

Dinamica delle strutture e Progetto di costruzioni in zona sismica

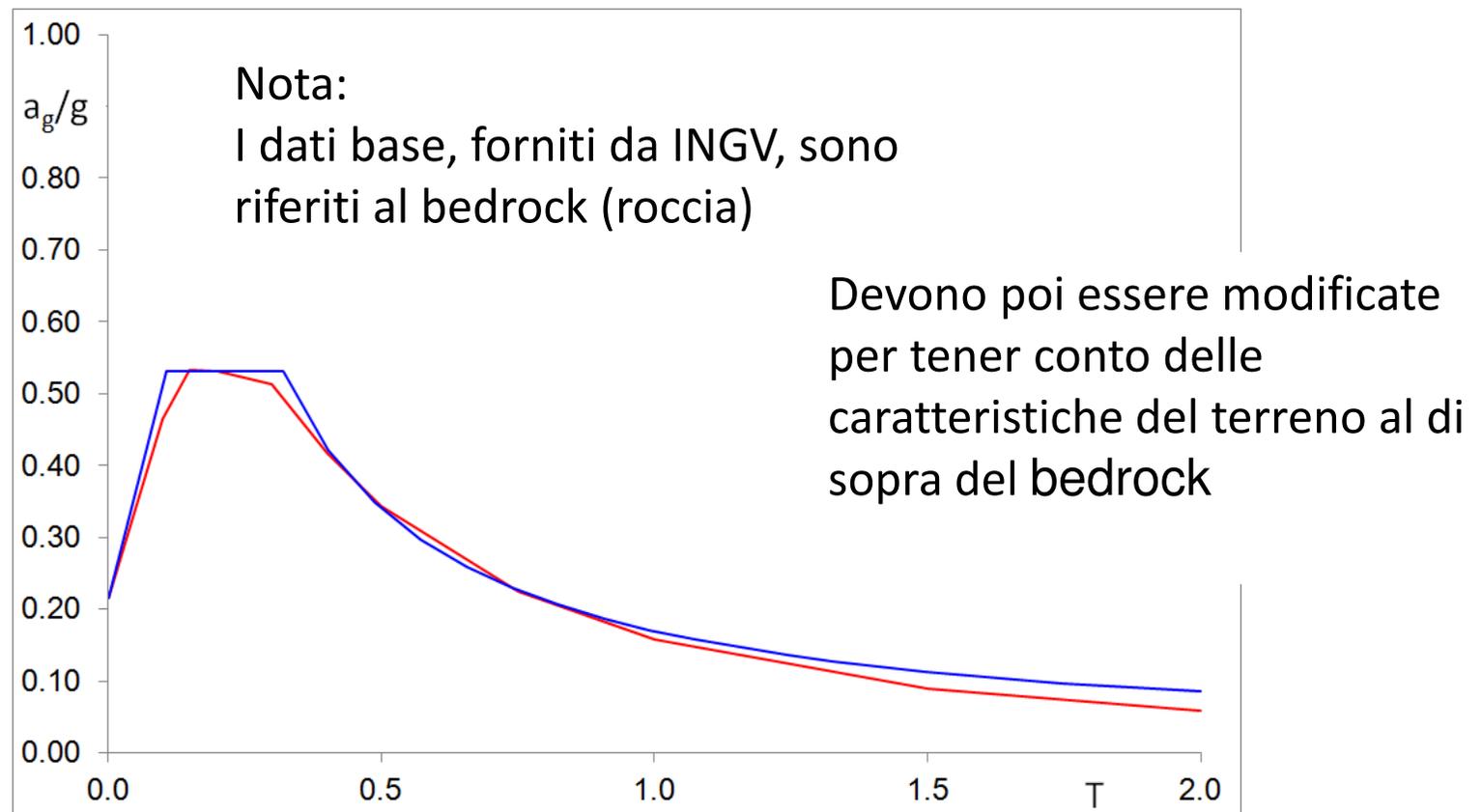
Catania, 2018/19

04 – Spettri di risposta elastica di normativa

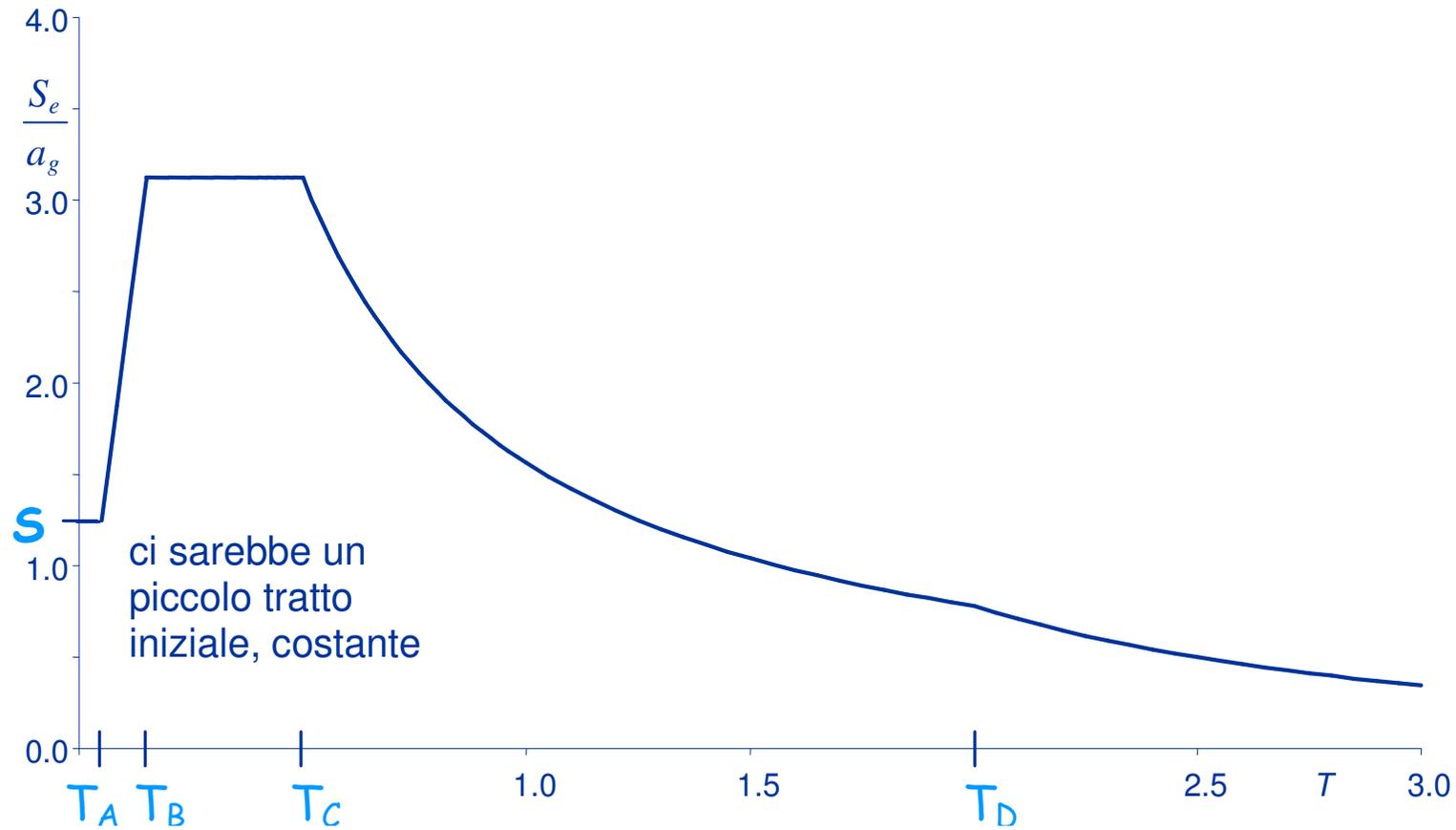
Aurelio Ghersi

Spettri di risposta elastica di normativa

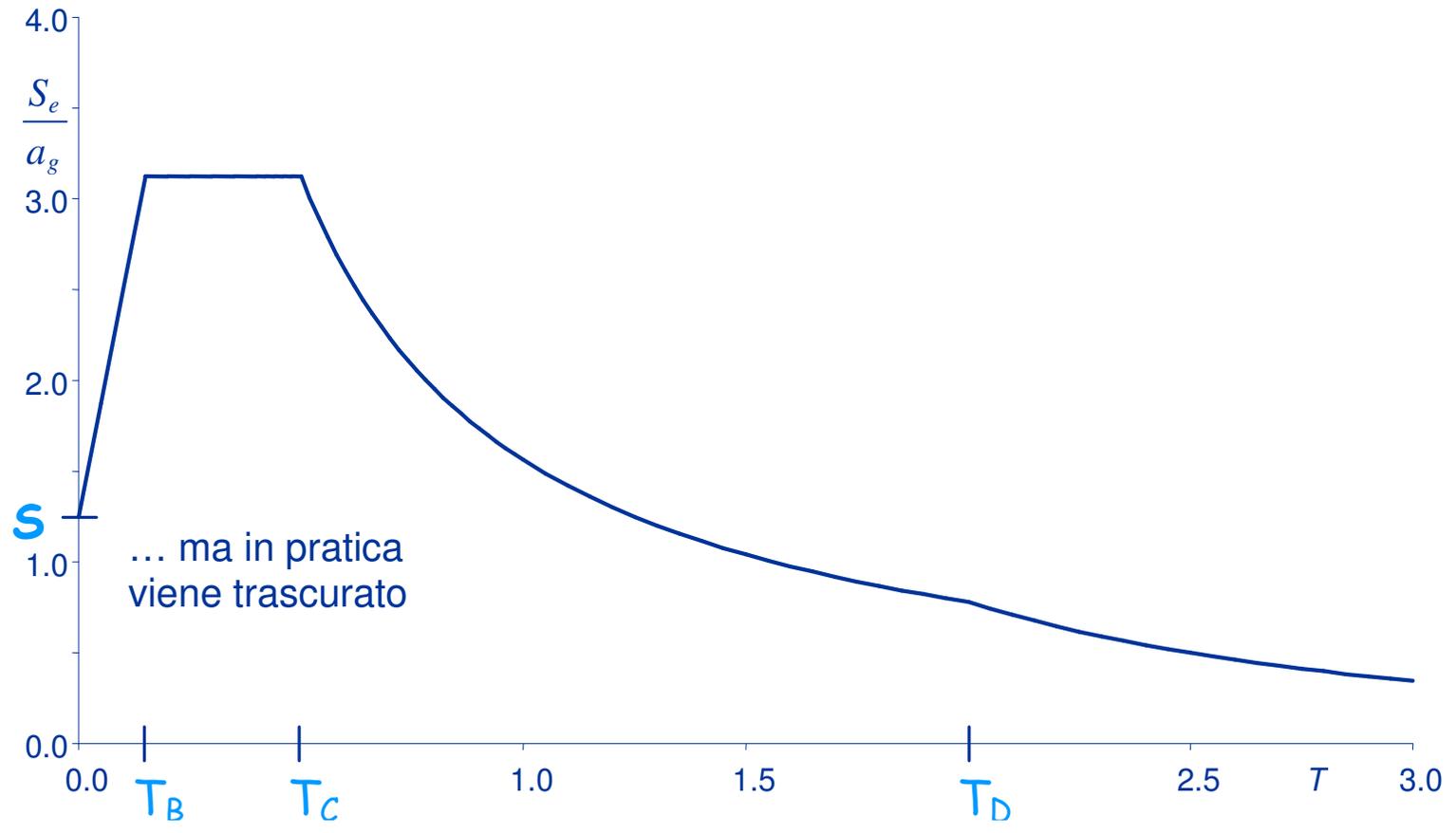
- La forma degli spettri mediani (linea rossa) è stata semplificata (linea blu) in modo da usare le stesse formule (con parametri diversi) per tutti i siti



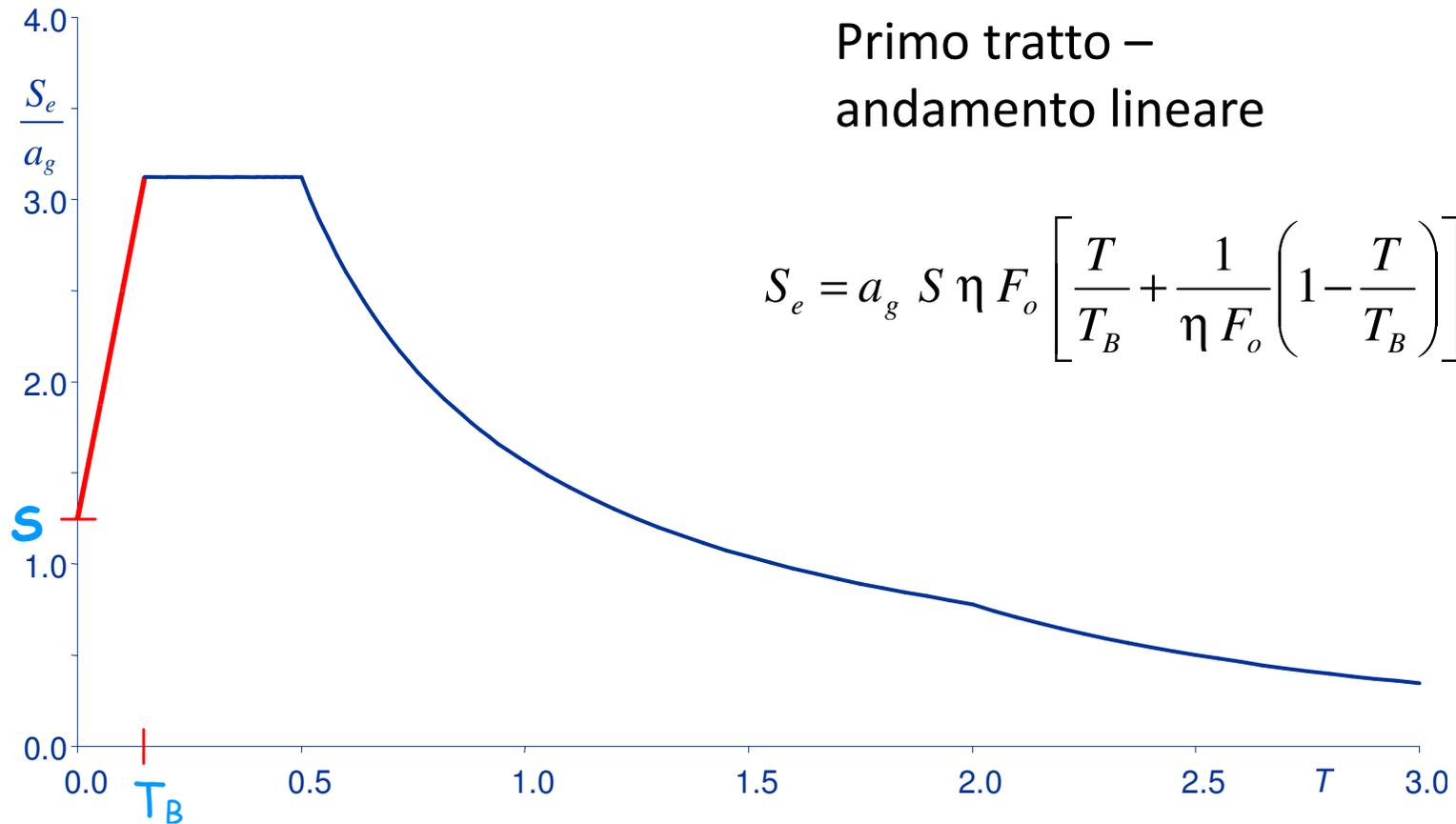
Forma generale degli spettri di risposta elastica



Forma generale degli spettri di risposta elastica



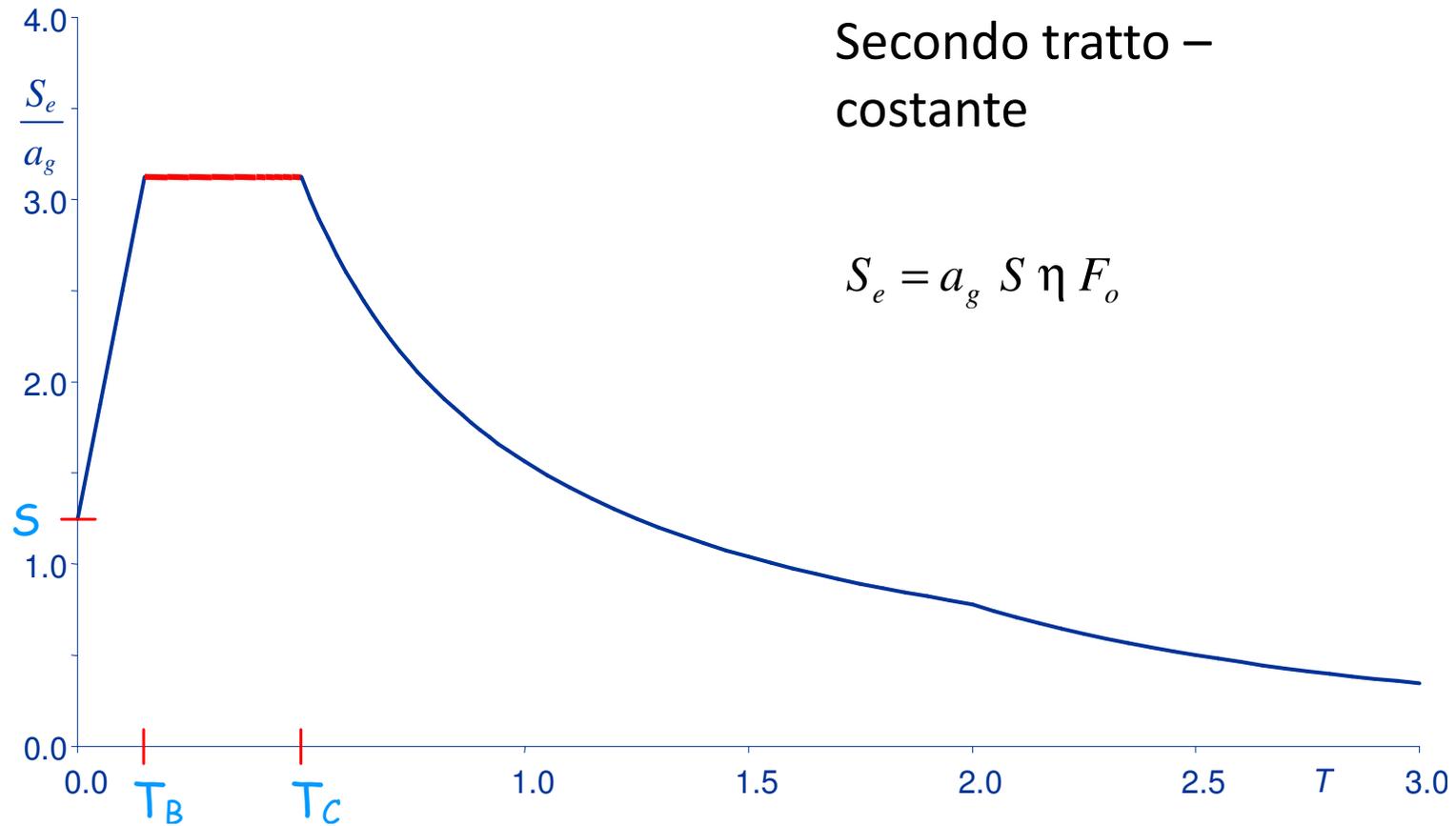
Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



Amplificazione, legata al
tipo di terreno

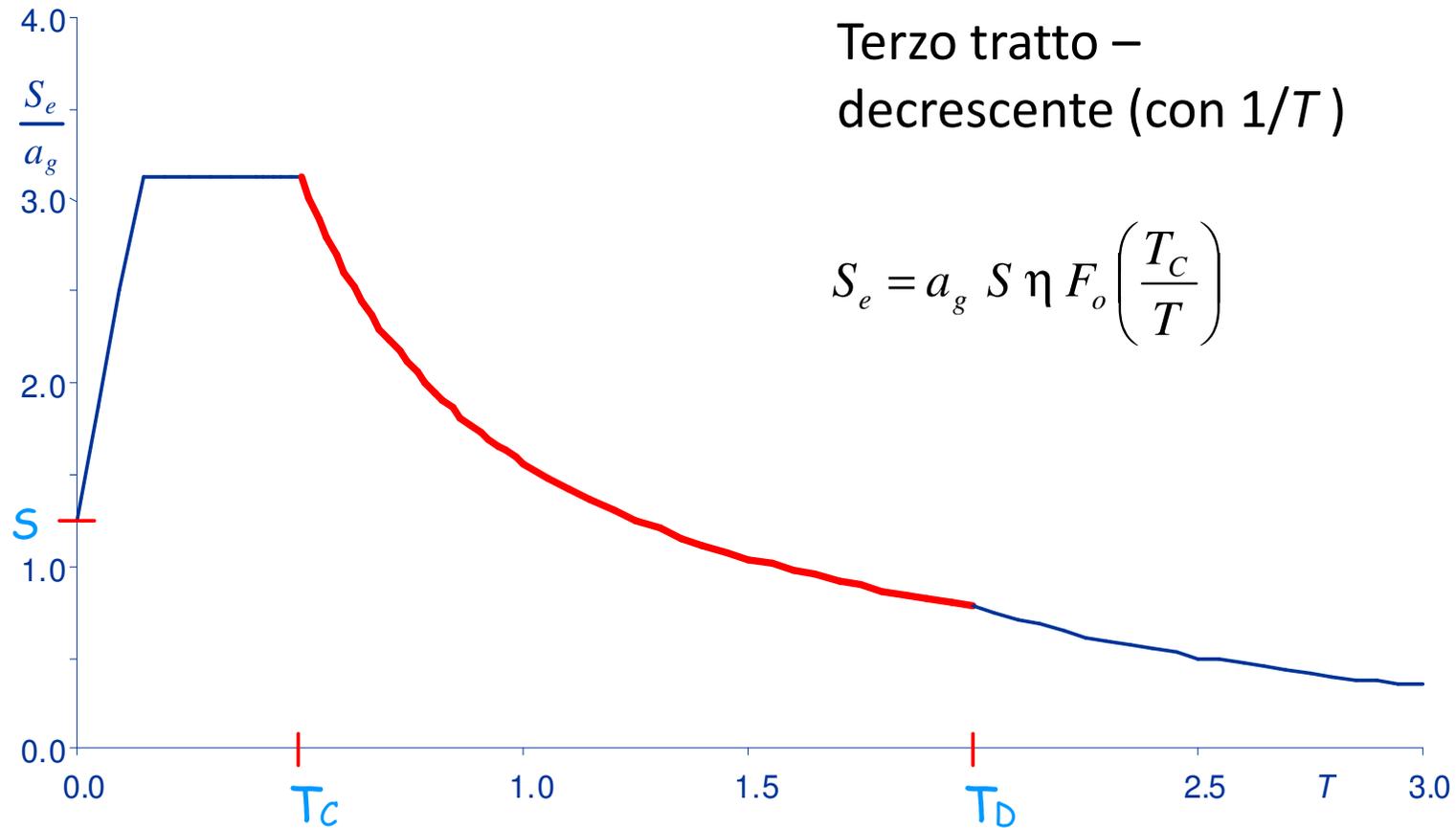
$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \geq 0.55$$

Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



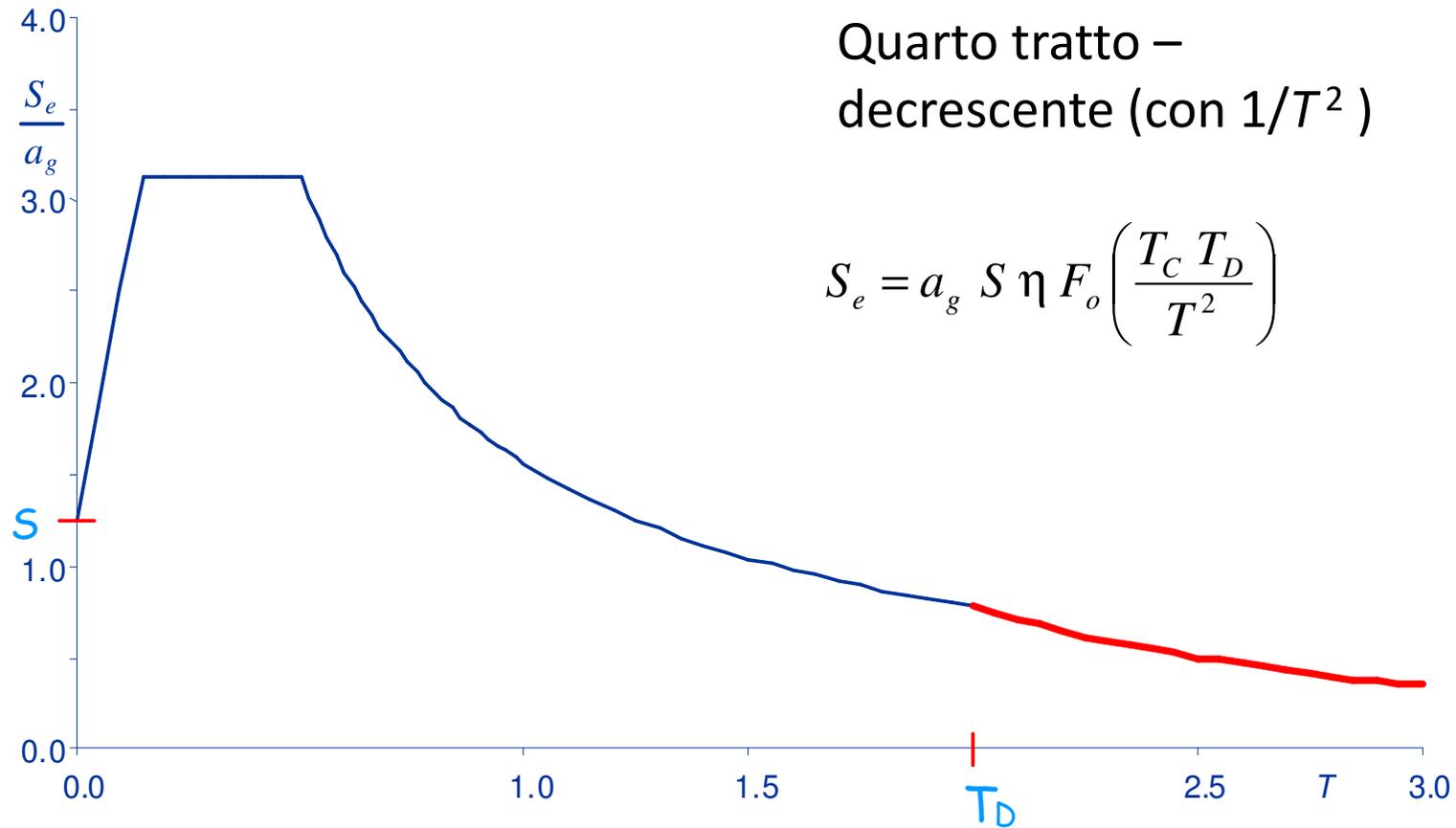
$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \geq 0.55$$

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

$$a_g F_o T_C^*$$

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

Caratteristiche del suolo e spettro di risposta

- I dati forniti dal Progetto Finalizzato Geodinamica ed inseriti nella normativa si riferiscono all'accelerazione su roccia (al bedrock)
- Occorre tener conto dell'effetto degli strati di terreno posti al di sopra della roccia

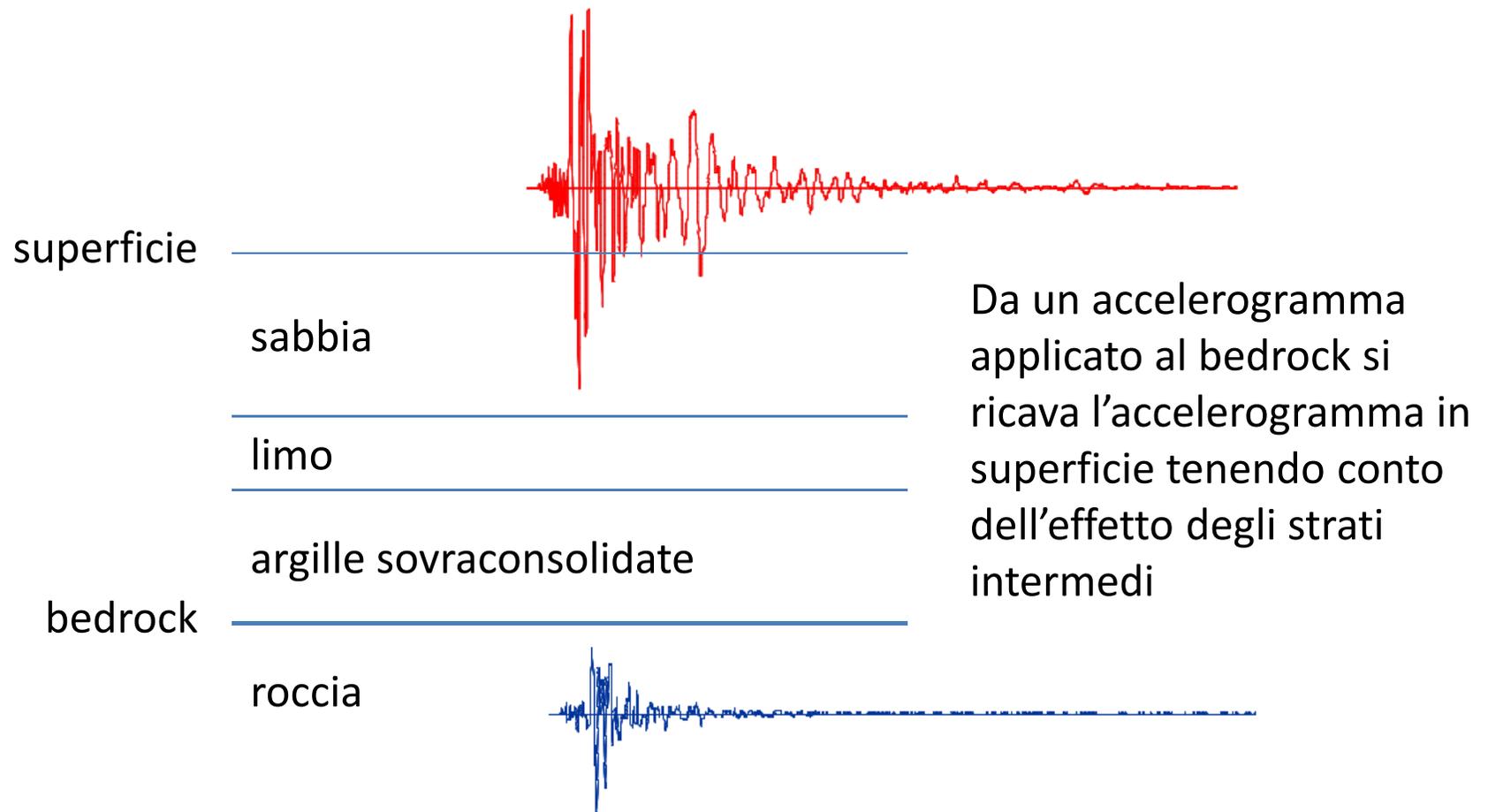
Come?

Caratteristiche del suolo e spettro di risposta

- Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi
- 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

Caratteristiche del suolo e spettro di risposta

- Risposta sismica locale



Caratteristiche del suolo e spettro di risposta

- Risposta sismica locale

Problemi:

- Quali accelerogrammi considerare (naturali, artificiali, con quali caratteristiche)?
- Quanti accelerogrammi considerare?
- Quanto è importante tener conto della variazione della stratigrafia da punto a punto?
- Quanto è importante tenere conto della tridimensionalità del problema?

Caratteristiche del suolo e spettro di risposta

- Risposta sismica locale
 - ... e inoltre:
 - Che senso ha la presenza di singoli picchi nello spettro di risposta che si ottiene?
 - Bisogna usarla per avere maggiore cautela o la si può usare per risparmiare?

Caratteristiche del suolo e spettro di risposta

- Categorie di sottosuolo di riferimento

La normativa individua più tipologie di suolo, a ciascuna delle quali attribuisce opportune variazioni dello spettro rispetto a quello su roccia

Classificazione in base a:

- Stratigrafia
- Parametri meccanici del singolo strato (V_s , N_{SPT} , C_u)

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)

NTC 2018

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 – NTC18

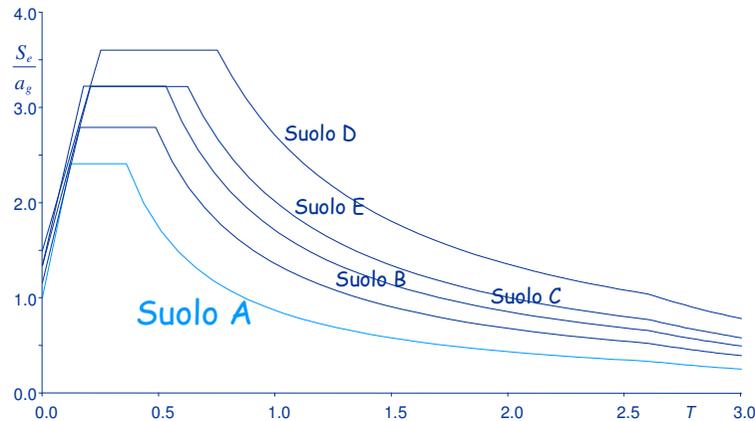
- In NTC18 scompare nella definizione del suolo il riferimento diretto a N_{SPT} e c_u
- In NTC18 scompare la tabella 3.2.III che descriveva le categorie aggiuntive S1 e S2
- In NTC18 si parla di $V_{s,eq}$ valutata nella profondità H del substrato roccioso, ovvero con $V_s \geq 800$ m/s (ma se $H > 30$ 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

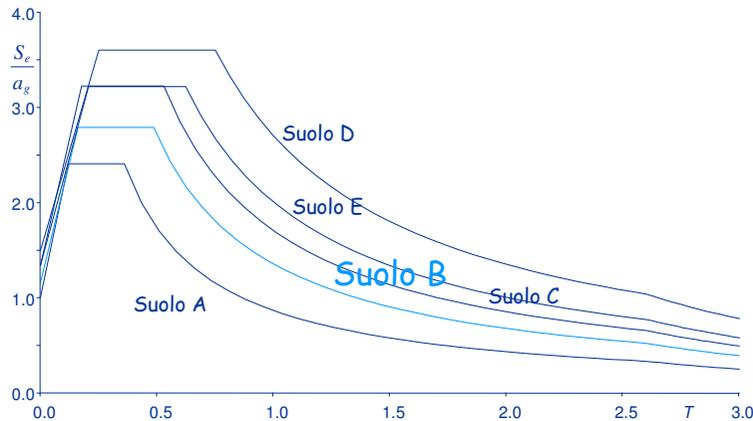
$$S = 1$$

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

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

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

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



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

Valori orientativi per terremoti con
alto periodo di ritorno

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

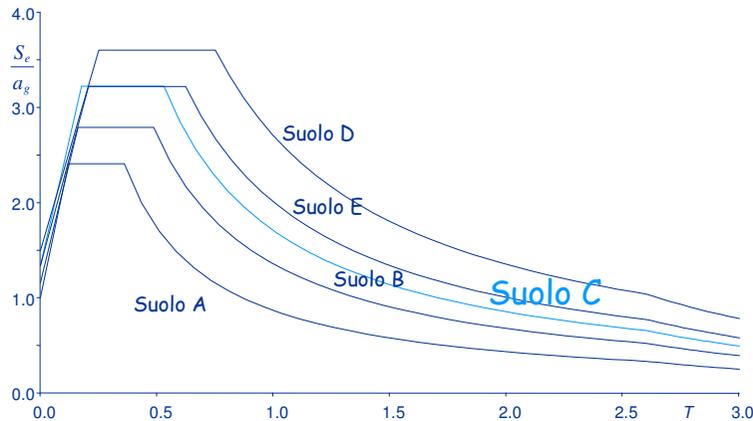
$$360 \text{ m/s} < V_{S30} < 800 \text{ m/s}$$

Per NTC08 anche:

Resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$

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

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



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

Valori orientativi per terremoti con
alto periodo di ritorno

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:

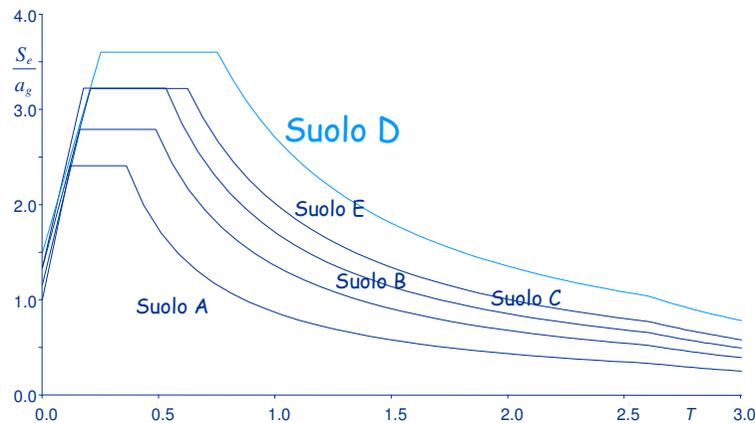
Resistenza penetrometrica

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

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:

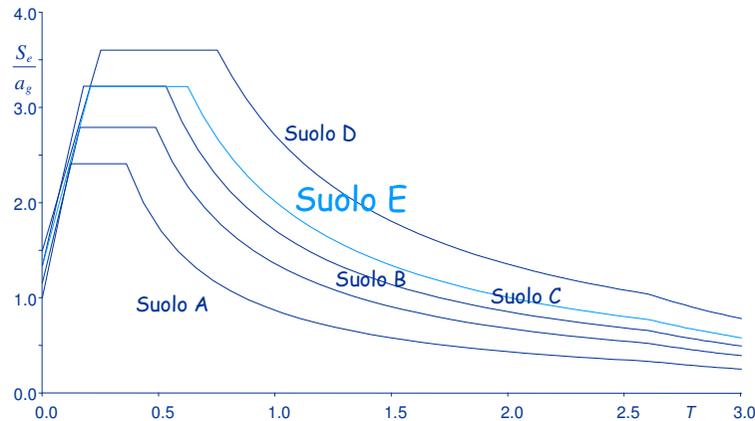
Resistenza penetrometrica

$$N_{SPT} < 15$$

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

NTC18

profondità del substrato (roccia)
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

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

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

Suolo S2

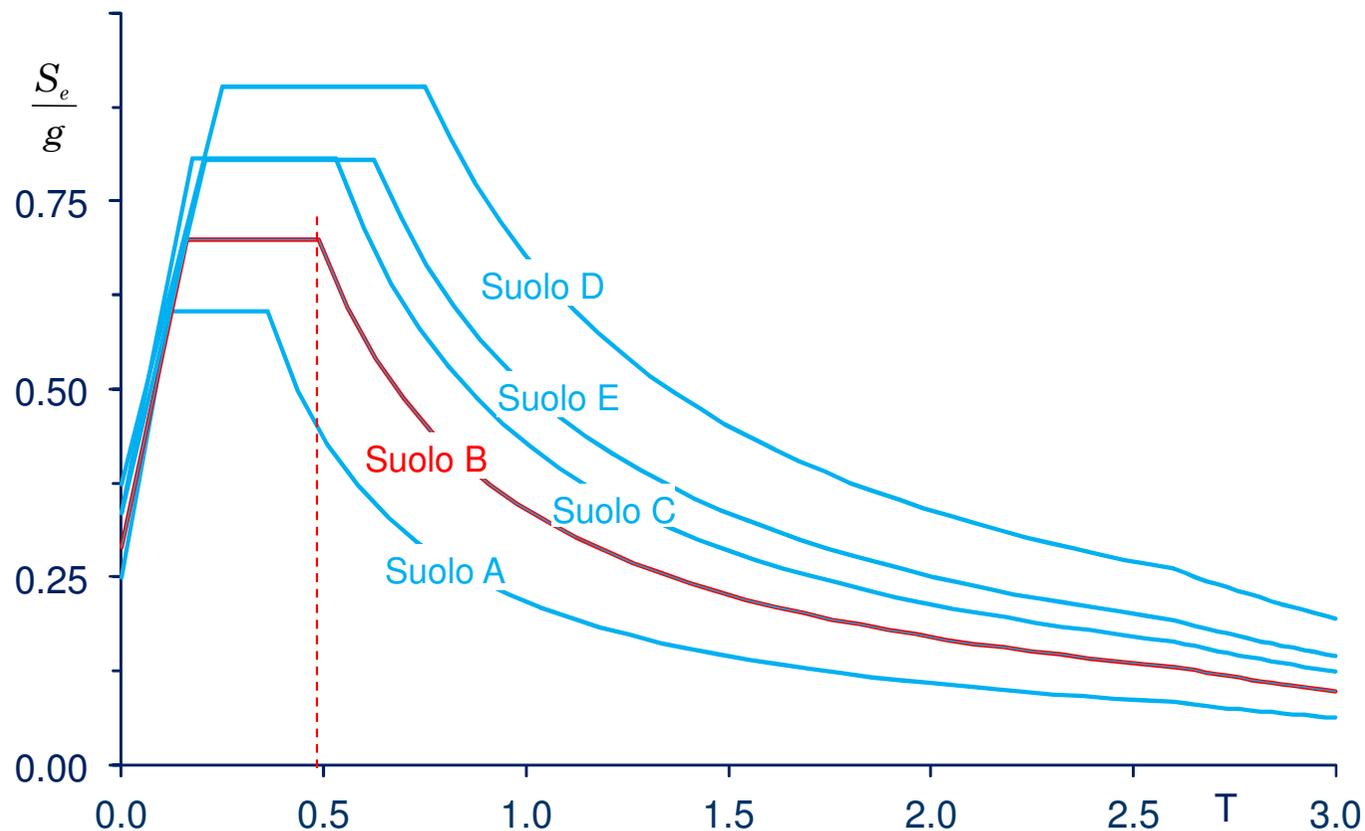
Depositi di terreni soggetti a liquefazione

I suoli S1 e S2
non esistono più nelle
NTC18

Per questi tipi di terreno occorrono studi speciali

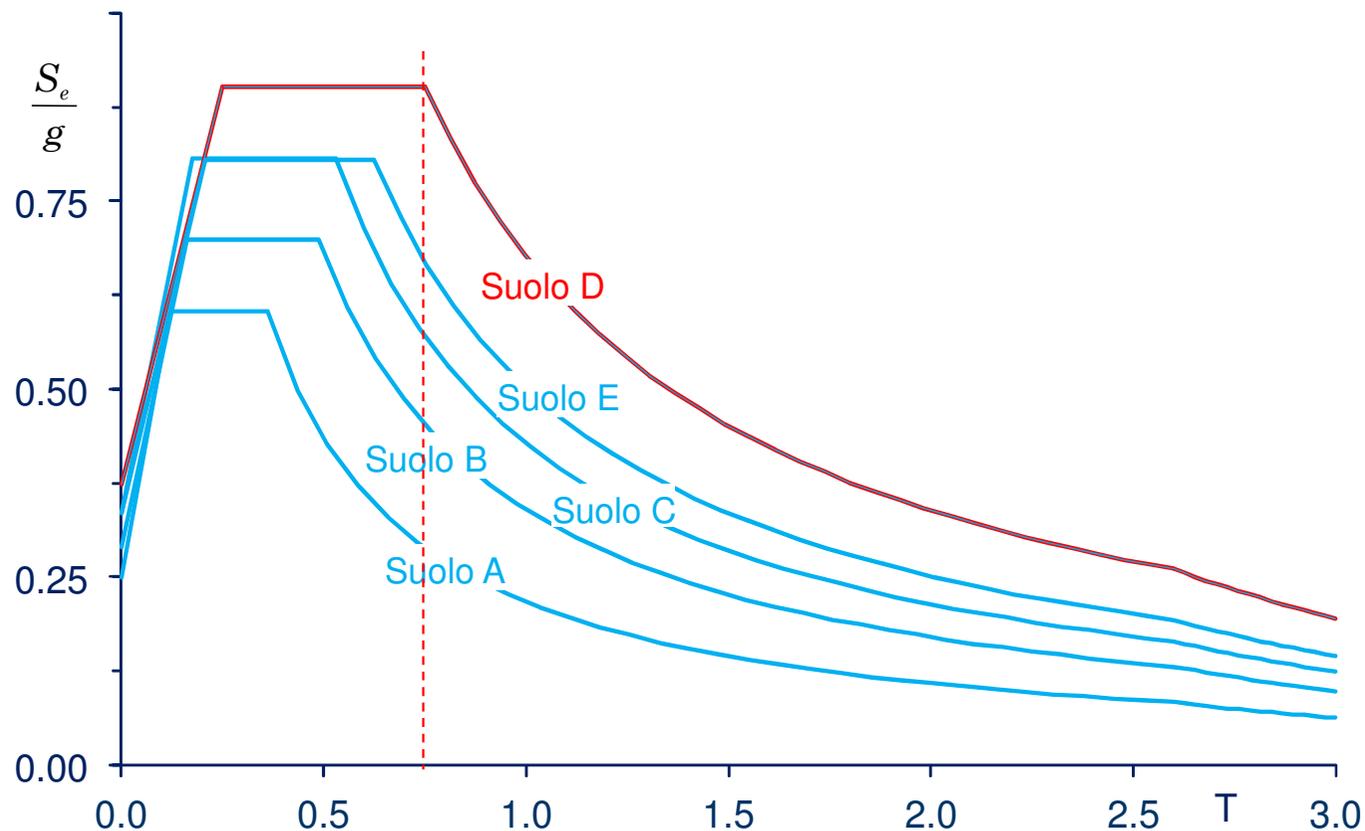
Considerazione sugli spettri

- 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



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



Classificazione sismica oggi

(Norme Tecniche per le Costruzioni)

- La normativa fornisce a_g, F_o, T_C^*
da questi parametri si ricavano S, T_B, T_C, T_D che consentono di ottenere lo spettro di risposta sia al bedrock che per i vari tipi di suolo standard
- Questi valori consentono di diversificare con precisione quello che si ha nei differenti siti
 - Precisione fin troppo spinta, se si pensa che le accelerazioni sono valori mediani, che i picchi dello spettro sono smussati, ecc.
 - Differenze che comunque sono “mediamente” valide e condizionano notevolmente le scelte progettuali

Classificazione sismica oggi

(Norme Tecniche per le Costruzioni)

- Esistono numerosi siti, programmi, fogli di calcolo che aiutano ad individuare questi parametri per un sito specifico

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 Montefalco"
 Cerca



Mappa Satellite Ibrida

POWERED BY  Immagini © 2008 DigitalGlobe, Spot Image, GeoEye, Map data © 2008 Tele Atlas Termini e condizioni d'uso

Latitudine: Longitudine:

Classe dell'edificio
 ▼

Vita Nominale - Struttura ▼

Periodo di Riferimento per l'azione sismica

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 |



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

42.74387633, 12.74042845

Determinazione dei dati sismici

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 Montefalco"

Latitudine: Longitudine:
 Classe dell'edificio:
 Vita Nominale - Struttura:
 Periodo di Riferimento per l'azione sismica:

Dati corrispondenti

Stato limite e periodo di ritorno

| "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 NTC08

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 NTC08

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 NTC08

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 NTC08

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 08

Esempio: Messina (piazza Cairoli)

Per $T_r=475$ anni $a_g=0.250$ g $F_o=2.410$ $T_C^* = 0.360$ s

Per $T_r=50$ anni $a_g=0.082$ g $F_o=2.316$ $T_C^* = 0.292$ 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 08

Esempio: Messina (piazza Cairoli)

Per $T_r=475$ anni $a_g=0.250$ g $F_o=2.410$ $T_C^* = 0.360$ s

Per $T_r=50$ anni $a_g=0.082$ g $F_o=2.316$ $T_C^* = 0.292$ 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 accelerazioni verticali

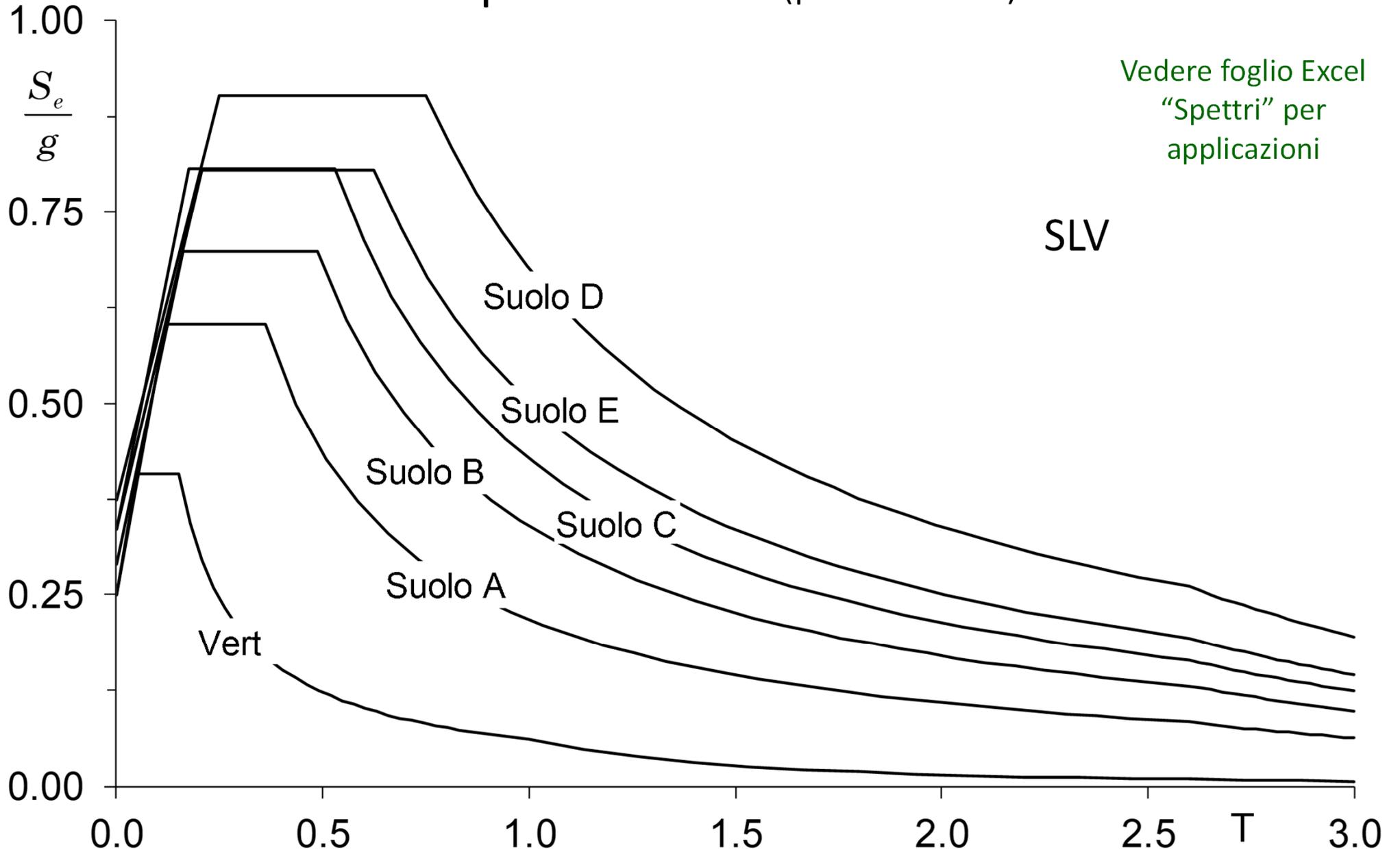
- Lo spettro ha la stessa forma, cambiano i parametri

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

$$F_V = 1.35 F_O \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0.5}$$

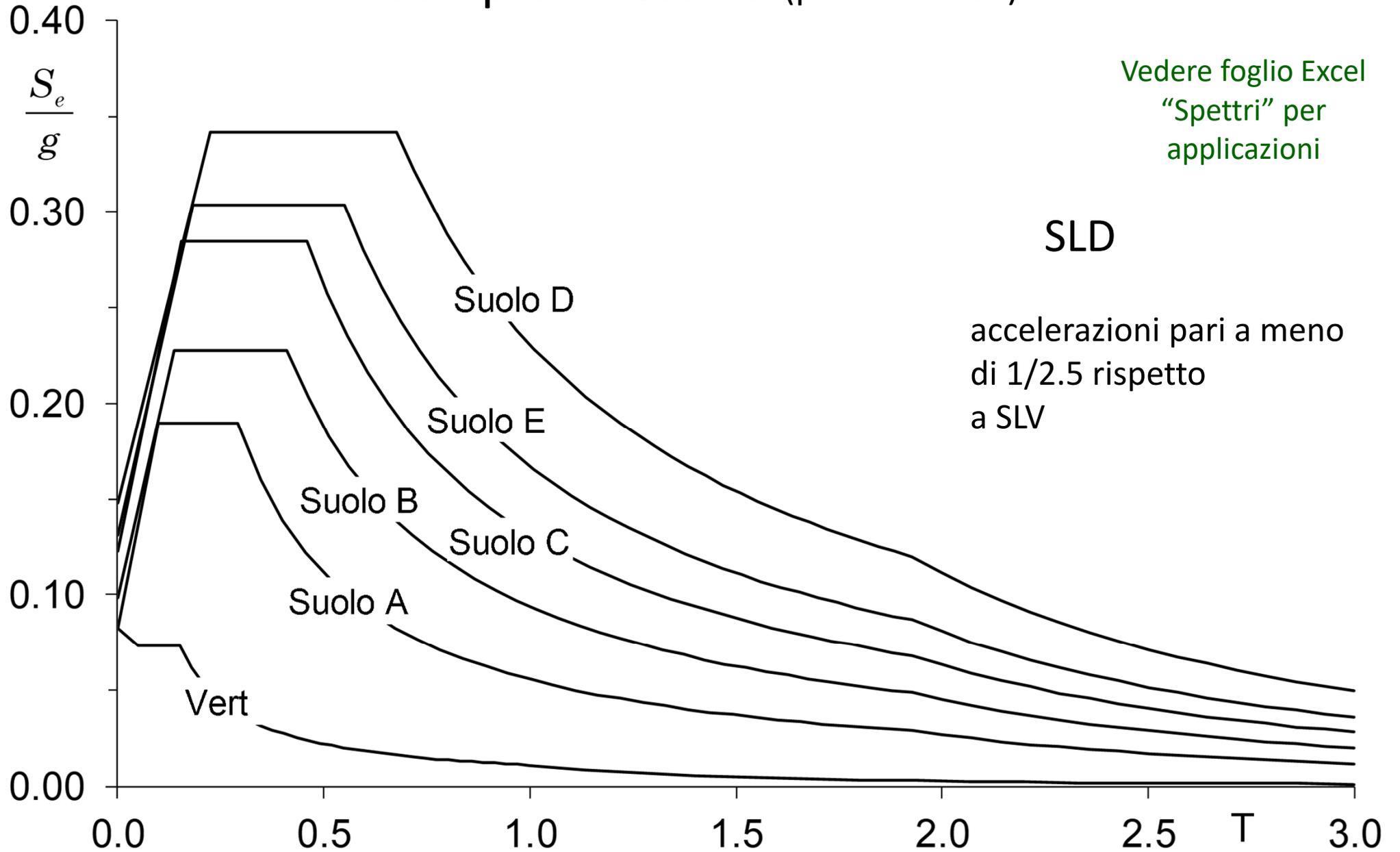
Spettri di risposta

Esempio: Messina (piazza Cairoli)

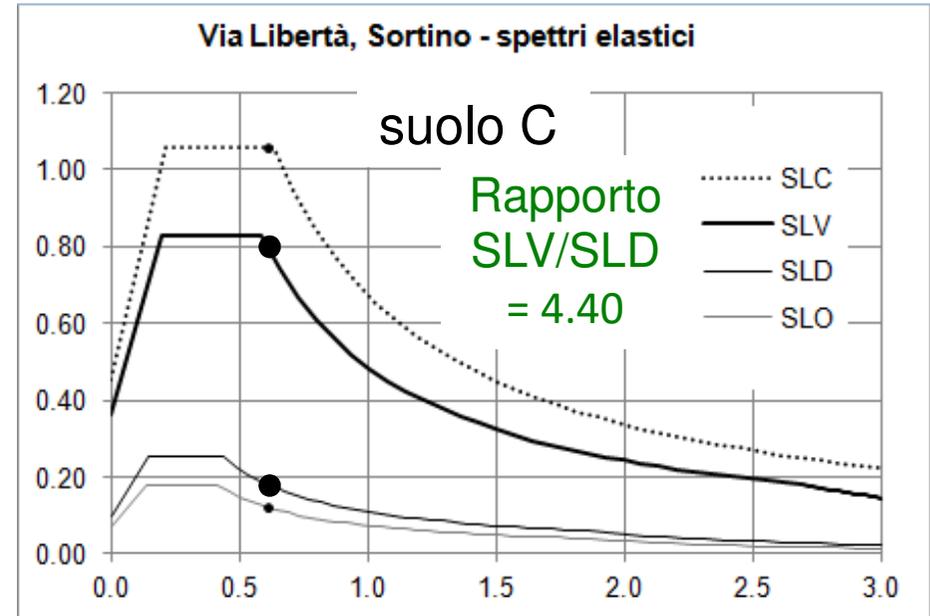
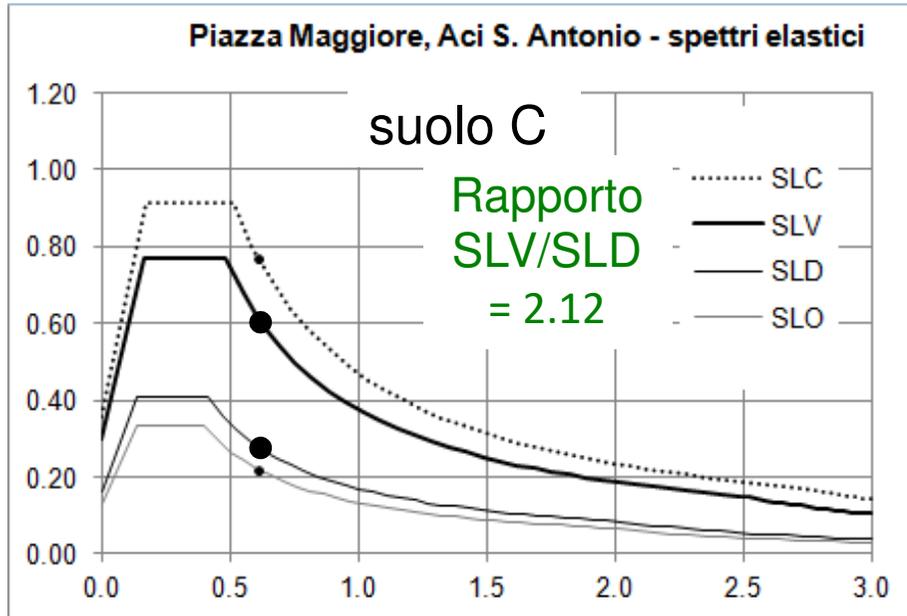
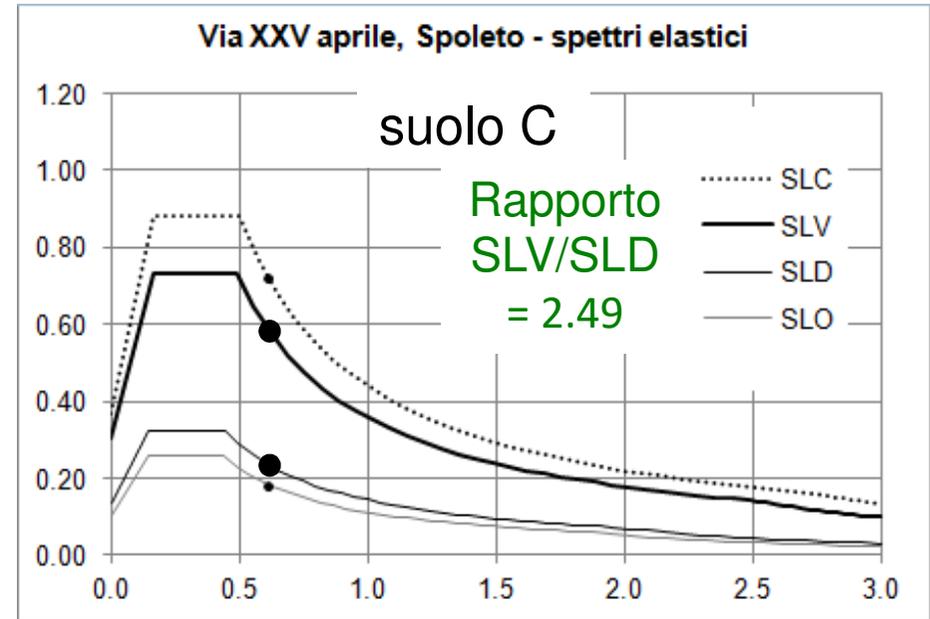
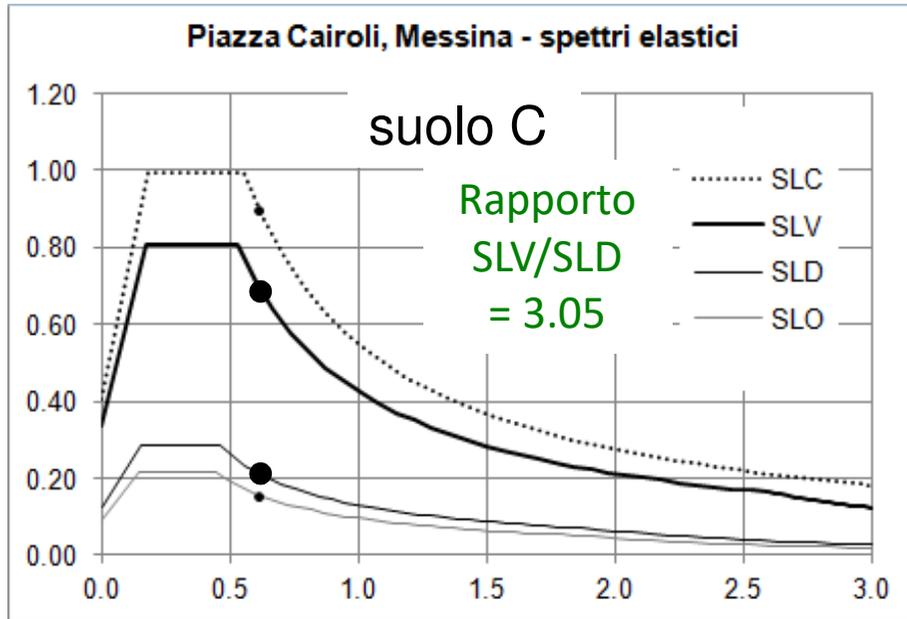


Spettri di risposta

Esempio: Messina (piazza Cairoli)



Confronto tra spettri al variare del sito



Normativa europea

considerazioni

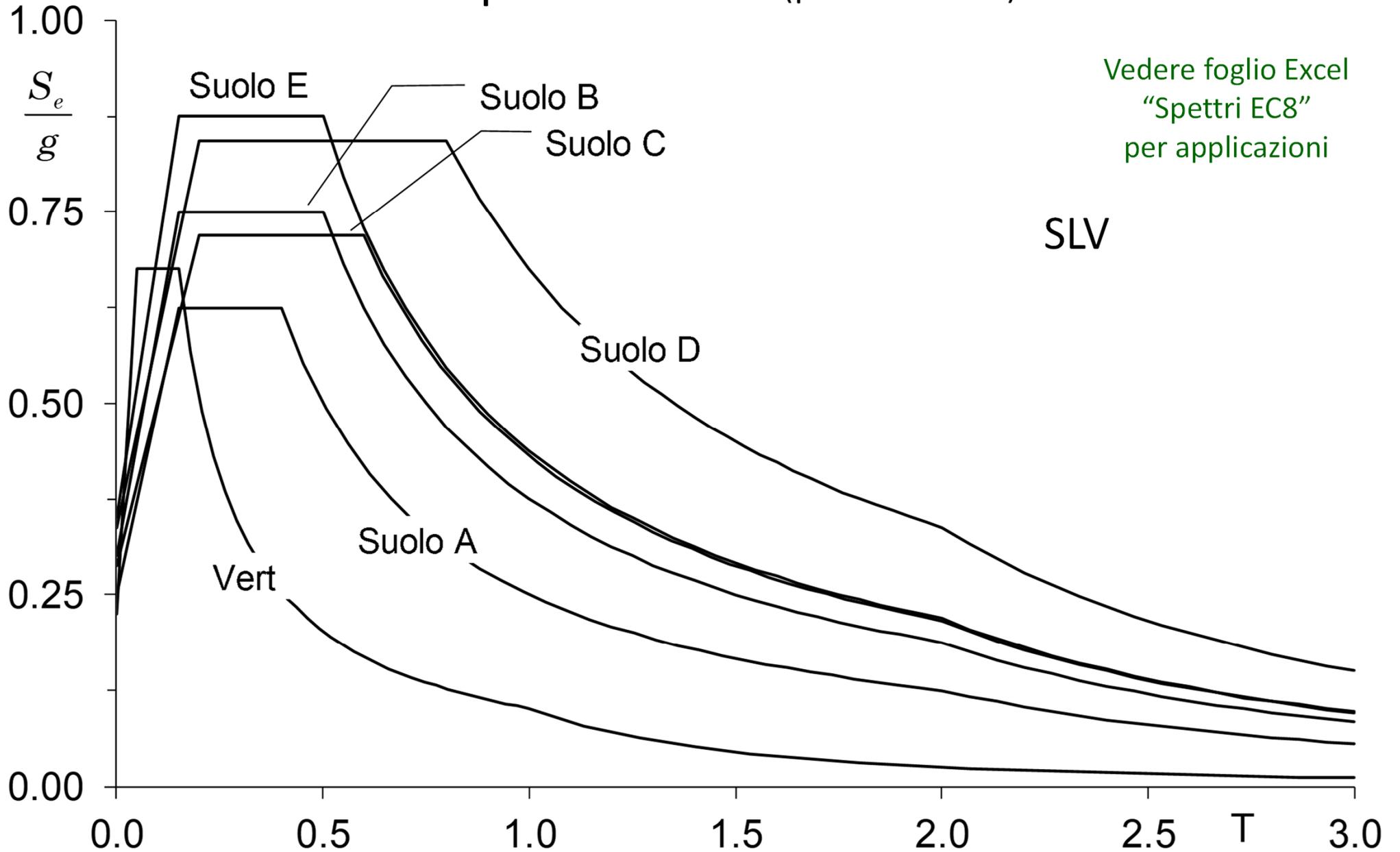
I valori di S , F_o , T_B , T_C , T_D sono definiti indipendentemente dal sito. Per terremoti con magnitudo superiore a 5.5 si utilizza uno spettro Tipo 1, con parametri sotto indicati

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 |

Spettri di risposta EC8

Esempio: Messina (piazza Cairoli)



Normativa europea considerazioni

