Workshop

Progetto di edifici antisismici con struttura in c.a.

Catania

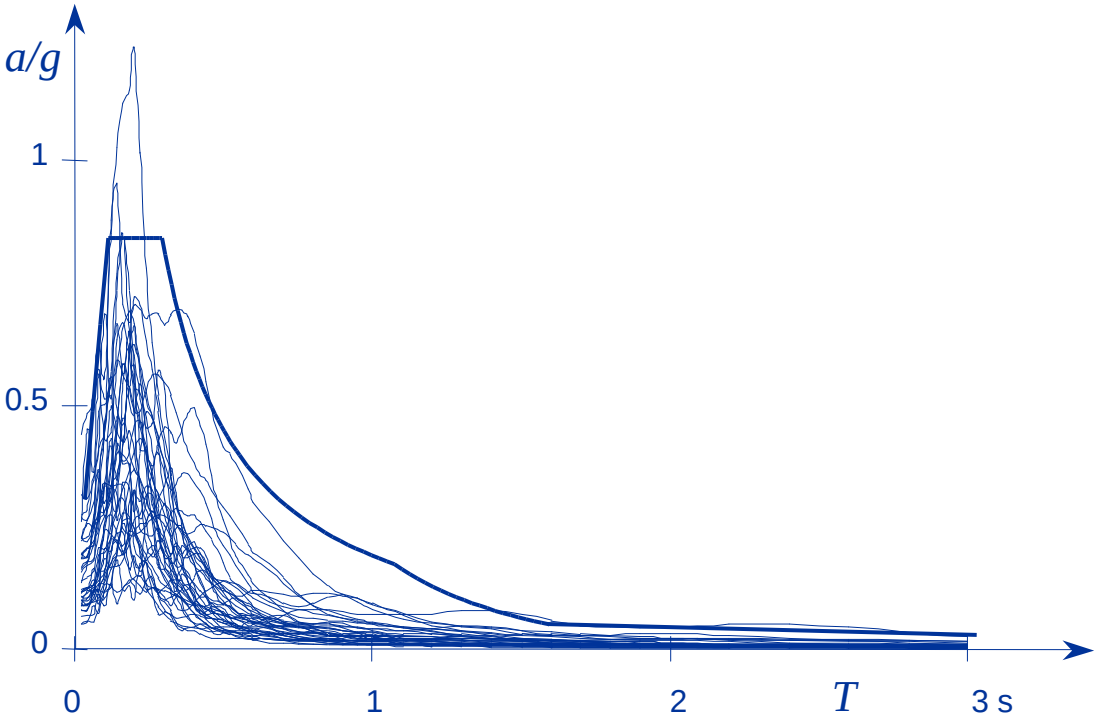
aula IT del DAU

10-20 settembre 2013

05 – Spettro di risposta elastica di normativa

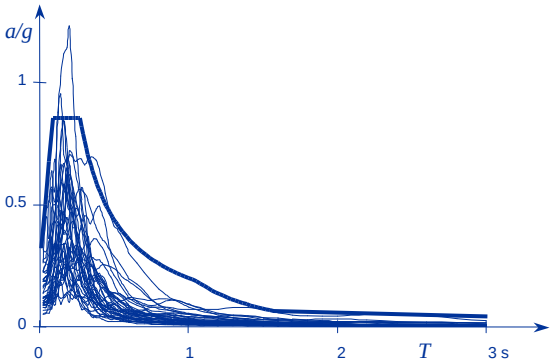
Spettri di risposta

L'analisi di oscillatori semplici può essere ripetuta per diversi accelerogrammi (con un assegnato smorzamento)

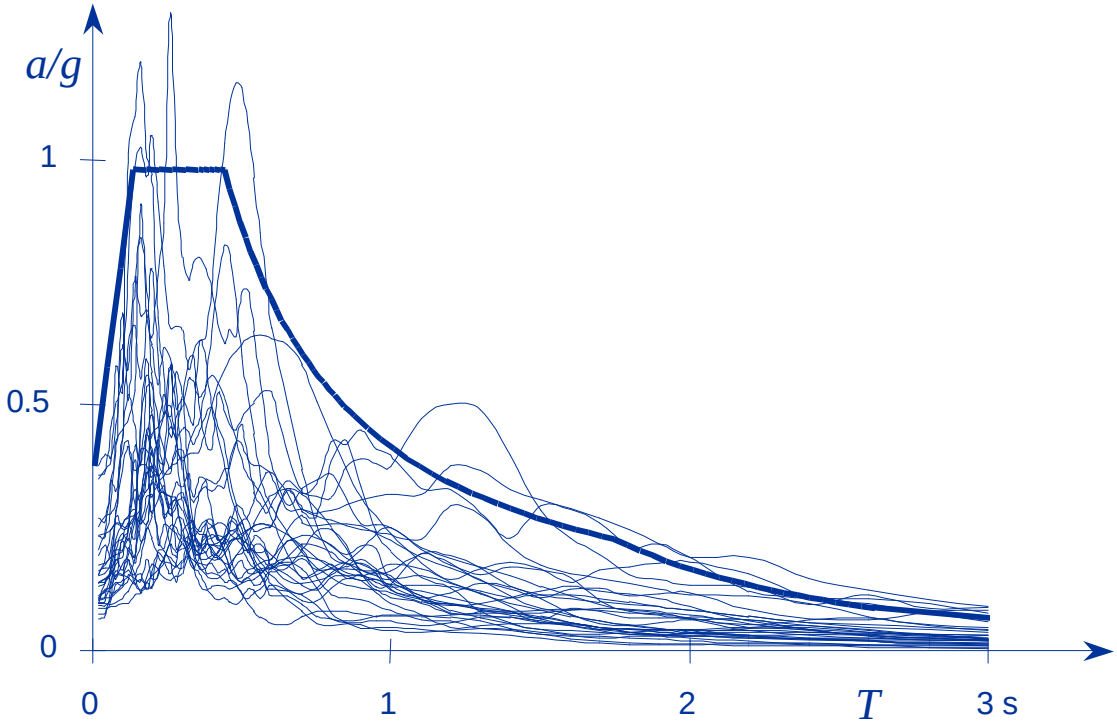


Si può quindi definire una curva che inviluppa tutti gli spettri di risposta, o che viene superata solo occasionalmente

Spettri di risposta

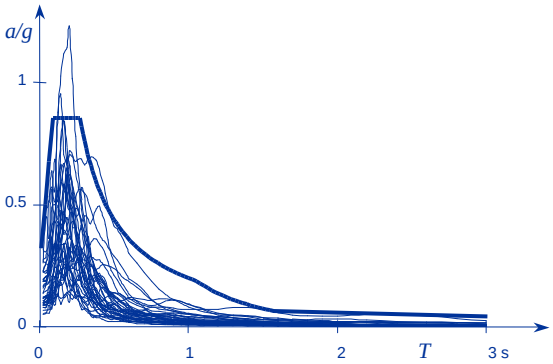


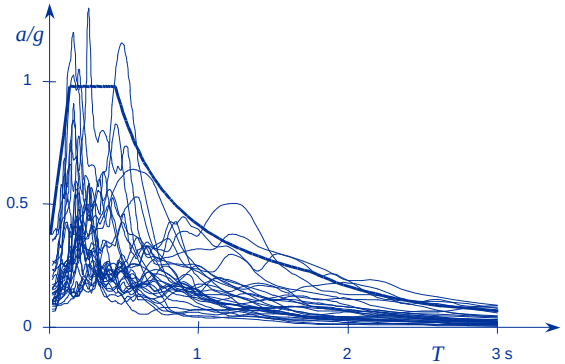
In zone differenti
e su terreni
differenti
si otterranno
risultati diversi



Si può quindi definire una curva che inviluppa tutti gli spettri di risposta, o che viene superata solo occasionalmente

Spettri di risposta



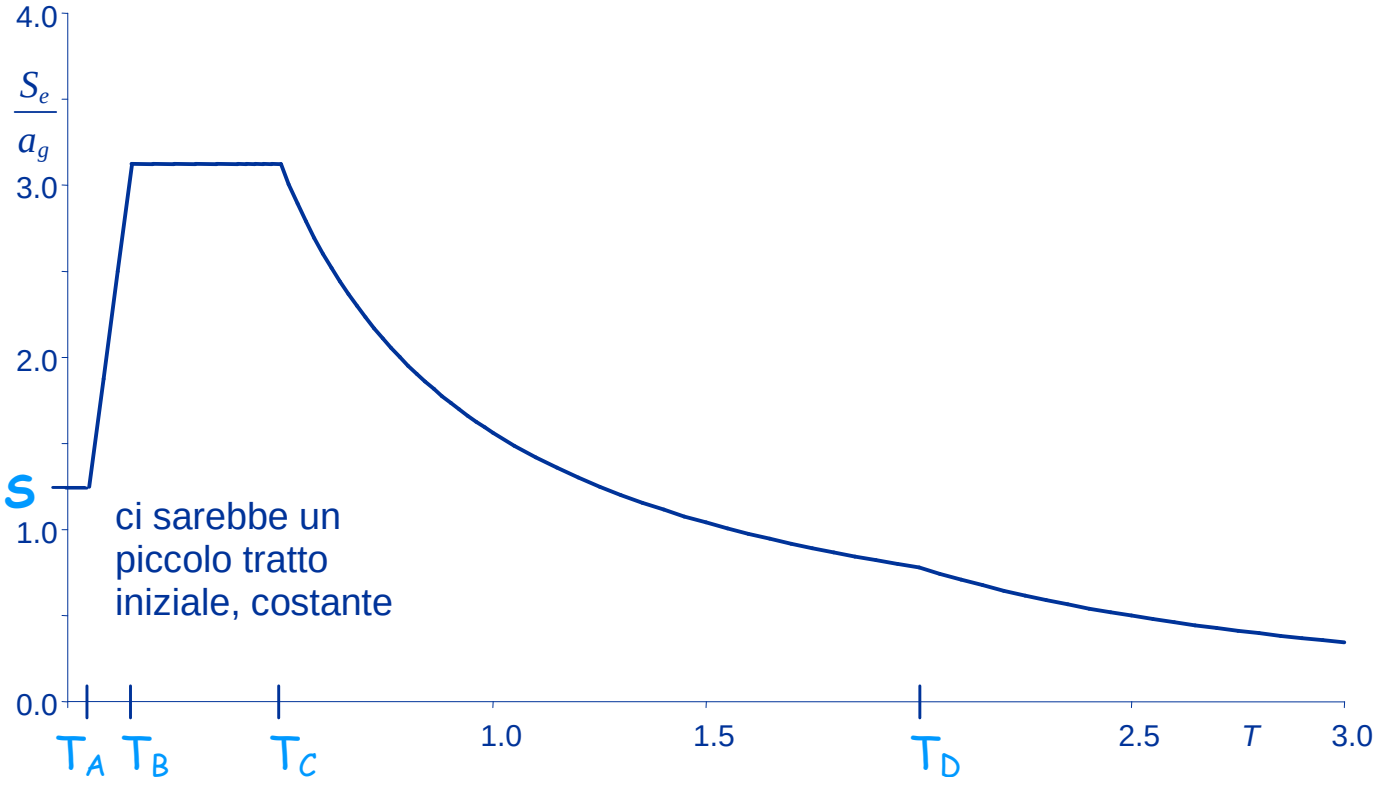


In zone differenti
e su terreni
differenti
si otterranno
risultati diversi

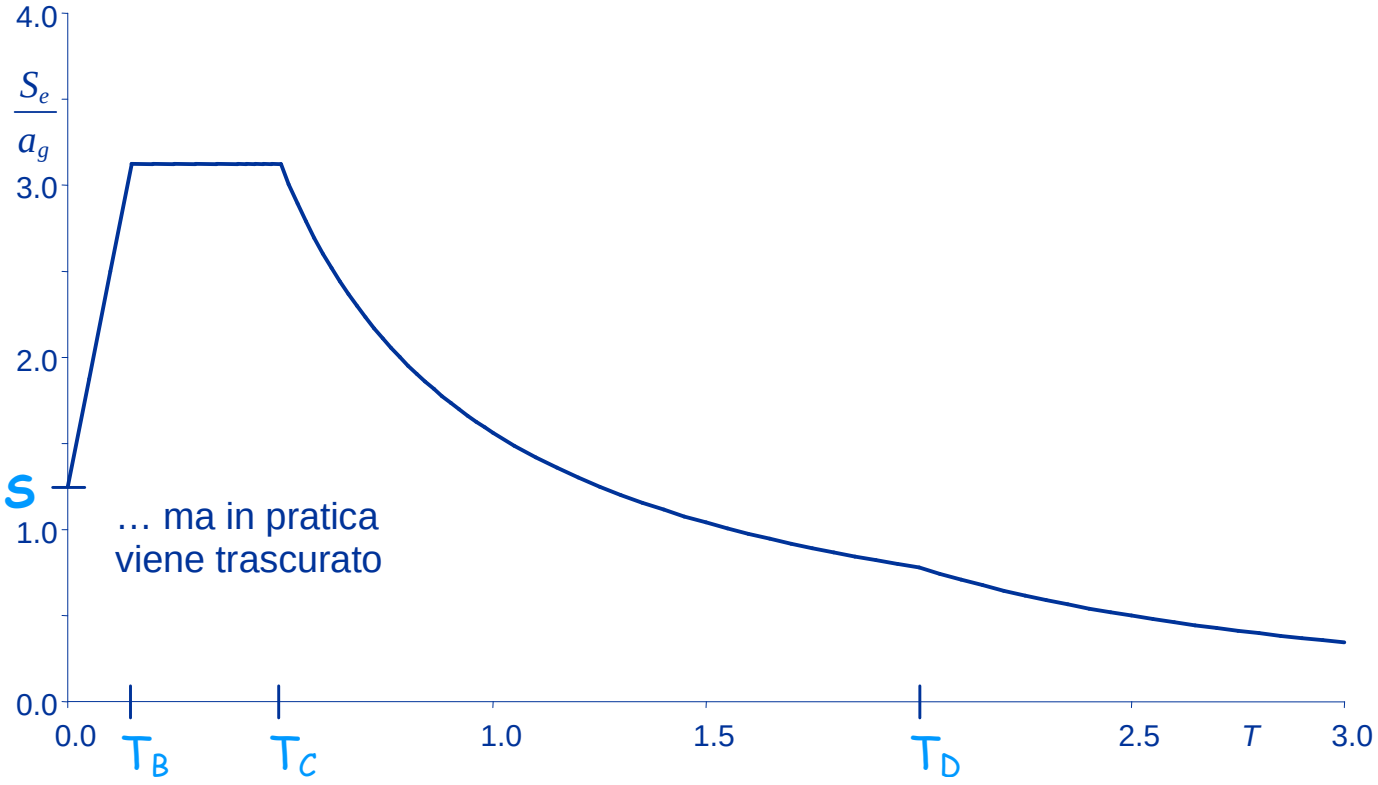
La normativa fornisce quindi spettri di risposta differenziati in funzione delle caratteristiche del suolo e della zona in cui è ubicata la struttura

Spettri di risposta elastica
NTC 08 (D.M. 14/1/2008)

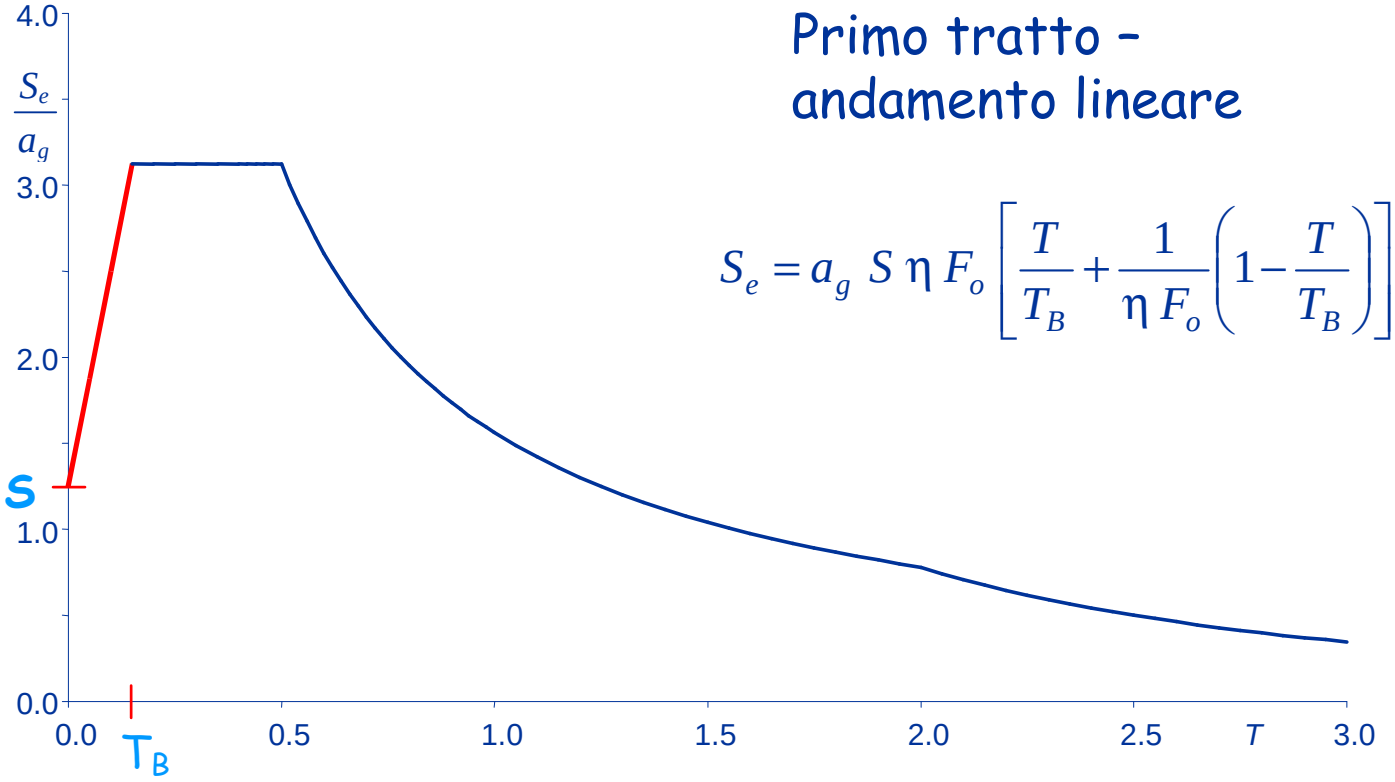
Forma generale degli spettri di risposta elastica



Forma generale degli spettri di risposta elastica



Spettri di risposta elastica di normativa
accelerazioni orizzontali



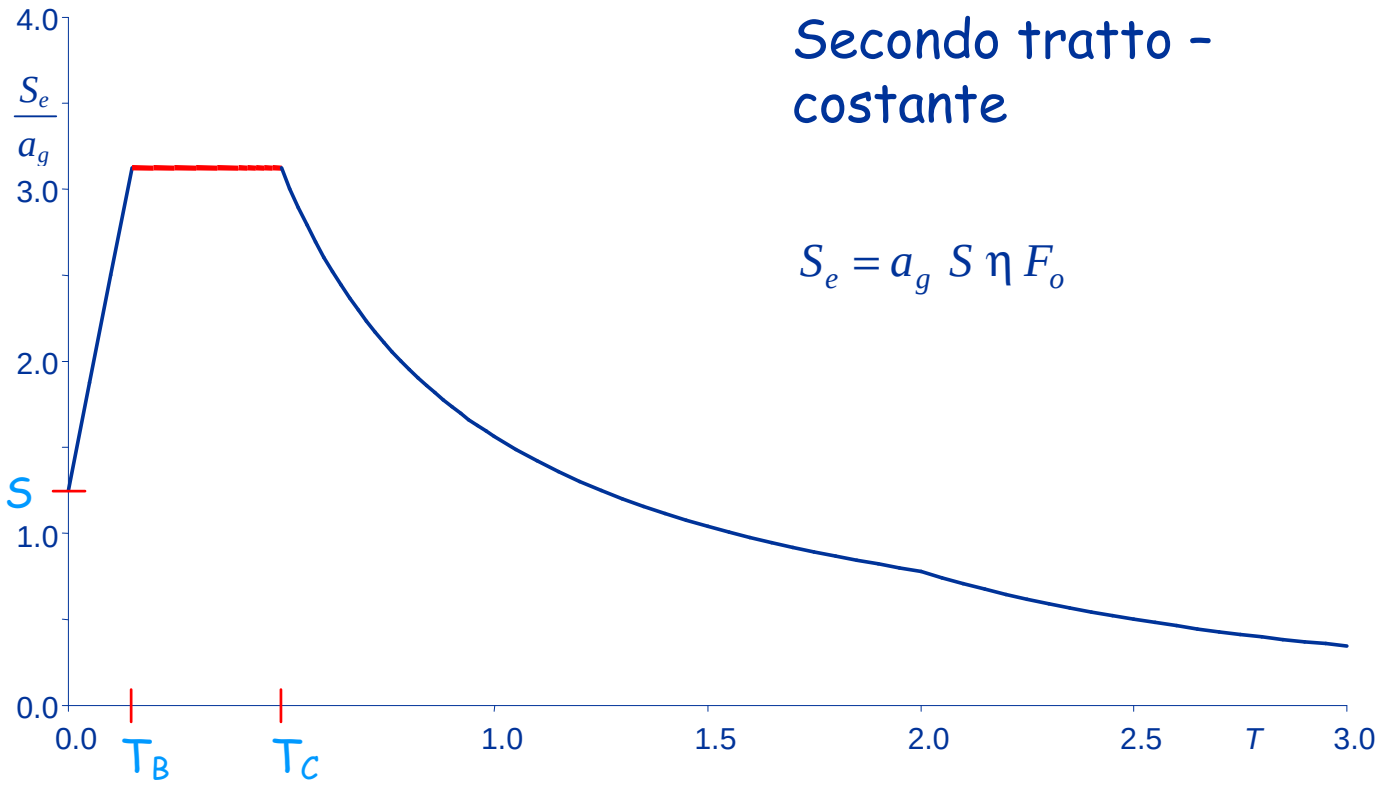
Primo tratto – andamento lineare

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

Amplificazione, legata al tipo di terreno

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

Spettri di risposta elastica di normativa
accelerazioni orizzontali

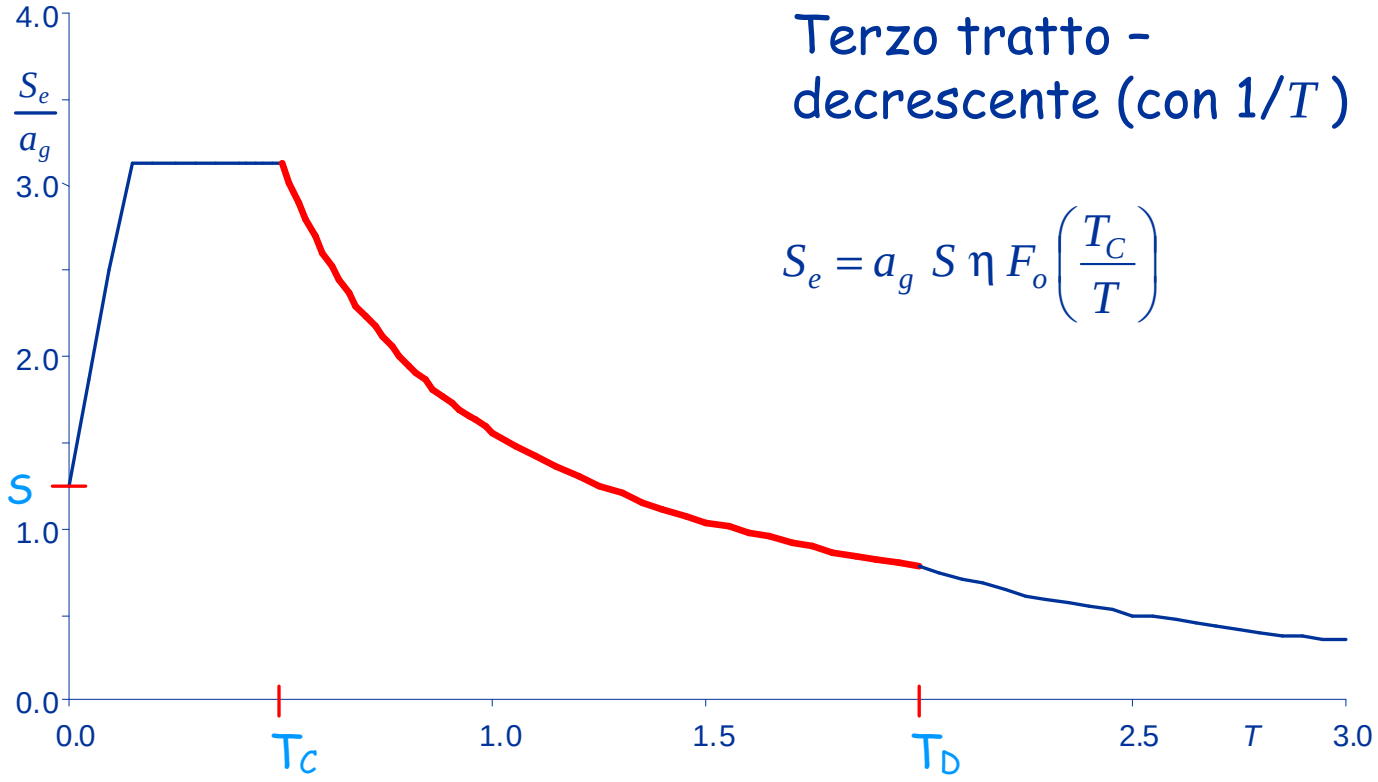


Secondo tratto – costante

$$S_e = a_g \, S \, \eta \, F_o$$

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

Spettri di risposta elastica di normativa
accelerazioni orizzontali

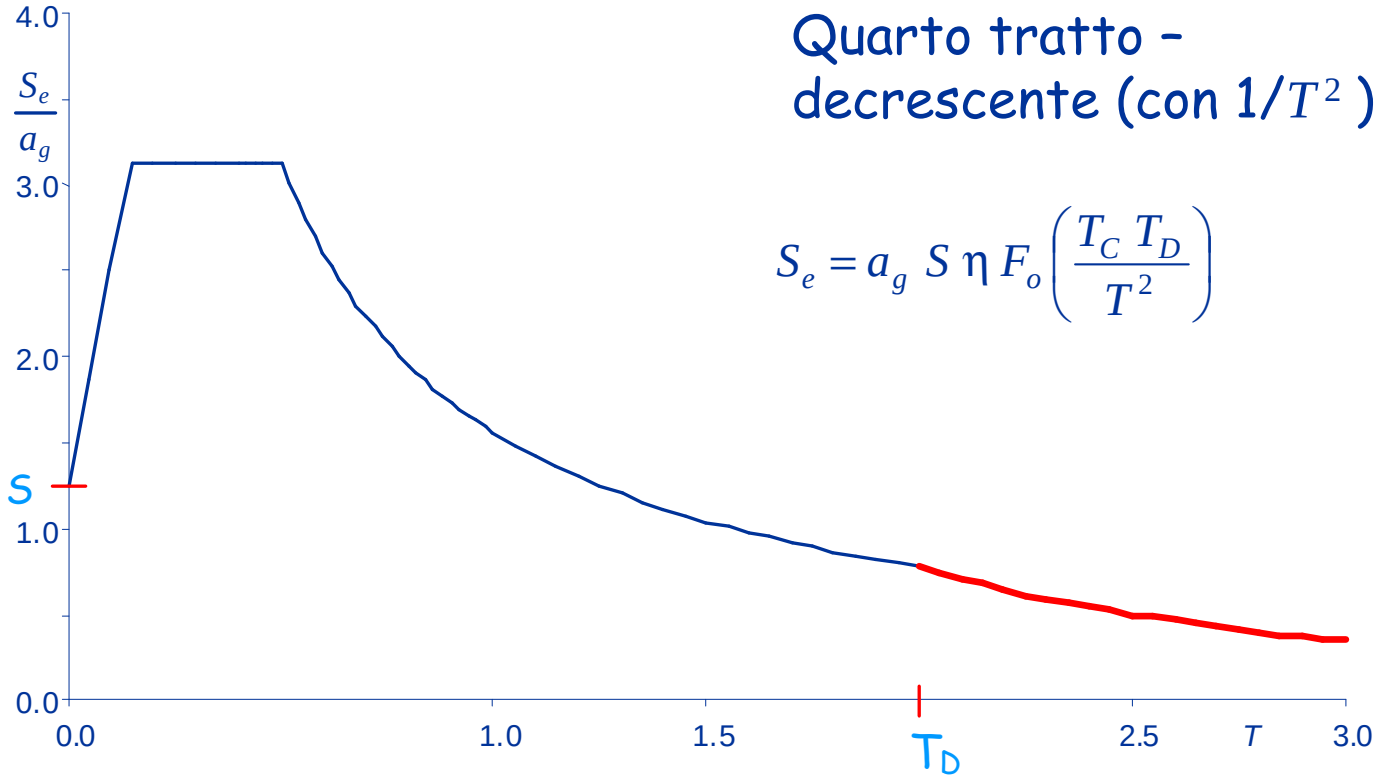


Terzo tratto – decrescente (con $1/T$)

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

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

Spettri di risposta elastica di normativa
accelerazioni orizzontali



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

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

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

Spettri di risposta elastica di normativa
accelerazioni orizzontali

Per definire uno spettro di risposta elastico occorre indicare i parametri

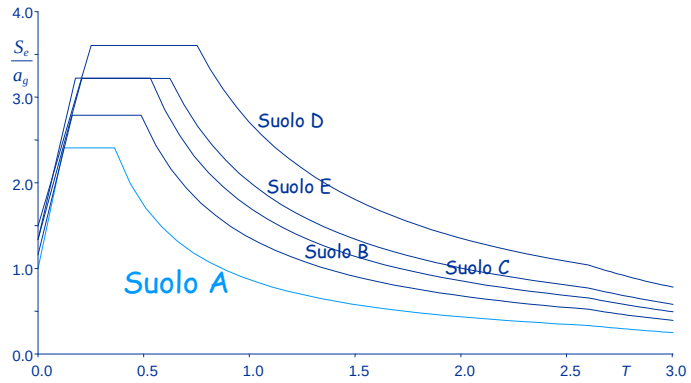
- a_g accelerazione del terreno (su roccia)
- S amplificazione dovuta al tipo di terreno
- T_B T_C T_D periodi che separano i diversi tratti
- ξ smorzamento della struttura

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



Suolo A

Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi

V_{S30} > 800 m/s

S = 1 T_B = 0.15 s T_C = 0.4 s T_D = 2.5 s

Valori orientativi per terremoti con alto periodo di ritorno

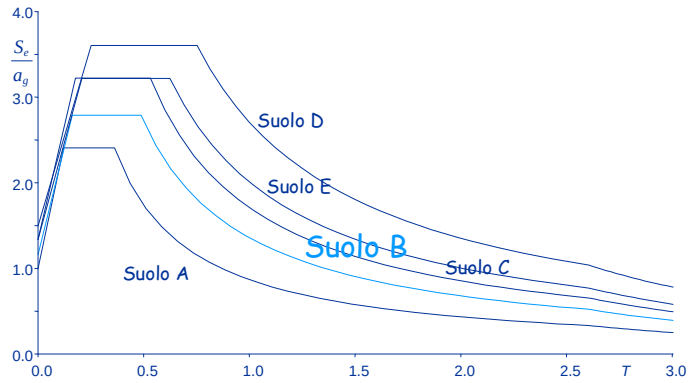
V_{S30}

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

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

Spettri di risposta elastica di normativa

accelerazioni orizzontali, alto periodo di ritorno



$S = 1.20$ $T_B = 0.15$ s $T_C = 0.5$ 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 B

Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti

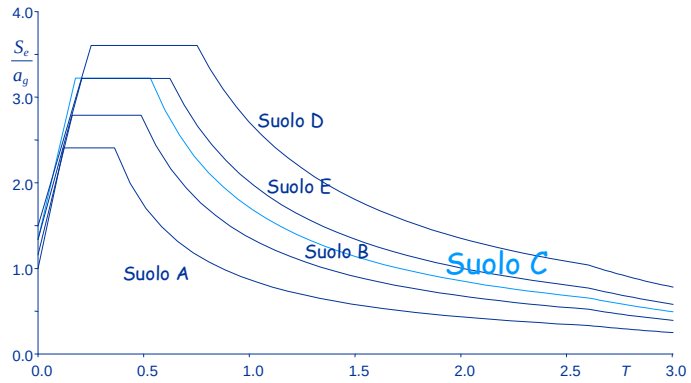
$360 \text{ m/s} < V_{S30} < 800 \text{ m/s}$

Resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$

Coesione non drenata $c_u > 250$ kPa

Spettri di risposta elastica di normativa

accelerazioni orizzontali, alto periodo di ritorno



$S = 1.30$ $T_B = 0.15$ s $T_C = 0.5$ 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 C

Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza

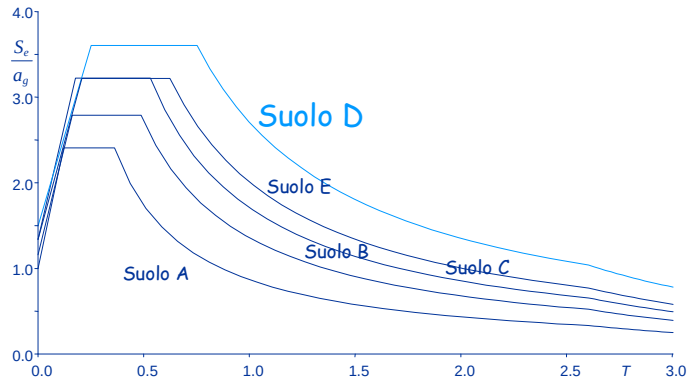
$180 \text{ m/s} < V_{S30} < 360 \text{ m/s}$

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

Coesione non drenata
$70 < c_u < 250$ kPa

Spettri di risposta elastica di normativa

accelerazioni orizzontali, alto periodo di ritorno



$S = 1.45$ $T_B = 0.25$ s $T_C = 0.8$ 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 D

Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti

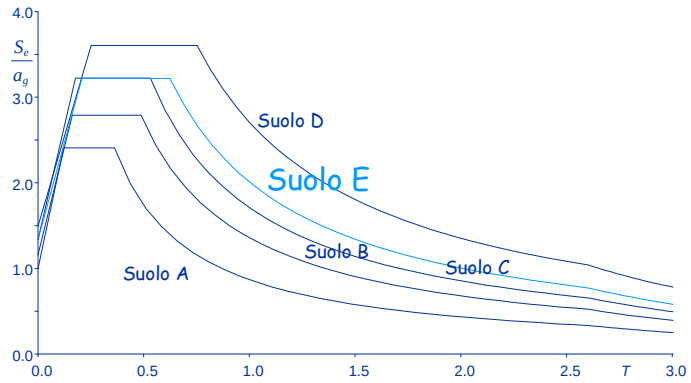
$V_{S30} < 180$ m/s

Resistenza penetrometrica $N_{SPT} < 15$

Coesione non drenata $c_u < 70$ kPa

Spettri di risposta elastica di normativa

accelerazioni orizzontali, alto periodo di ritorno



Suolo E

Strati superficiali alluvionali, di caratteristiche simili ai tipi C e D e spessore tra 5 e 20 m, su un substrato più rigido con V_{S30} > 800 m/s

$S = 1.30$ $T_B = 0.2$ s $T_C = 0.6$ 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

Spettri di risposta elastica di normativa

accelerazioni orizzontali, alto periodo di ritorno

Suolo S1

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

$V_{S30} < 100$ m/s

Coesione non drenata
$10 < c_u < 20$ kPa

Suolo S2

Depositi di terreni soggetti a liquefazione

Per questi tipi di terreno occorrono studi speciali

Esempio

Dall'alto:

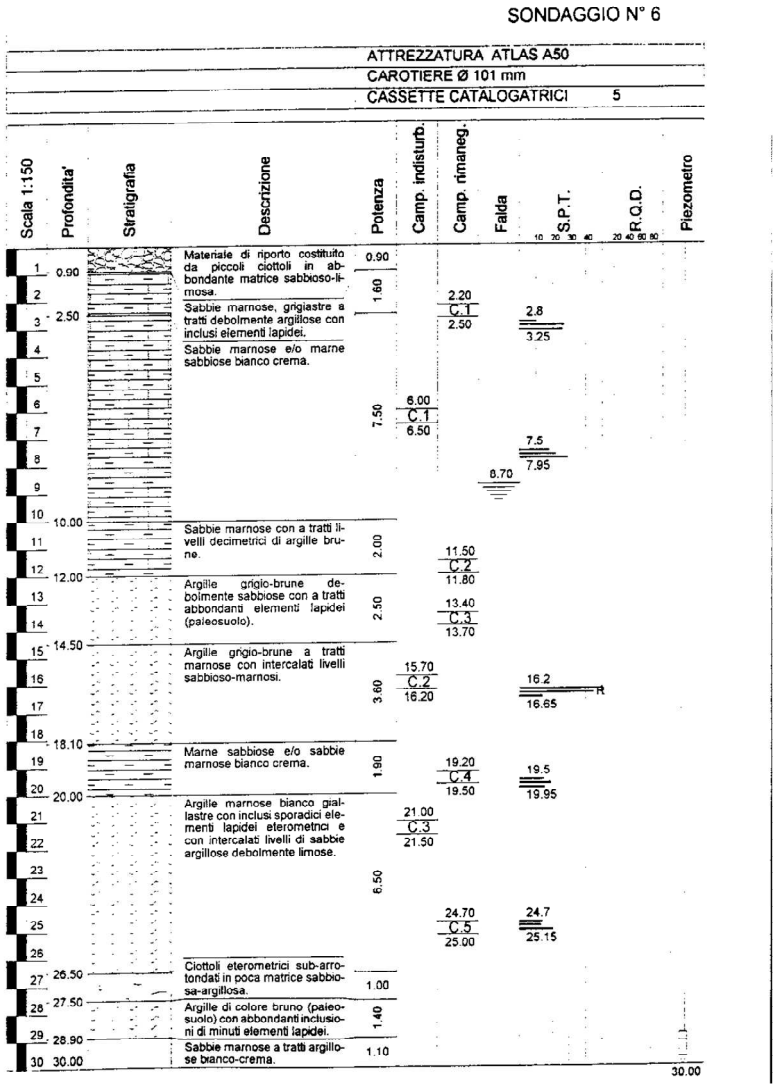
12 m – sabbie marnose
$N_{SPT} = 26$

6.1 m – argille grigio-brune
$N_{SPT} = 47$

1.9 m - marne sabbiose
$N_{SPT} = 16$

6.5 m – argille marnose
$N_{SPT} = 18$

3.5 m – ciottoli, argille brune
$N_{SPT} = 40$



Esempio

Dall'alto:

12 m - sabbie marnose
$N_{SPT} = 26$

6.1 m - argille grigio-brune
$N_{SPT} = 47$

1.9 m - marne sabbiose
$N_{SPT} = 16$

6.5 m - argille marnose
$N_{SPT} = 18$

3.5 m - ciottoli, argille brune
$N_{SPT} = 40$

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

$N_{SPT} = 25.9$

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

NTC08, punto 3.2.2

Classificazione sismica oggi (NTC 08)

La normativa fornisce a_g, F_o, T_C^*

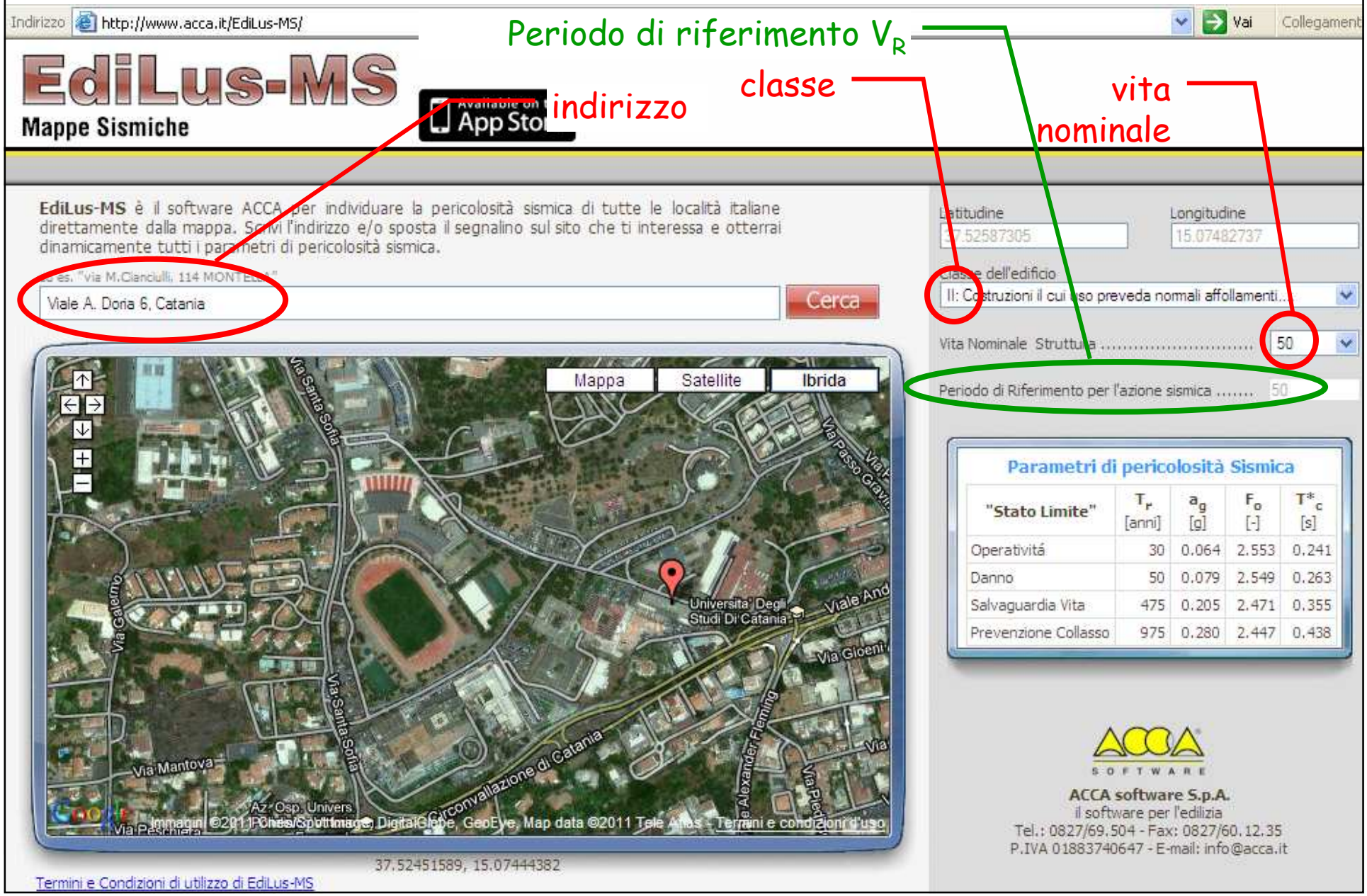
A che servono?

- consentono di definire lo spettro di risposta

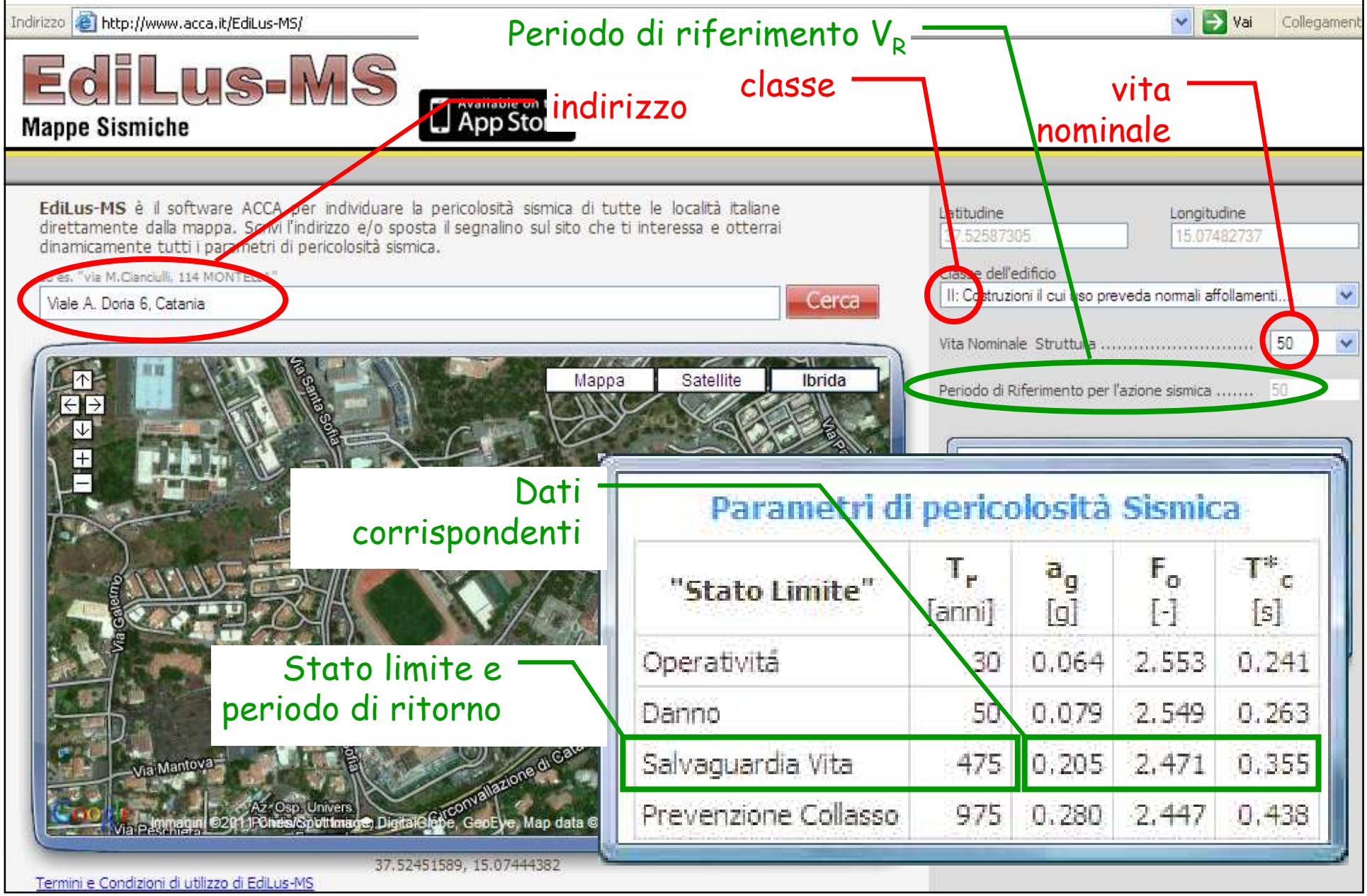
I valori sono forniti per ogni punto e per qualsiasi periodo di ritorno

Serve veramente tutta questa precisione?

Determinazione dei dati sismici



Determinazione dei dati sismici



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 $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

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 $\qquad T_B = T_C / 3$

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

Vedere foglio
Excel "Spettri"
per applicazioni

Spettri di risposta NTC 08
Esempio: Catania, cittadella universitaria

Per T_r=475 anni a_g=0.205 g F_o=2.471 T_C^*= 0.355 s
Per T_r=50 anni a_g=0.079 g F_o=2.549 T_C^*= 0.263 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	0.205 g	1.000	0.205 g	2.471	0.118 s	0.355 s	2.420 s
B		1.197	0.245 g		0.160 s	0.480 s	2.420 s
C		1.396	0.286 g		0.175 s	0.525 s	2.420 s
D		1.640	0.336 g		0.248 s	0.745 s	2.420 s
E		1.443	0.296 g		0.206 s	0.618 s	2.420 s

Spettri di risposta NTC 08
Esempio: Catania, cittadella universitaria

Per T_r=475 anni a_g=0.205 g F_o=2.471 T_C^*= 0.355 s
Per T_r=50 anni a_g=0.079 g F_o=2.549 T_C^*= 0.263 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	0.079 g	1.000	0.079 g	2.549	0.088 s	0.263 s	1.916 s
B		1.200	0.095 g		0.126 s	0.378 s	1.916 s
C		1.500	0.119 g		0.143 s	0.429 s	1.916 s
D		1.800	0.142 g		0.214 s	0.641 s	1.916 s
E		1.600	0.126 g		0.172 s	0.516 s	1.916 s

Spettri di risposta NTC08
accelerazioni verticali

- Lo spettro ha la stessa forma, cambiano i parametri

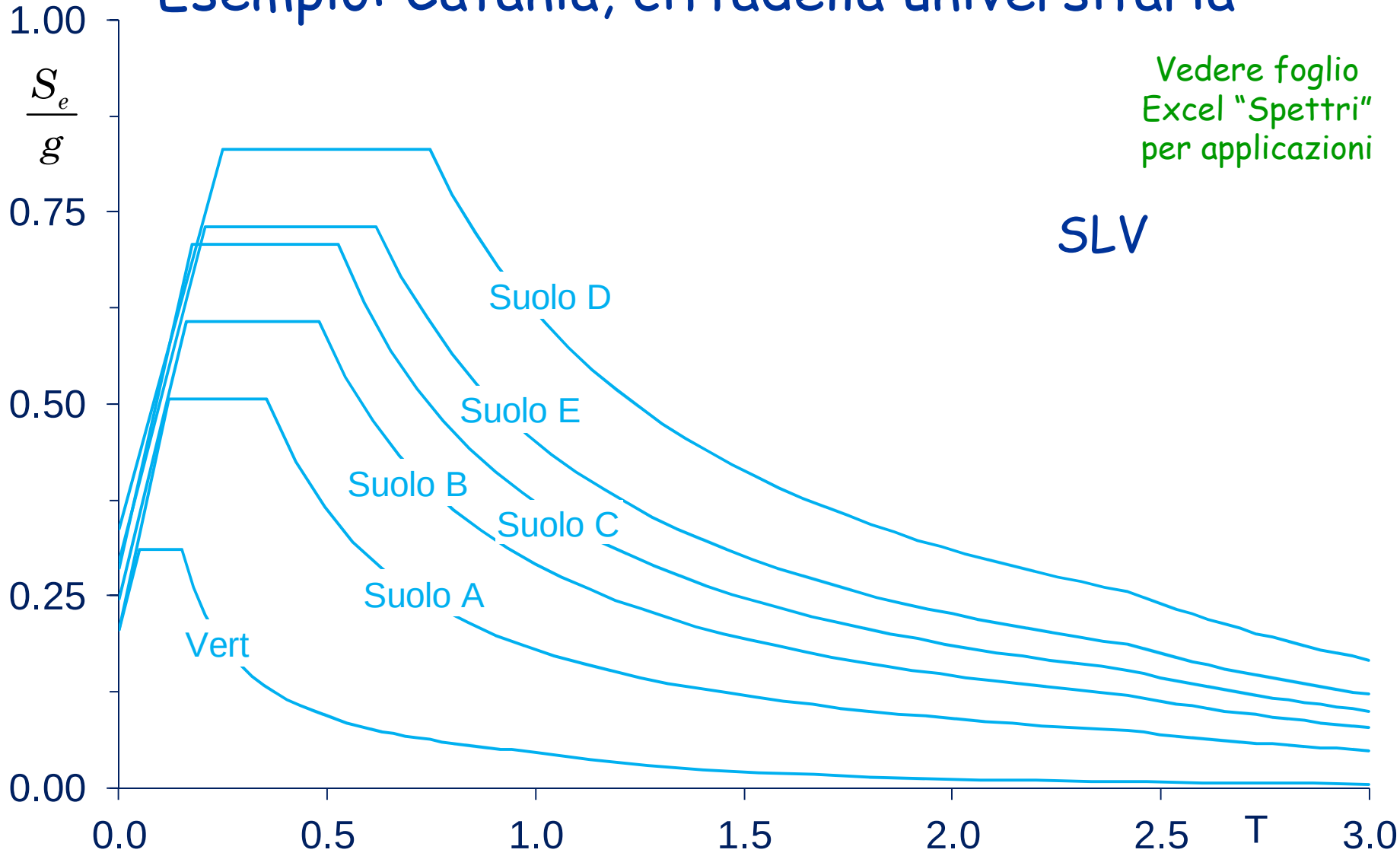
Categoria di sottosuolo	S_S	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1.0	0.05	0.15	1.00

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

NTC08, punto 3.2.3.2.2

Spettri di risposta NTC 08

Esempio: Catania, cittadella universitaria

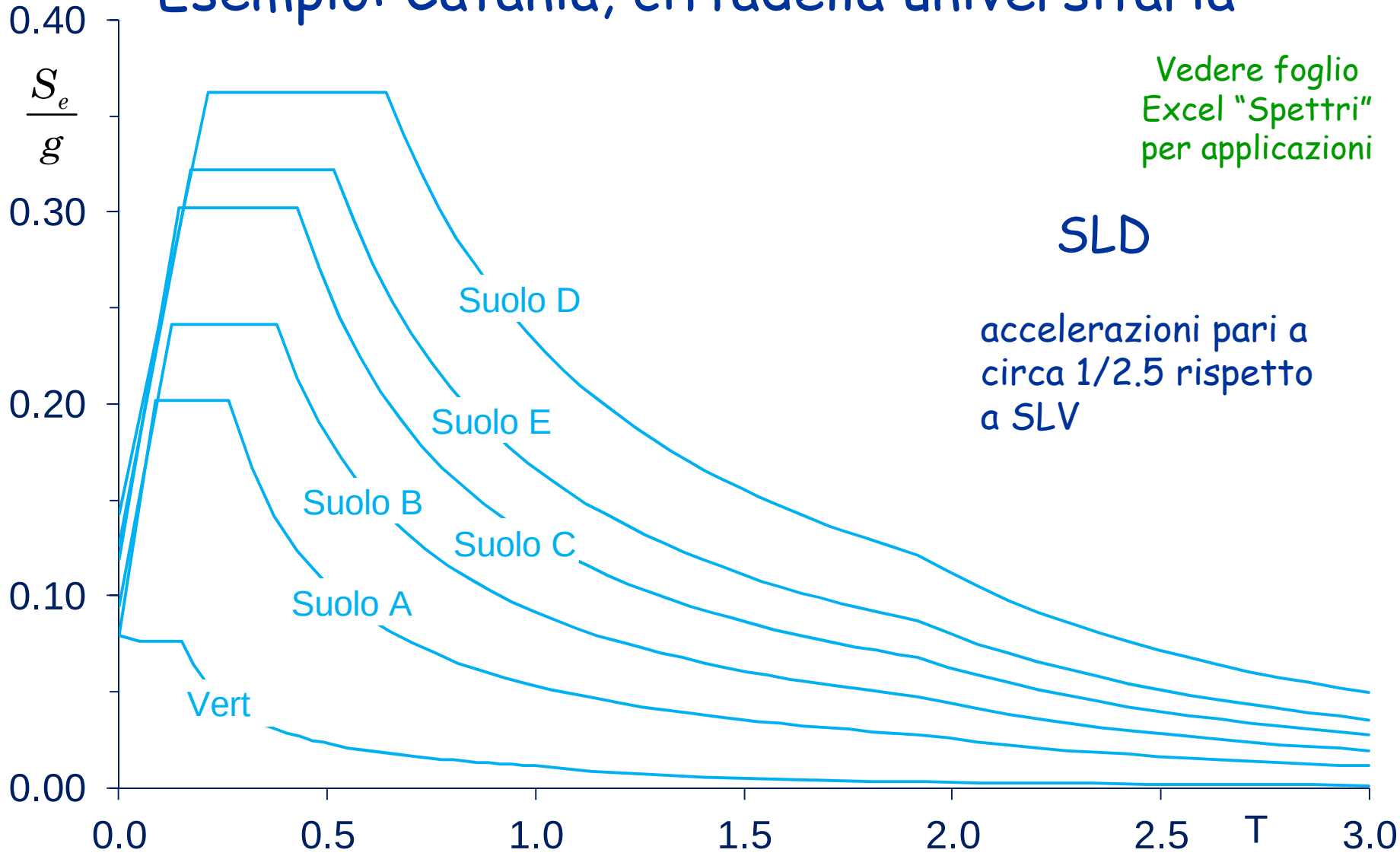


Vedere foglio Excel "Spettri" per applicazioni

SLV

Spettri di risposta NTC 08

Esempio: Catania, cittadella universitaria



Vedere foglio Excel "Spettri" per applicazioni

SLD

accelerazioni pari a circa 1/2.5 rispetto a SLV

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 (Catania)

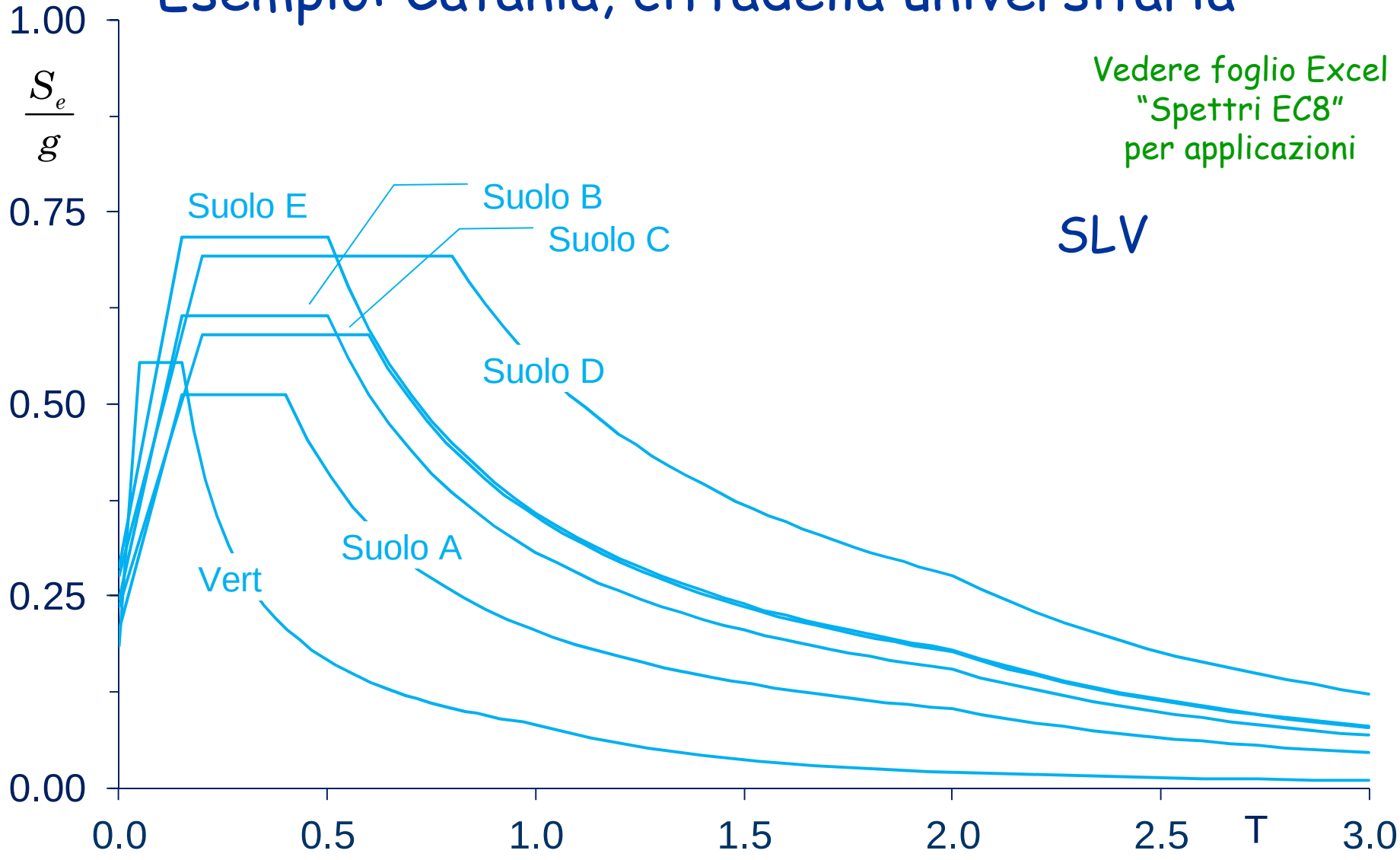
Accelerazioni orizzontali, terremoto con T_r=475 anni (SLV)

Categoria suolo	PGA su roccia a_g	S	S a_g	F_o	T_B	T_C	T_D
A	0.205 g	1.00	0.205 g	2.5	0.15 s	0.40 s	2.00 s
B		1.20	0.246 g		0.15 s	0.50 s	2.00 s
C		1.15	0.236 g		0.20 s	0.60 s	2.00 s
D		1.35	0.277 g		0.20 s	0.80 s	2.00 s
E		1.40	0.287 g		0.15 s	0.50 s	2.00 s

EC8, punto 3.2.2.2

Spettri di risposta EC8

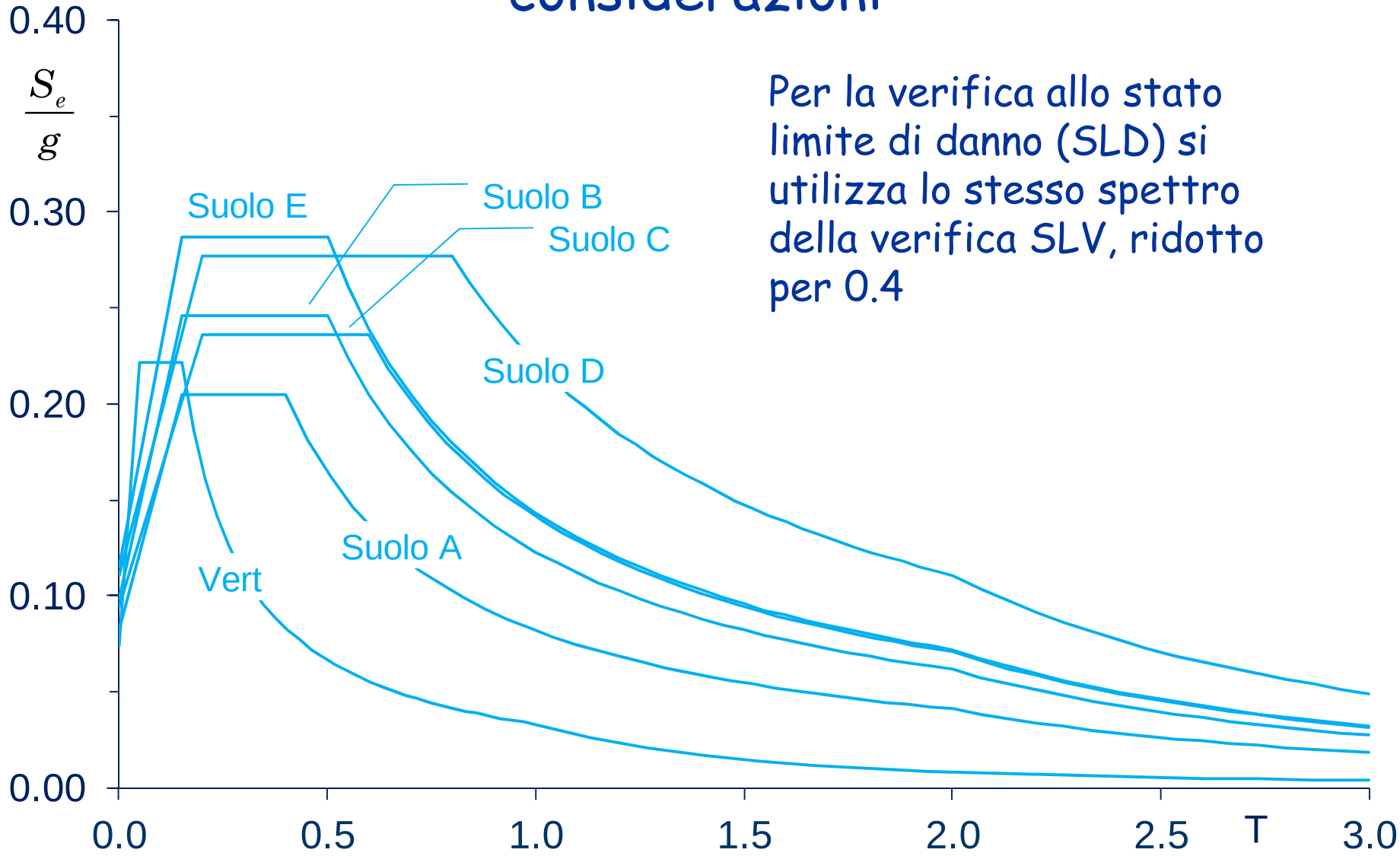
Esempio: Catania, cittadella universitaria



Vedere foglio Excel
"Spettri EC8"
per applicazioni

SLV

Normativa europea
considerazioni



Per la verifica allo stato limite di danno (SLD) si utilizza lo stesso spettro della verifica SLV, ridotto per 0.4