

Corso

# Progetto di strutture in zona sismica

Catania

ottobre - dicembre 2016

02 - Risposta sismica delle strutture

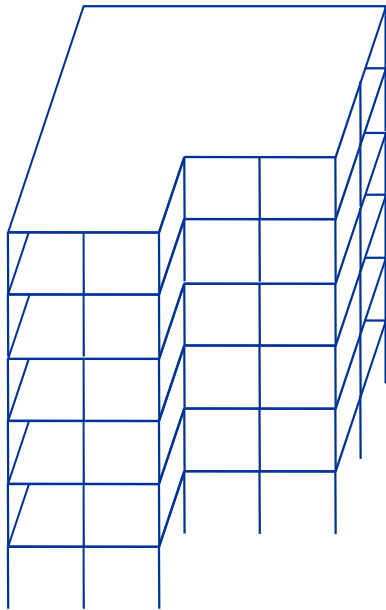
12 ottobre 2016

Aurelio Ghersi

In che modo valutiamo  
l'effetto del sisma su una struttura?

# Le strutture: gradi di libertà statici

Le strutture, pur essendo in realtà continue, sono in genere viste come discretizzate, ovvero come:



- Insieme di nodi (liberi o vincolati)
- Collegati da elementi mono dimensionali (aste) o anche bi o tri-dimensionali

Gradi di libertà (statici):

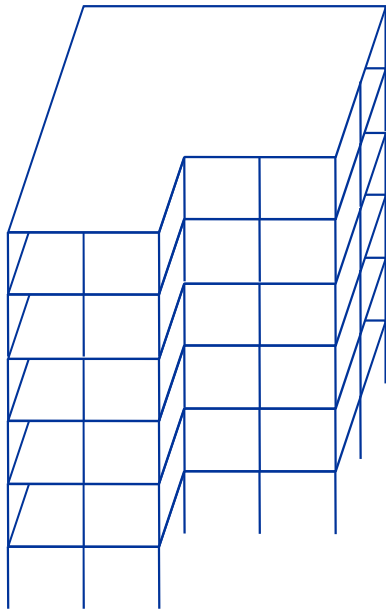
- Le componenti di movimento consentite ai nodi

Nello spazio, un nodo non vincolato ha 6 gradi di libertà

Impalcati indeformabili riducono i gradi di libertà

# Le strutture: gradi di libertà dinamici

Con il movimento nascono forze d'inerzia, prodotto di massa per accelerazione:



- Le masse sono in realtà continue
- Vengono però considerate concentrate (nei nodi, negli impalcati)

Gradi di libertà dinamici:

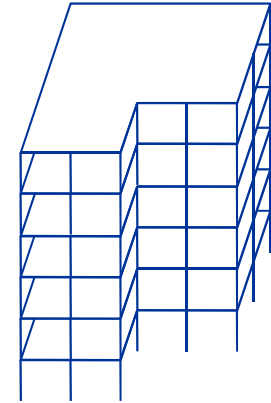
- Le componenti di movimento consentite alle masse

Usualmente si ipotizzano impalcati indeformabili e masse solo a livello dell'impalcato. Vi sono in tal caso  $3n$  gradi di libertà (se gli impalcati sono  $n$  ed il movimento è orizzontale)

# Le strutture: gradi di libertà statici e dinamici

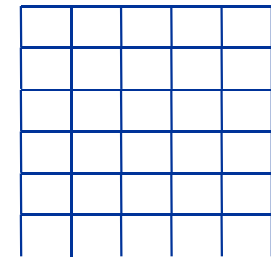
Edifici (tridimensionali) con  $n$  impalcati

- Gradi di libertà statici: centinaia o migliaia
- Gradi di libertà dinamici:  $3n$



Telai piani con  $n$  traversi

- Gradi di libertà statici: centinaia
- Gradi di libertà dinamici:  $n$



Telai monopiano

- Gradi di libertà statici: decine
- Gradi di libertà dinamici: 1



# Risposta sismica di strutture

Occorre distinguere:

- Risposta sismica di strutture in campo elastico
- Risposta sismica di strutture con comportamento che va oltre il limite elastico

Parole chiave:

- Massa                      il sisma provoca accelerazioni sulle masse
- Rigidezza                  condiziona in maniera sostanziale la risposta in campo elastico
- Smorzamento            influisce sulla risposta in campo elastico
- Resistenza                condiziona in maniera sostanziale la risposta oltre il limite elastico
- Duttilità                  determina la capacità della struttura di sopportare il sisma oltre il limite elastico

# Risposta sismica di strutture

Ordine logico:

- Risposta sismica di strutture in campo elastico
  - Strutture a un solo grado di libertà  
concetti base: periodo di oscillazione libera, spettro di risposta
  - Strutture a più gradi di libertà  
modalità operative: analisi modale, analisi statica

# Risposta sismica di strutture

Ordine logico:

- Risposta sismica di strutture in campo elastico
  - Strutture a un solo grado di libertà
  - Strutture a più gradi di libertà
- Risposta sismica di strutture con comportamento che va oltre il limite elastico
  - Strutture a un solo grado di libertà  
concetti base: influenza della duttilità, spettro di progetto
  - Strutture a un più gradi di libertà  
modalità operative: progetto con uso del fattore di struttura, verifica con analisi non lineari

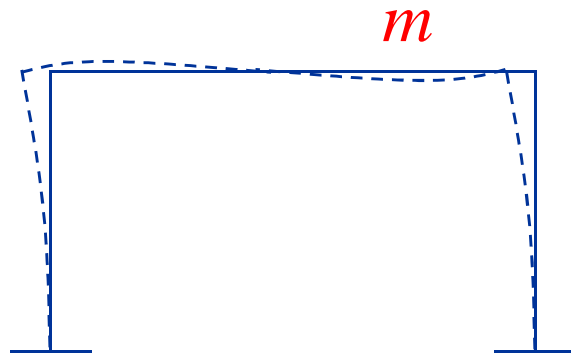


# Risposta sismica

Schemi a un grado di libertà  
in campo elastico

# Oscillazioni libere

## telaio monopiano



Equazione del moto:

$$m \ddot{u} + k u = 0$$

equilibrio dinamico

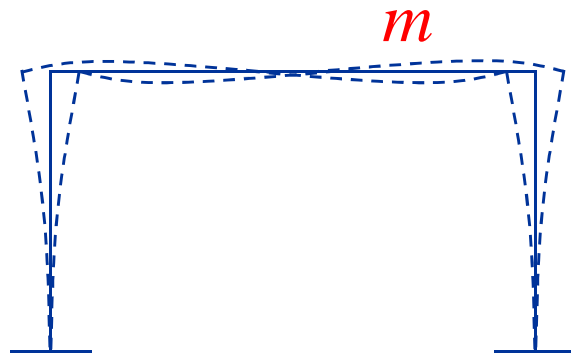
L'equazione differenziale può essere risolta analiticamente.

La soluzione è una funzione trigonometrica (seno, coseno)

# Oscillazioni libere

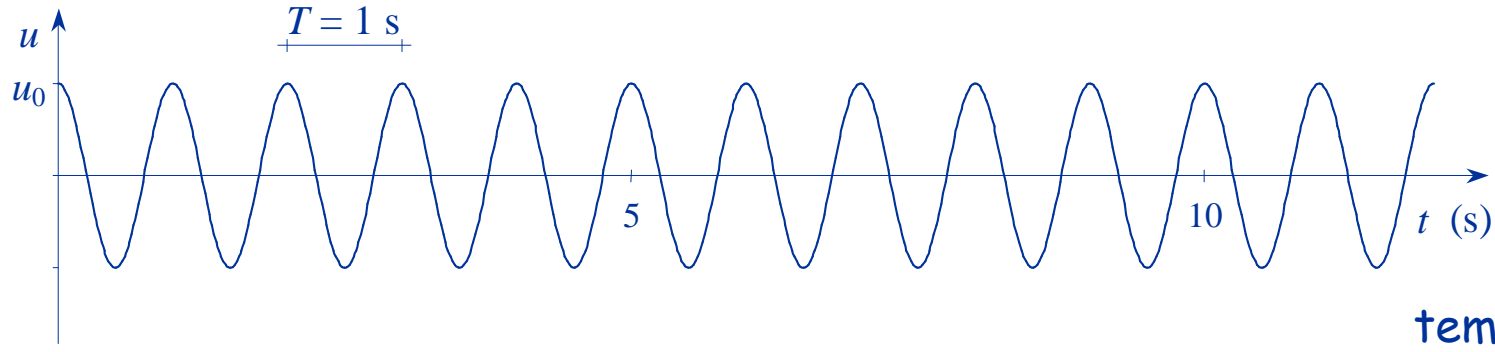
## telaio monopiano

Il telaio oscilla con un periodo ben preciso, legato alla massa ed alla rigidità del telaio

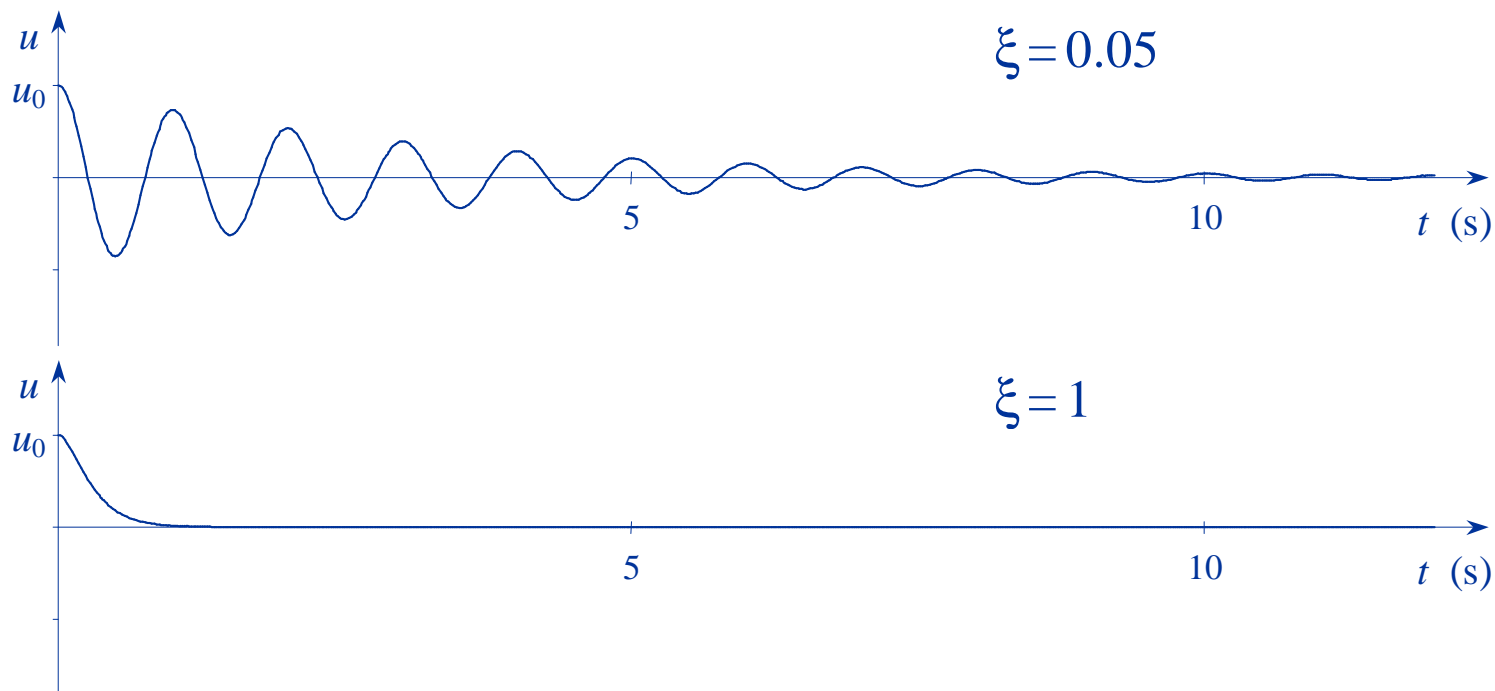


$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

spostamento



# Oscillazioni libere con smorzamento telaio monopiano



Si indica col termine "smorzamento critico" quel valore per il quale il sistema raggiunge lo stato di quiete senza oscillare

Lo smorzamento viene di solito indicato come percentuale  $\xi$  dello smorzamento critico

$$\xi = \frac{c}{2 \sqrt{k m}}$$

# Smorzamento - negli edifici

Dipende da:

- Elementi non strutturali (tramezzi, tompagni) molto importante
- Non linearità del materiale meno importante

Edifici in cemento armato, con tramezzi in muratura:

- Si può assumere un valore di smorzamento percentuale  $\xi = 0.05$

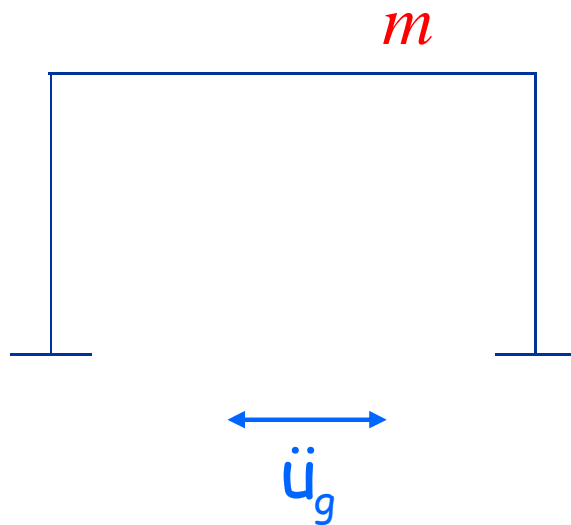
Edifici in acciaio, con tramezzatura leggera:

- È consigliabile usare un valore minore di  $\xi = 0.05$

Edifici isolati alla base, con isolatori in gomma:

- Si può usare un valore maggiore di  $\xi = 0.05$

# Oscillazioni forzate (moto del terreno)



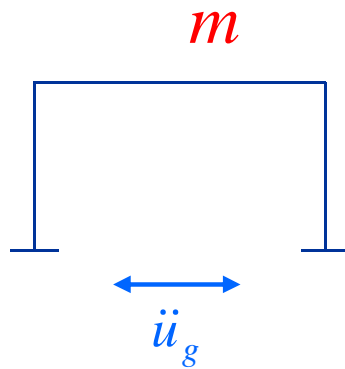
Equazione del moto:

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = -m \ddot{u}_g$$

Il termine noto  
nell'equazione del moto  
tiene conto della forzante

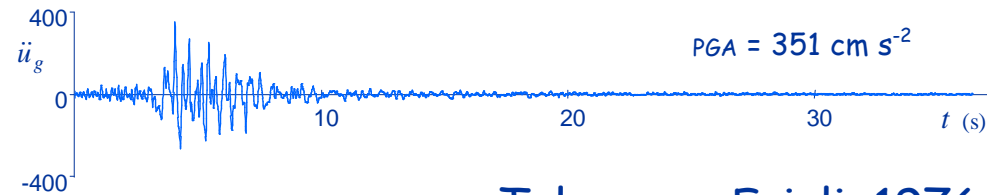
La forzante è il moto del terreno  
alla base della struttura

# Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)

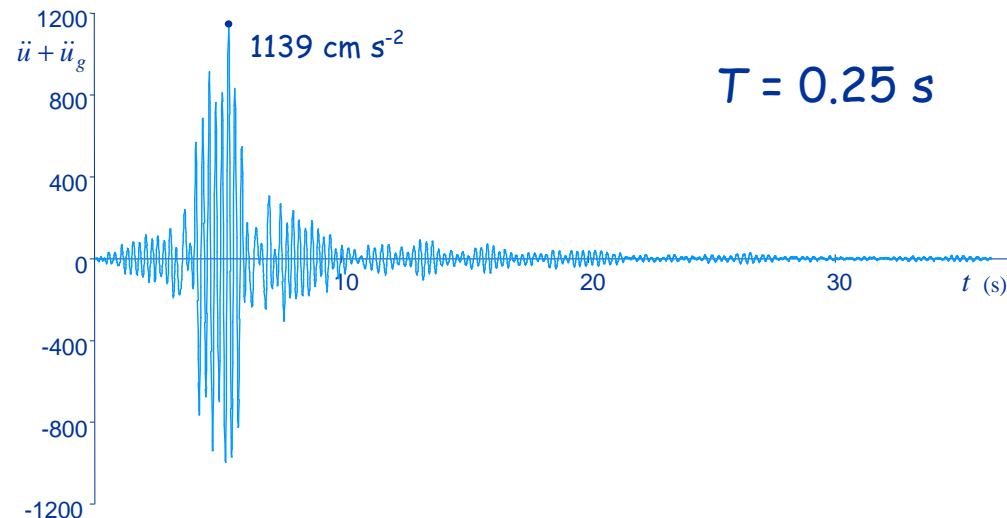


È possibile  
determinare  
numericamente  
la risposta ad un  
accelerogramma

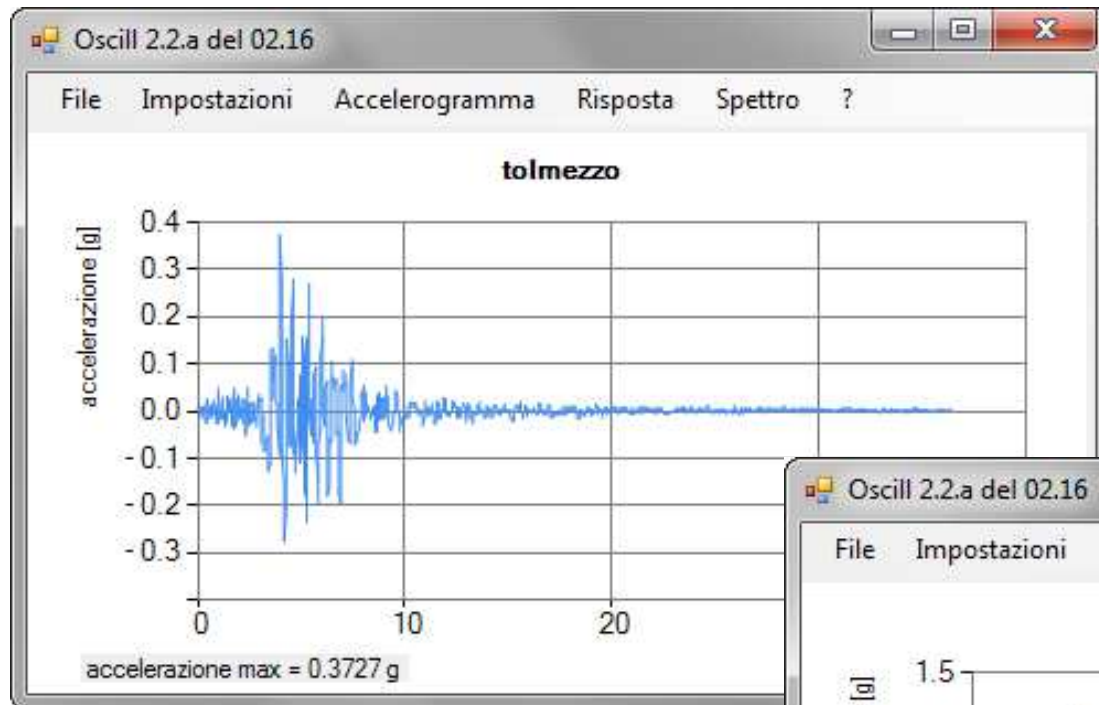
la risposta dipende  
dal periodo  $T$  dell'oscillatore



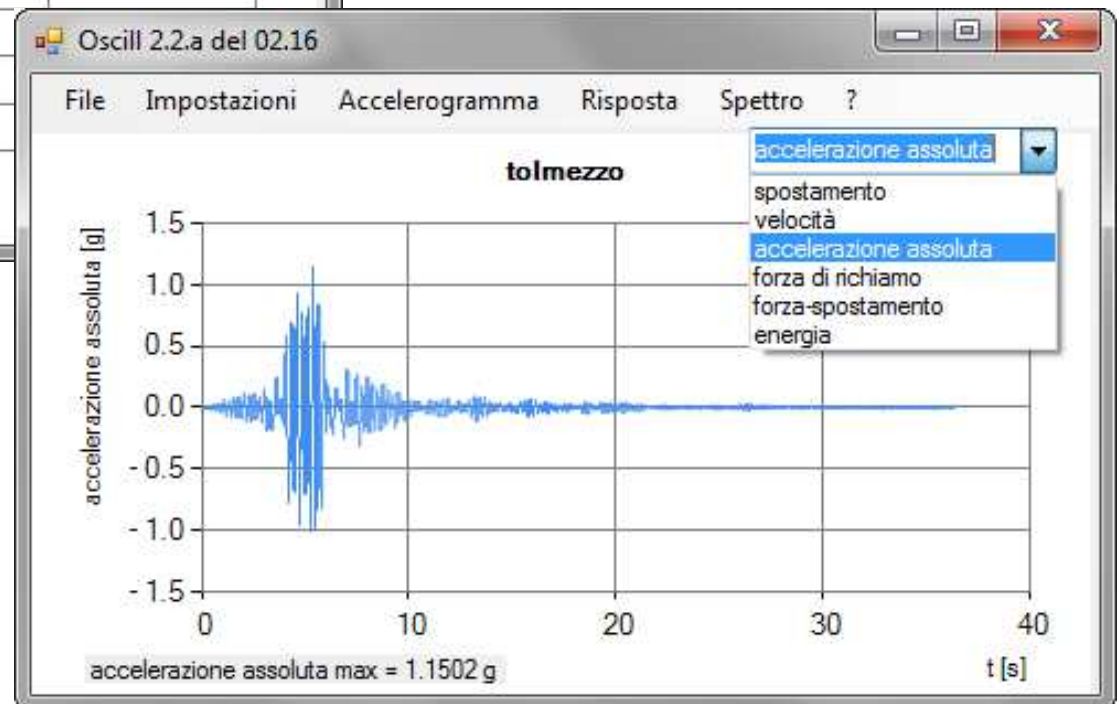
Tolmezzo, Friuli, 1976



# Risposta dell'oscillatore programma Oscill



accelerogramma

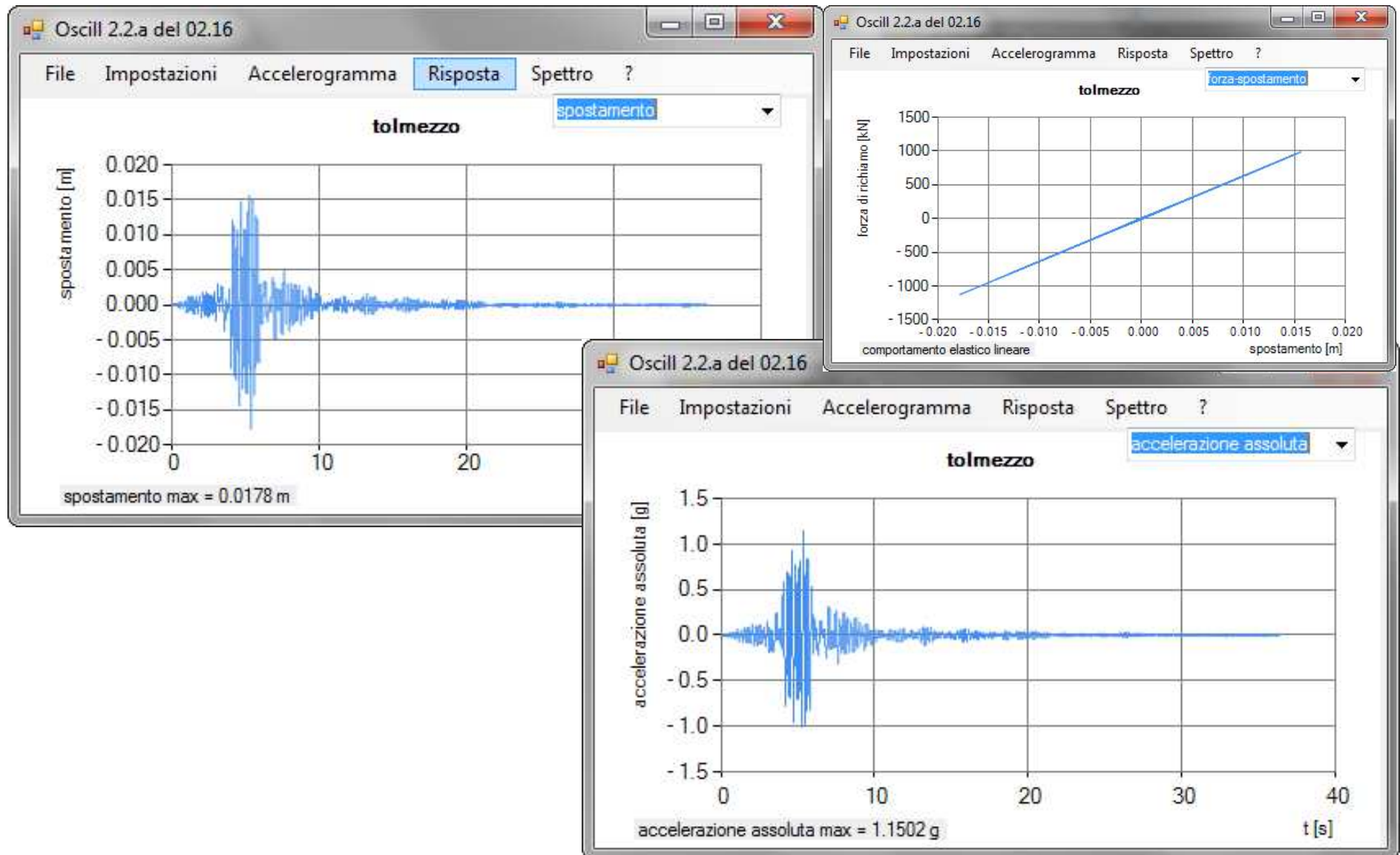


risposta

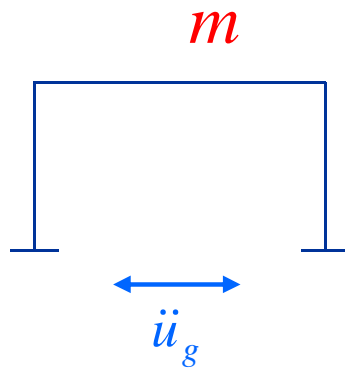
È possibile  
scegliere cosa  
visualizzare



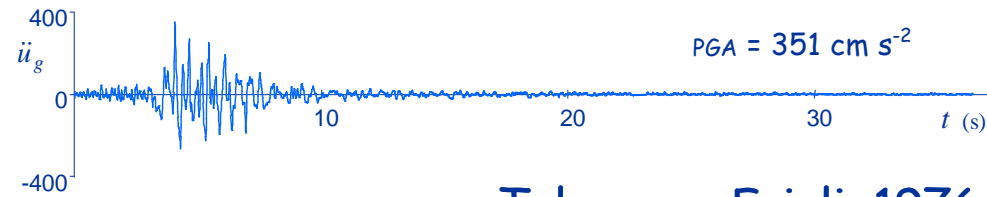
# Risposta dell'oscillatore programma Oscill



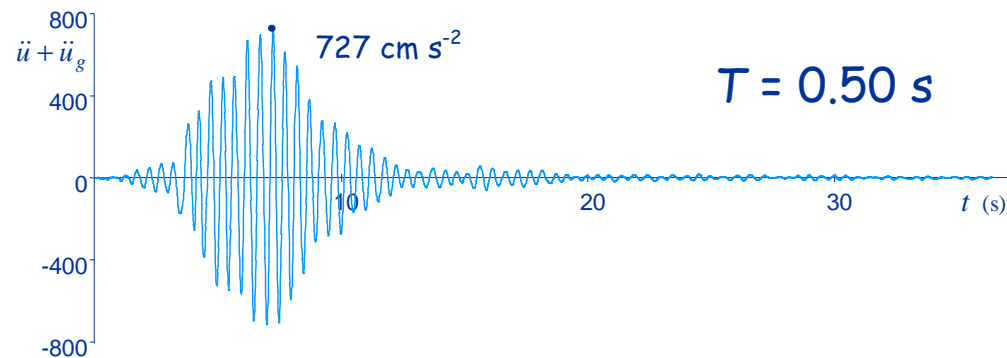
# Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)



Cambiando il periodo  
dell'oscillatore,  
cambia la risposta

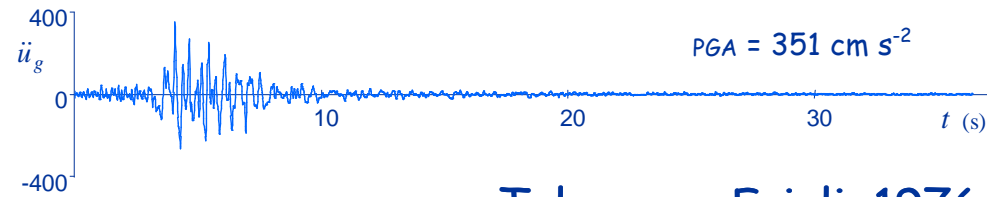
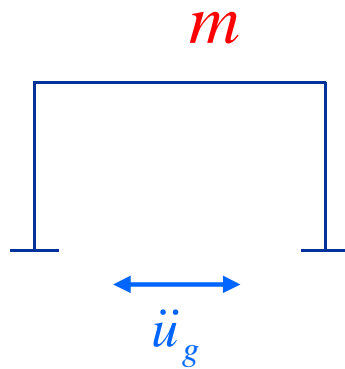


Tolmezzo, Friuli, 1976



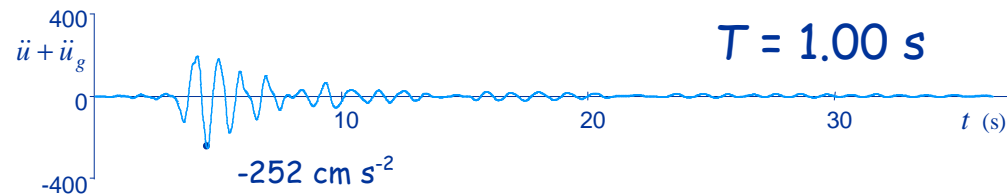
# Oscillazioni forzate

(moto del terreno - accelerogramma)



Tolmezzo, Friuli, 1976

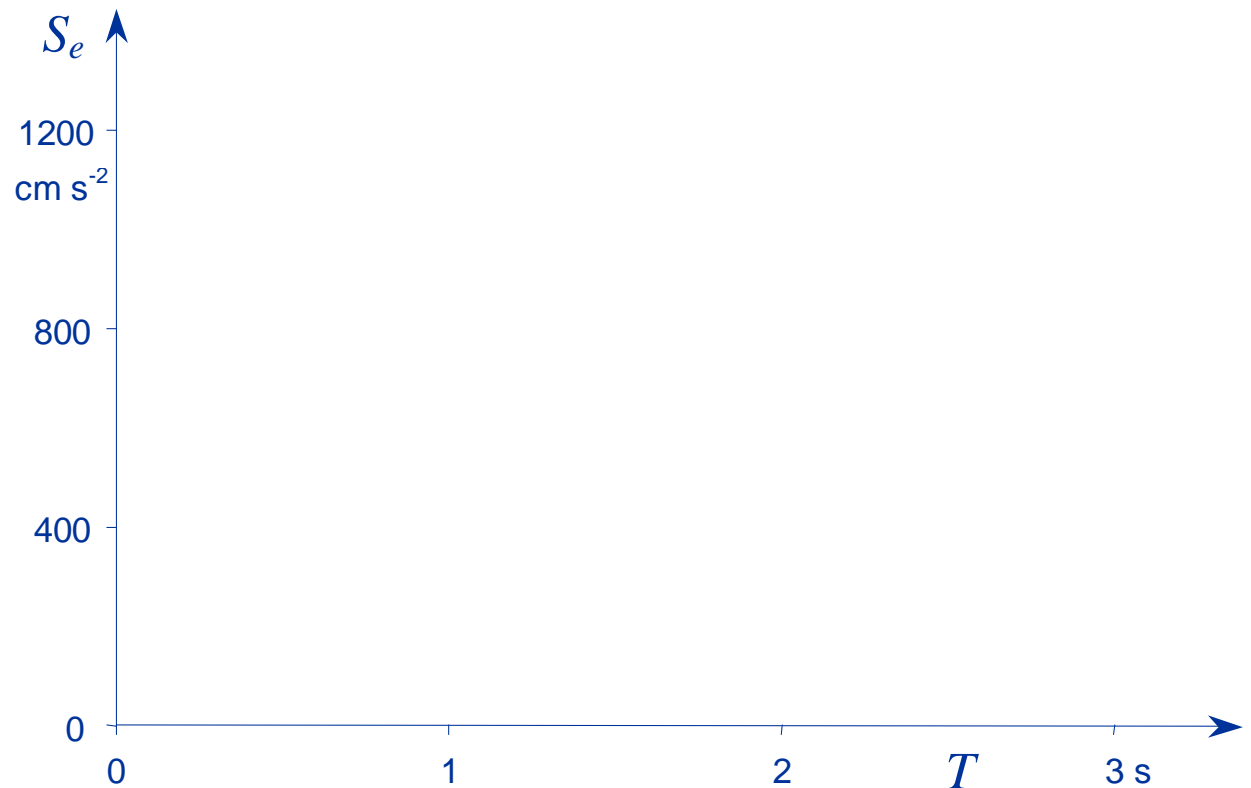
Cambiando il periodo  
dell'oscillatore,  
cambia la risposta



# Oscillazioni forzate

(moto del terreno - accelerogramma)

Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima per schemi con periodo diverso

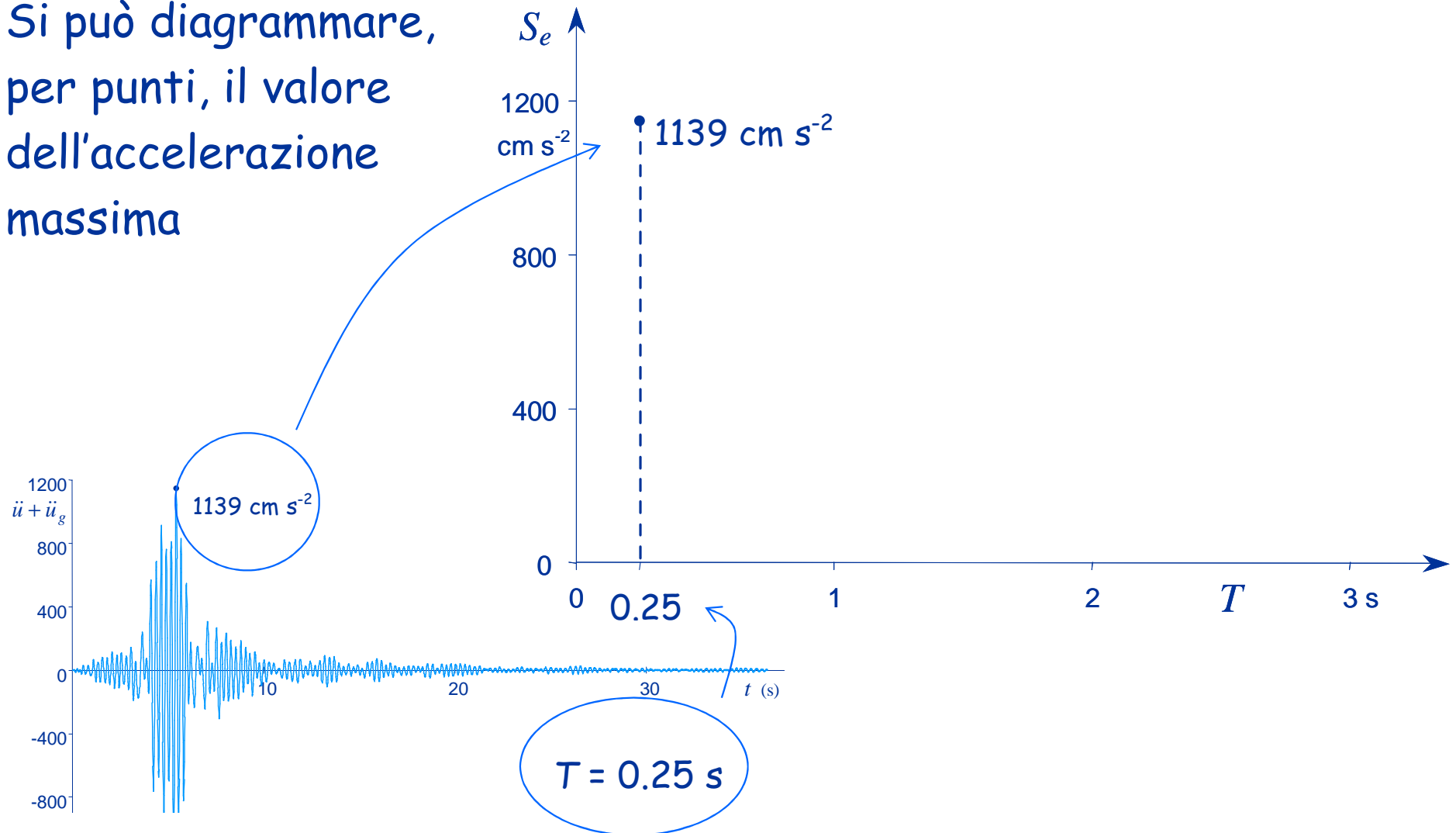


In genere ci interessa la risposta massima, non quello che succede istante per istante

# Oscillazioni forzate

(moto del terreno - accelerogramma)

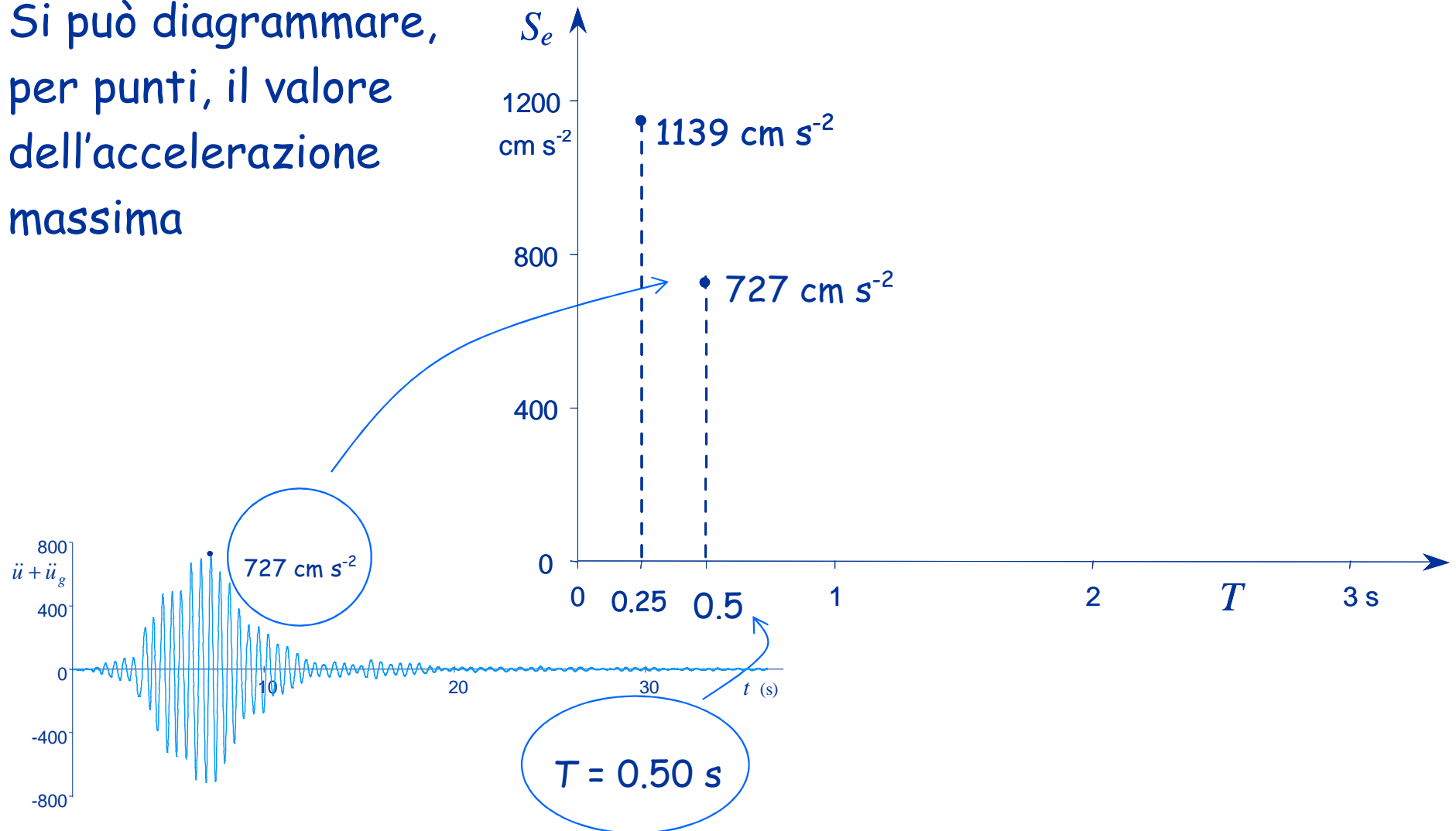
Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



# Oscillazioni forzate

(moto del terreno - accelerogramma)

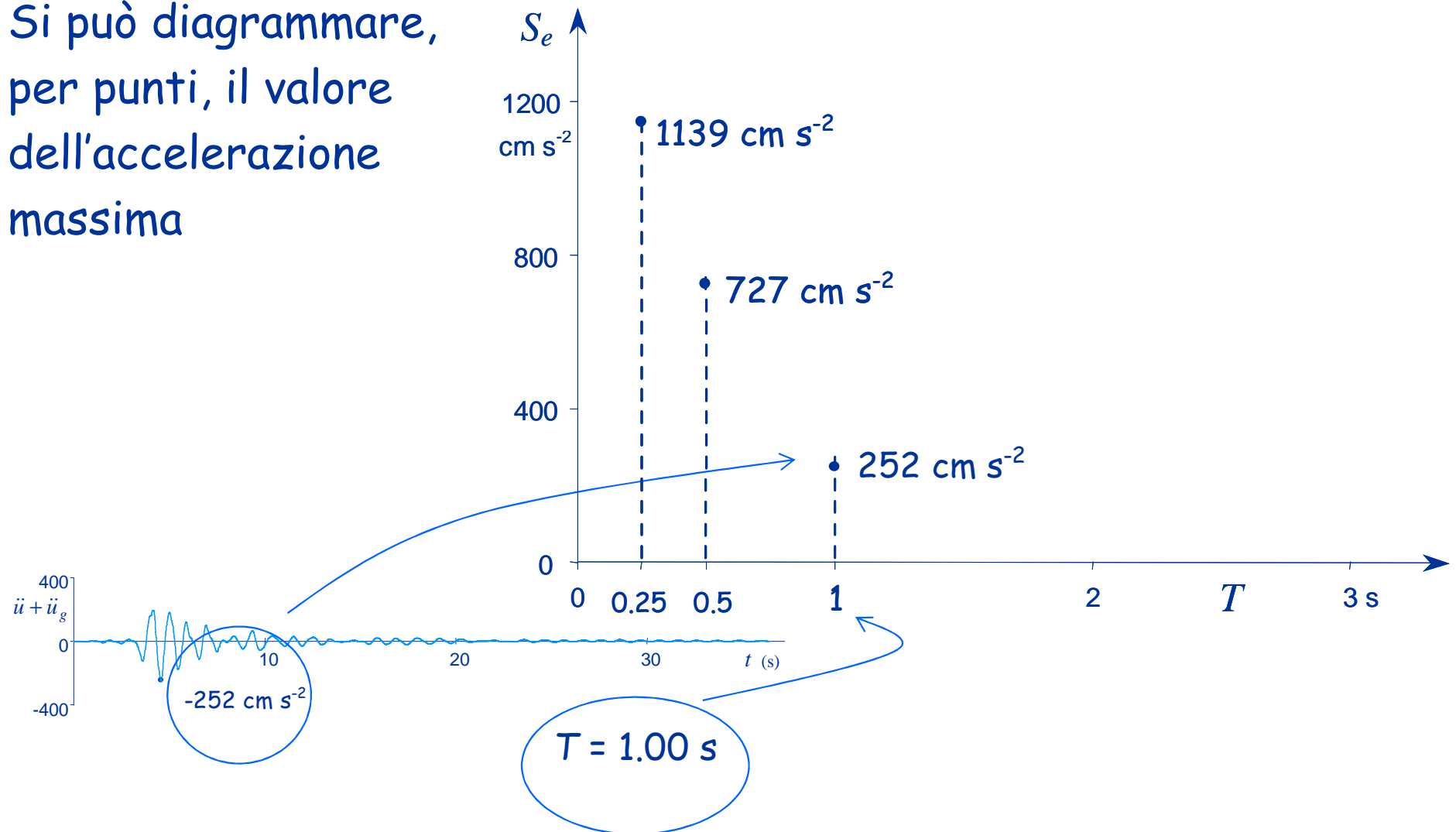
Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



# Oscillazioni forzate

(moto del terreno - accelerogramma)

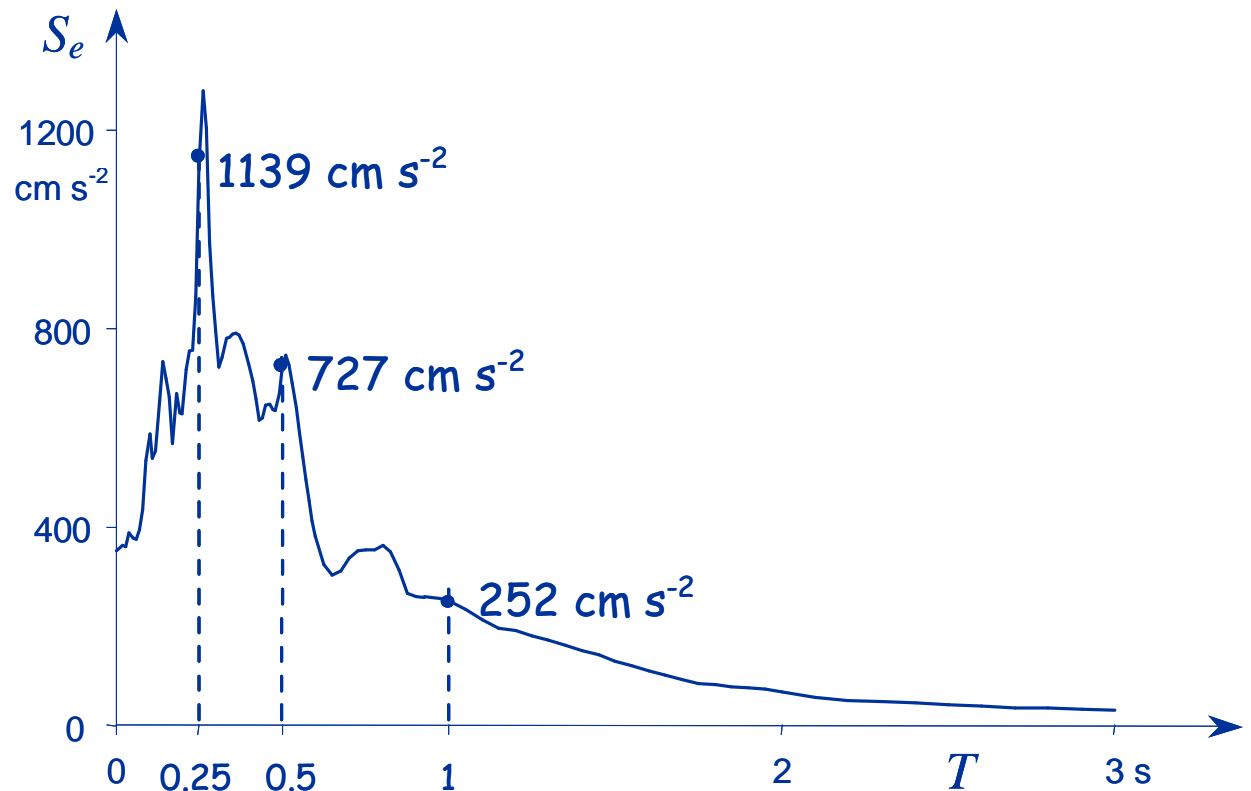
Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



# Oscillazioni forzate

## Spettro di risposta

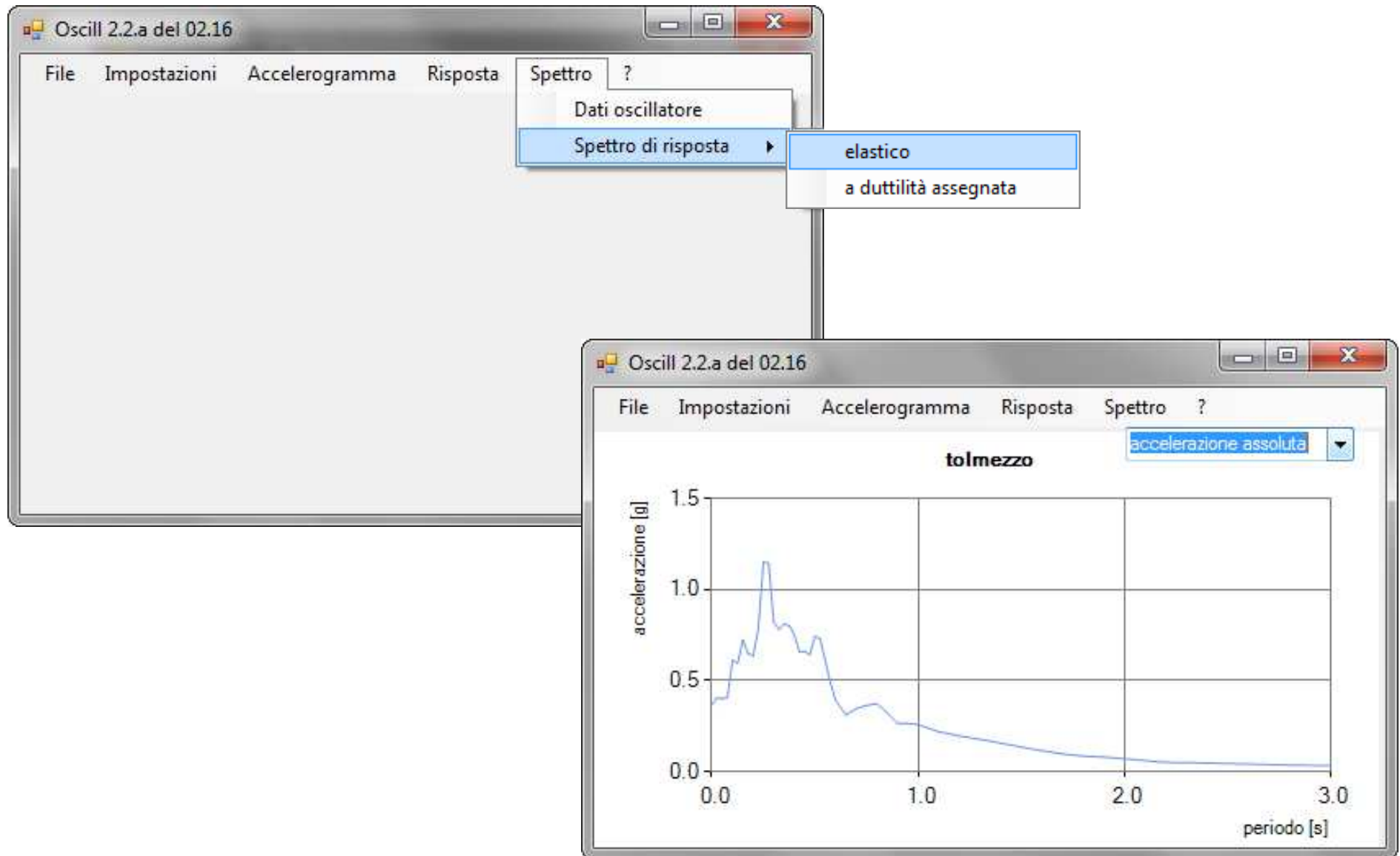
Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



Il diagramma ottenuto unendo i vari punti viene detto "spettro di risposta" (in termini di accelerazione)



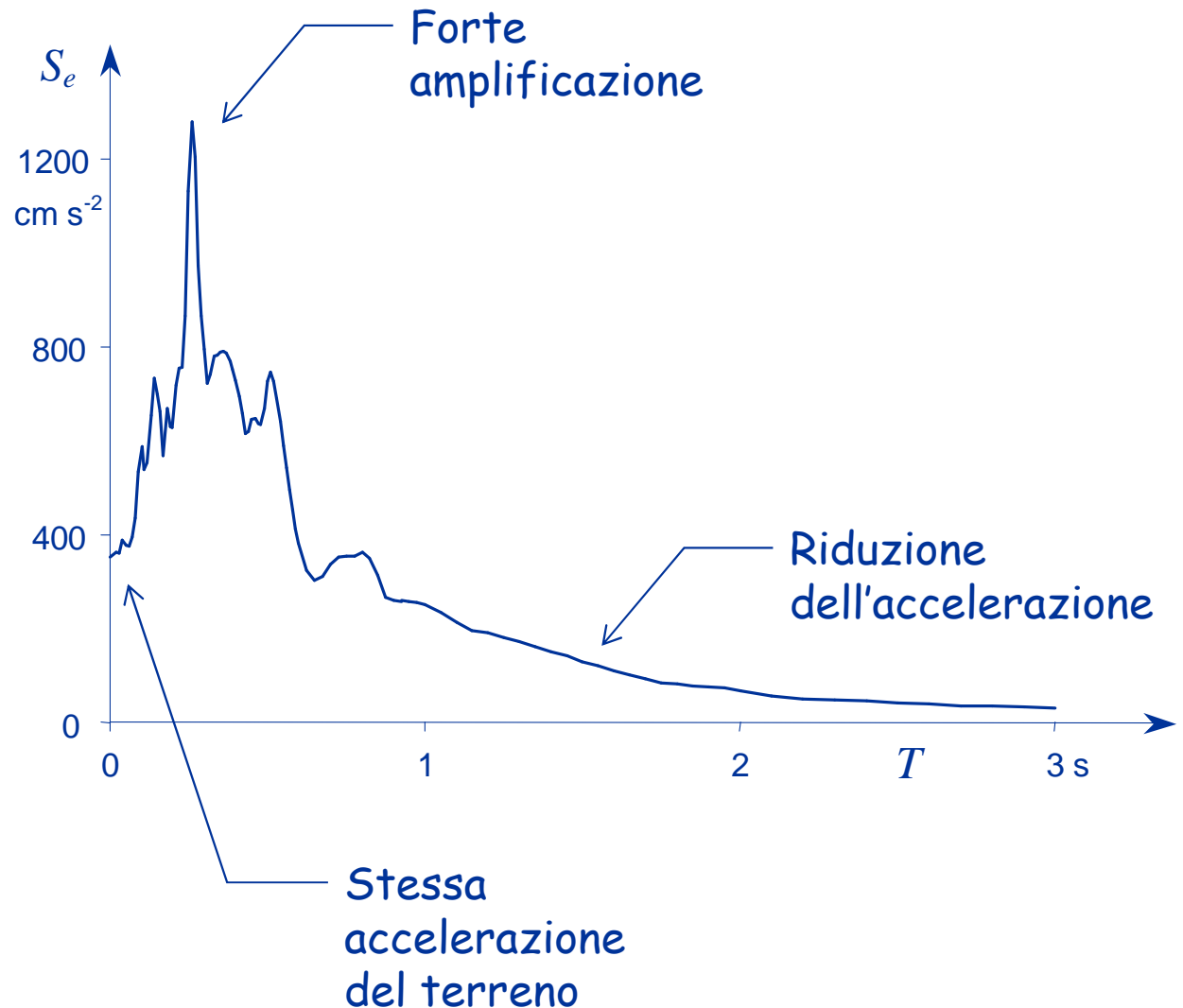
# Spettro di risposta programma Oscill



# Oscillazioni forzate

## Spettro di risposta (accelerazione)

L'andamento dell'accelerazione massima in funzione del periodo proprio ha un andamento ben preciso



# Oscillazioni forzate

## Spettro di risposta (accelerazione)

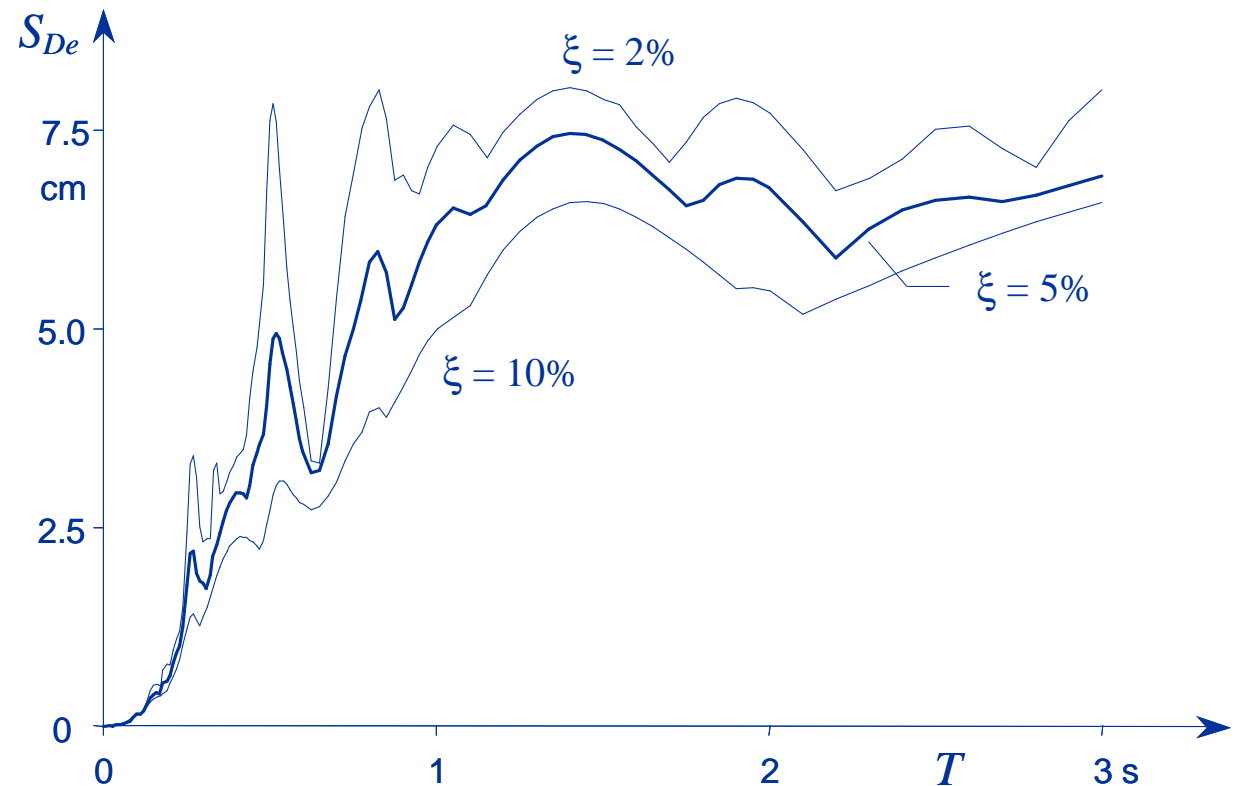
Al variare dello smorzamento si ottengono diverse curve



# Oscillazioni forzate

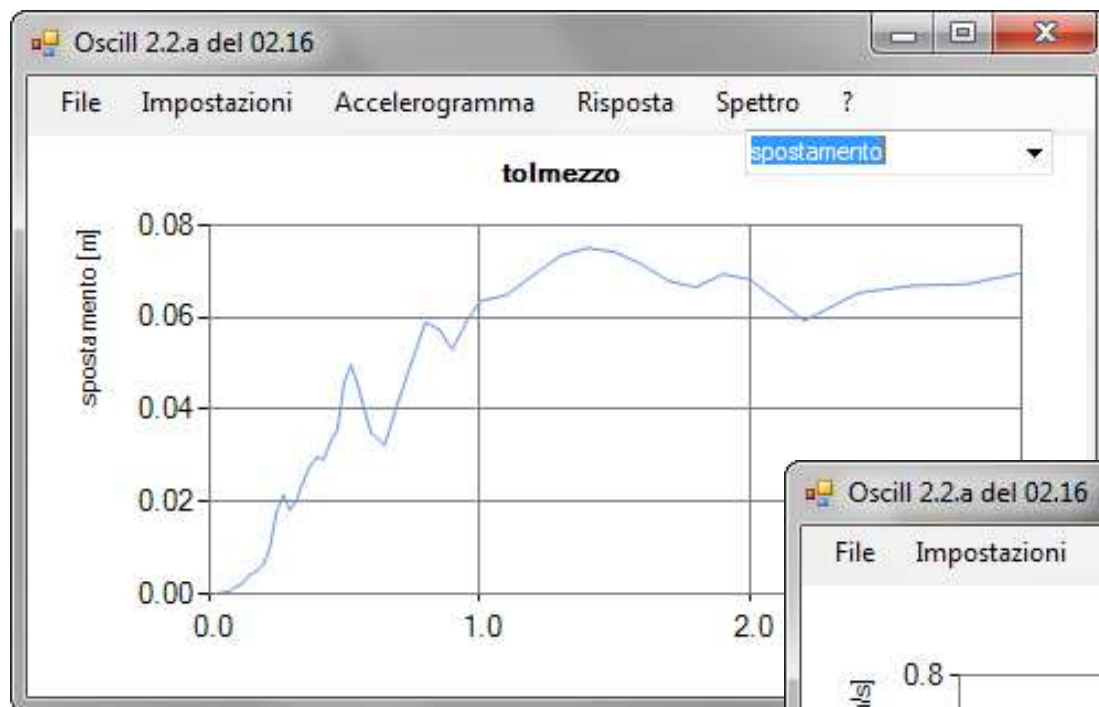
## Spettro di risposta (spostamento)

Allo stesso modo si può diagrammare lo spostamento relativo massimo in funzione del periodo

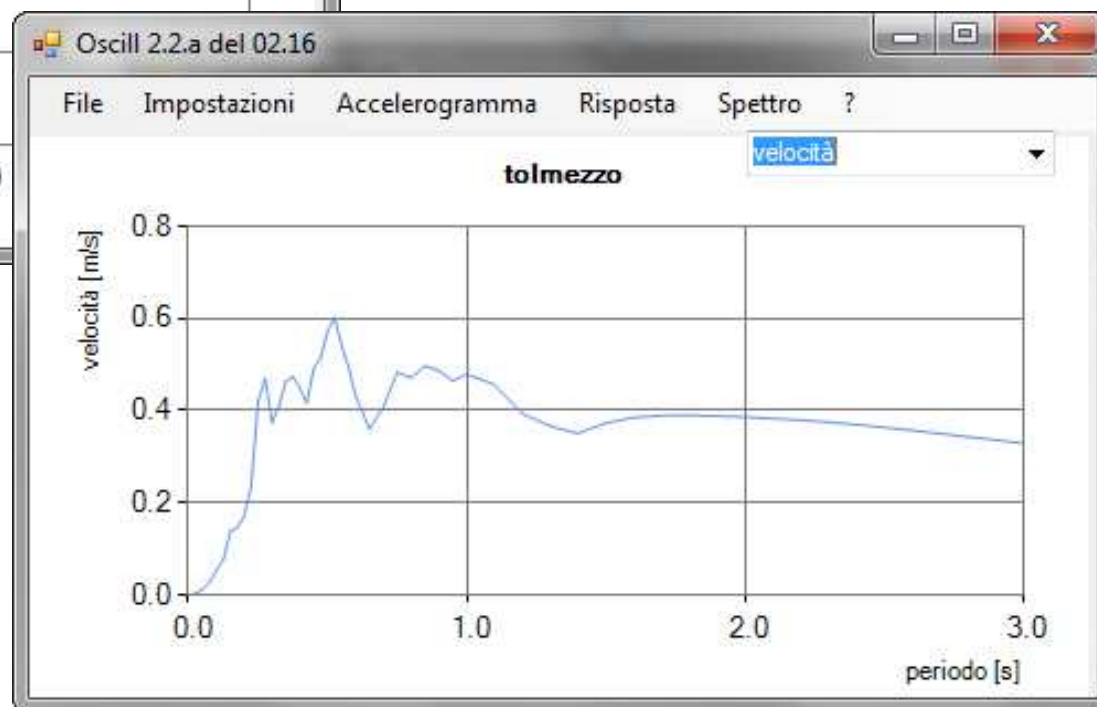


Il diagramma così ottenuto viene detto "spettro di risposta" (in termini di spostamento)

# Spettro di risposta programma Oscill



spostamento



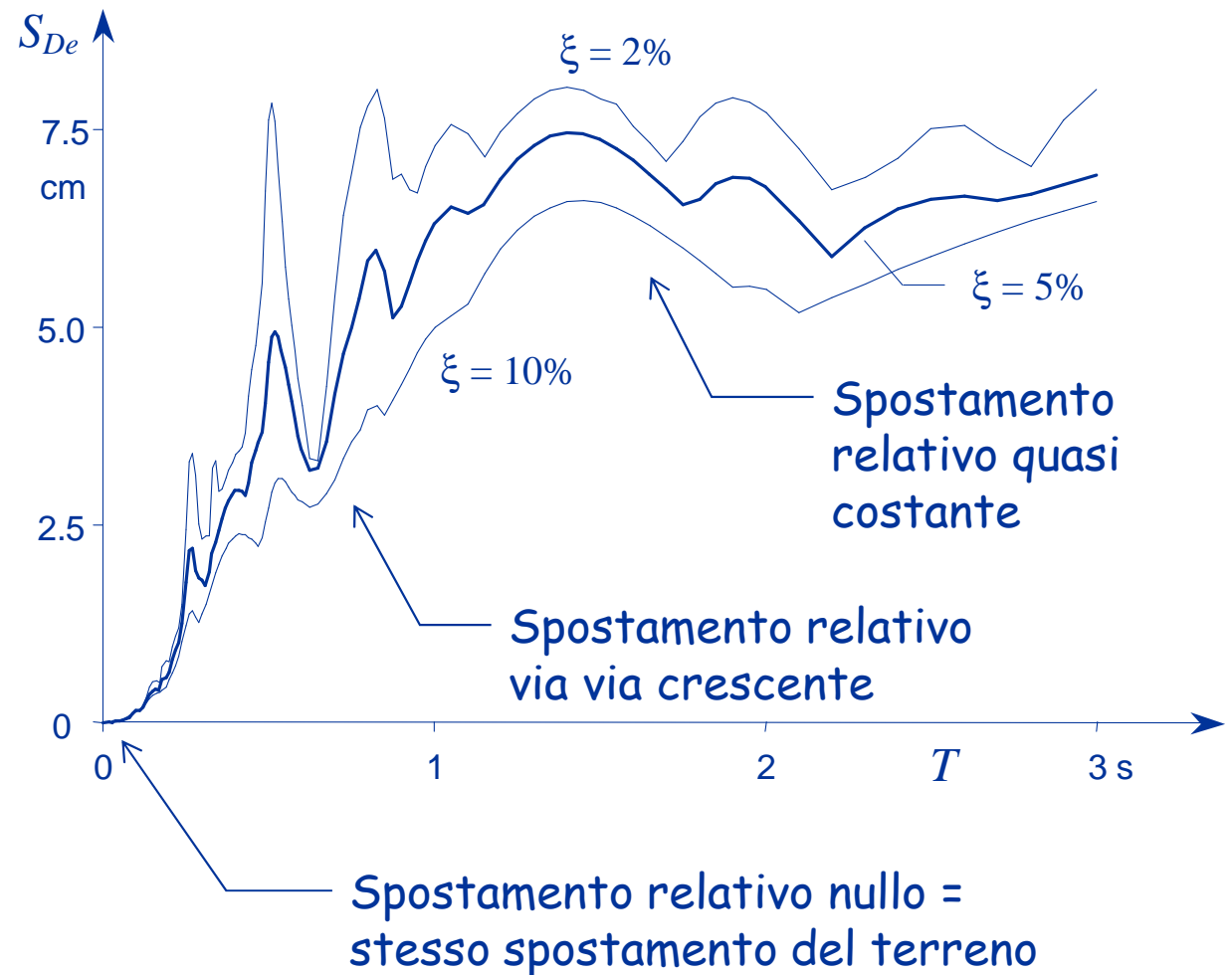
velocità

# Oscillazioni forzate

## Spettro di risposta (spostamento)

Si noti l'andamento dello spostamento relativo massima in funzione del periodo proprio

Lo spostamento massimo nel sistema è maggiore quando lo smorzamento è minore



# Oscillazioni forzate

## Spettri di risposta (accelerazione-spostamento)

Nota:

- Se lo smorzamento fosse nullo, accelerazione massima e spostamento massimo si raggiungerebbero nello stesso istante
- Con i reali smorzamenti il valore massimo dell'accelerazione assoluta è vicino ma non identico al valore che si ha nell'istante in cui si ha lo spostamento massimo (questo è detto pseudo-accelerazione massima)

La differenza è comunque trascurabile

- I valori dello spettro in termini di spostamento e pseudo-accelerazione sono legati analiticamente dalla relazione

$$|\ddot{u} + \ddot{u}_g| = \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 u$$

# Relazione tra i valori massimi di spostamento relativo e accelerazione assoluta

Equazione del moto:

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = -m \ddot{u}_g$$

Quando lo spostamento relativo  $u$   
è massimo la sua derivata è nulla

$$u = u_{\max} \Rightarrow \dot{u} = 0$$

Si ha allora:

$$m \ddot{u} + k u_{\max} = -m \ddot{u}_g$$

$$k u_{\max} = -m (\ddot{u} + \ddot{u}_g)$$

$$|\ddot{u} + \ddot{u}_g| = \frac{k}{m} u_{\max} = \left( \frac{2 \pi}{T} \right)^2 u_{\max}$$

$$\text{perché } T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$



# Relazione tra i valori massimi di spostamento relativo e accelerazione assoluta

La quantità  $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 u$   
viene detta pseudoaccelerazione

Essa coincide con l'accelerazione  
assoluta quando lo smorzamento  
è nullo

L'accelerazione assoluta massima e la pseudoaccelerazione massima  
a rigore sono diverse, ma in sostanza sono praticamente coincidenti

La relazione  $|\ddot{u} + \ddot{u}_g| = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 u$

consente di passare dai valori massimi dello spostamento a quelli  
massimi dell'accelerazione assoluta, e viceversa

# A cosa servono gli spettri?

Per una valutazione "a posteriori" dell'effetto provocato da un evento sismico ben definito:

- Se si vuole determinare la time history occorre usare un procedimento numerico (metodo di Newmark)
- Se basta conoscere la risposta massima si può utilizzare lo spettro di risposta dell'accelerogramma

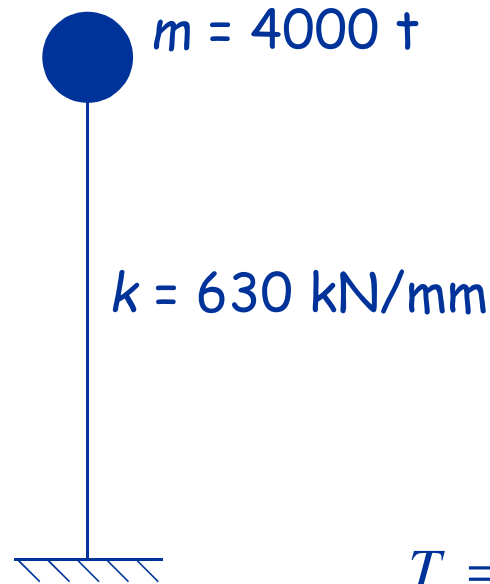
In tal modo è possibile determinare:

- Sollecitazioni massime
- Spostamenti massimi

# A cosa servono gli spettri?



Foto



Modello  
di calcolo

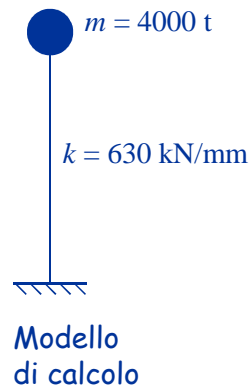
Conoscendo  
massa e rigidezza  
possiamo  
determinare il  
periodo proprio

$$\begin{aligned} T &= 2 \pi \sqrt{\frac{m}{k}} = \\ &= 2 \times 3.14 \times \sqrt{\frac{4000 \times 10^3}{630 \times 10^6}} = \\ &= 0.5 \text{ s} \end{aligned}$$

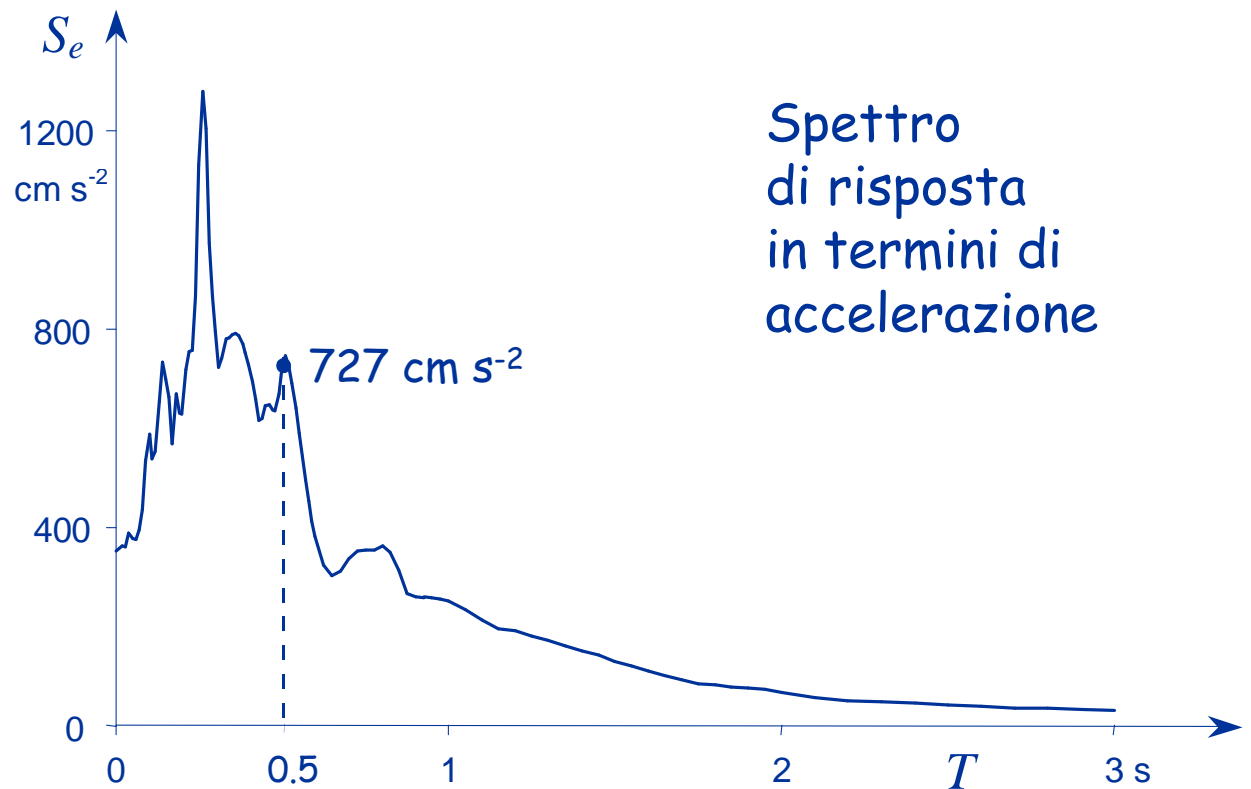
# A cosa servono gli spettri?



Foto



$$T = 0.5 \text{ s}$$



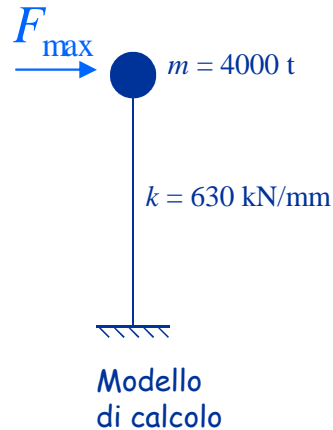
Spettro  
di risposta  
in termini di  
accelerazione

Noto il periodo proprio, possiamo leggere  
dallo spettro l'accelerazione assoluta massima  $a_{\max} = 7.27 \text{ m s}^{-2} = 0.74 \text{ g}$

# A cosa servono gli spettri?



Foto



Ma dall'accelerazione  
possiamo ricavare anche la  
massima forza d'inerzia

$$F_{\max} = m a_{\max} = 4000 \times 7.27 = 29000 \text{ kN}$$

$$T = 0.5 \text{ s}$$

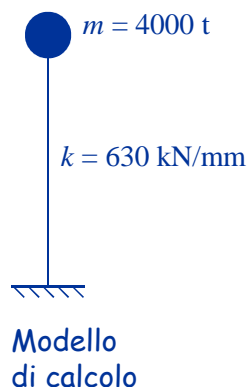
e quindi le massime  
sollecitazioni nella struttura,  
i massimi spostamenti, ecc.

Idea base del calcolo sismico:  
valutare il comportamento dinamico applicando forze statiche

# A cosa servono gli spettri?



Foto



$$T = 0.5 \text{ s}$$



Lo spostamento relativo massimo può essere calcolato risolvendo lo schema strutturale con le forze orizzontali applicate

oppure dallo spettro di risposta in termini di spostamento

$$u_{\max} = 4.58 \text{ cm}$$

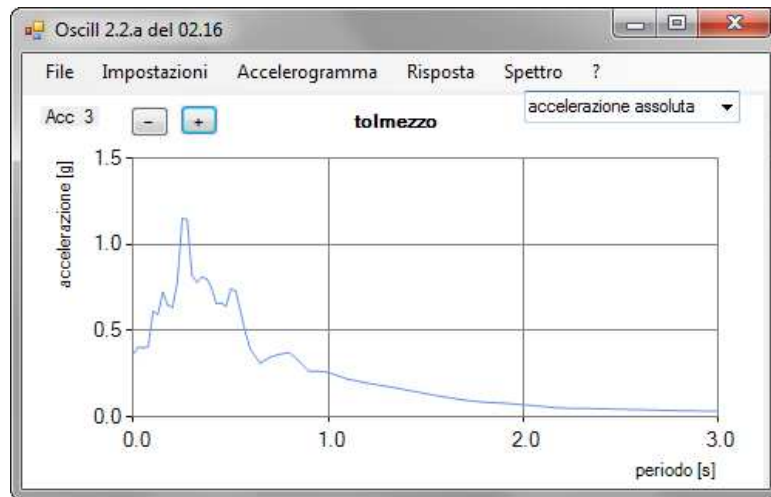
# A cosa servono gli spettri?

Conoscere l'accelerogramma corrispondente ad un evento sismico ben definito ed il relativo spettro di risposta consente di valutare "a posteriori" l'effetto provocato da quel sisma

Ma come prevedere cosa succederà per terremoti non ancora avvenuti?

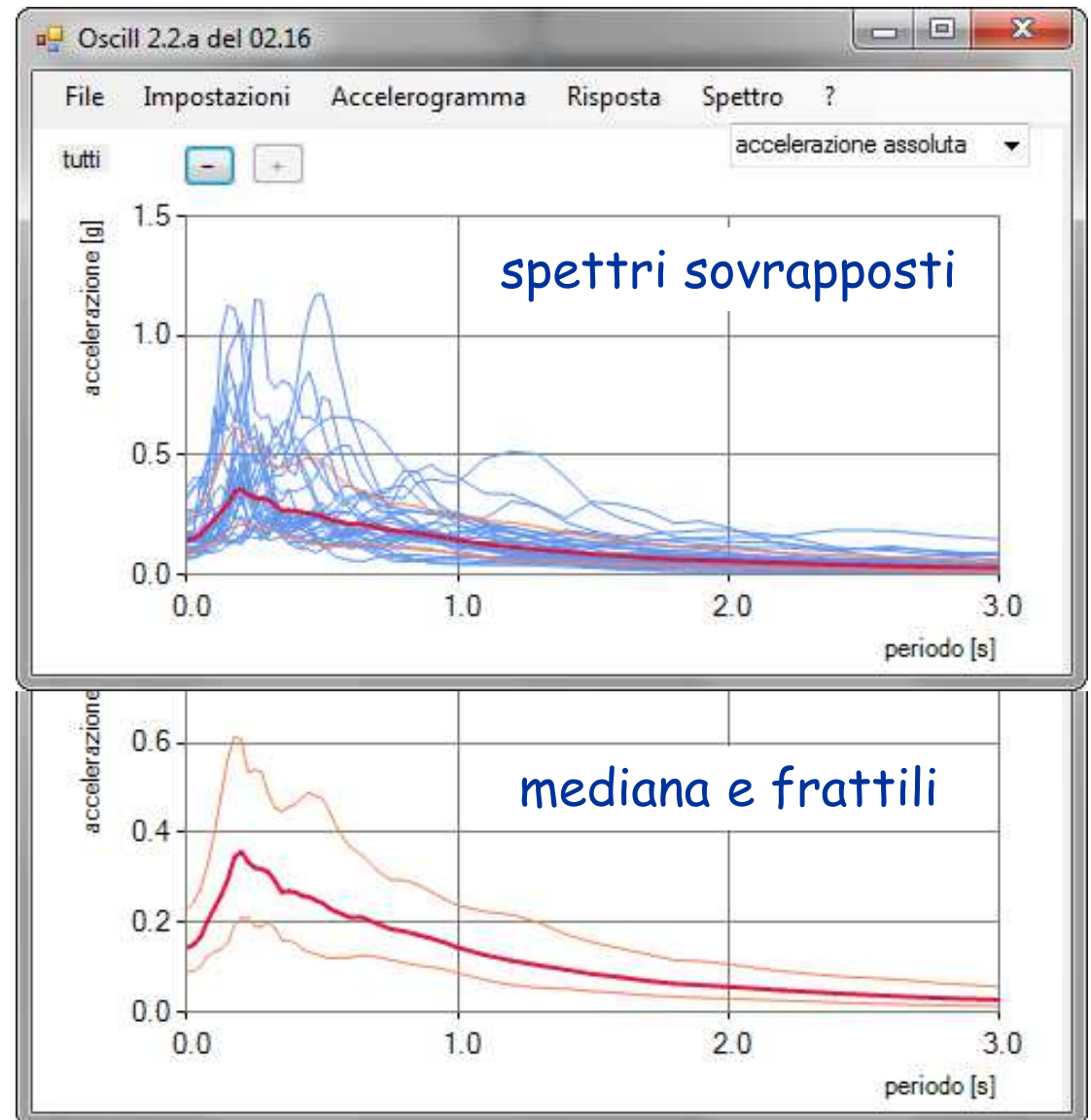
- Si può analizzare dal punto di vista probabilistico l'effetto di un insieme di terremoti già avvenuti in quel sito nel passato

# Risposta a più terremoti programma Oscill



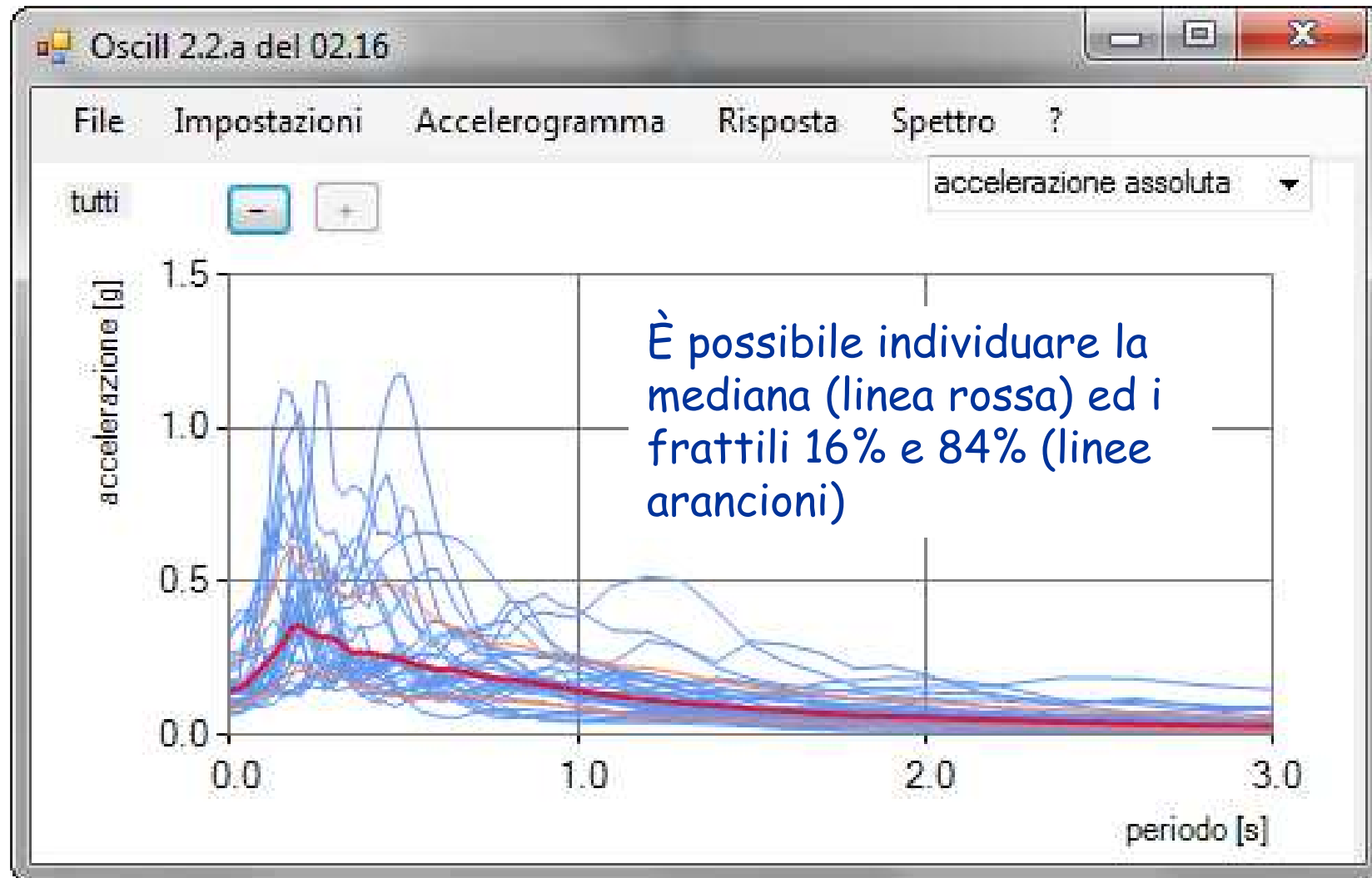
singolo evento

selezionando una  
cartella, si  
calcolano gli  
spettri di tutti i  
terremoti

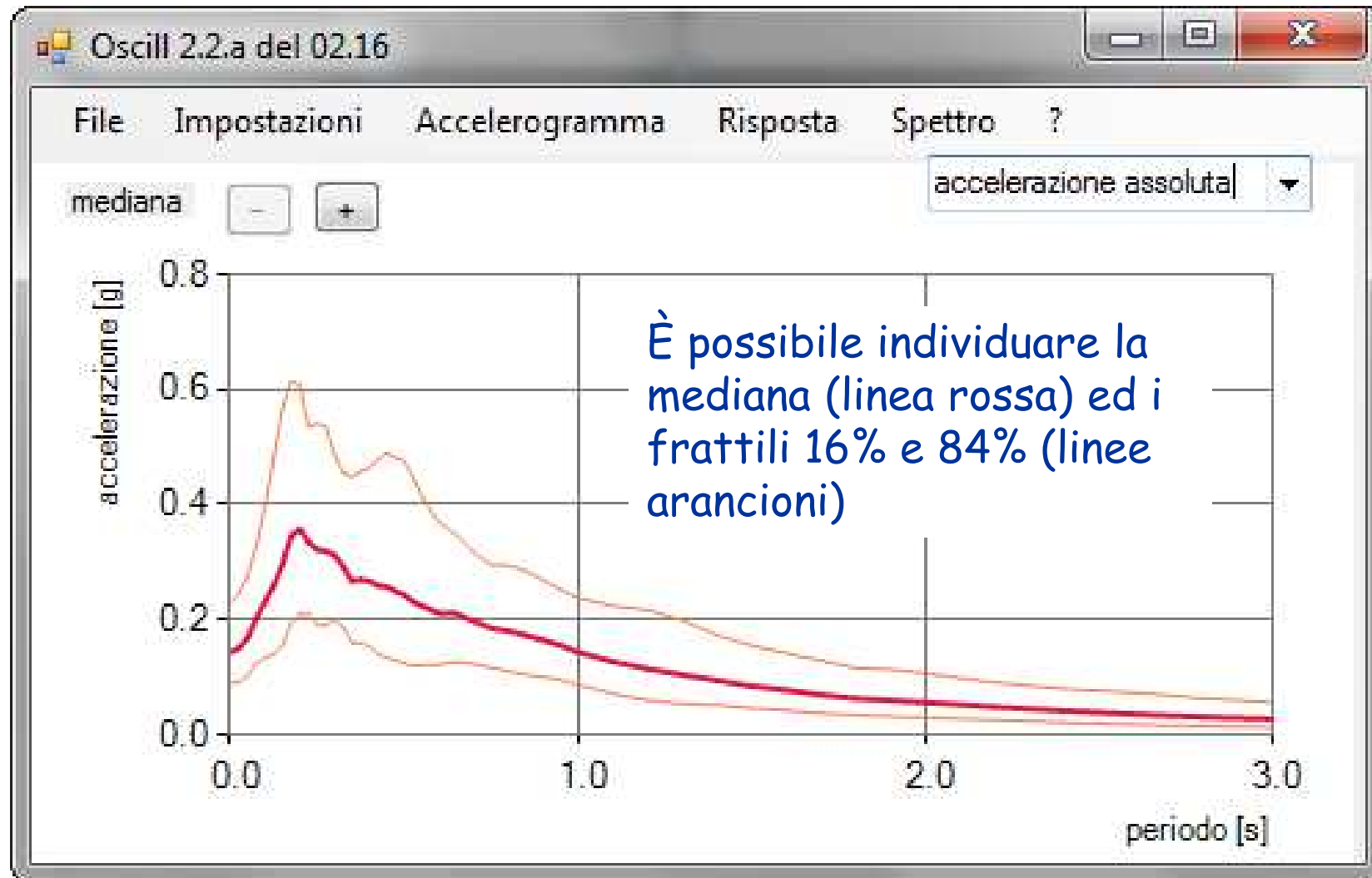




# Risposta a più terremoti programma Oscill



# Risposta a più terremoti programma Oscill



# Risposta a più terremoti

- Le analisi svolte nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica hanno consentito di individuare, per ogni sito, gli spettri mediano e frattili 16%, 84% corrispondenti a vari periodi di ritorno

ID	Lon	Lat	SA_0.10	SA_0.15	SA_0.20	SA_0.30	SA_0.40	SA_0.50	SA_0.75	SA_1.00	SA_1.50	SA_2.00
24735	12.2649	42.7284	0.3422	0.3928	0.3780	0.3553	0.2848	0.2238	0.1374	0.0960	0.0553	0.0382
24736	12.3330	42.7291	0.3467	0.3978	0.3841	0.3624	0.2918	0.2321	0.1434	0.1003	0.0573	0.0399
24737	12.4010	42.7298	0.3505	0.4045	0.3917	0.3725	0.2997	0.2410	0.1504	0.1052	0.0597	0.0421
24738	12.4691	42.7304	0.3539	0.4136	0.4031	0.3861	0.3125	0.2518				
24739	12.5372	42.7310	0.3601	0.4305	0.4197	0.4045	0.3290	0.2656				
24740	12.6052	42.7315	0.3748	0.4540	0.4467	0.4322	0.3512	0.2842				
24741	12.6733	42.7320	0.4127	0.4907	0.4866	0.4695	0.3822	0.3038				
24742	12.7414	42.7325	0.4641	0.5330	0.5311	0.5123	0.4177	0.3437				
24743	12.8094	42.7329	0.5017	0.5752	0.5721	0.5490	0.4541	0.3698				
24744	12.		36	0.6106	0.6123	0.5792	0.4868	0.3939				
24745	12.		31	0.6219	0.6311	0.5924	0.5054	0.4077				
24746	13.		30	0.6238	0.6369	0.5961	0.5138	0.4161				
24747	13.		11	0.6246	0.6392	0.5980	0.5182	0.4213	0.2708	0.1991	0.1219	0.0783
24748	13.		14	0.6242	0.6389	0.5985	0.5189	0.4227	0.2723	0.2001	0.1230	0.0792
24749	13.2178	42.7346	0.5296	0.6221	0.6355	0.5971	0.5164	0.4215	0.2716	0.1999	0.1229	0.0794
24750	13.2859	42.7348	0.5226	0.6156	0.6262	0.5912	0.5079	0.4158	0.2681	0.1983	0.1209	0.0783
24751	13.3540	42.7349	0.5027	0.5998	0.6061	0.5764	0.4911	0.4038	0.2606	0.1951	0.1171	0.0761

Esempio:

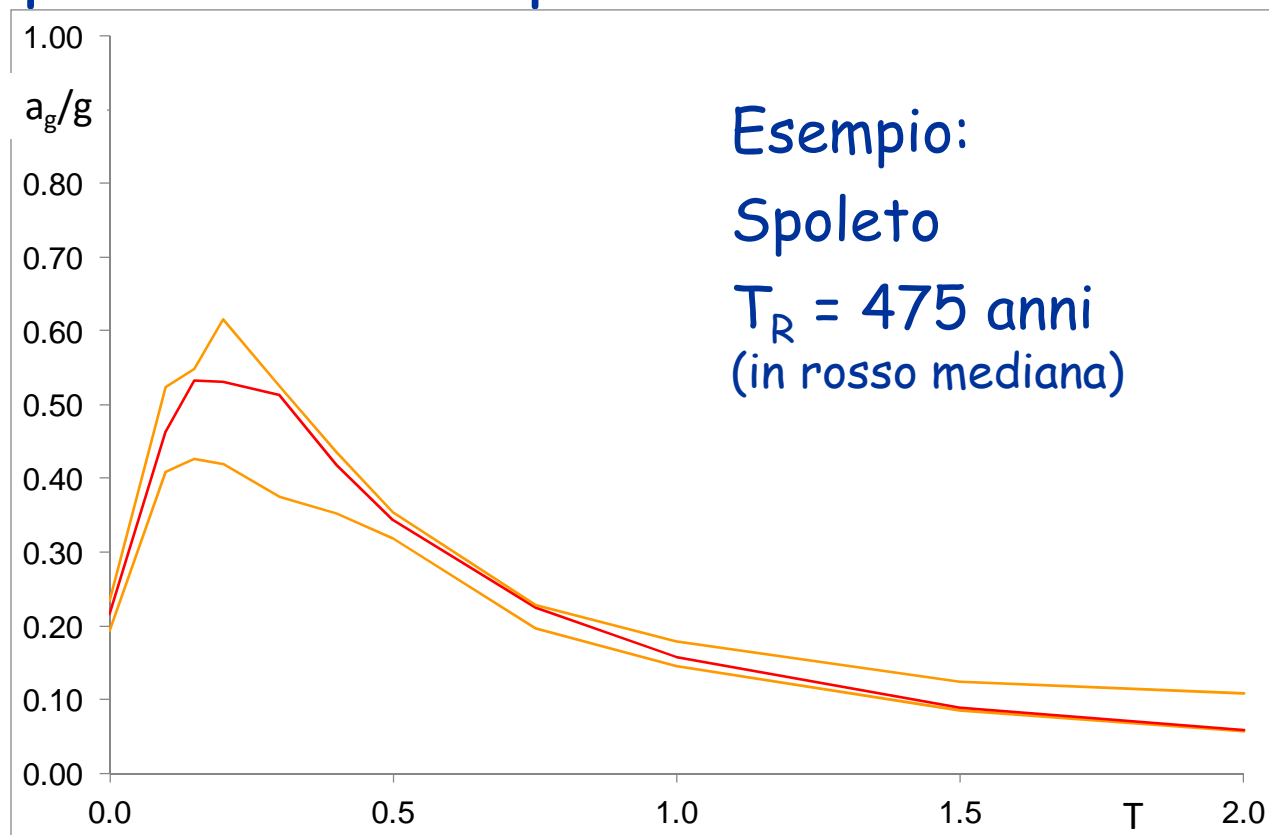
Spoletto

$T_R = 475$  anni  
(valore mediana)

punto di  
riferimento  
(Spoletto)

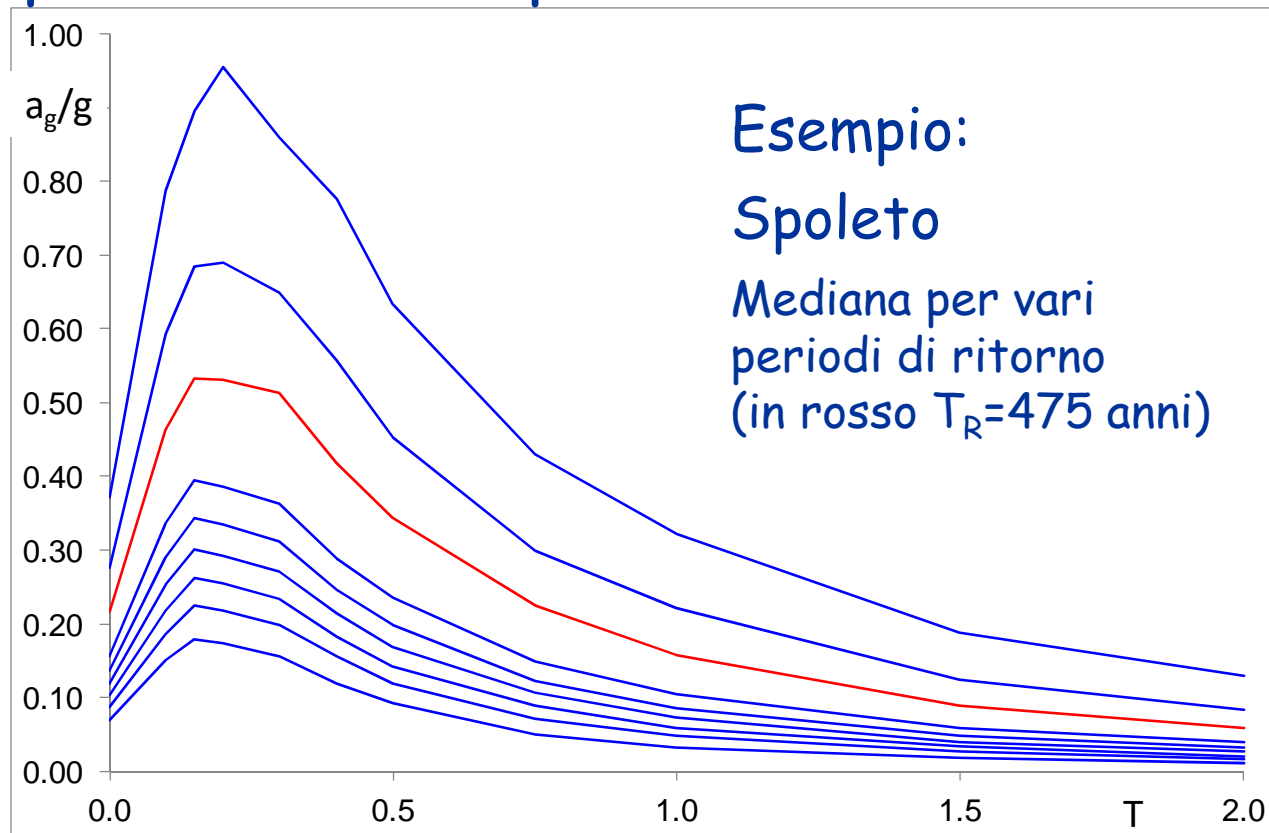
# Risposta a più terremoti

- Le analisi svolte nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica hanno consentito di individuare, per ogni sito, gli spettri mediano e frattili 16%, 84% corrispondenti a vari periodi di ritorno



# Risposta a più terremoti

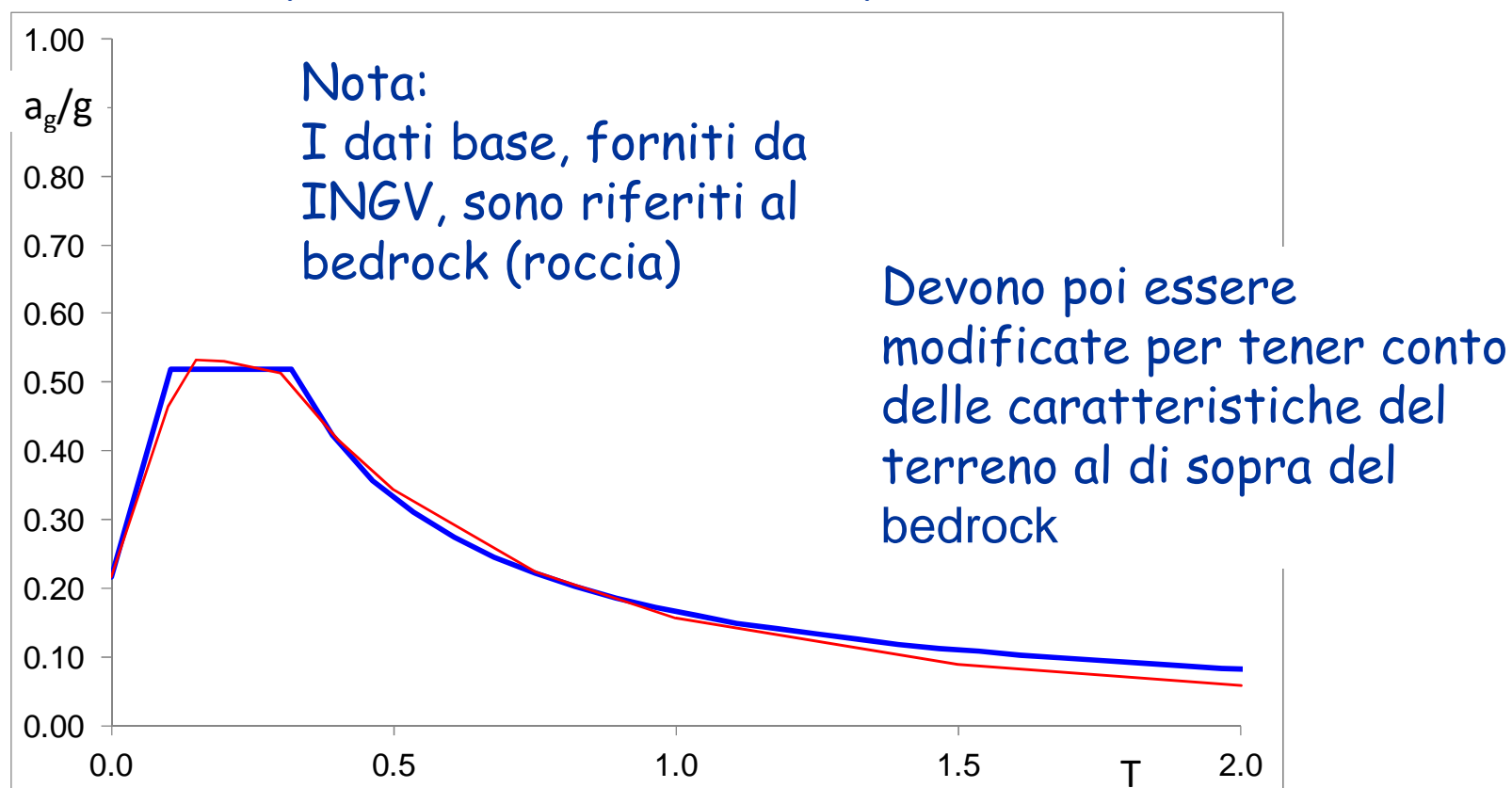
- Le analisi svolte nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica hanno consentito di individuare, per ogni sito, gli spettri mediano e frattili 16%, 84% corrispondenti a vari periodi di ritorno



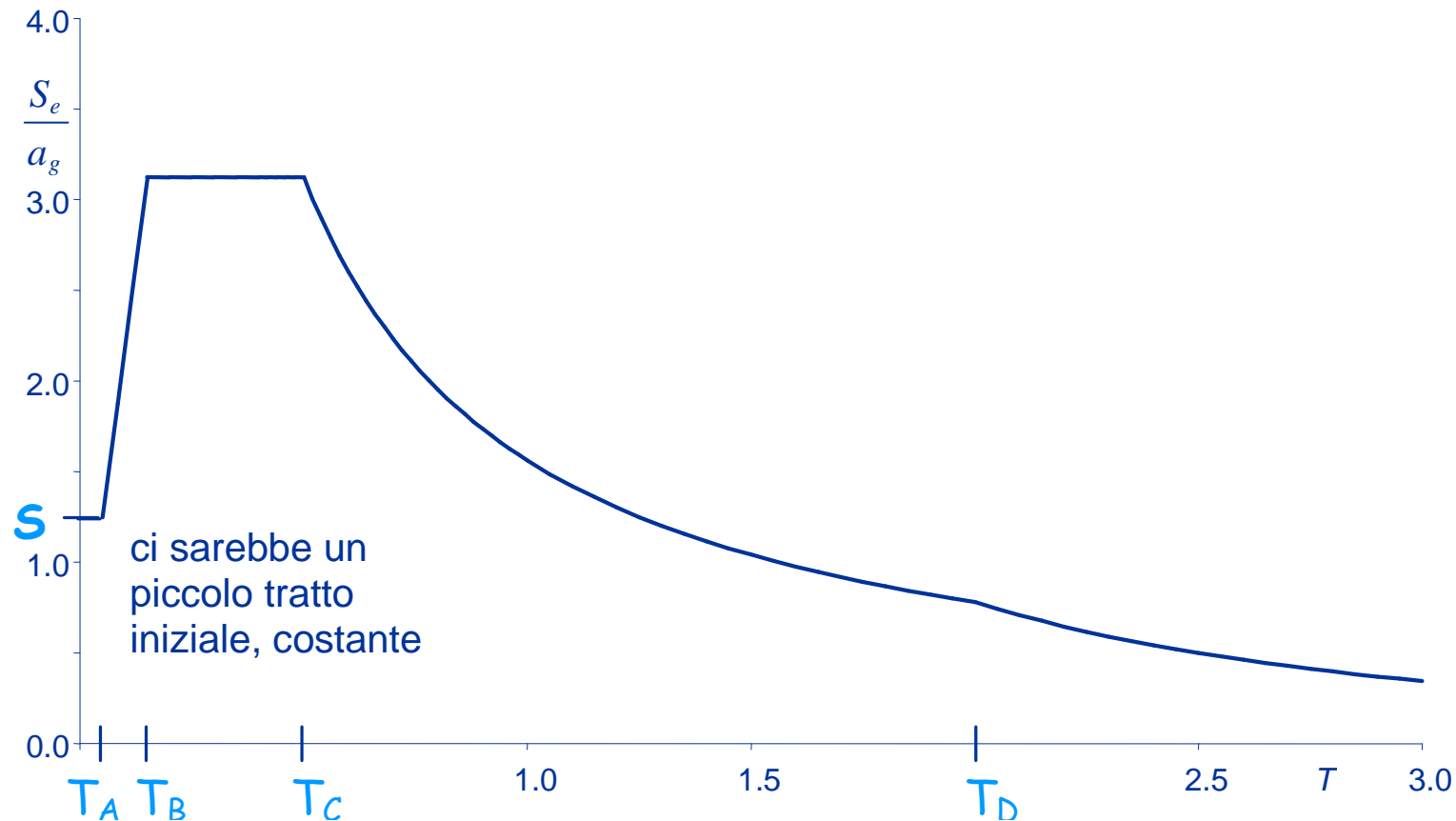
# Spettri di risposta elastica NTC 08 (D.M. 14/1/2008)

# 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

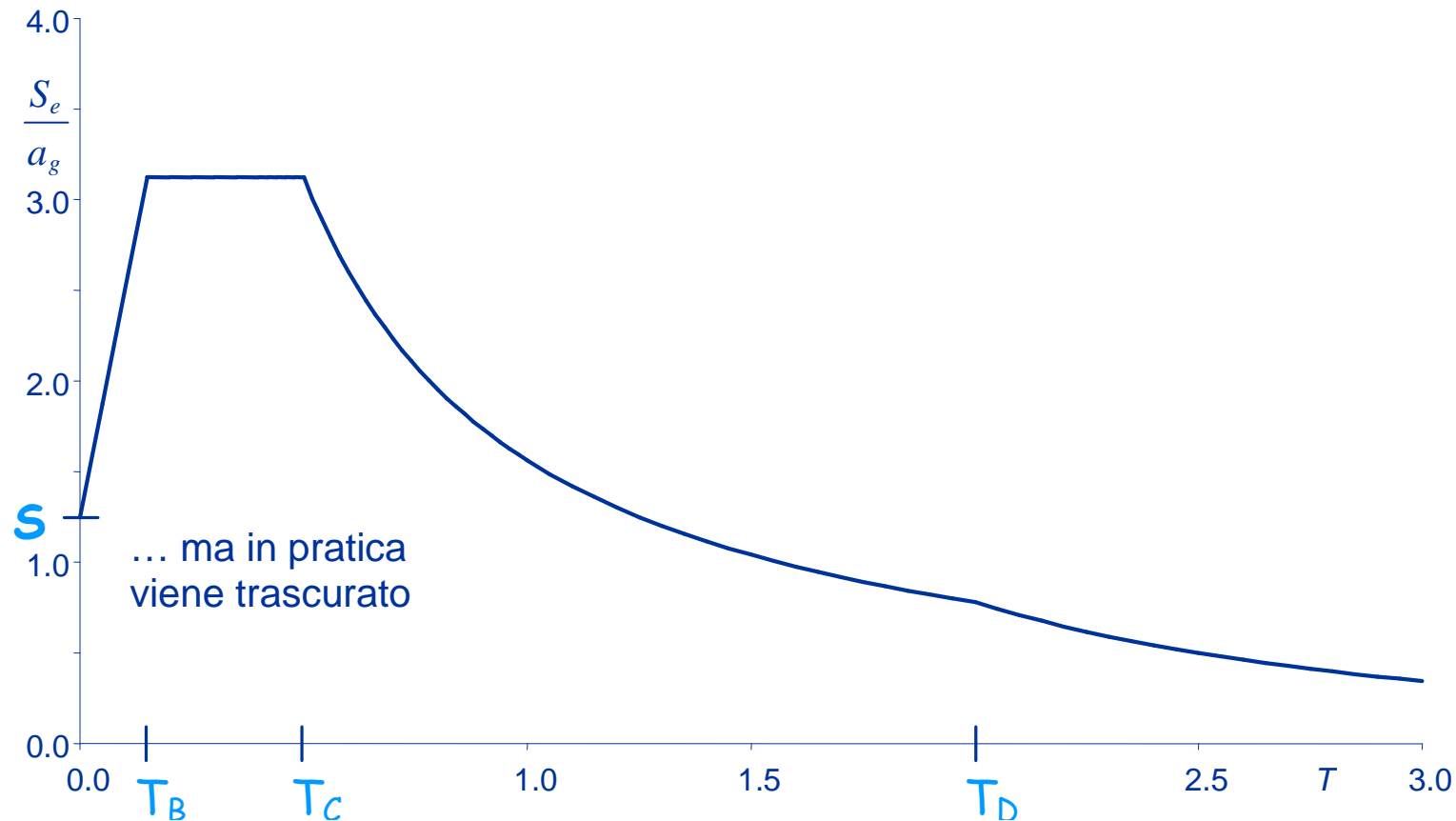


# Forma generale degli spettri di risposta elastica

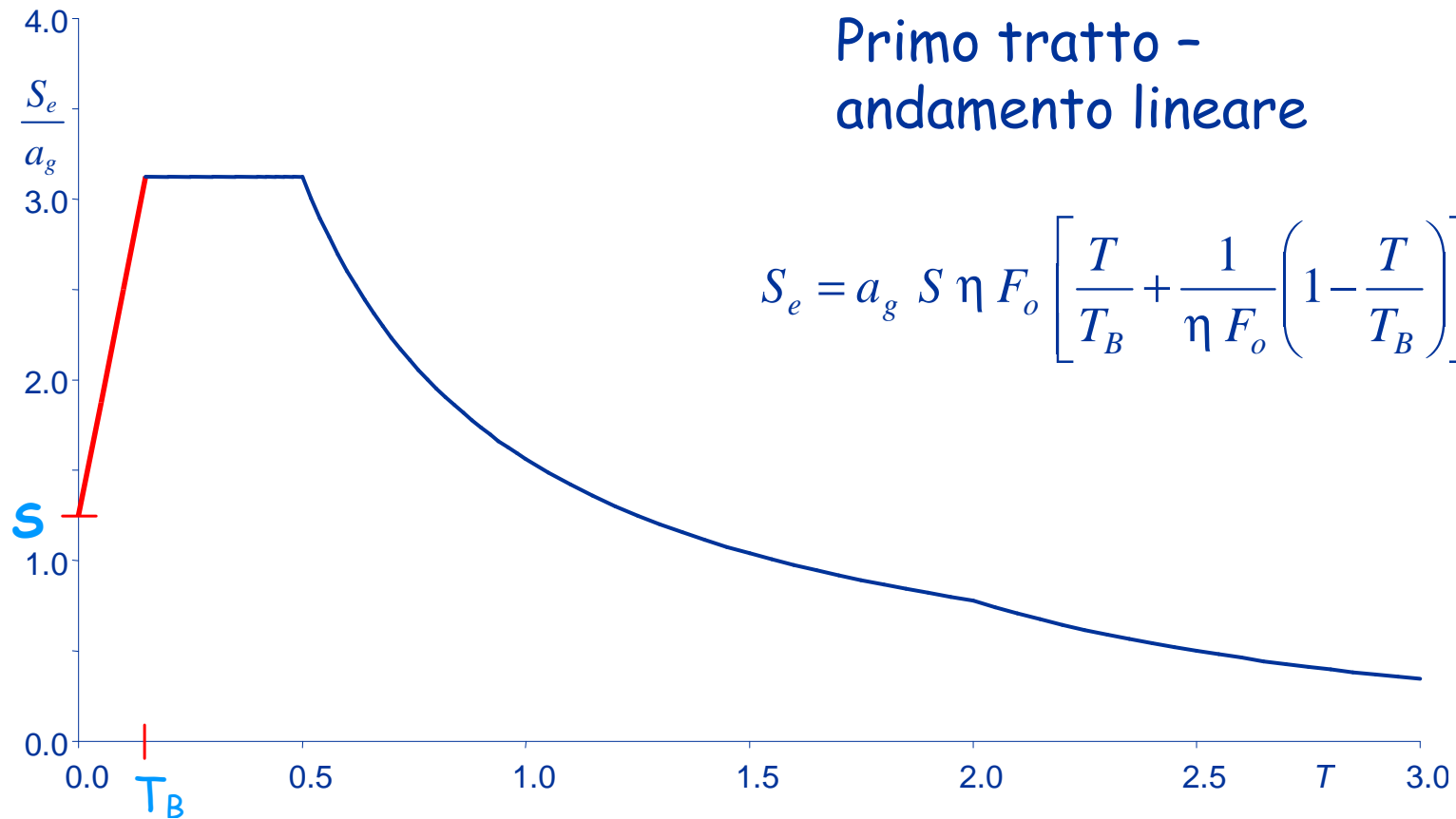




# Forma generale degli spettri di risposta elastica



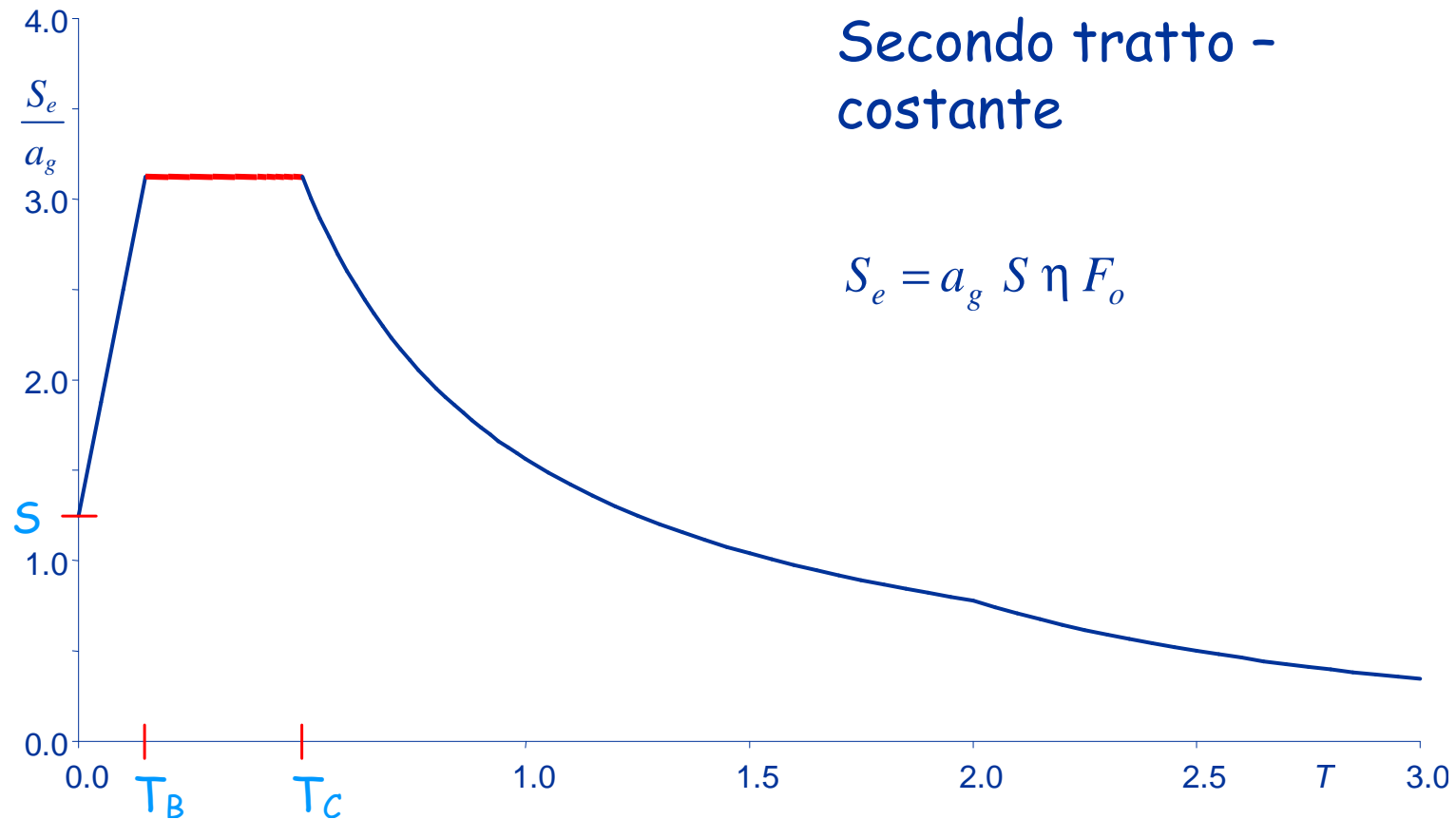
# Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



Amplificazione, legata  
al tipo di terreno

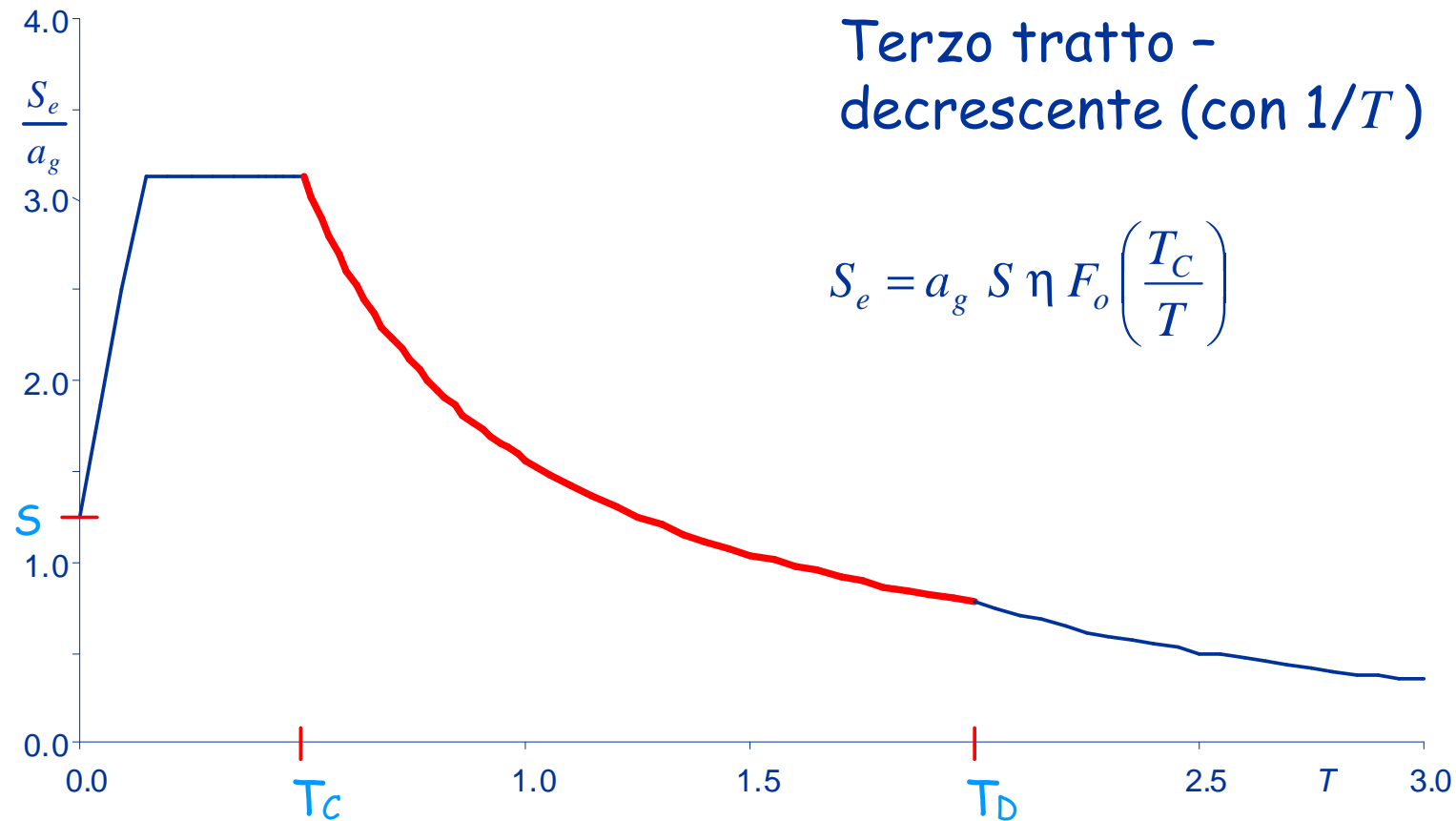
$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

# Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



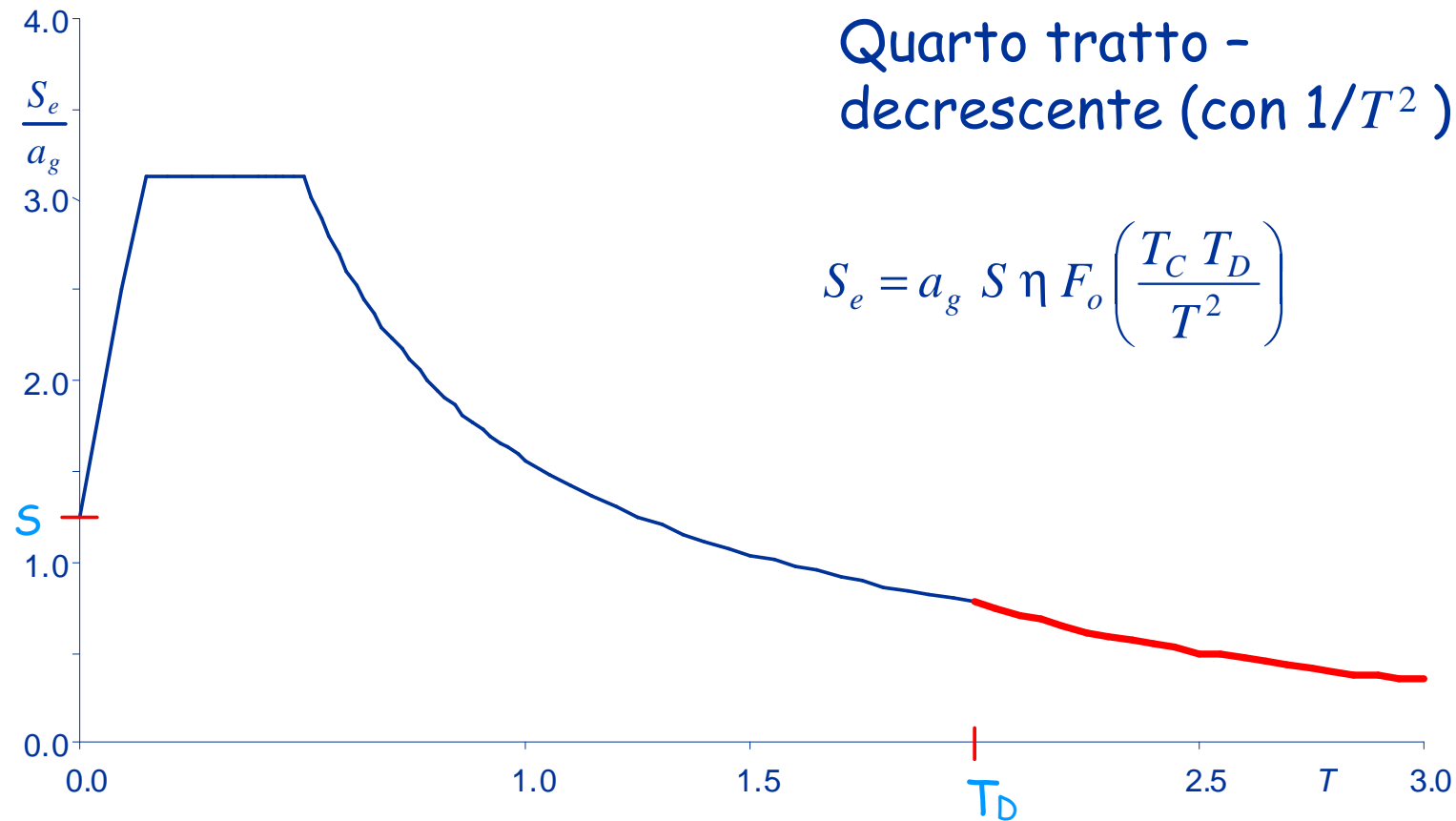
$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

# 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
- $\xi$  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 - NTC15

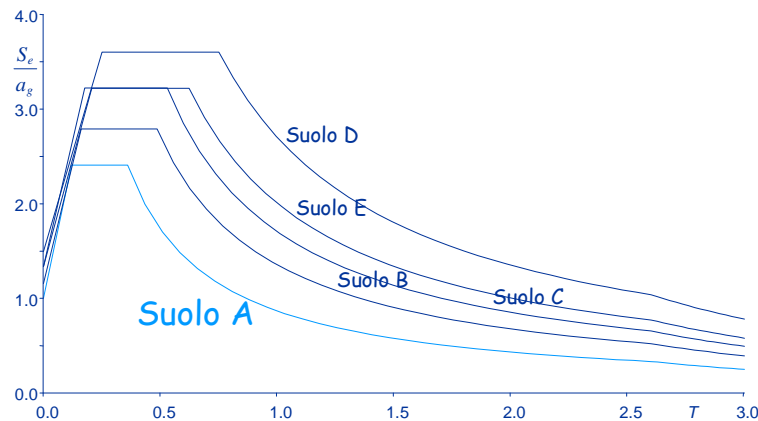
- In NTC15 scompare il riferimento a  $N_{SPT}$  e  $c_u$
- In NTC15 scompare la tabella 3.2.III che descriveva le categorie aggiuntive S1 e S2
- In NTC15 si parla di  $V_{s,eq}$  valutata nella profondità  $H$  del substrato roccioso, ovvero con  $V_s \geq 800$  m/s (ma se  $H > 30$  m si fa riferimento 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

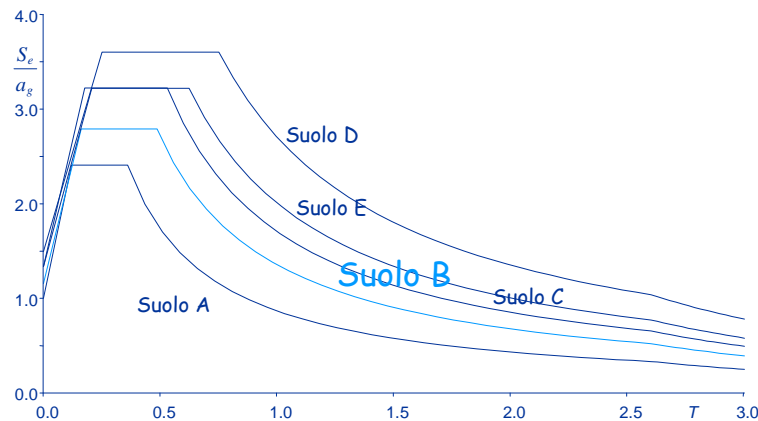
$$S = 1$$

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

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

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

# 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

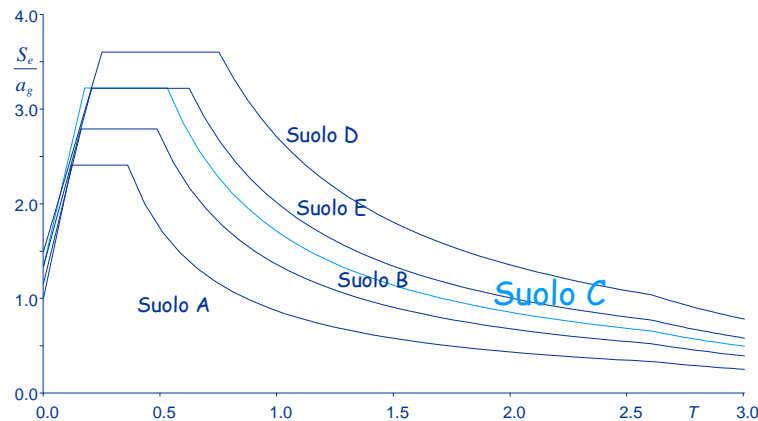
$$S = 1.20 \quad T_B = 0.15 \text{ s} \quad T_C = 0.5 \text{ s}$$

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

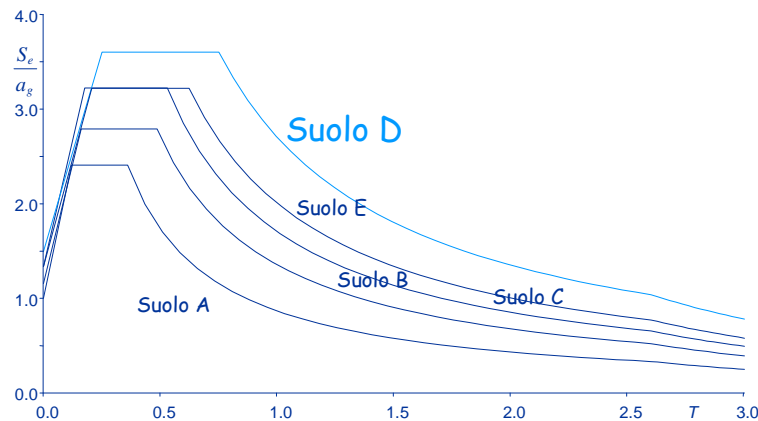
$$180 \text{ m/s} < V_{S30} < 360 \text{ m/s}$$

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:

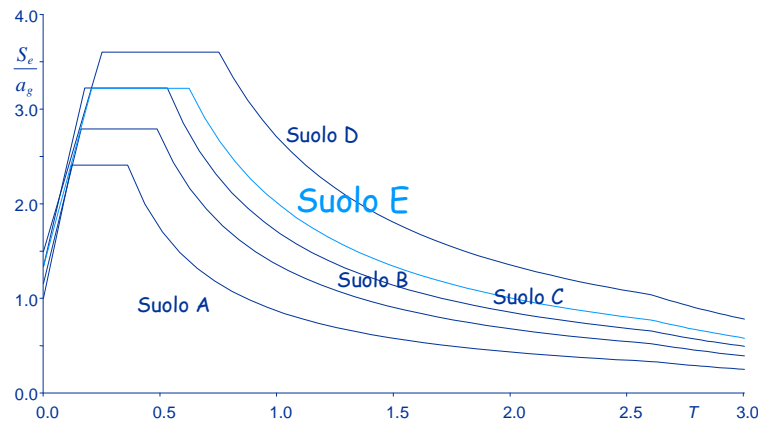
Resistenza penetrometrica

$$N_{SPT} < 15$$

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

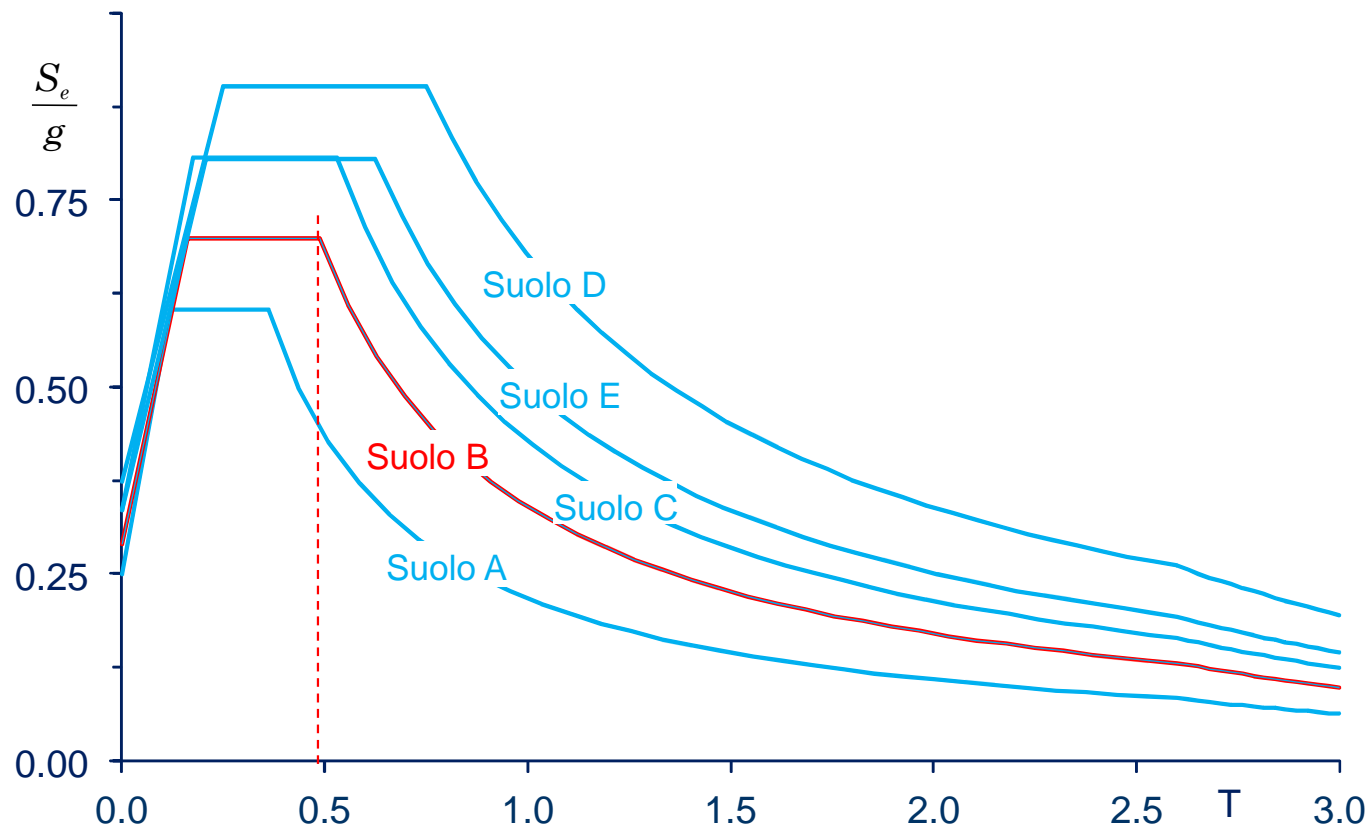
Depositi di terreni soggetti a  
liquefazione

I suoli S1 e S2  
non esistono più  
nella Bozza NTC

Per questi tipi di terreno occorrono studi speciali

# Considerazione sugli spettri

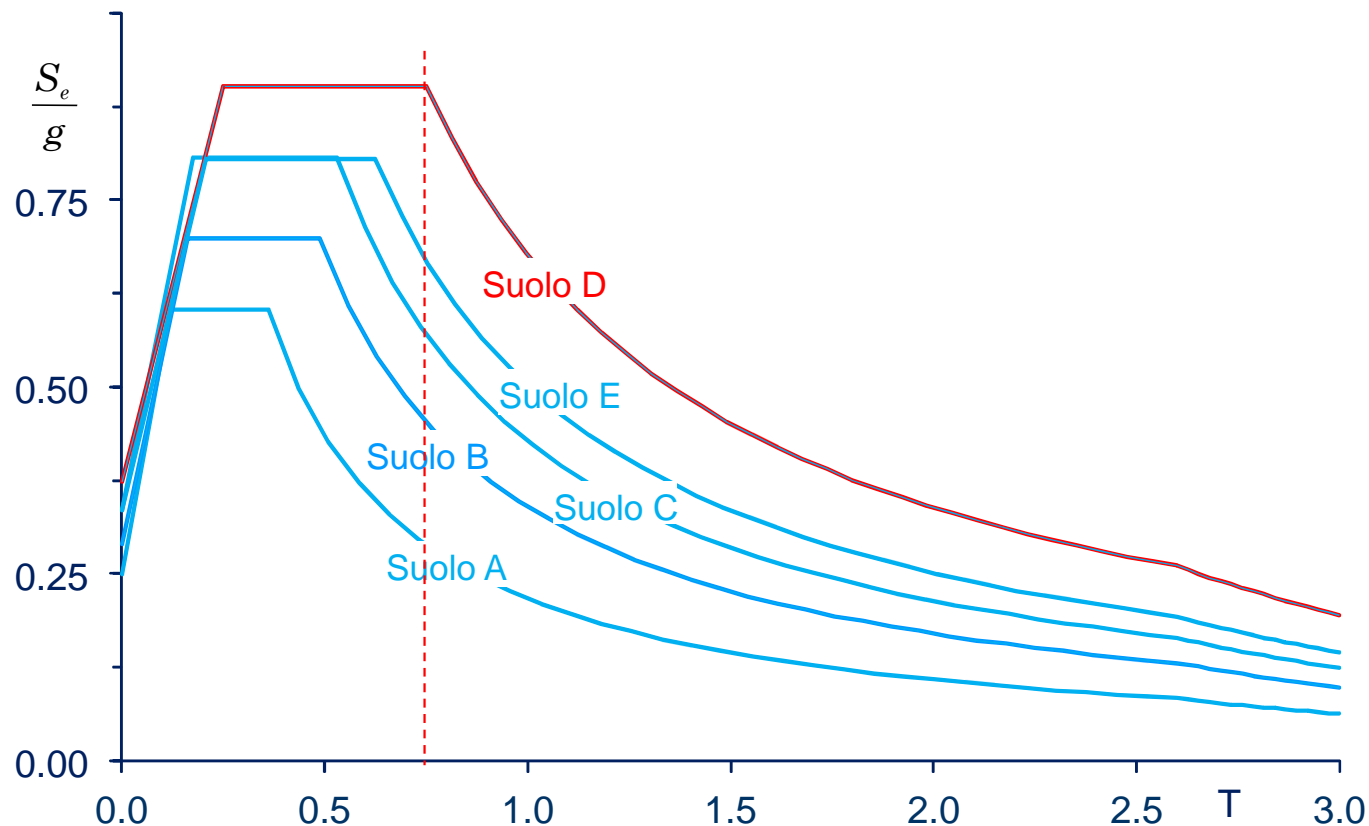
- Esaminare lo spettro di risposta nel sito, per il terreno su cui è costruito l'edificio, è fondamentale per capire quale sia l'intensità del sisma





# 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 (NTC 08)

La normativa fornisce  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$

A che servono?




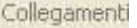
- consentono di definire lo spettro di risposta

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

Serve veramente tutta questa precisione?

# Determinazione dei dati sismici

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 (PG)"


 Cerca

latitudine  longitudine

Classe dell'edificio  

Vita Nominale: Struttura .....  

Periodo di Riferimento per l'azione sismica .....



Mappa Satellite Ibrida


POWERED BY Google

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



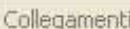
**ACCA software S.p.A.**  
il software per l'edilizia  
Tel.: 0827/69.504 - Fax: 0827/60.12.35  
P.IVA 01883740647 - E-mail: info@acca.it

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



# Determinazione dei dati sismici

Periodo di riferimento  $V_R$

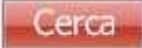
Indirizzo  <http://www.acca.it/EdiLus-MS/>   

## 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 Montebelluna"

via di Villa Redenta, Spoleto (PG) 

latitudine:  longitudine:

Classe dell'edificio: II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti...

Vita Nominale: Struttura ..... 50

Periodo di Riferimento per l'azione sismica ..... 50

**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

# 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 (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 08

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 NTC08

## accelerazioni verticali

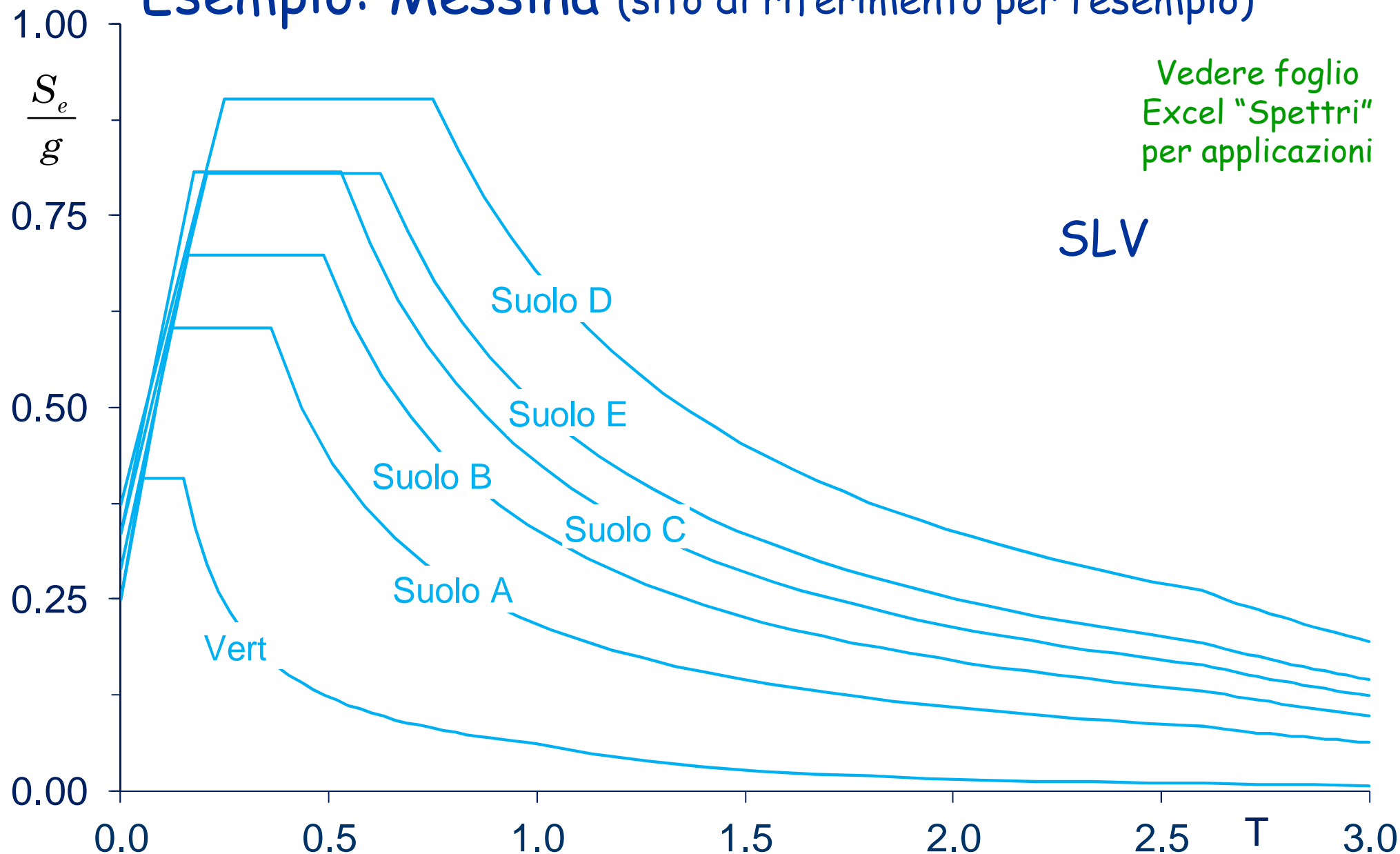
- Lo spettro ha la stessa forma, cambiano i parametri

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

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

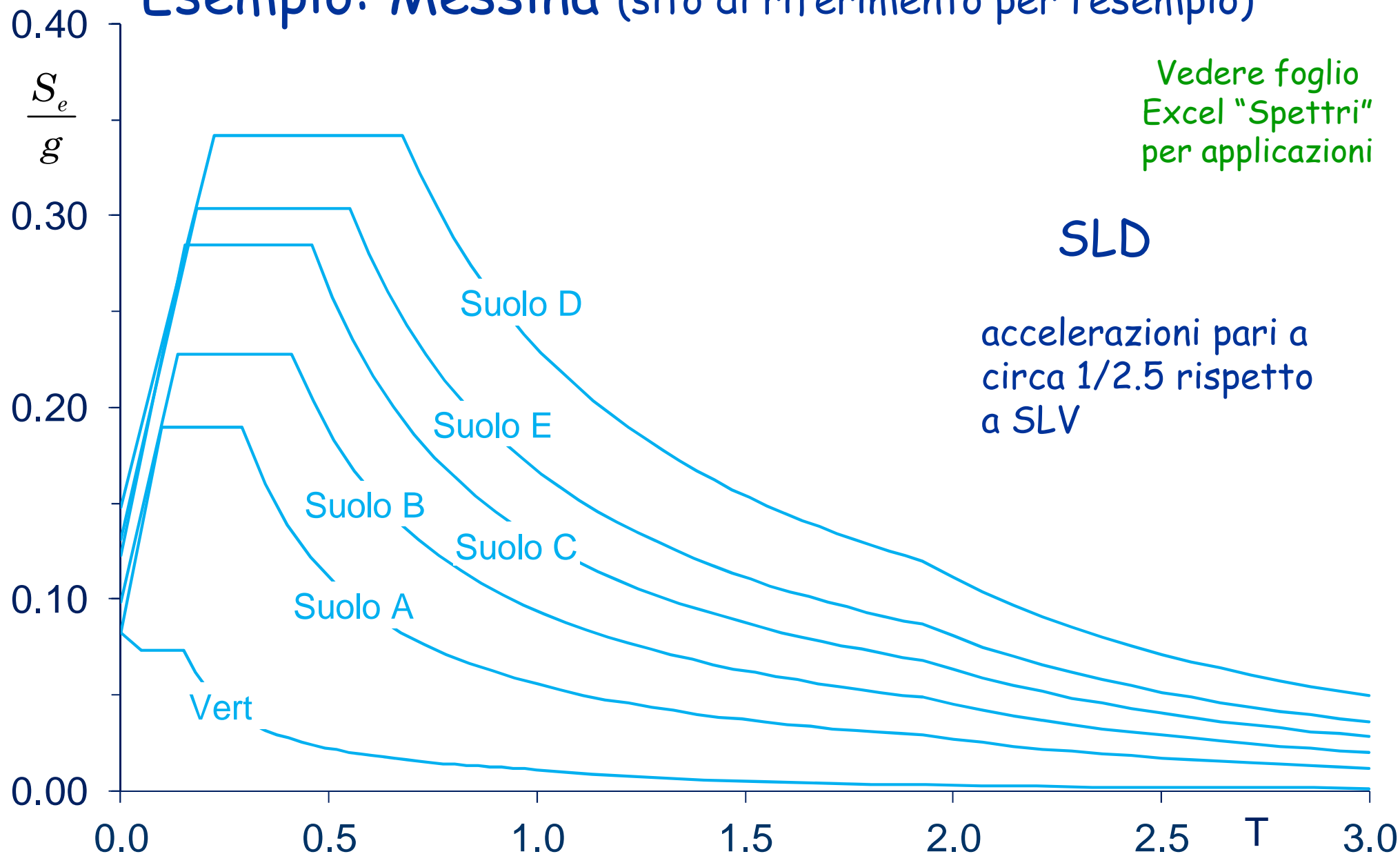
# Spettri di risposta NTC08

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



# Spettri di risposta NTC08

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



# Normativa europea considerazioni

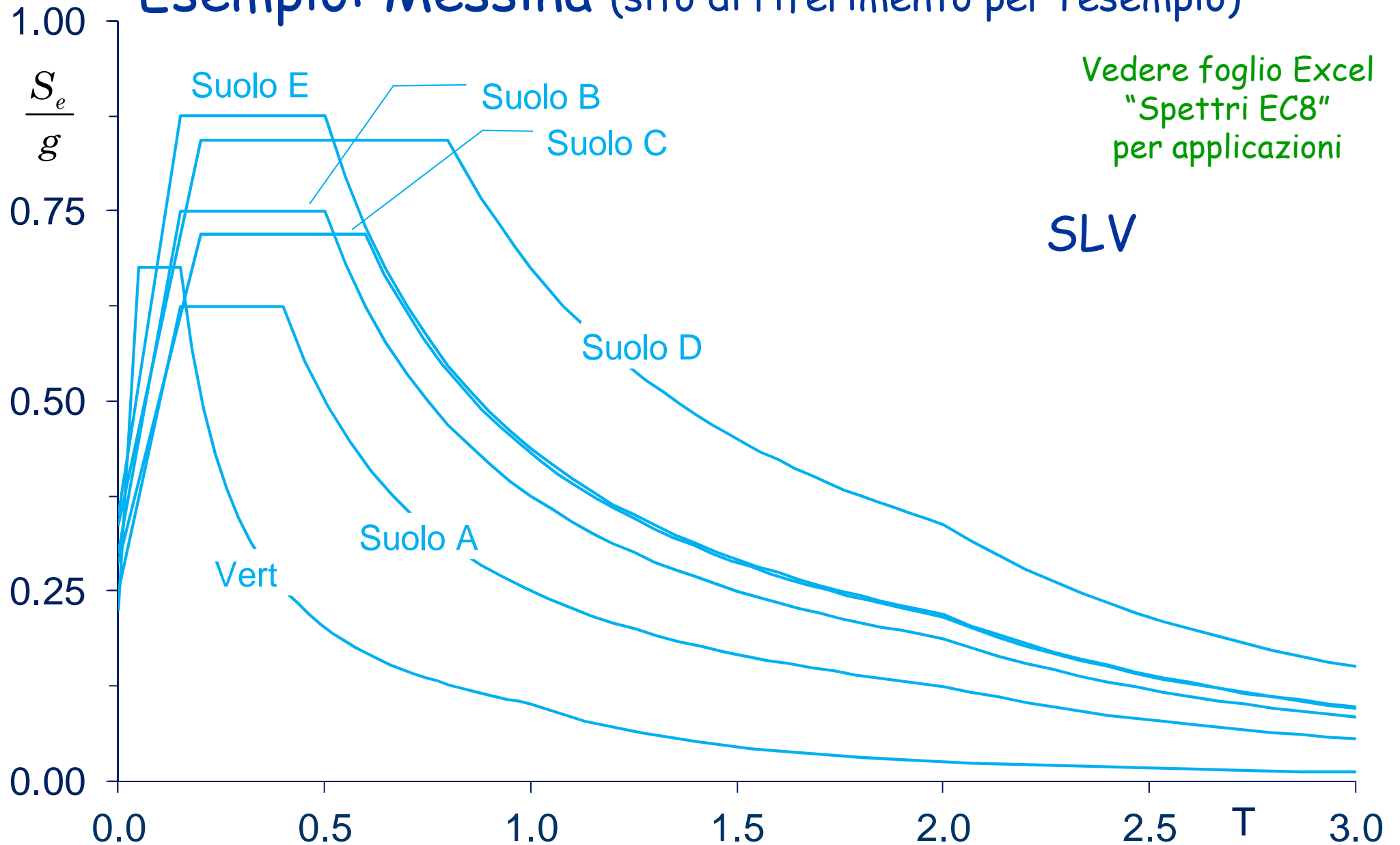
I valori di  $S$ ,  $F_o$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  sono definiti indipendentemente dal sito. Per terremoti con magnitudo superiore a 5.5 si utilizza uno spettro Tipo 1, con parametri sotto indicati

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

# Spettri di risposta EC8

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



# Normativa europea considerazioni

