T_B	T_C	T_D
A	0.082 g	1.000	0.082 g	2.316	0.097 s	0.292 s	1.928 s
B		1.200	0.098 g		0.137 s	0.411 s	1.928 s
C		1.500	0.123 g		0.153 s	0.460 s	1.928 s
D		1.800	0.148 g		0.225 s	0.675 s	1.928 s
E		1.600	0.131 g		0.183 s	0.549 s	1.928 s

Spettri di risposta NTC accelerazioni verticali

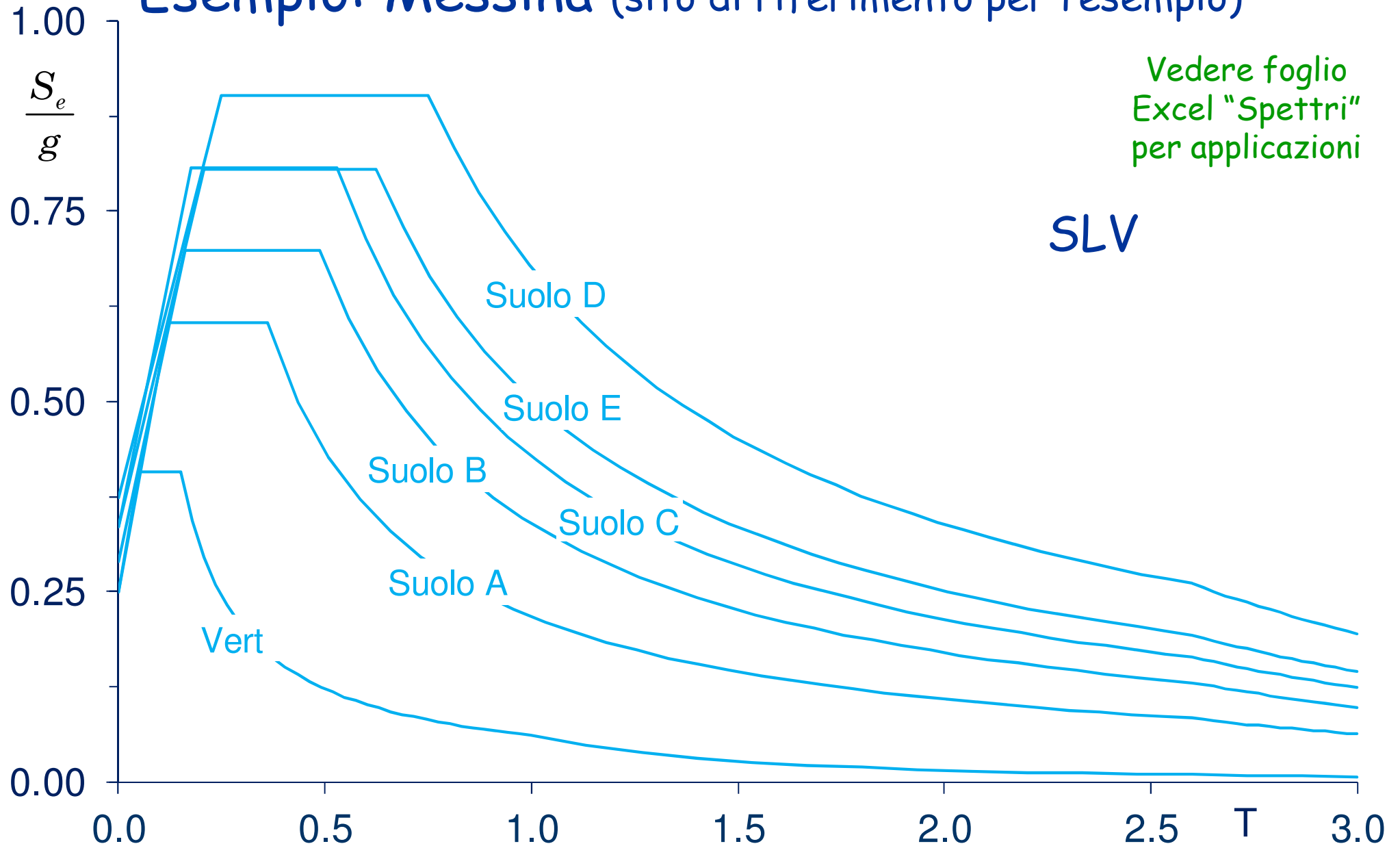
- Lo spettro ha la stessa forma, cambiano i parametri

Categoria di sottosuolo	S_S	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1.0	0.05	0.15	1.00

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

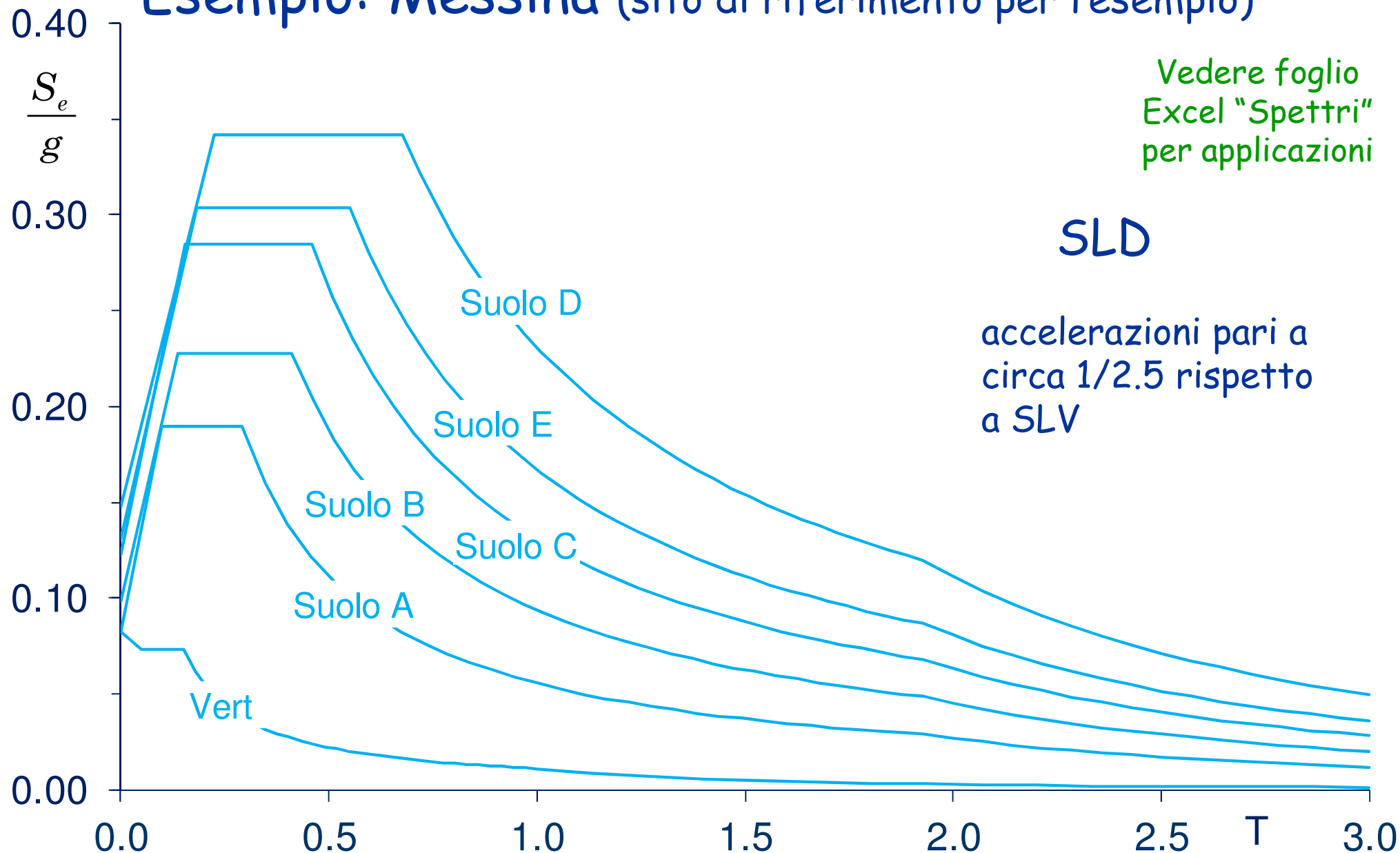
Spettri di risposta NTC

Esempio: Messina (sito di riferimento per l'esempio)



Spettri di risposta NTC

Esempio: Messina (sito di riferimento per l'esempio)



Normativa europea

considerazioni

I valori di S , F_o , T_B , T_C , T_D sono definiti indipendentemente dal sito. Per terremoti con magnitudo superiore a 5.5 si utilizza uno spettro Tipo 1, con parametri sotto indicati

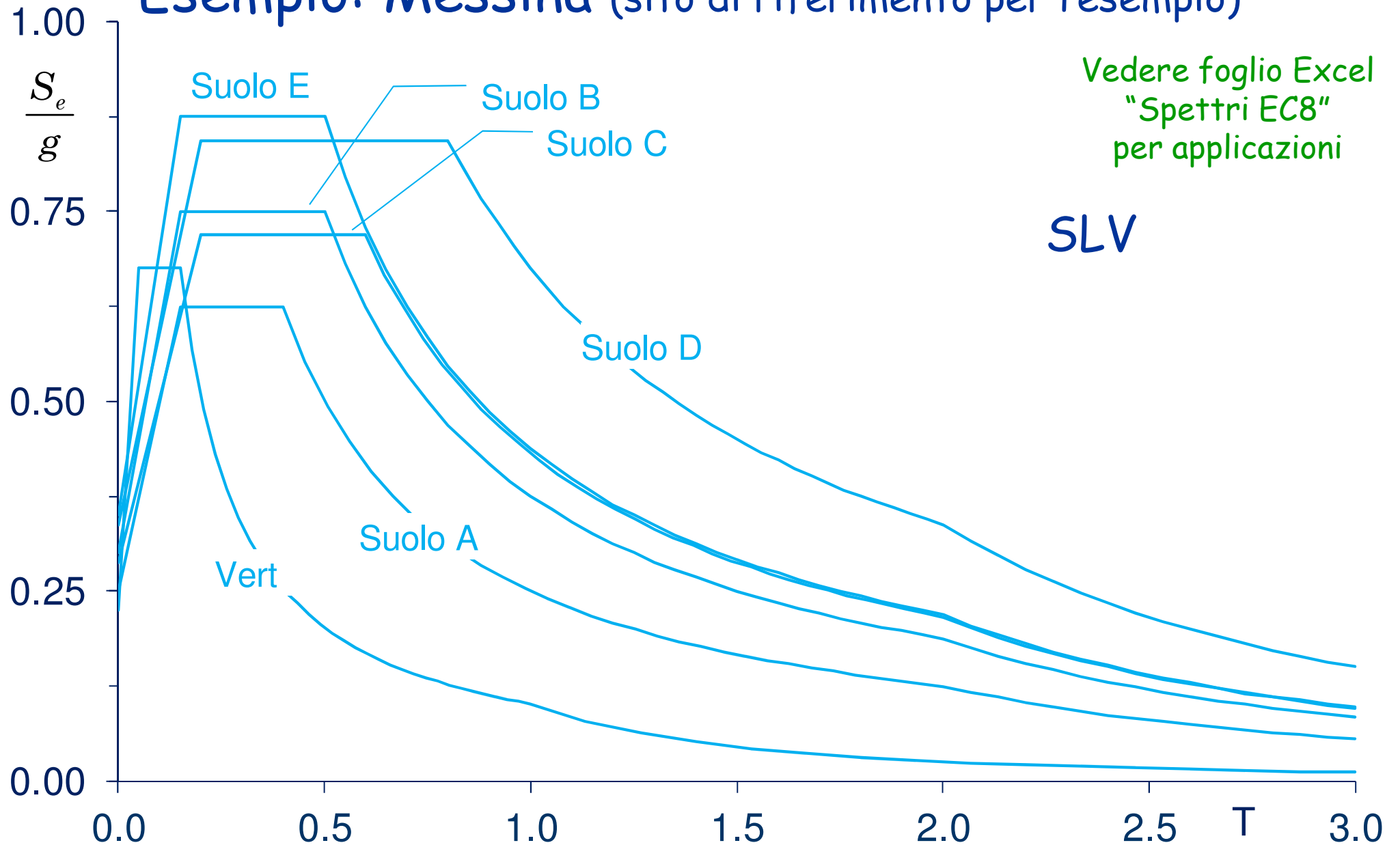
Valori che definiscono lo spettro di risposta elastico (Messina)

Accelerazioni orizzontali, terremoto con $T_r=475$ anni (SLV)

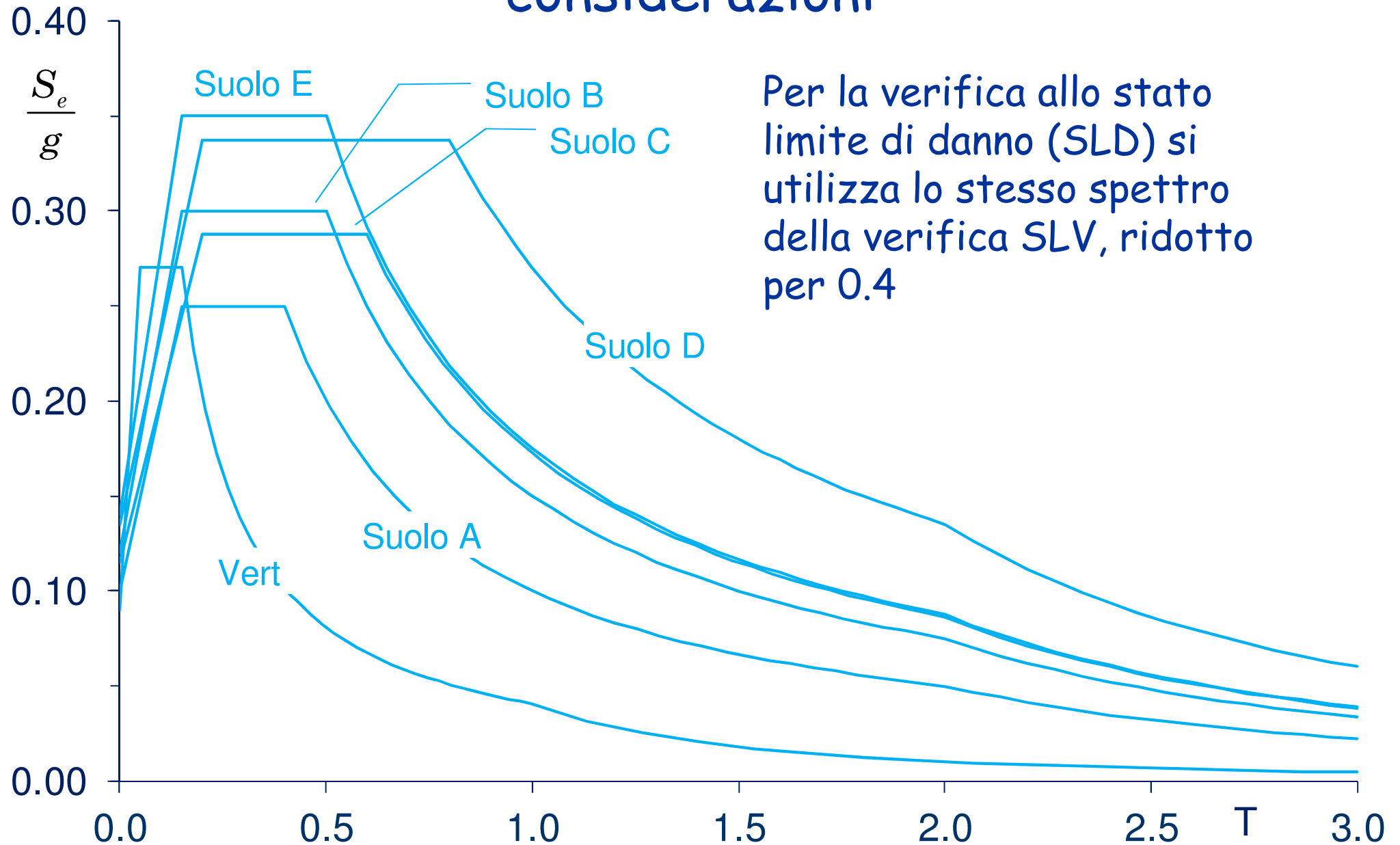
Categoria suolo	PGA su roccia a_g	S	$S a_g$	F_o	T_B	T_C	T_D
A	0.250 g	1.00	0.250 g	2.5	0.15 s	0.40 s	2.00 s
B		1.20	0.300 g		0.15 s	0.50 s	2.00 s
C		1.15	0.288 g		0.20 s	0.60 s	2.00 s
D		1.35	0.338 g		0.20 s	0.80 s	2.00 s
E		1.40	0.350 g		0.15 s	0.50 s	2.00 s

Esempio: Messina (sito di riferimento per l'esempio)

SLV



Normativa europea considerazioni

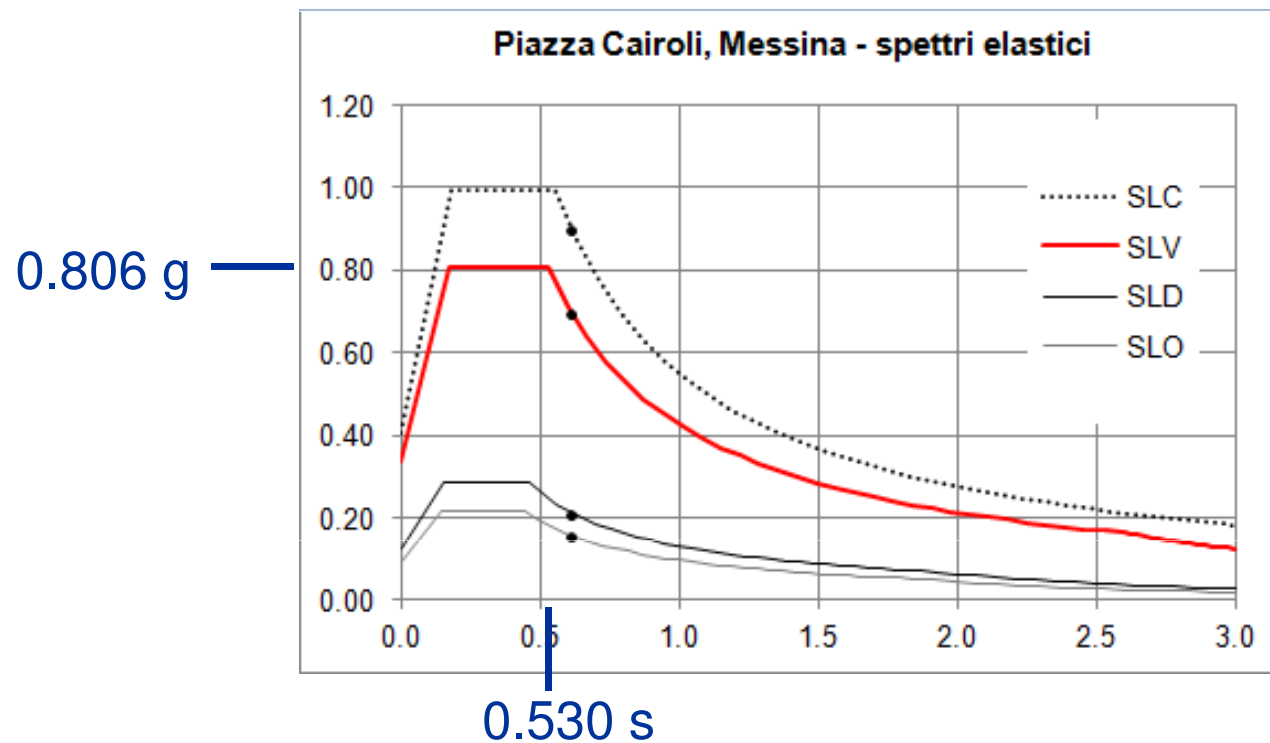


Considerazione sugli spettri

- Esaminare lo spettro di risposta nel sito, per il terreno su cui è costruito l'edificio, è fondamentale per capire quale sia l'intensità del sisma
- L'esame deve partire dallo spettro relativo allo SLV, ma poi occorre esaminare anche quello per SLD
- Uno sguardo, anche se meno importante, a quelli per SLO e SLC

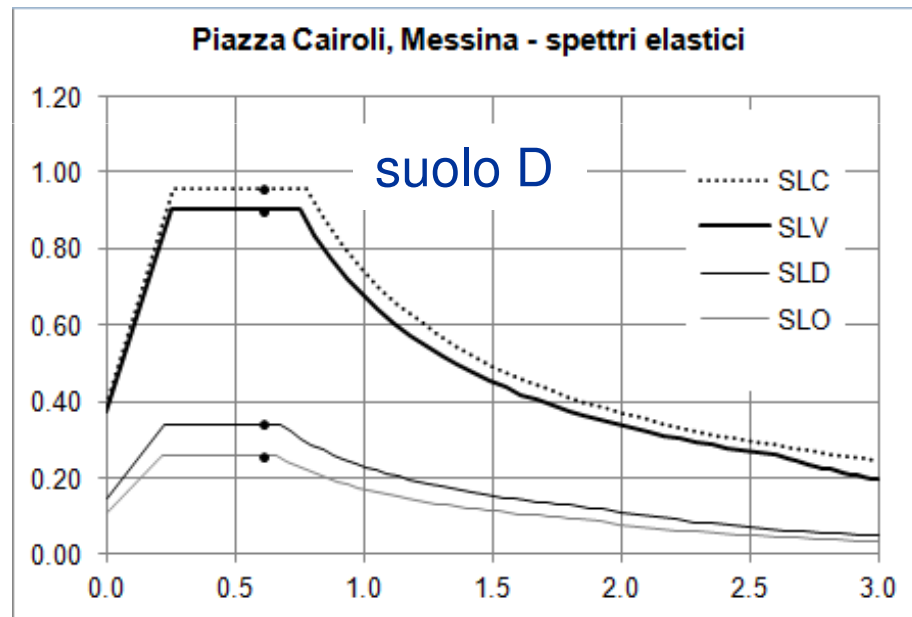
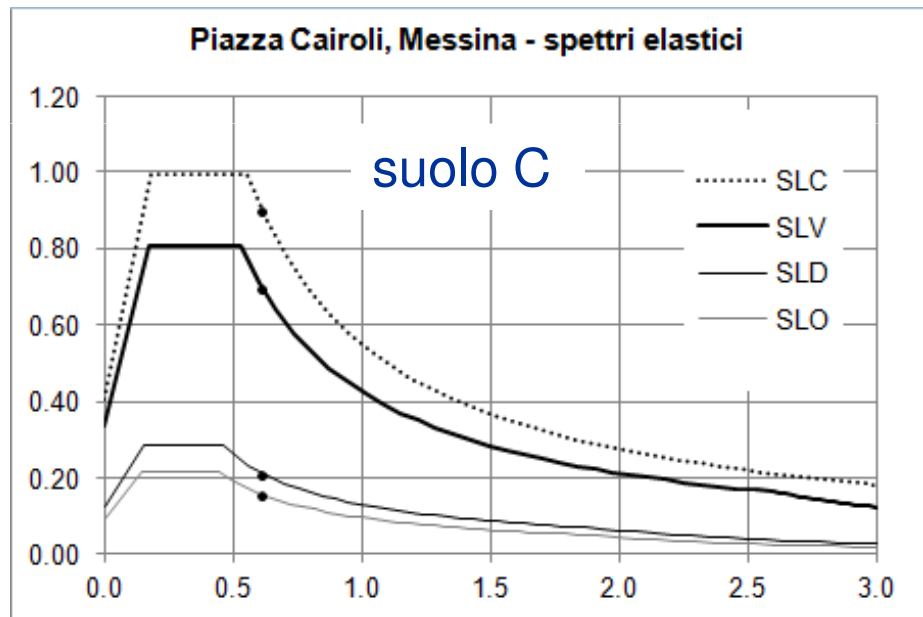
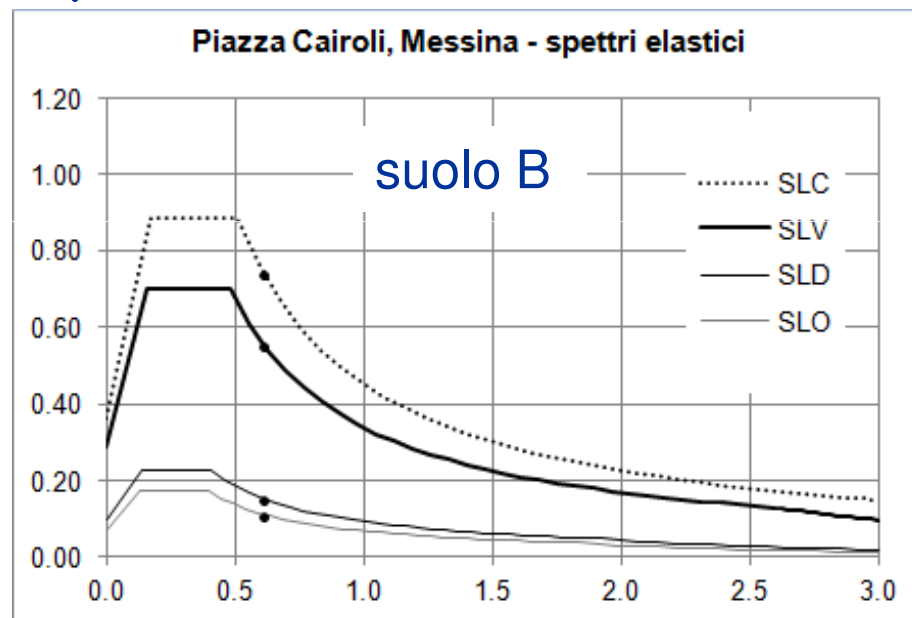
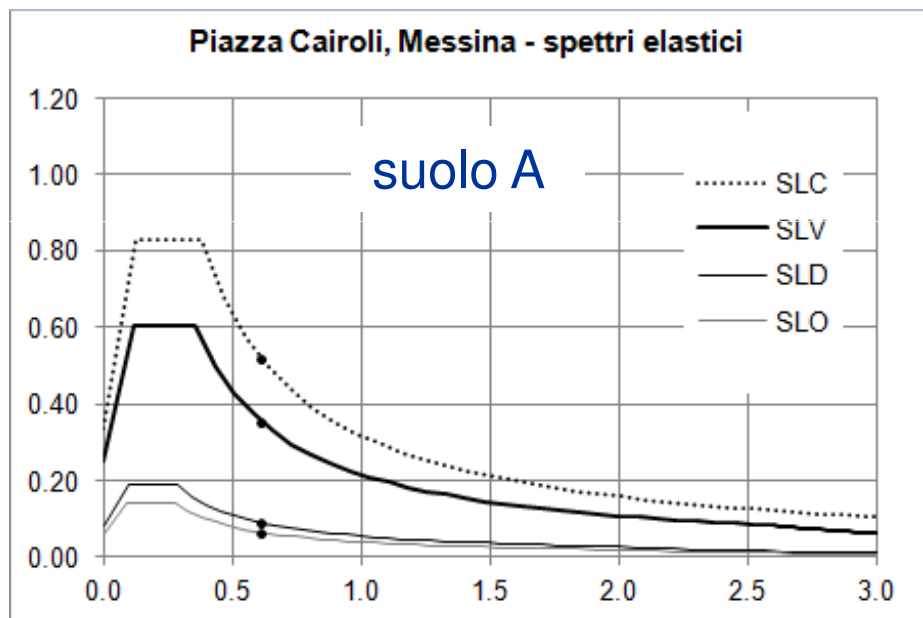
Considerazioni sugli spettri

- Esaminare innanzitutto lo spettro per SLV

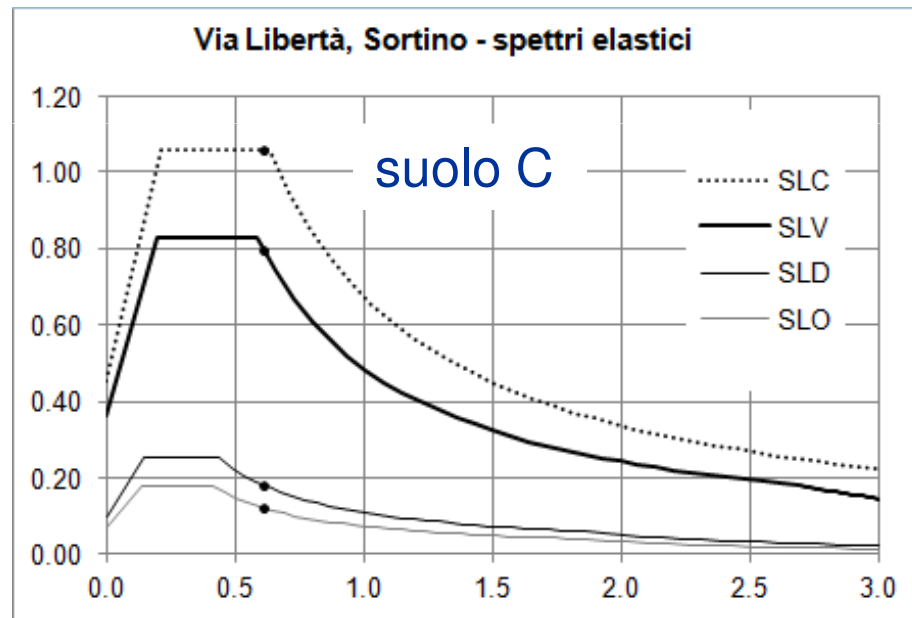
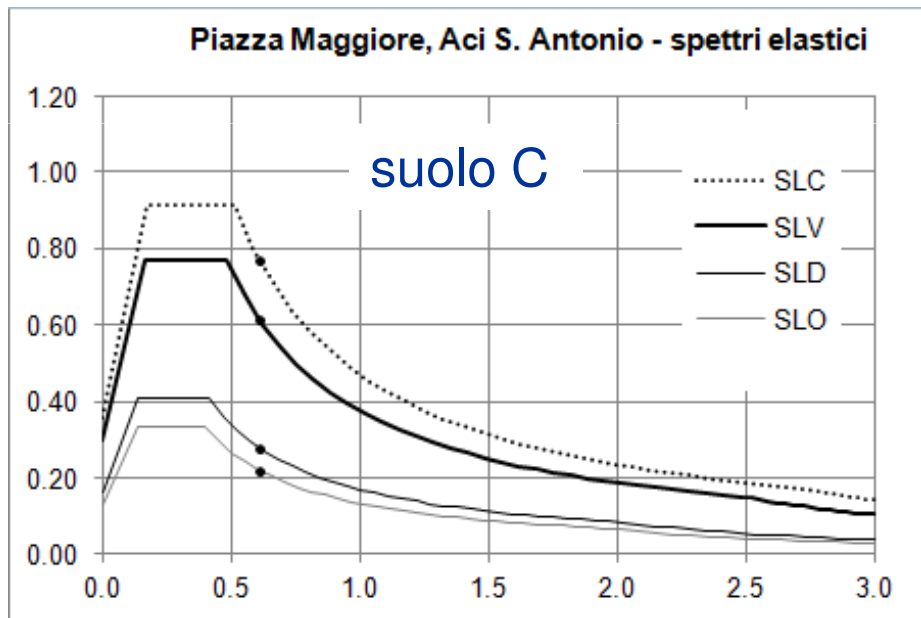
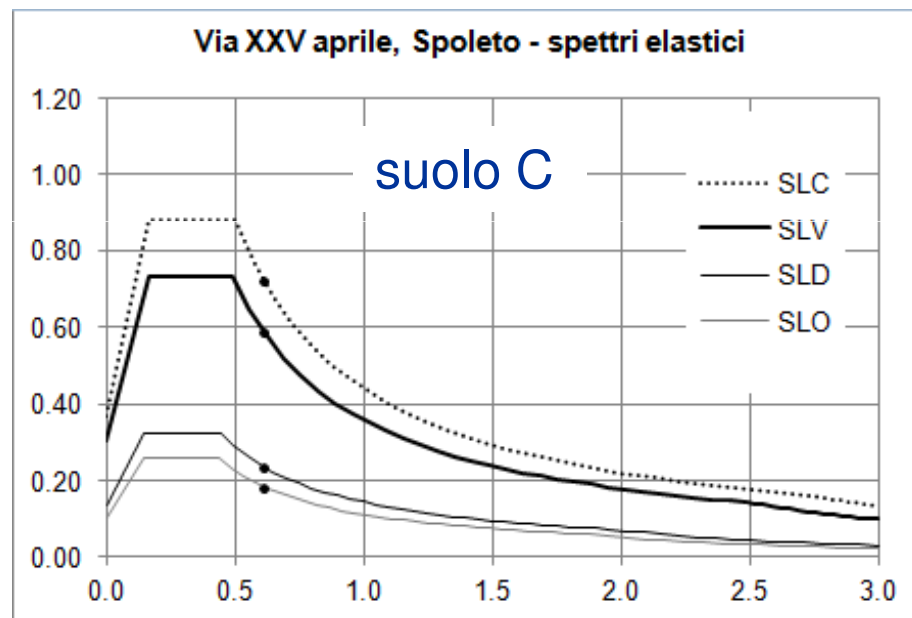
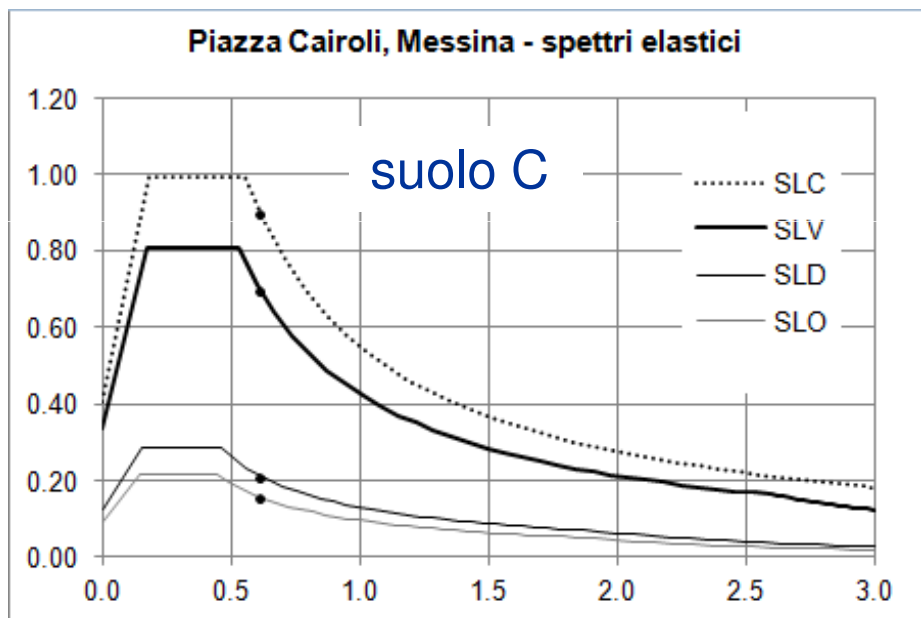


- Evidenziare l'accelerazione massima ed il valore del periodo T_c
- 0.806 g
- 0.530 s

Confronto tra spettri al variare del tipo di suolo

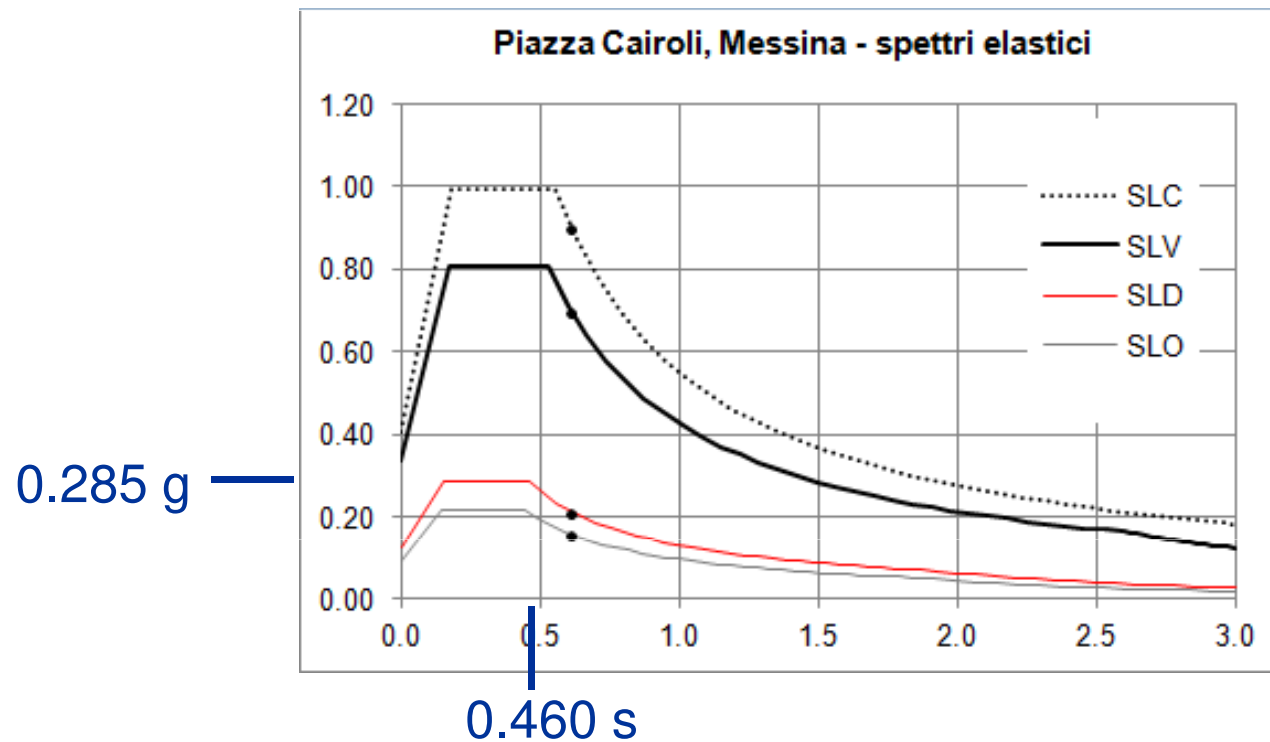


Confronto tra spettri al variare del sito



Considerazioni sugli spettri

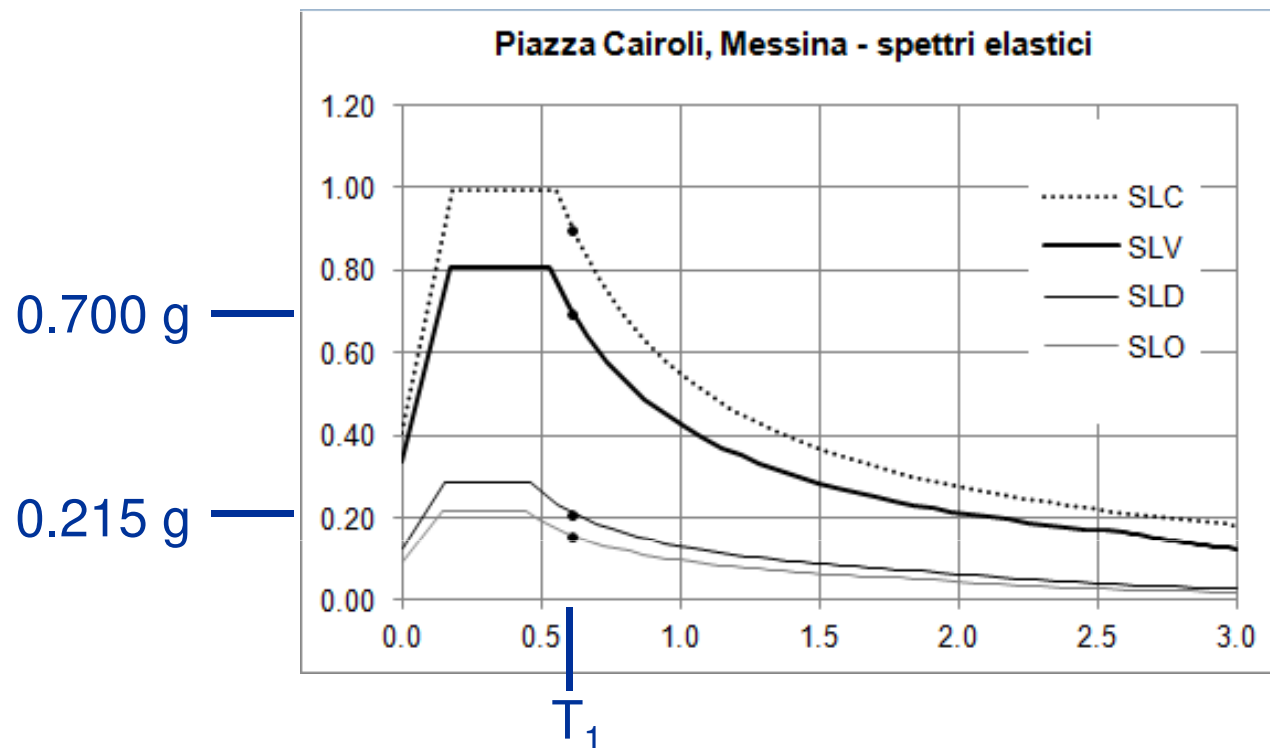
- Esaminare poi lo spettro per SLD



- Evidenziare l'accelerazione massima ed il valore del periodo T_c
- 0.285 g
- 0.460 s

Considerazioni sugli spettri

- Quando è noto T_1



$$\frac{0.700}{0.215} = 3.26$$

- Evidenziare l'accelerazione per SLV
e quella per SLD

0.700 g
0.215 g