

Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale e  
Norme Tecniche per le Costruzioni

**Progetto di edifici antisismici in c.a.**

3 - Risposta elastica e spettri di risposta elastica

Spoletto

27-28 aprile 2015

Aurelio Ghersi

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

# Risposta sismica

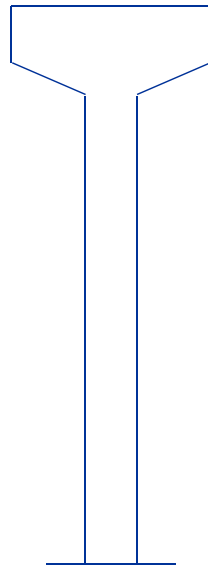
Schemi a un grado di libertà  
in campo elastico

# Struttura a un grado di libertà

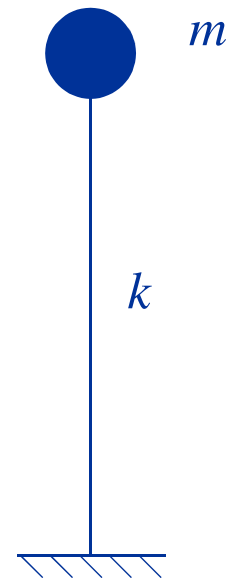
## Serbatoio pensile



Foto



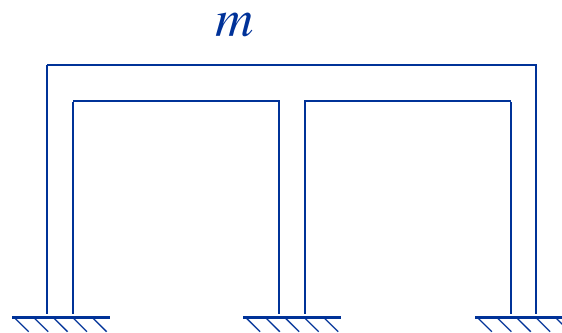
Disegno  
schematico



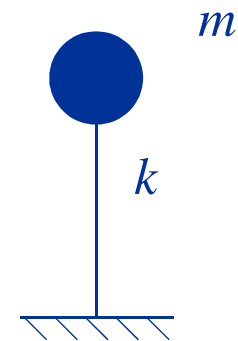
Modello  
di calcolo

# Struttura a un grado di libertà

## Telaio monopiano



Disegno  
schematico



Modello di  
calcolo

# Oscillazioni libere

## Esempio: altalena



Spostando il sedile dell'altalena e poi lasciandolo libero, esso oscilla con un periodo  $T$  ben preciso



# Oscillazioni libere

Esempio: altalena



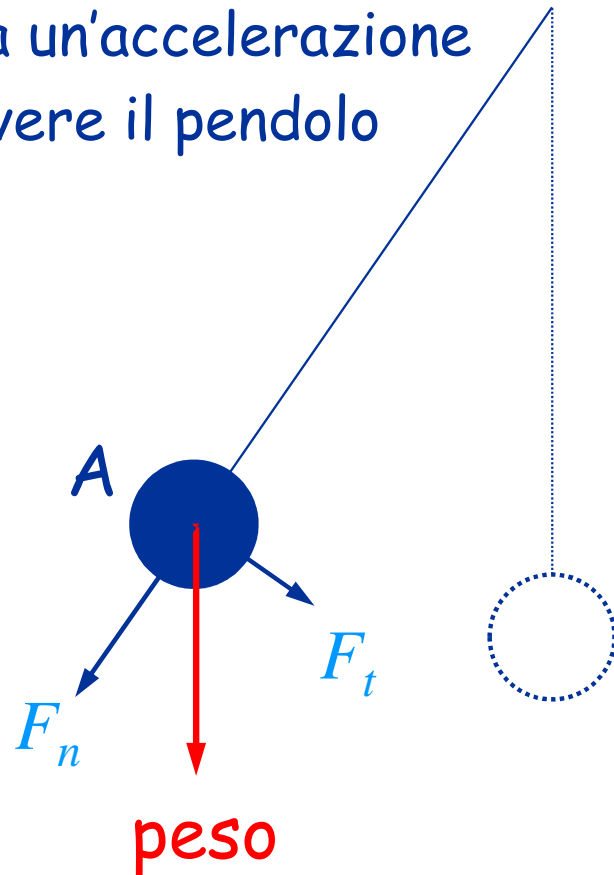
Spostando il sedile dell'altalena e poi lasciandolo libero, esso oscilla con un periodo  $T$  ben preciso

# Oscillazioni libere pendolo (esempio: altalena)

A) Il peso è scomposto nelle forze

$F_n$  assorbita dall'asta del pendolo

$F_t$  che provoca un'accelerazione  
che fa muovere il pendolo



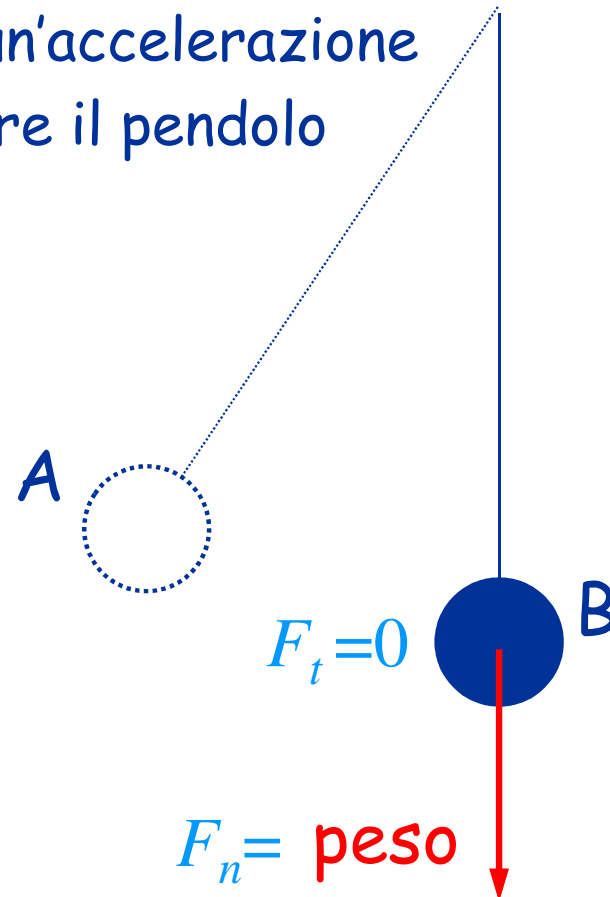


# Oscillazioni libere pendolo (esempio: altalena)

A) Il peso è scomposto nelle forze

$F_n$  assorbita dall'asta del pendolo

$F_t$  che provoca un'accelerazione  
che fa muovere il pendolo

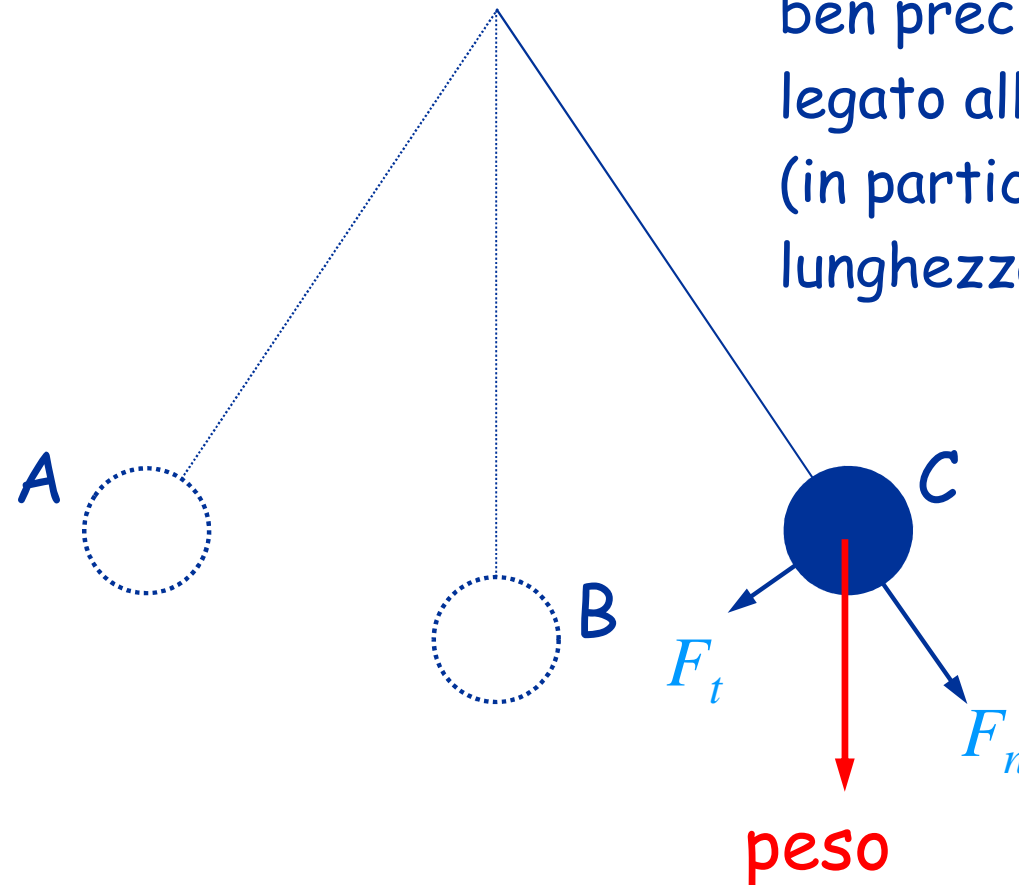


B) In questa posizione la  
velocità è massima  
(quando inizia a  
risalire rallenta) ma  
l'accelerazione è nulla  
perché  $F_t = 0$

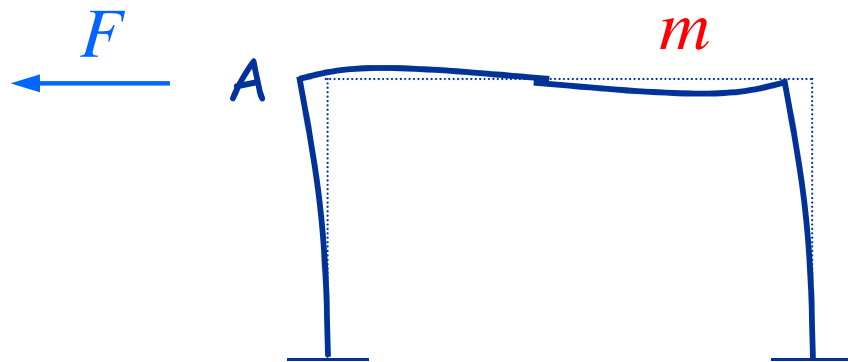
# Oscillazioni libere

## pendolo (esempio: altalena)

Il pendolo oscilla con  
un periodo  $T$   
ben preciso,  
legato alla geometria  
(in particolare, alla  
lunghezza dell'asta)



# Oscillazioni libere telaio monopiano

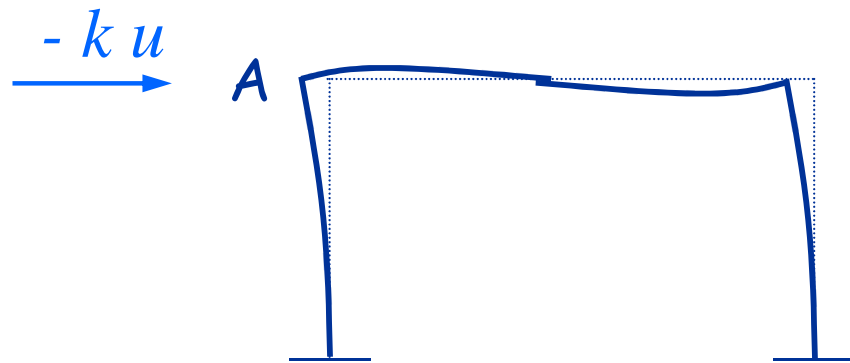


- A) Per deformare il telaio in questa posizione occorre applicare una forza  $F$ , uguale ed opposta alla forza elastica che tende a riportare il telaio alla posizione indeformata (forza di richiamo elastico).

Equilibrio statico

$$F = k u$$

# Oscillazioni libere telaio monopiano



Quando si lascia libero il telaio, agisce solo la forza di richiamo elastico, che provoca un'accelerazione.

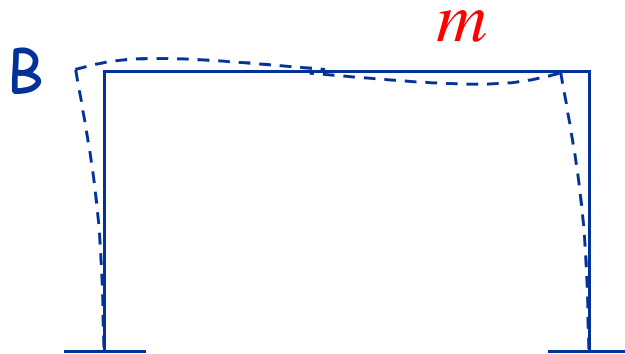
Equilibrio dinamico

$$- k u = m a$$

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

# Oscillazioni libere

## telaio monopiano



Equazione del moto:

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

equilibrio dinamico

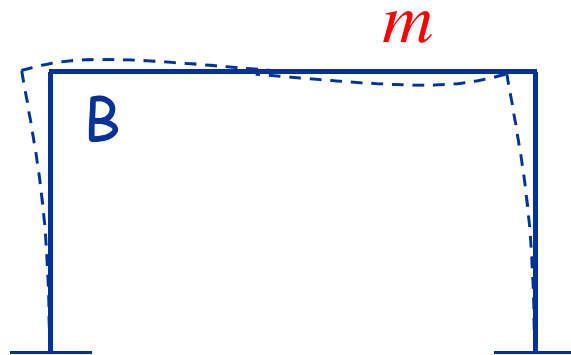
L'equazione differenziale può essere risolta analiticamente.

La soluzione è una funzione trigonometrica (seno, coseno)

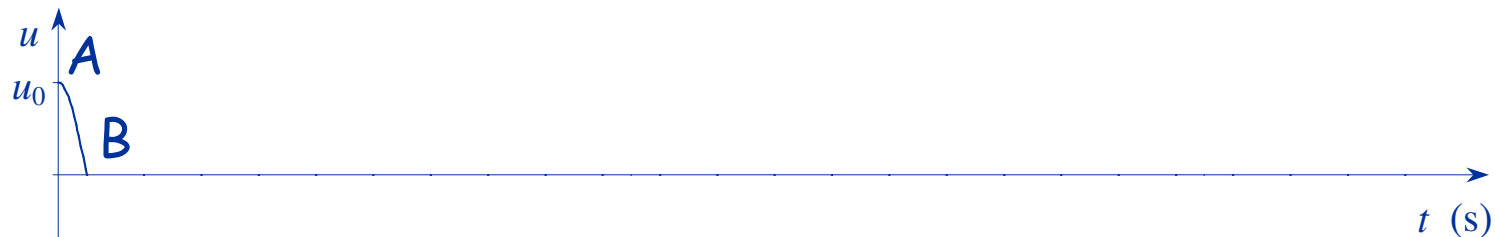
# Oscillazioni libere

## telaio monopiano

- B) Tornato nella posizione indeformata, la velocità è massima e l'accelerazione nulla (come la forza di richiamo elastico).



spostamento



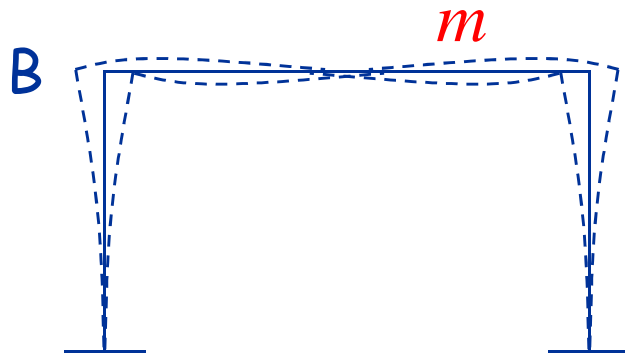
tempo



# Oscillazioni libere

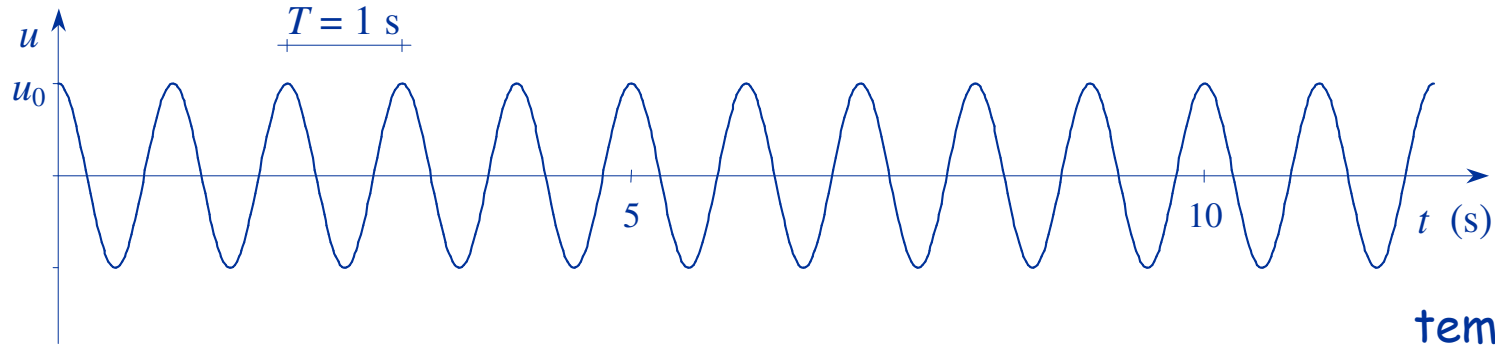
## telaio monopiano

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



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

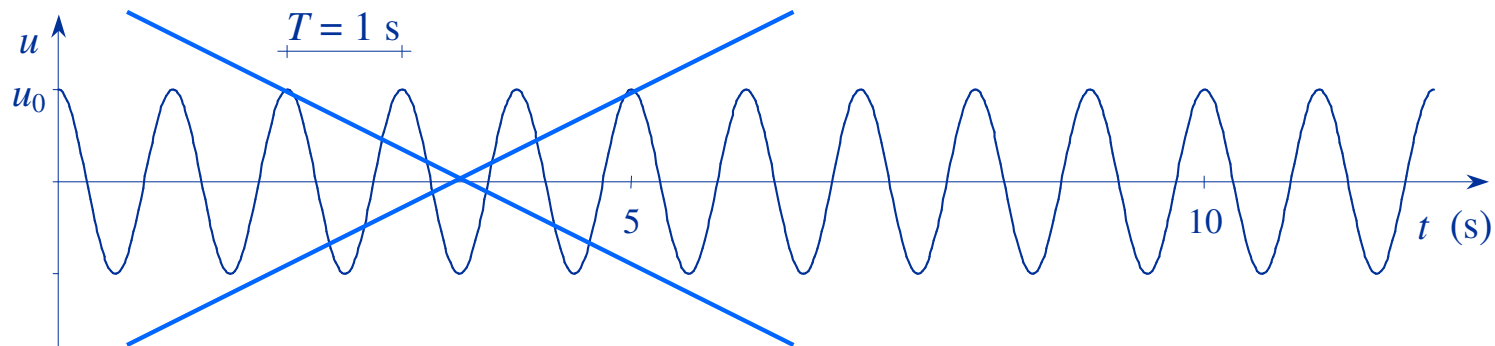
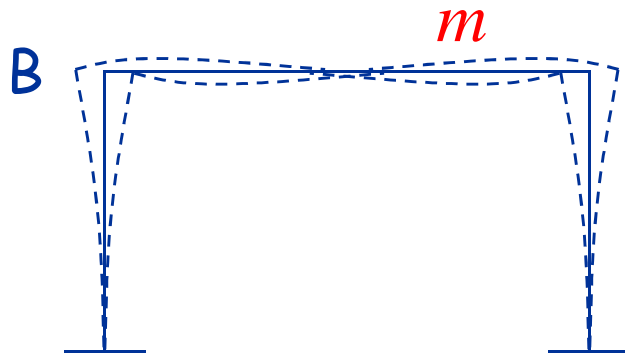
spostamento



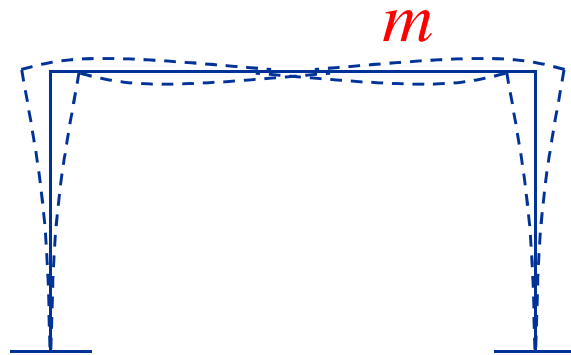


# Oscillazioni libere con smorzamento telaio monopiano

In realtà il moto non  
continua così, a causa  
della dissipazione di  
energia (smorzamento)



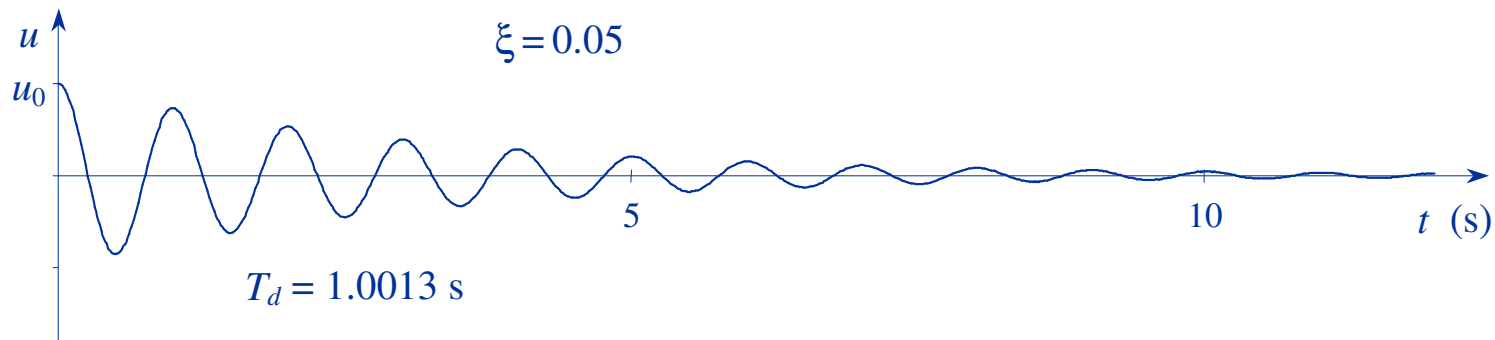
# Oscillazioni libere con smorzamento telaio monopiano



Equazione del moto:

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

Lo smorzamento è  
legato alla variazione di  
spostamento (velocità)

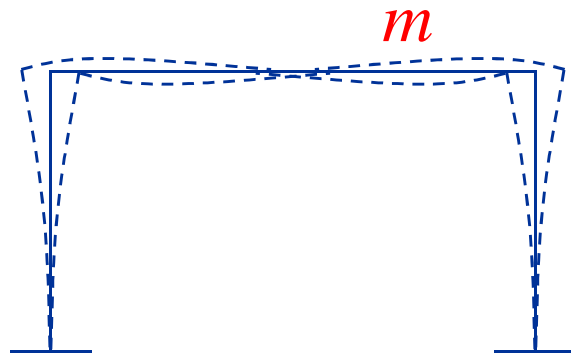


# Oscillazioni libere con smorzamento

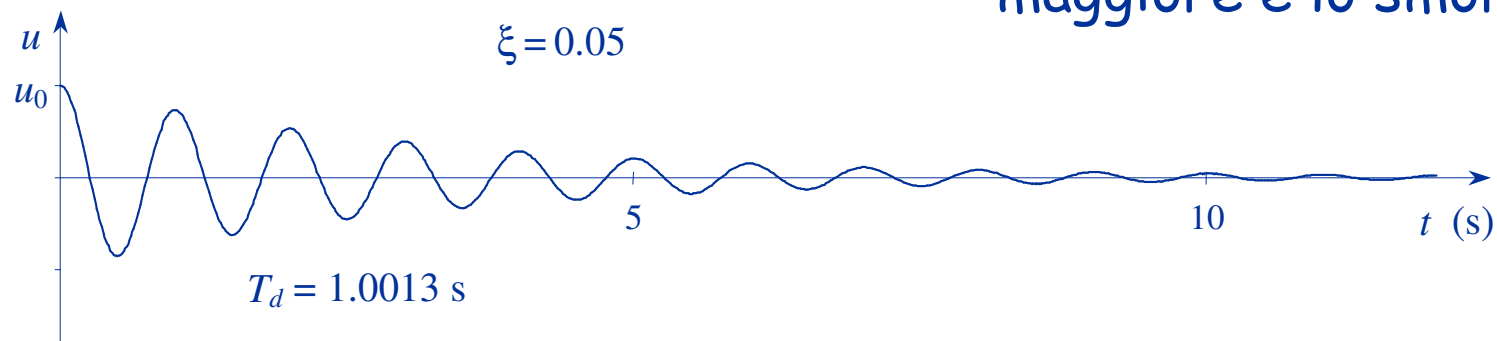
## telaio monopiano

Equazione del moto:

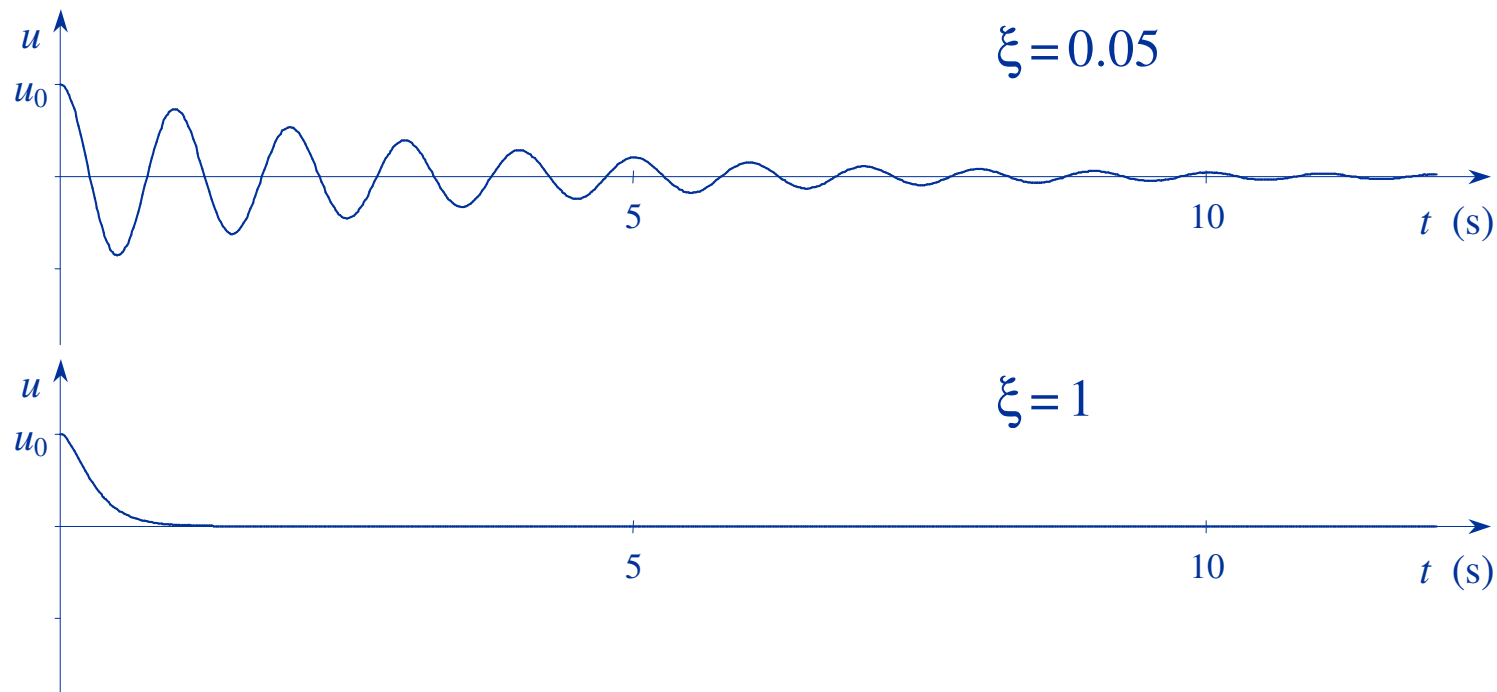
$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = 0$$



L'ampiezza del moto si riduce tanto più rapidamente quanto maggiore è lo smorzamento



# 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
- Non linearità del materiale poco

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  $\xi = 0.05$

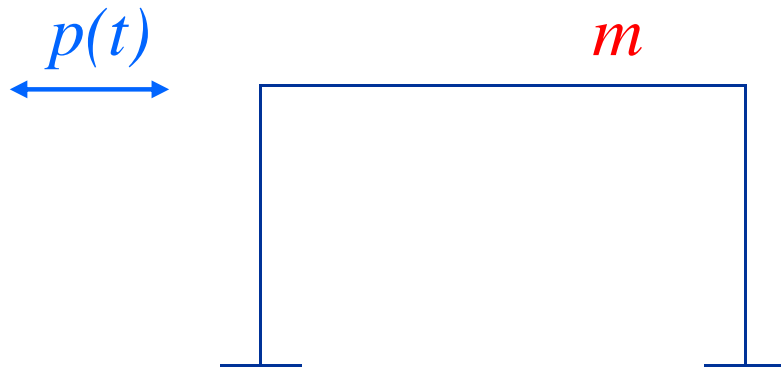
# Oscillazioni forzate

Esempio: altalena



Dando (in maniera periodica) una piccola spinta al sedile dell'altalena, le oscillazioni si amplificano sempre di più

# Oscillazioni forzate telaio monopiano



Equazione del moto:

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = p(t)$$

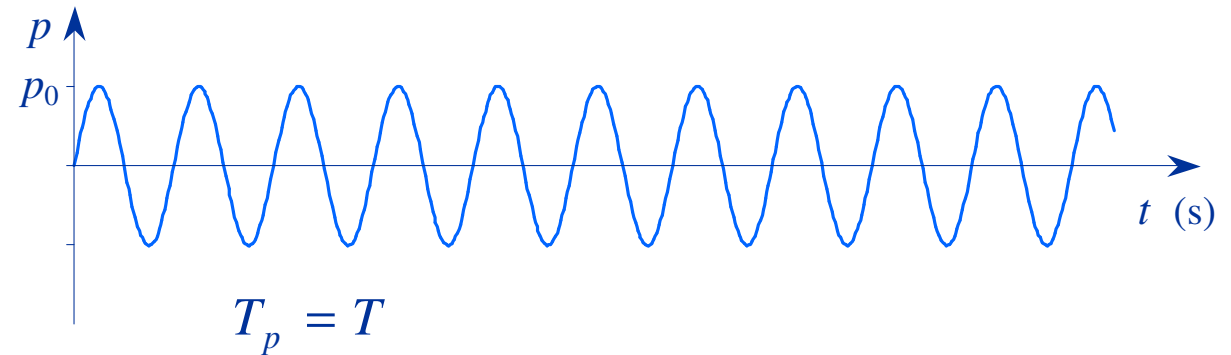
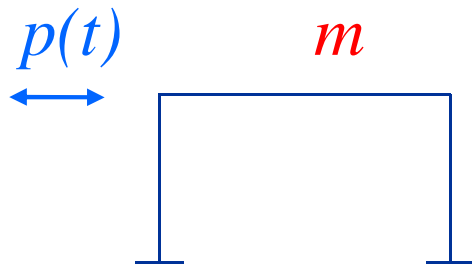
Nell'equazione del moto  
compare un nuovo termine  
(l'azione forzante)

Se la forzante è armonica (seno, coseno) è possibile risolvere  
analiticamente l'equazione differenziale

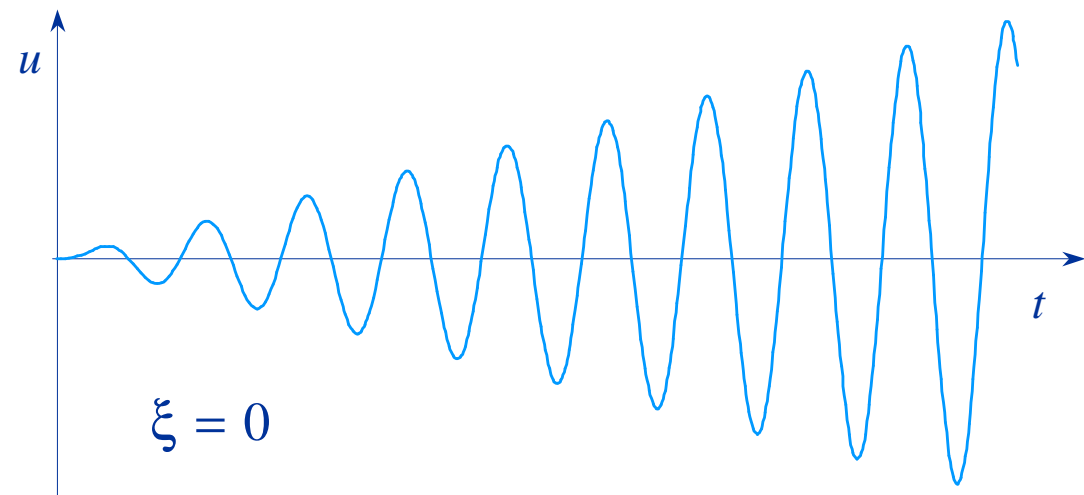


# Oscillazioni forzate

## telaio monopiano, forzante armonica (periodica)

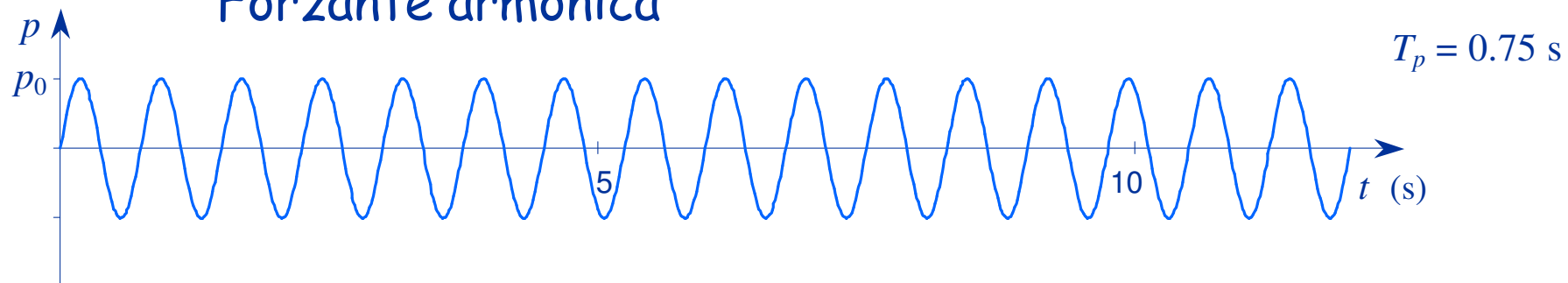


Se il periodo della forzante coincide con quello del sistema, in assenza di smorzamento il moto si amplifica sempre più

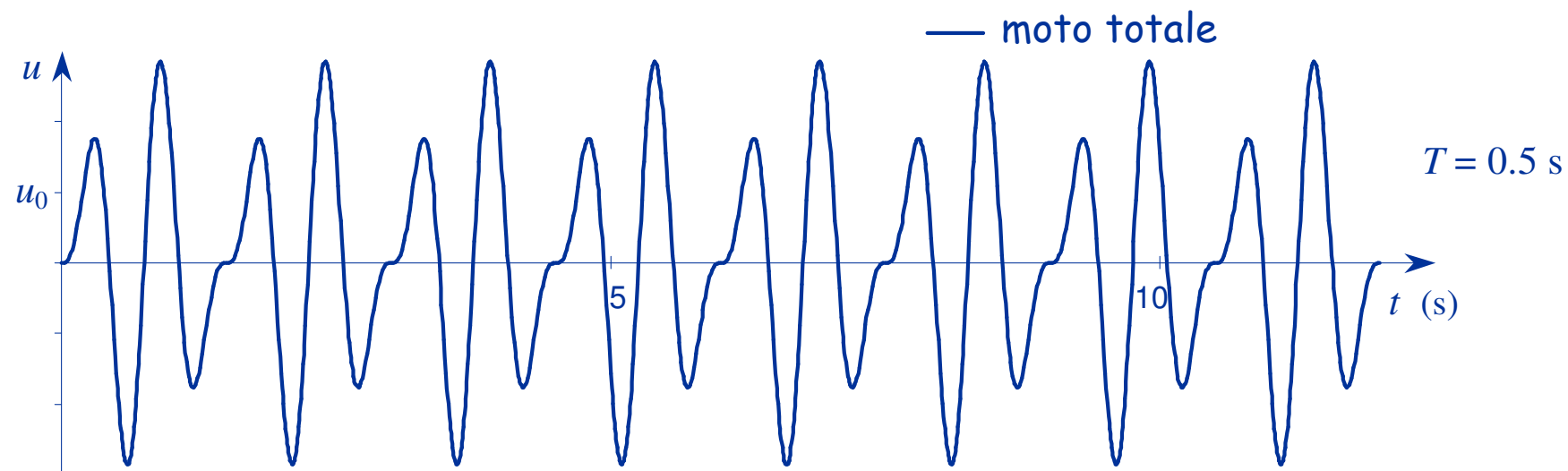


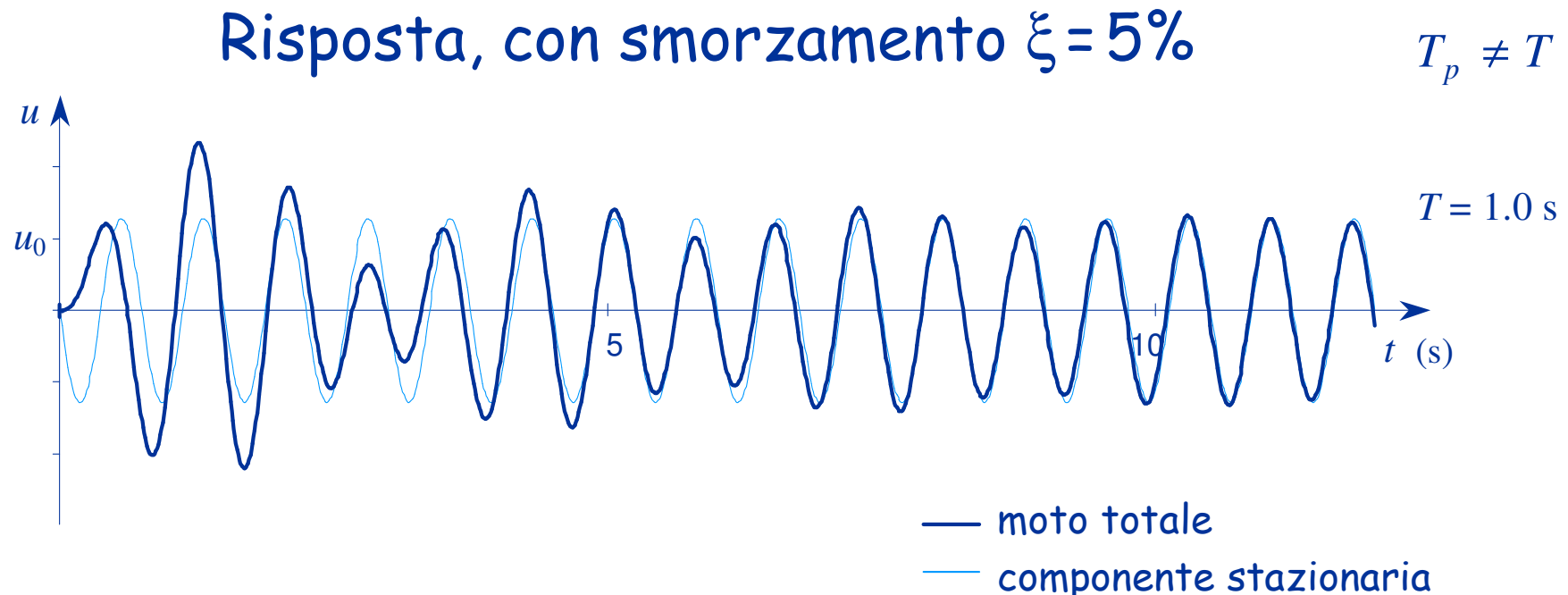
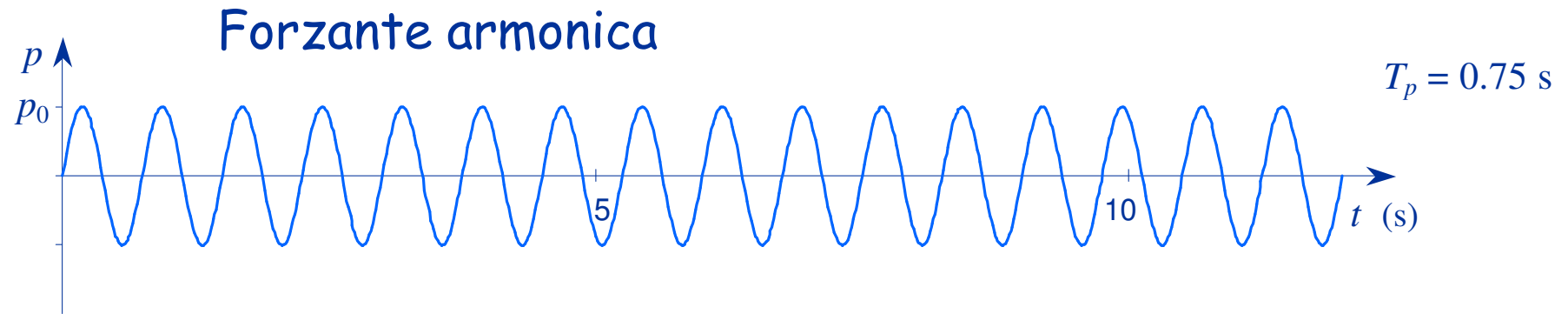
risonanza

## Forzante armonica



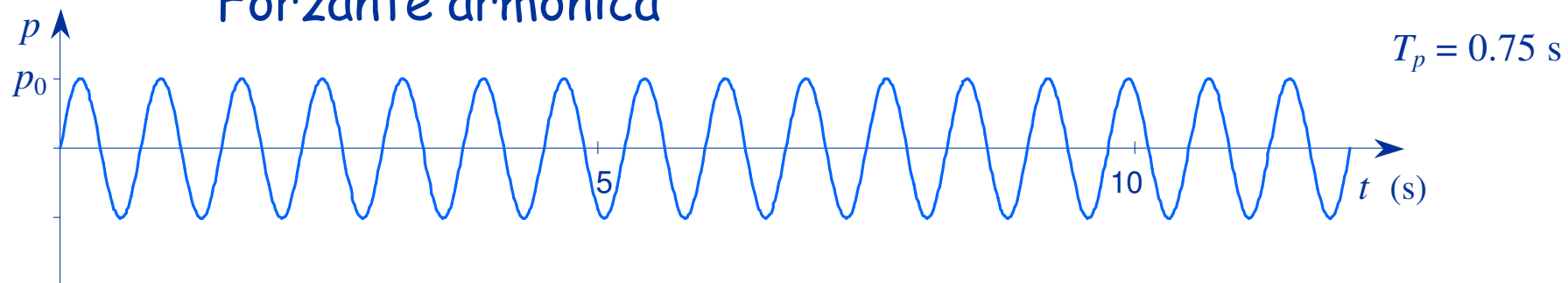
## Risposta, senza smorzamento





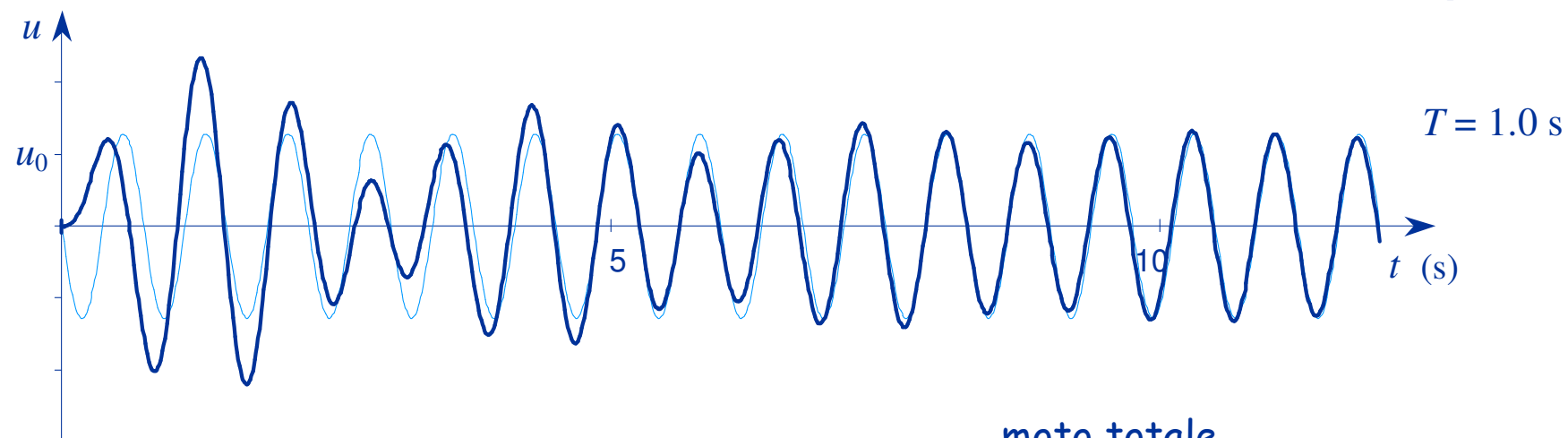
Il moto è somma di una componente armonica che ha lo stesso periodo della forzante ed ampiezza costante (componente stazionaria) e di una componente che ha lo stesso periodo del sistema ma ampiezza che si riduce man mano (componente transitoria)

## Forzante armonica

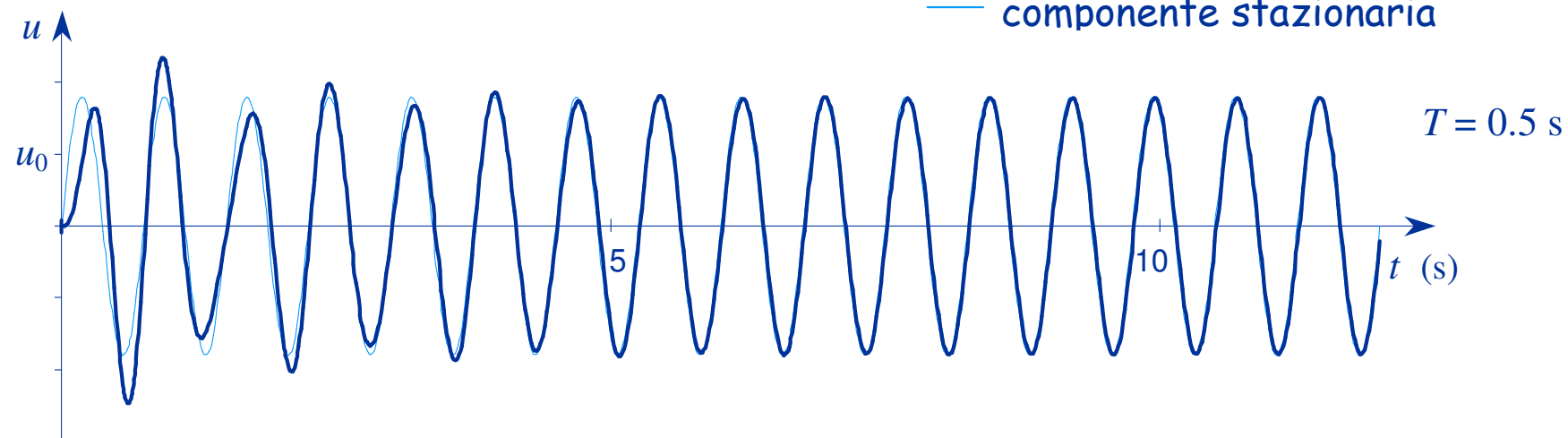


## Risposta, con smorzamento $\xi = 5\%$

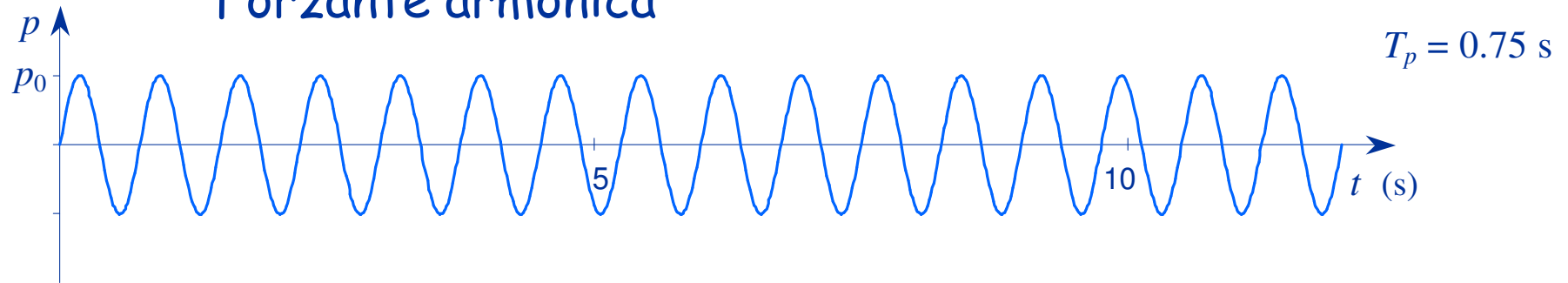
$$T_p \neq T$$



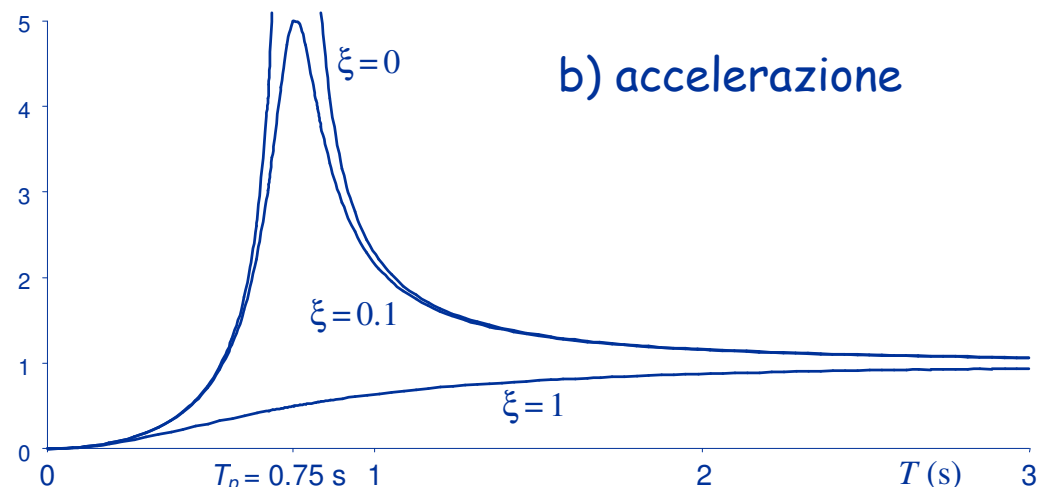
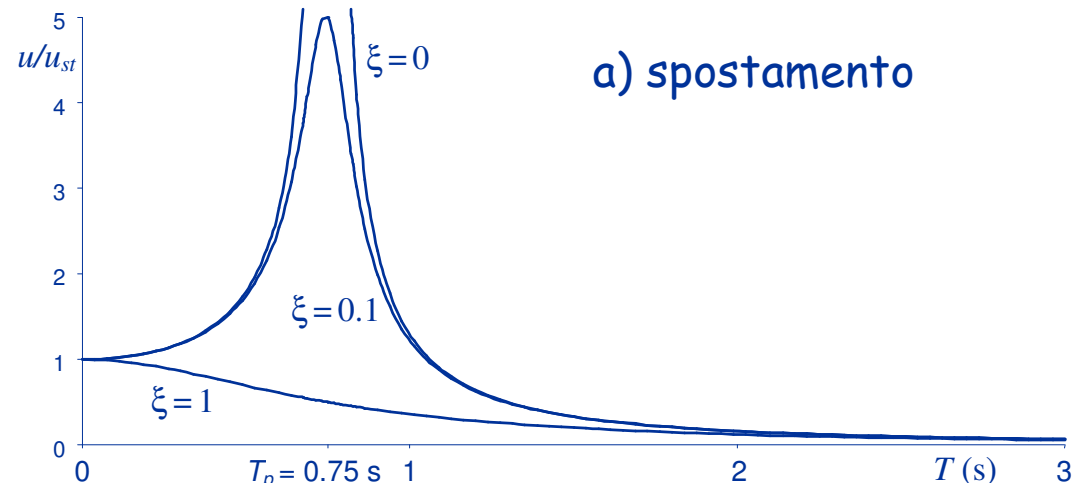
— moto totale  
— componente stazionaria



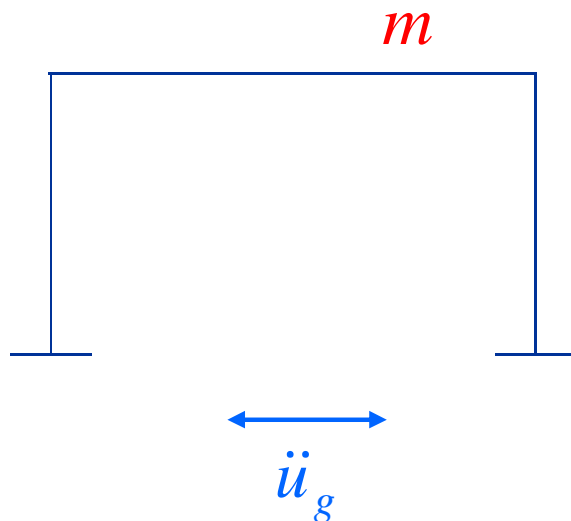
## Forzante armonica



Il moto viene  
amplificato o ridotto,  
in funzione  
del periodo proprio  
e dello smorzamento  
del sistema



# Oscillazioni forzate (moto del terreno)



Equazione del moto:

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

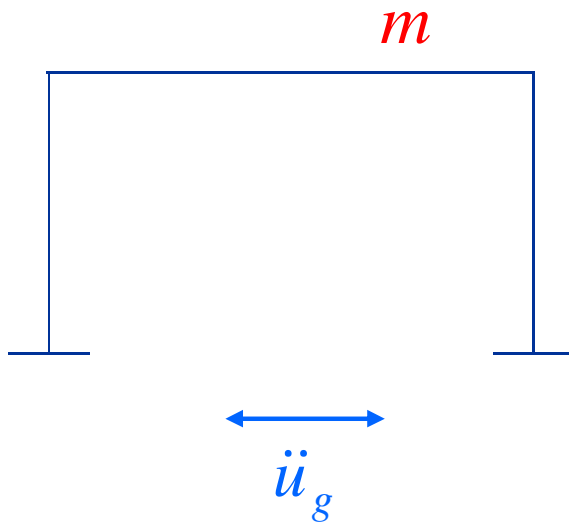
Cambia (formalmente)  
il termine noto  
nell'equazione del moto

Il problema è sostanzialmente  
identico a quello del moto con  
forzante applicata al traverso

# Oscillazioni forzate (moto del terreno)

Equazione del moto:

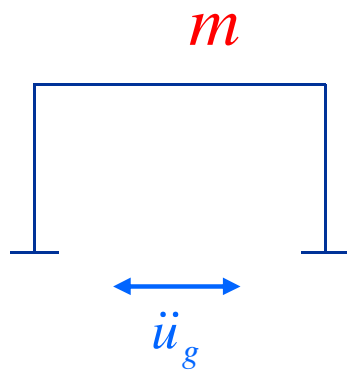
$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = -m \ddot{u}_g$$



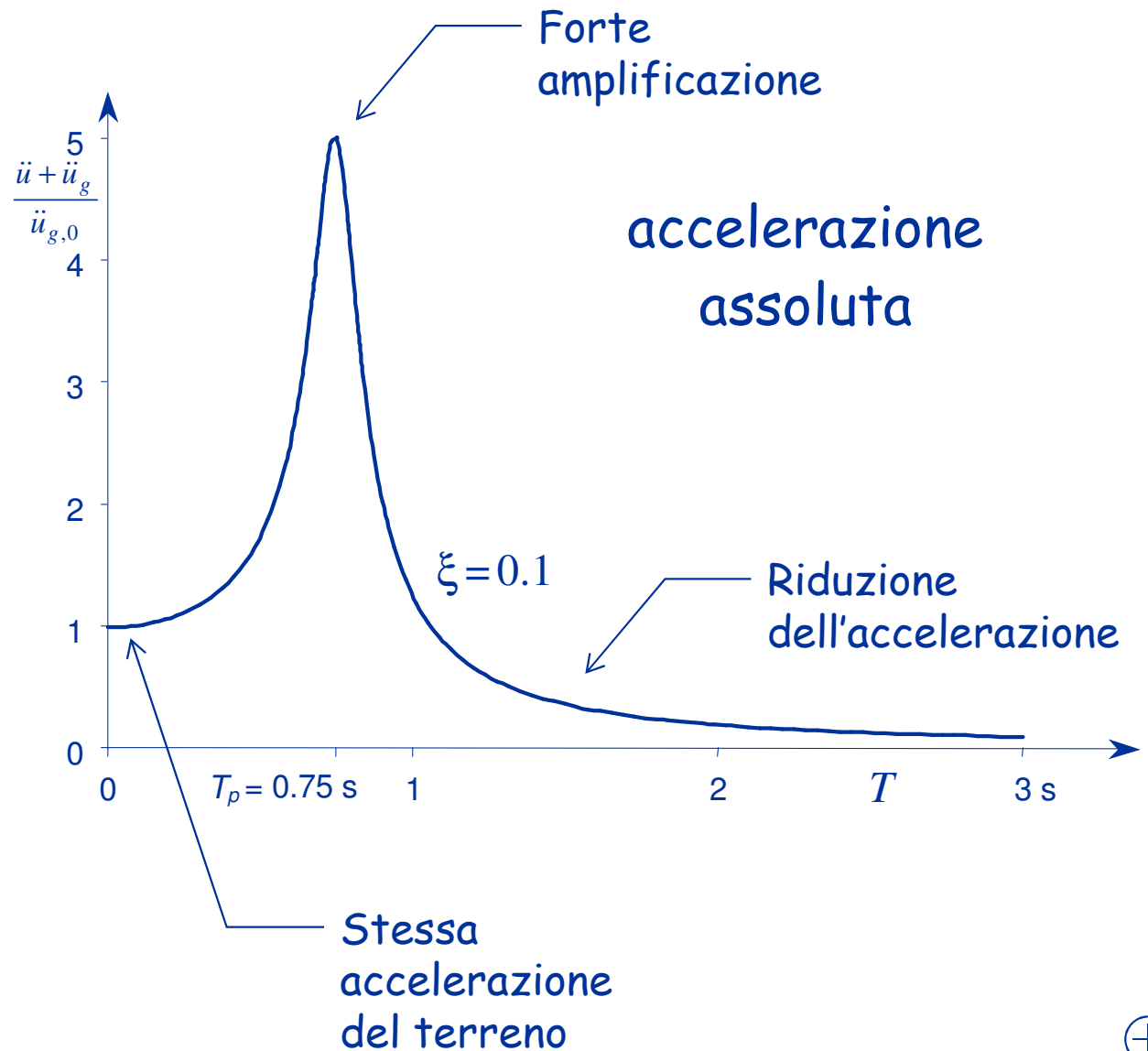
Se la forzante è armonica (seno, coseno) è possibile risolvere analiticamente l'equazione differenziale



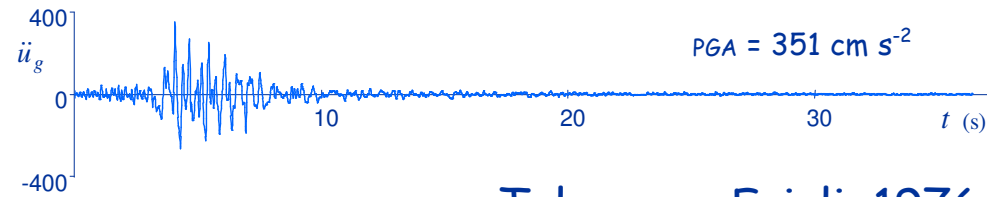
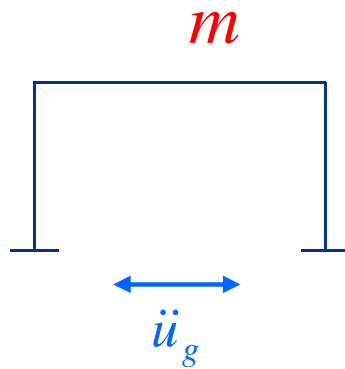
# Oscillazioni forzate (moto del terreno - armonico)



Si noti, in particolare,  
l'andamento  
dell'accelerazione  
massima in funzione  
del periodo proprio



# Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)



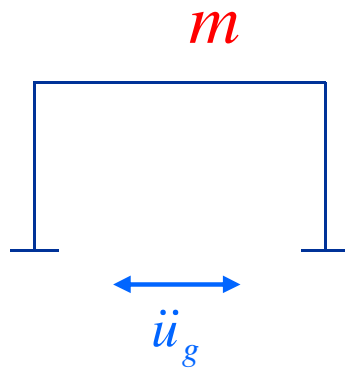
Tolmezzo, Friuli, 1976

Input sismico: accelerogramma

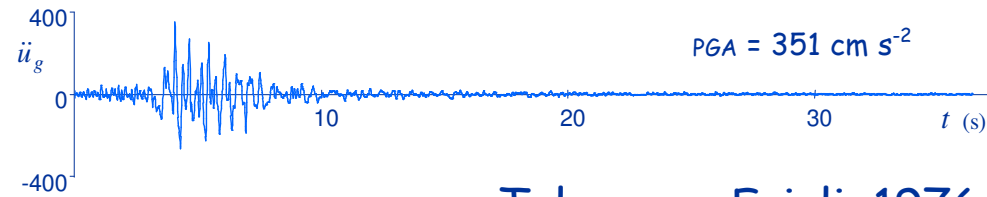
Equazione del moto:

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

# Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)



È possibile  
determinare  
numericamente  
la risposta ad un  
accelerogramma

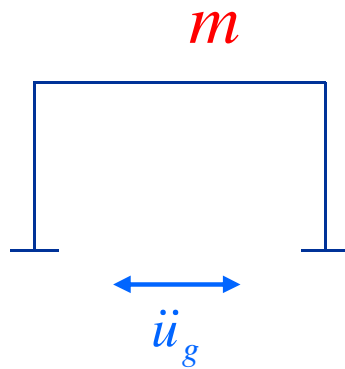


Tolmezzo, Friuli, 1976

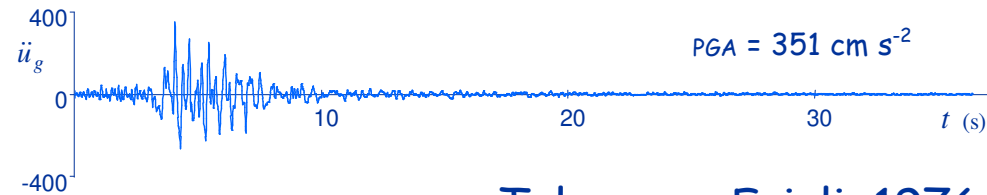
Noti i valori di  $u, \dot{u}, \ddot{u}$  in un certo  
istante  $t_1$  ed il valore di  $\ddot{u}_g$  tra  $t_1$  e  
 $t_1 + \Delta t$  si possono ricavare i valori di  
 $u, \dot{u}, \ddot{u}$  nell'istante  $t_1 + \Delta t$

Si ottiene la risposta nel tempo  
(time history)

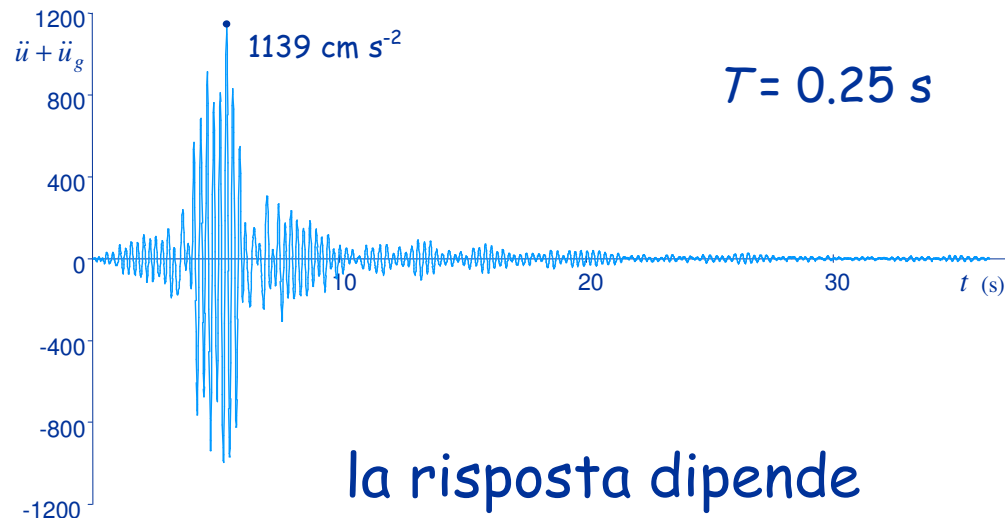
# Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)



È possibile  
determinare  
numericamente  
la risposta ad un  
accelerogramma

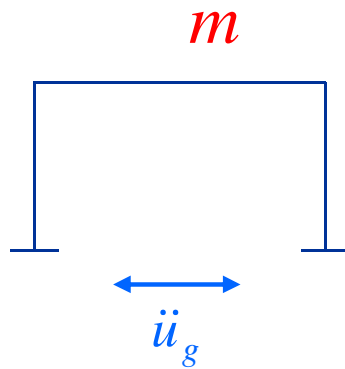


Tolmezzo, Friuli, 1976

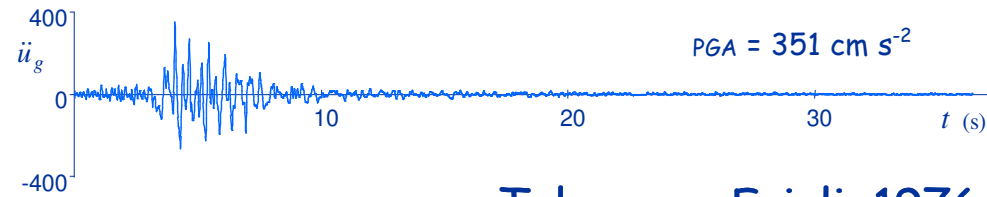


la risposta dipende  
dal periodo  $T$  dell'oscillatore

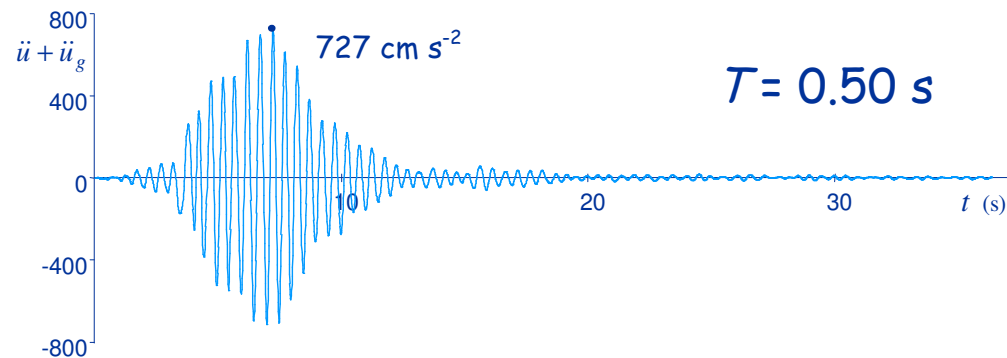
# Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)



Cambiando il periodo  
dell'oscillatore,  
cambia la risposta

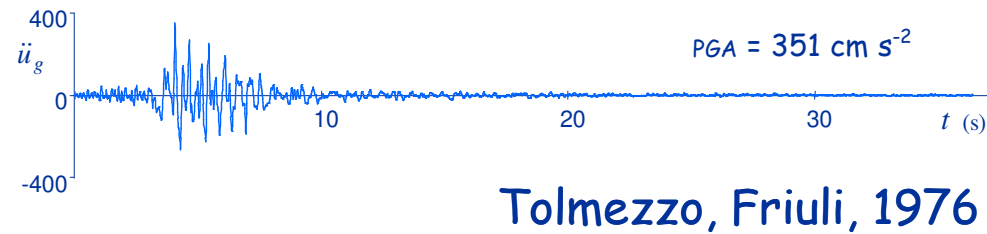
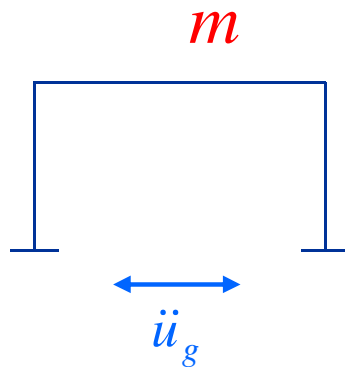


Tolmezzo, Friuli, 1976

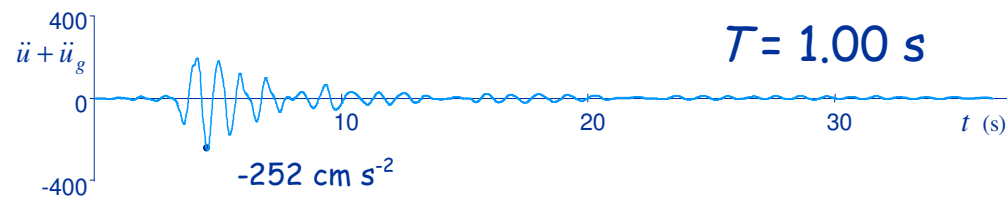


# Oscillazioni forzate

(moto del terreno - accelerogramma)



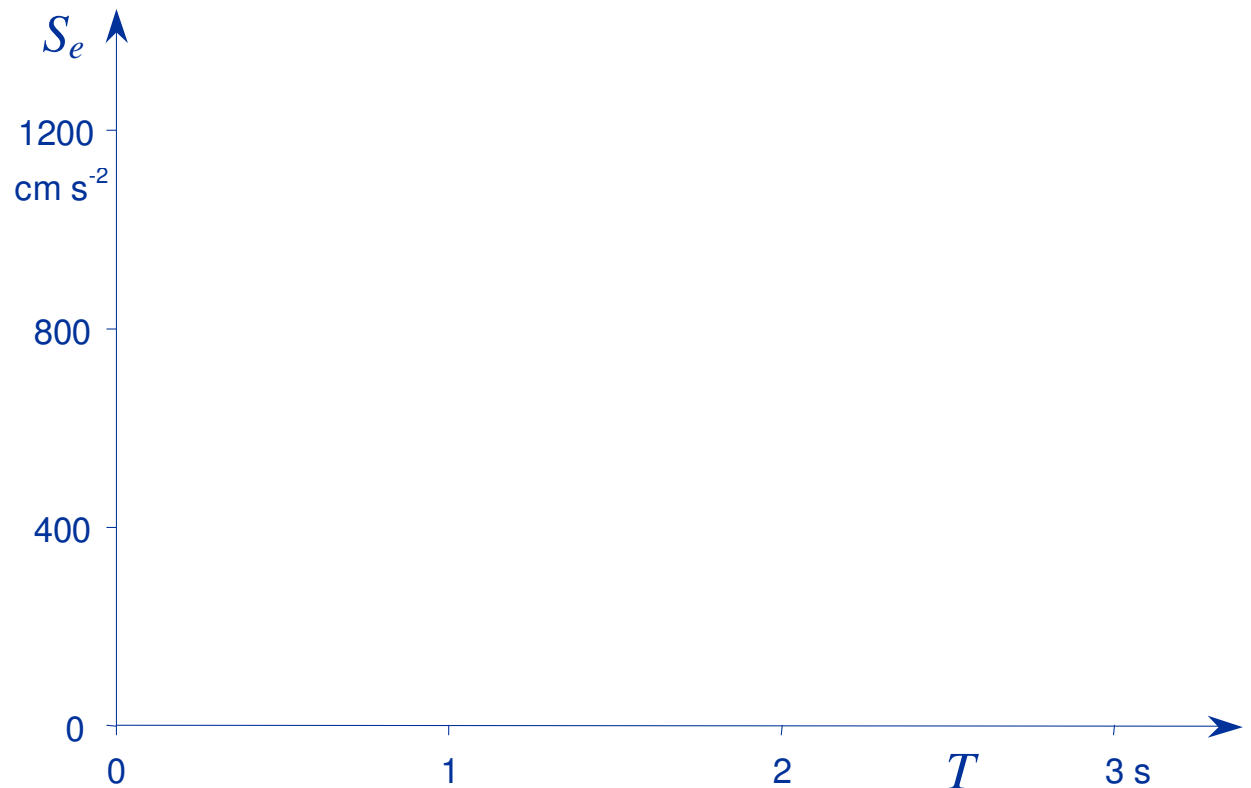
Cambiando il periodo  
dell'oscillatore,  
cambia la risposta



# Oscillazioni forzate

(moto del terreno - accelerogramma)

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



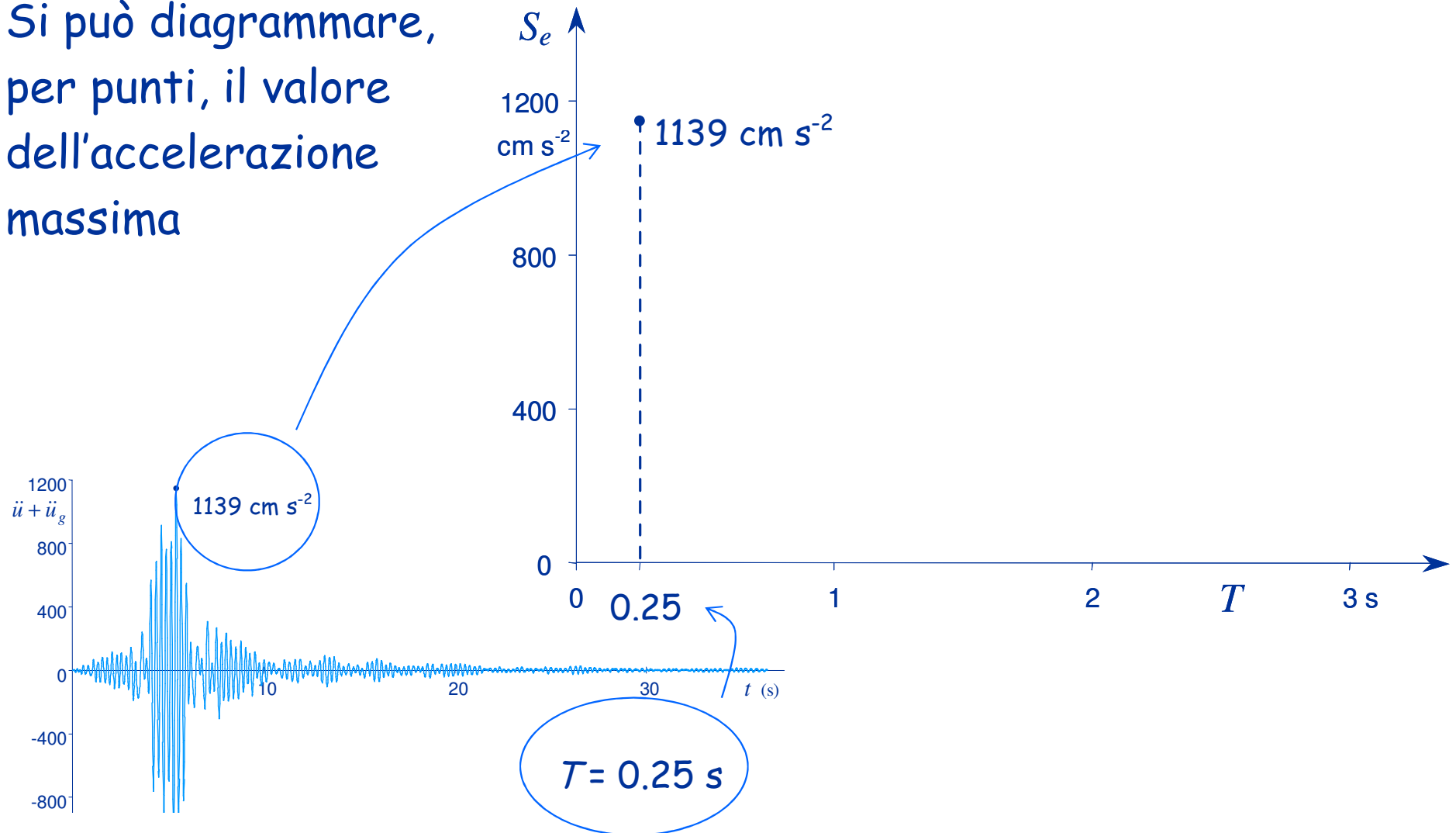
In genere ci interessa la risposta massima, non quello che succede istante per istante



# Oscillazioni forzate

(moto del terreno - accelerogramma)

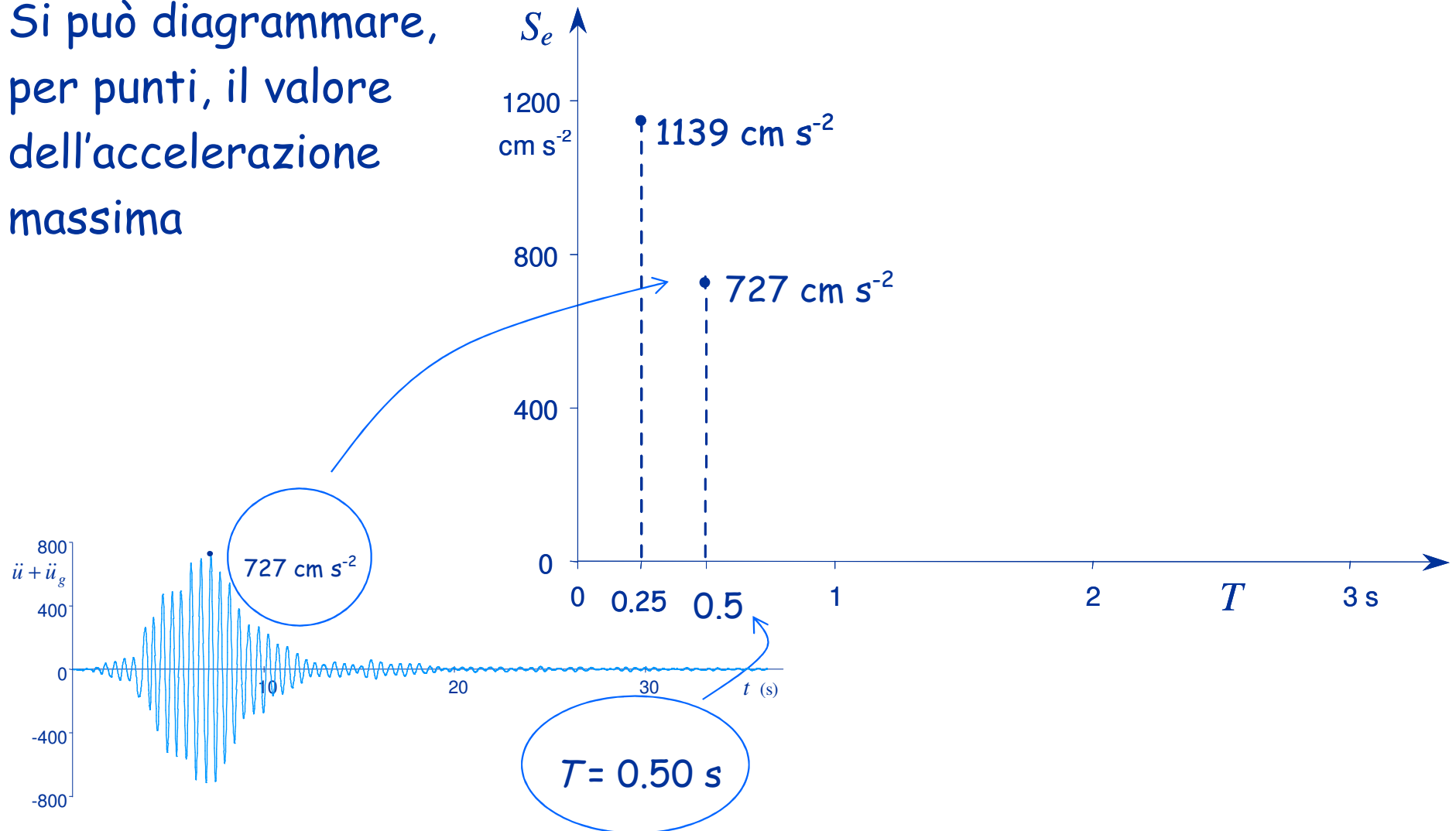
Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



# Oscillazioni forzate

(moto del terreno - accelerogramma)

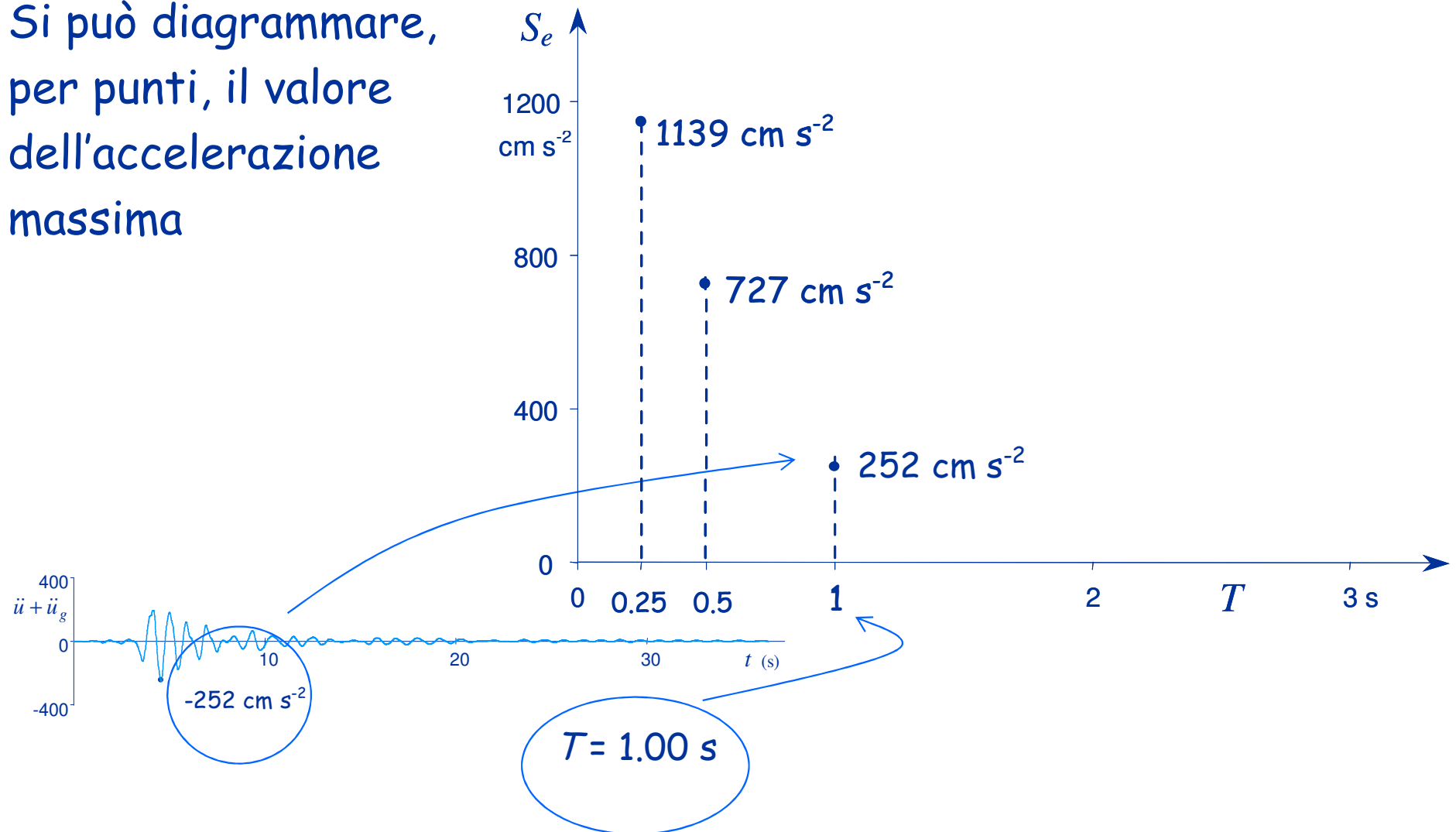
Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



# Oscillazioni forzate

(moto del terreno - accelerogramma)

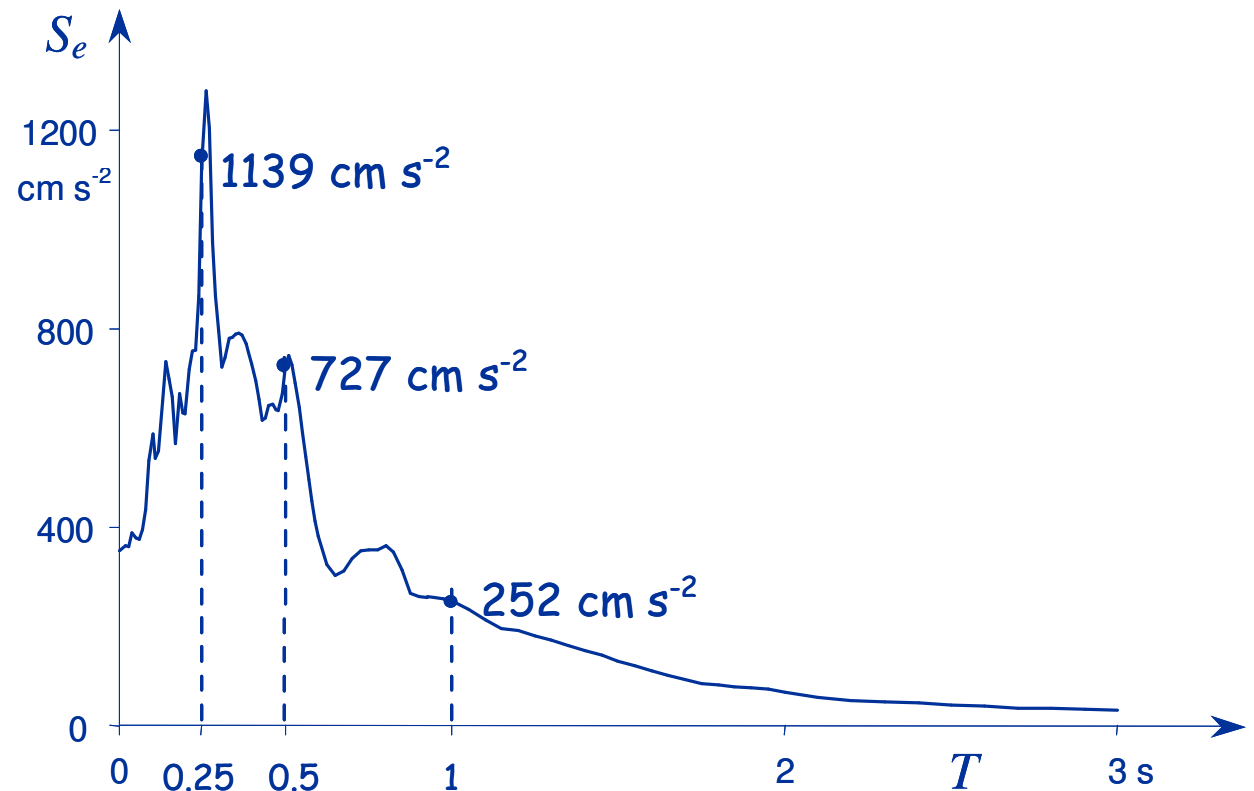
Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



# Oscillazioni forzate

## Spettro di risposta

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

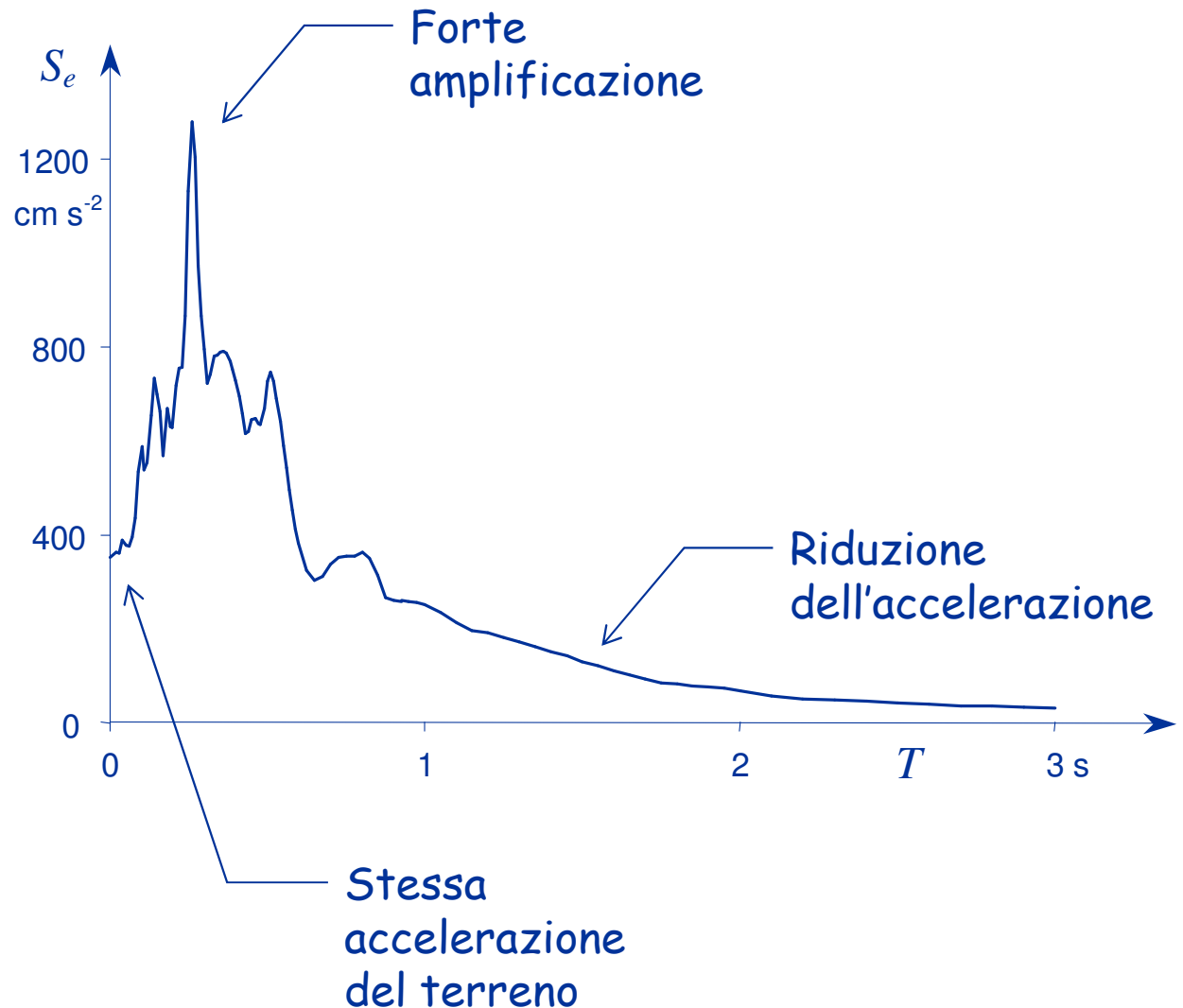


Il diagramma ottenuto unendo i vari punti viene detto "spettro di risposta" (in termini di accelerazione)

# 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

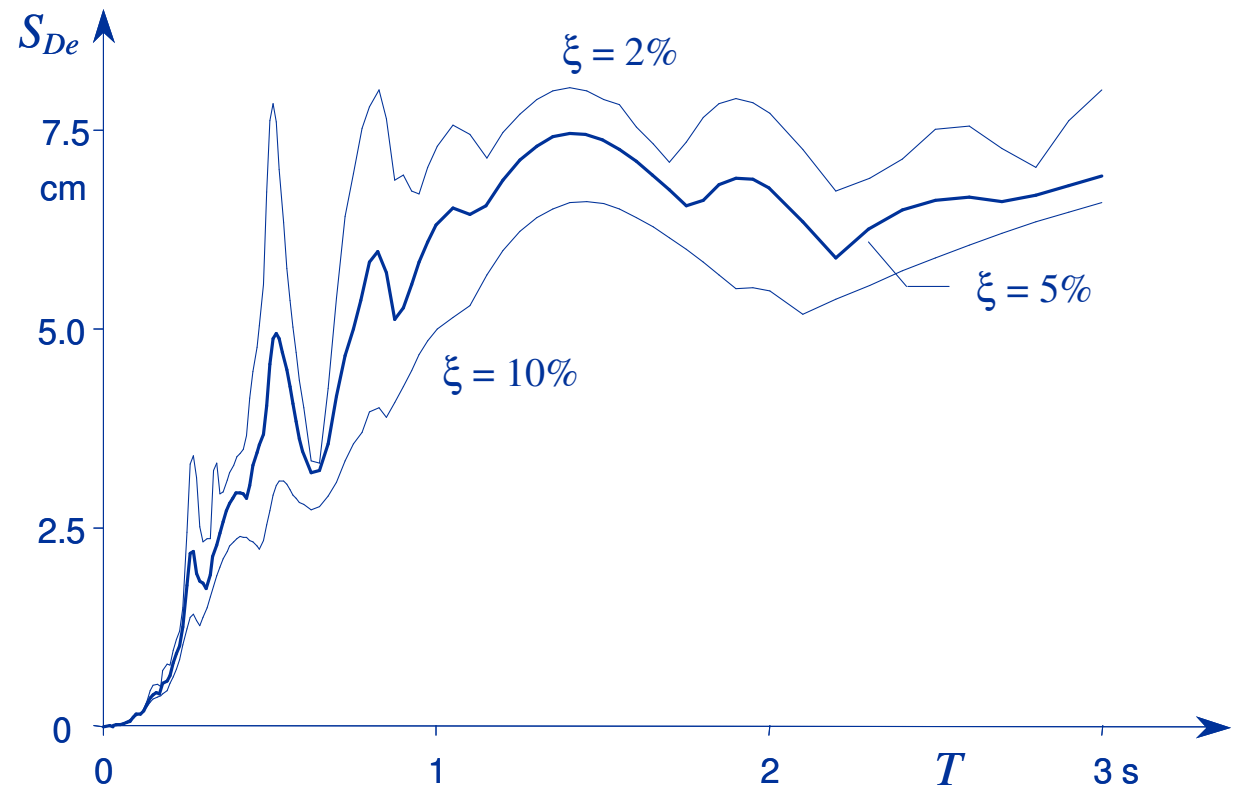


L'accelerazione massima nel sistema è maggiore quando lo smorzamento è minore

# Oscillazioni forzate

## Spettro di risposta (spostamento)

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



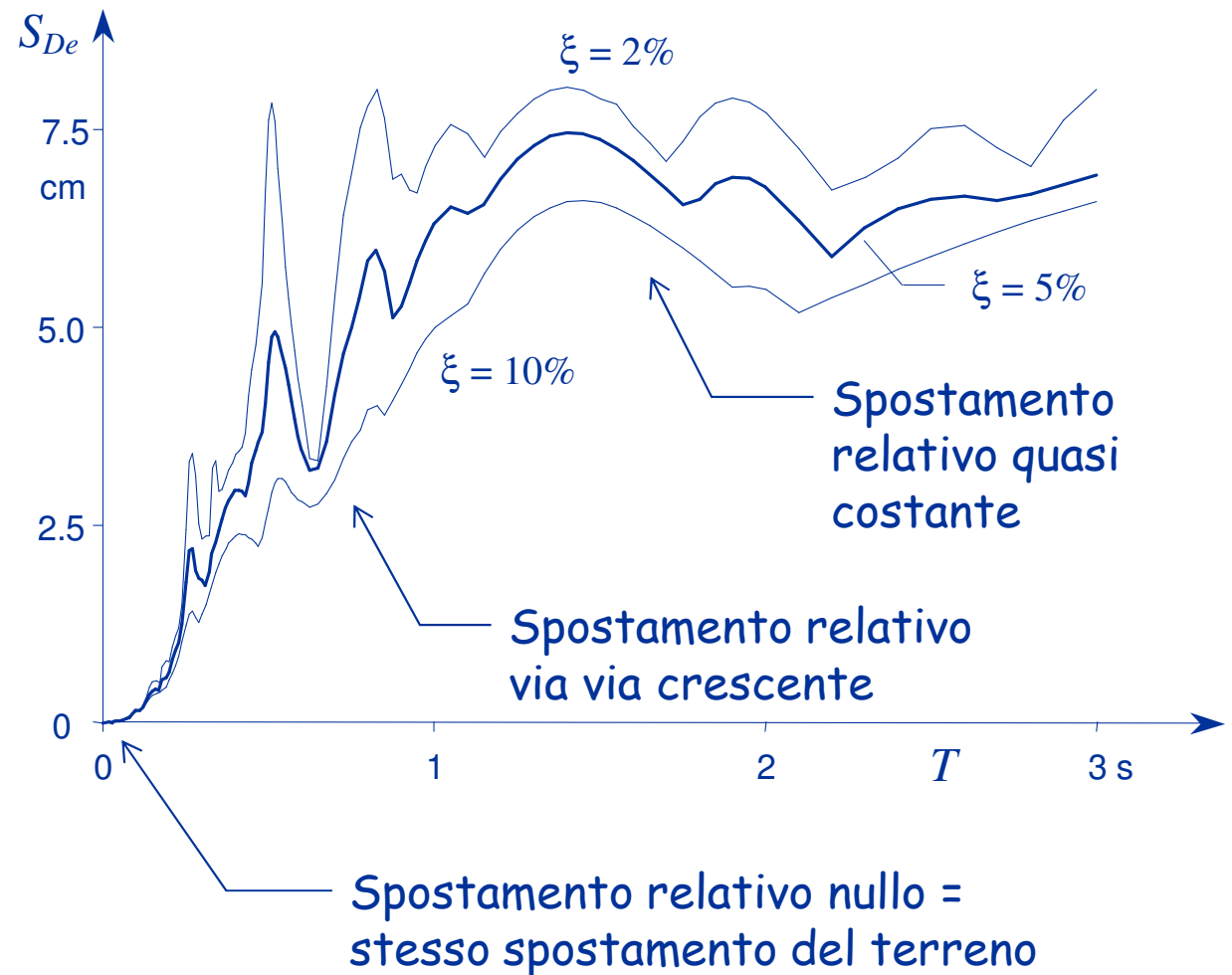
Il diagramma così ottenuto viene detto "spettro di risposta" (in termini di spostamento)

# 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

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

Si ha allora:

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

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

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

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

# 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

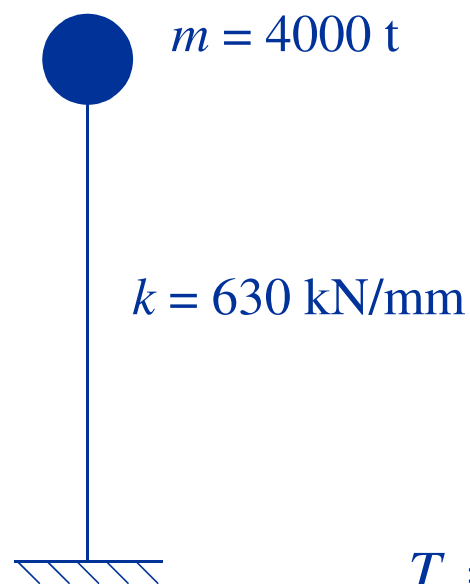
La relazione  $|\ddot{u} + \ddot{u}_g| = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 u$

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

# A cosa servono gli spettri?



Foto



Modello  
di calcolo

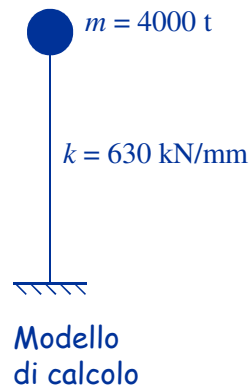
Conoscendo  
massa e rigidezza  
possiamo  
determinare il  
periodo proprio

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

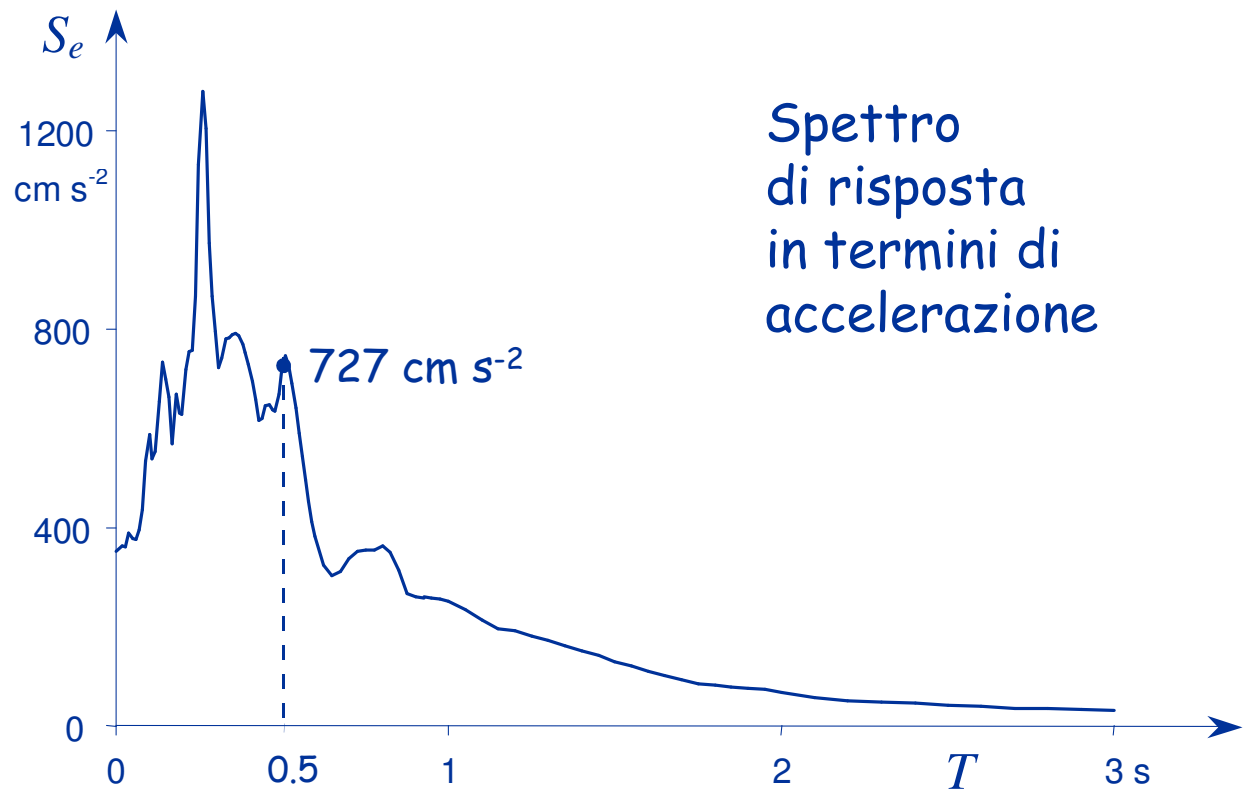
# A cosa servono gli spettri?



Foto



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



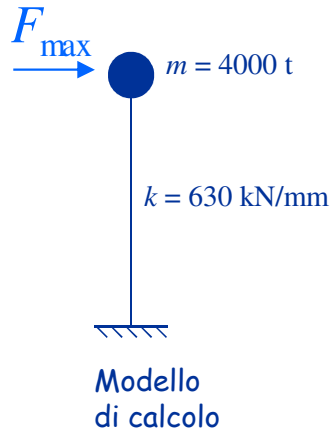
Spettro  
di risposta  
in termini di  
accelerazione

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

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

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

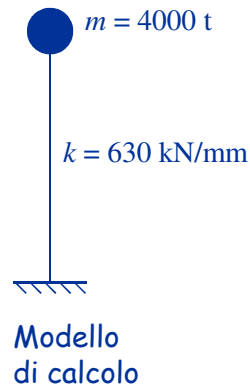
e quindi le massime  
sollecitazioni nella struttura,  
i massimi spostamenti, ecc.

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

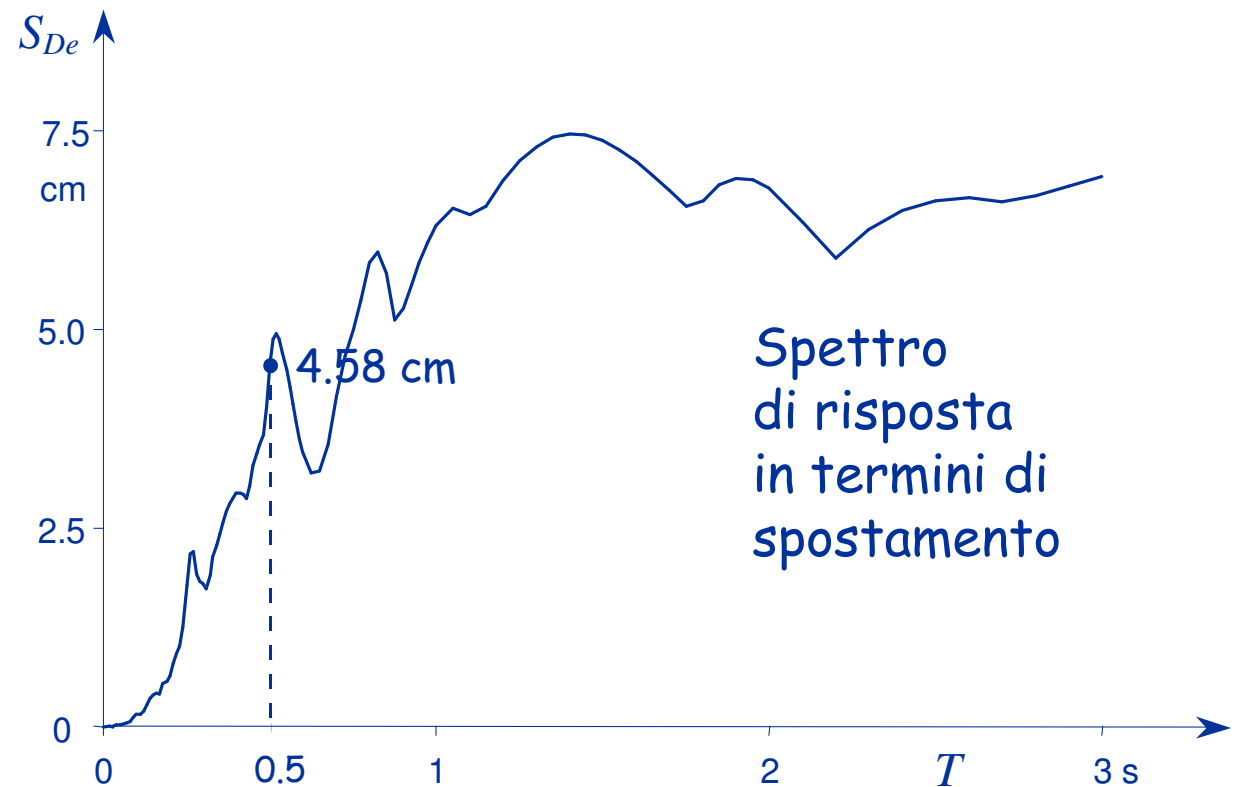
# A cosa servono gli spettri?



Foto



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



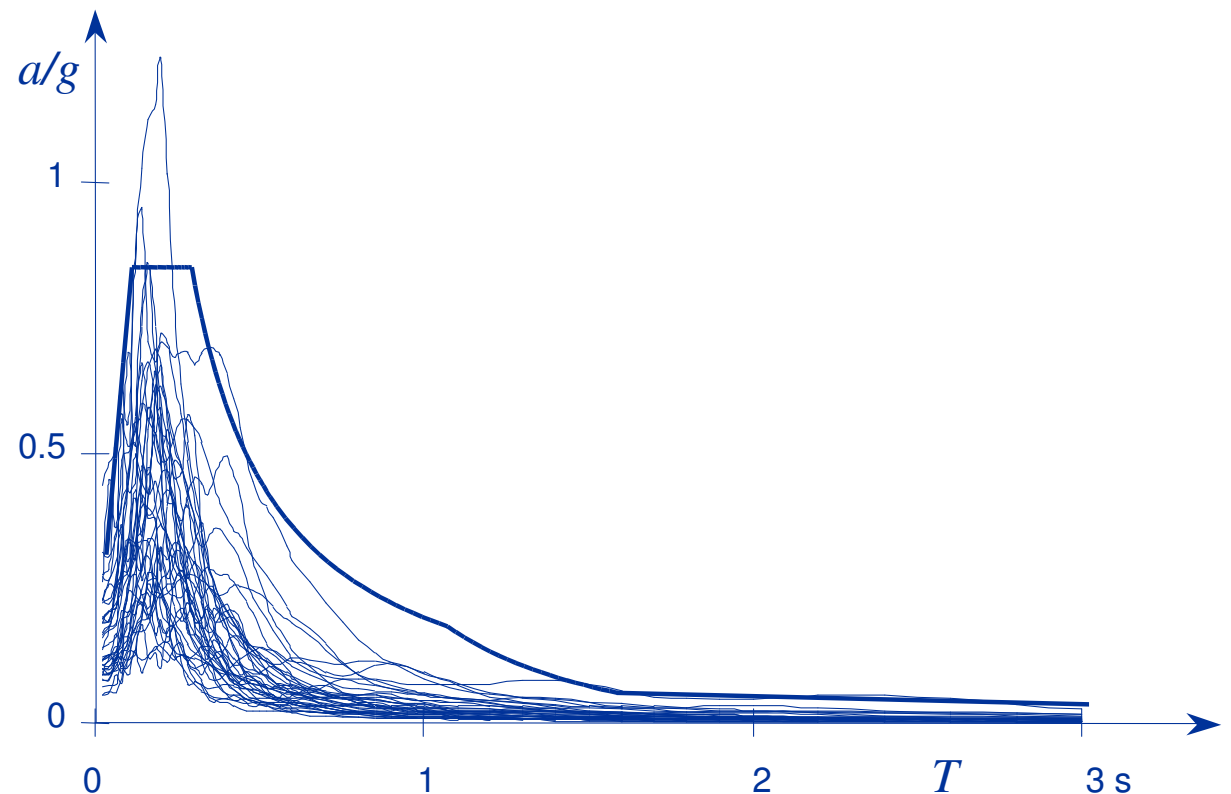
Lo spostamento relativo massimo può essere calcolato risolvendo lo schema strutturale con le forze orizzontali applicate

oppure dallo spettro di risposta in termini di spostamento

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

# Spettri di risposta

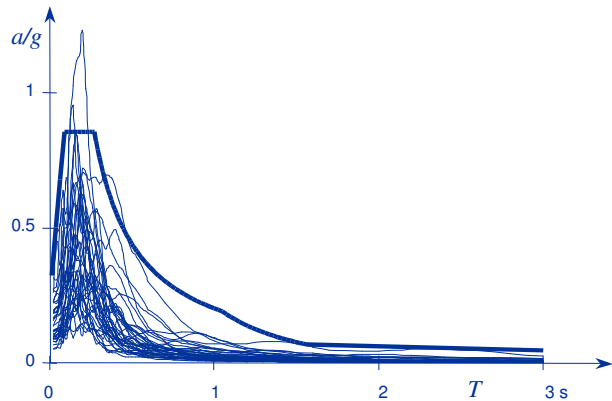
L'analisi di oscillatori semplici può essere ripetuta per diversi accelerogrammi (con un assegnato smorzamento)



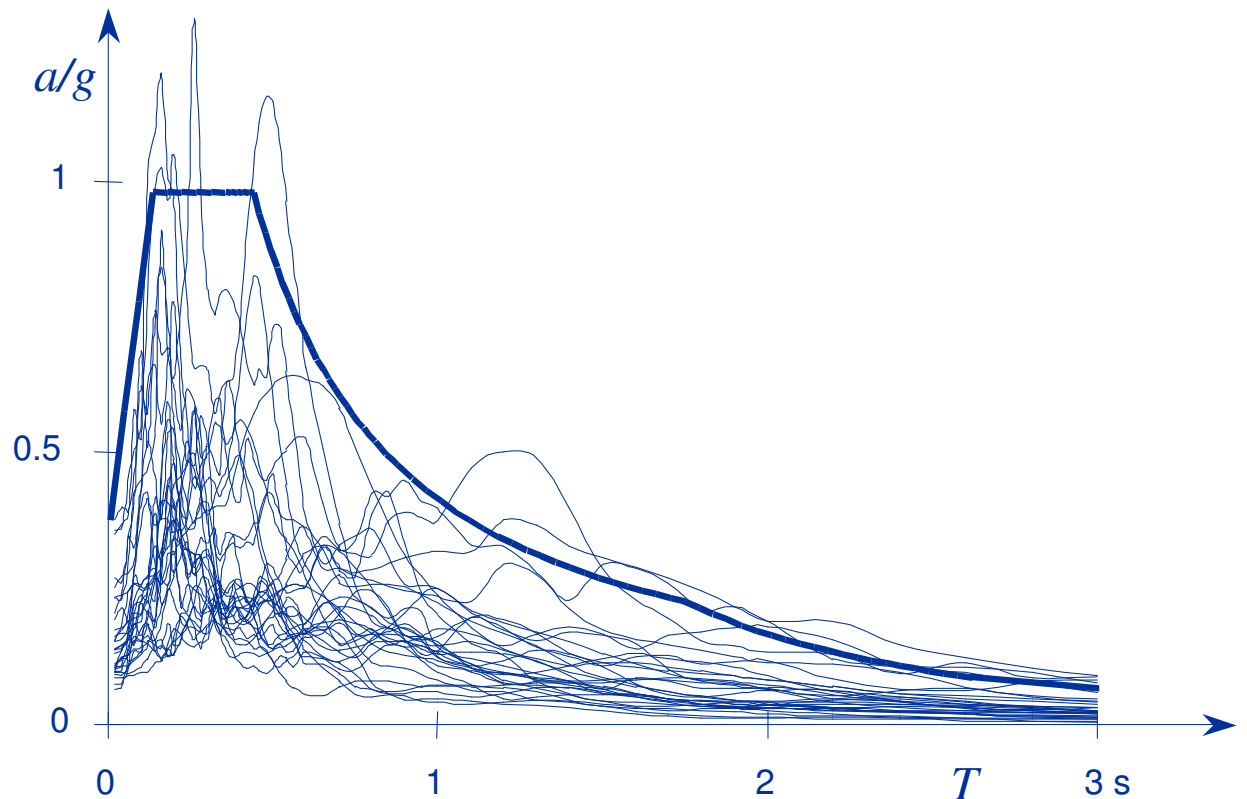
Si può quindi definire una curva che inviluppa tutti gli spettri di risposta, o che viene superata solo occasionalmente



# Spettri di risposta

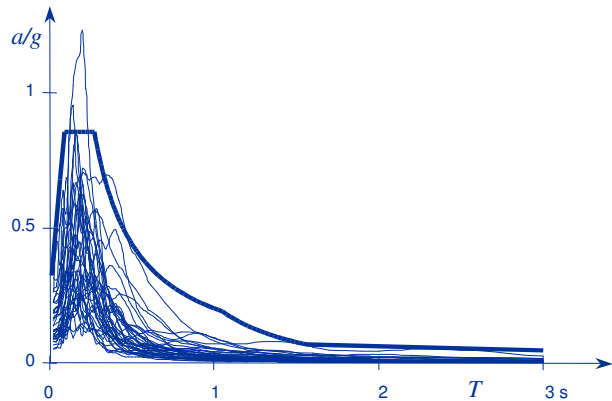


In zone differenti  
e su terreni  
differenti  
si otterranno  
risultati diversi

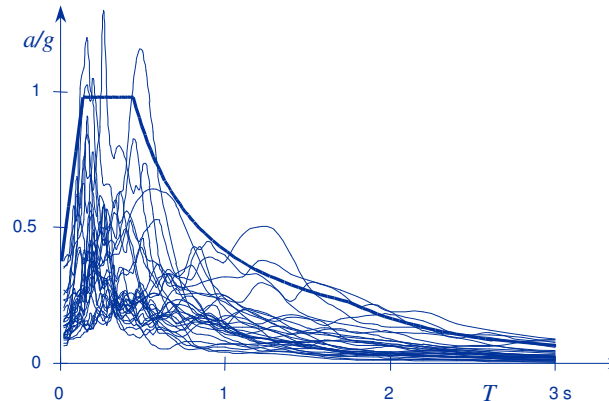


Si può quindi definire una curva che inviluppa tutti gli spettri di risposta, o che viene superata solo occasionalmente

# Spettri di risposta



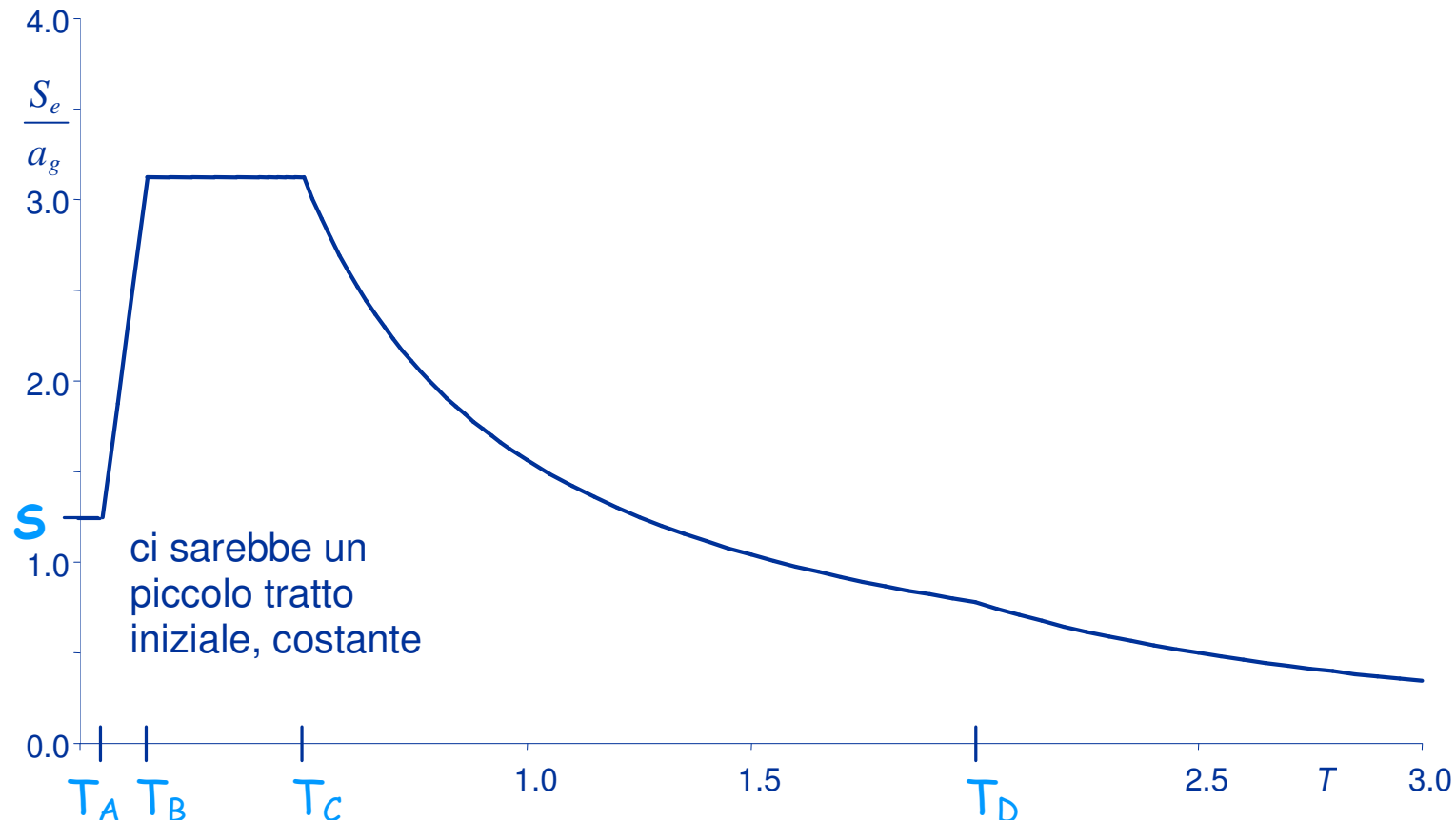
In zone differenti  
e su terreni  
differenti  
si otterranno  
risultati diversi



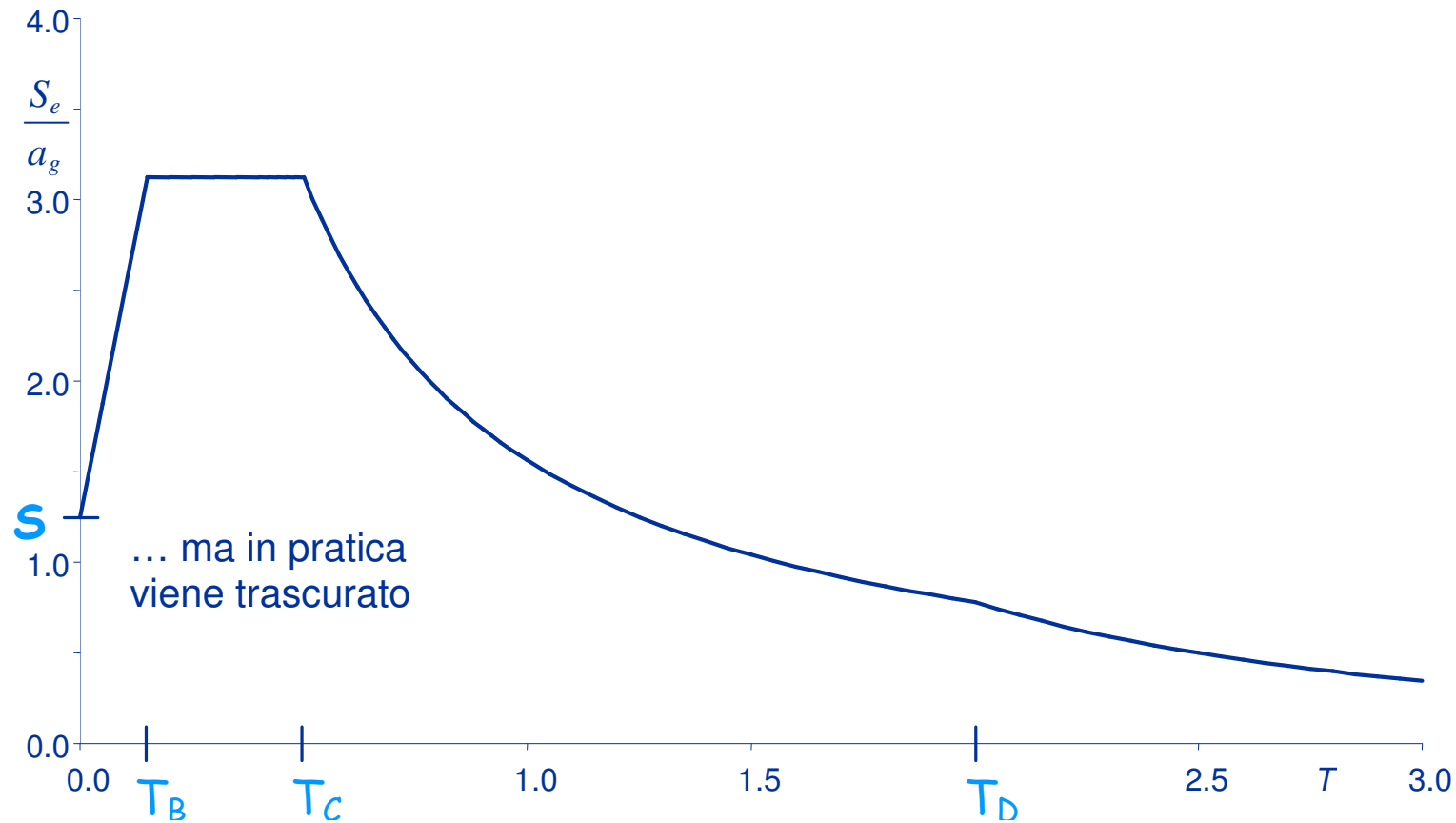
La normativa fornisce quindi spettri di  
risposta differenziati in funzione delle  
caratteristiche del suolo e della zona in  
cui è ubicata la struttura

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

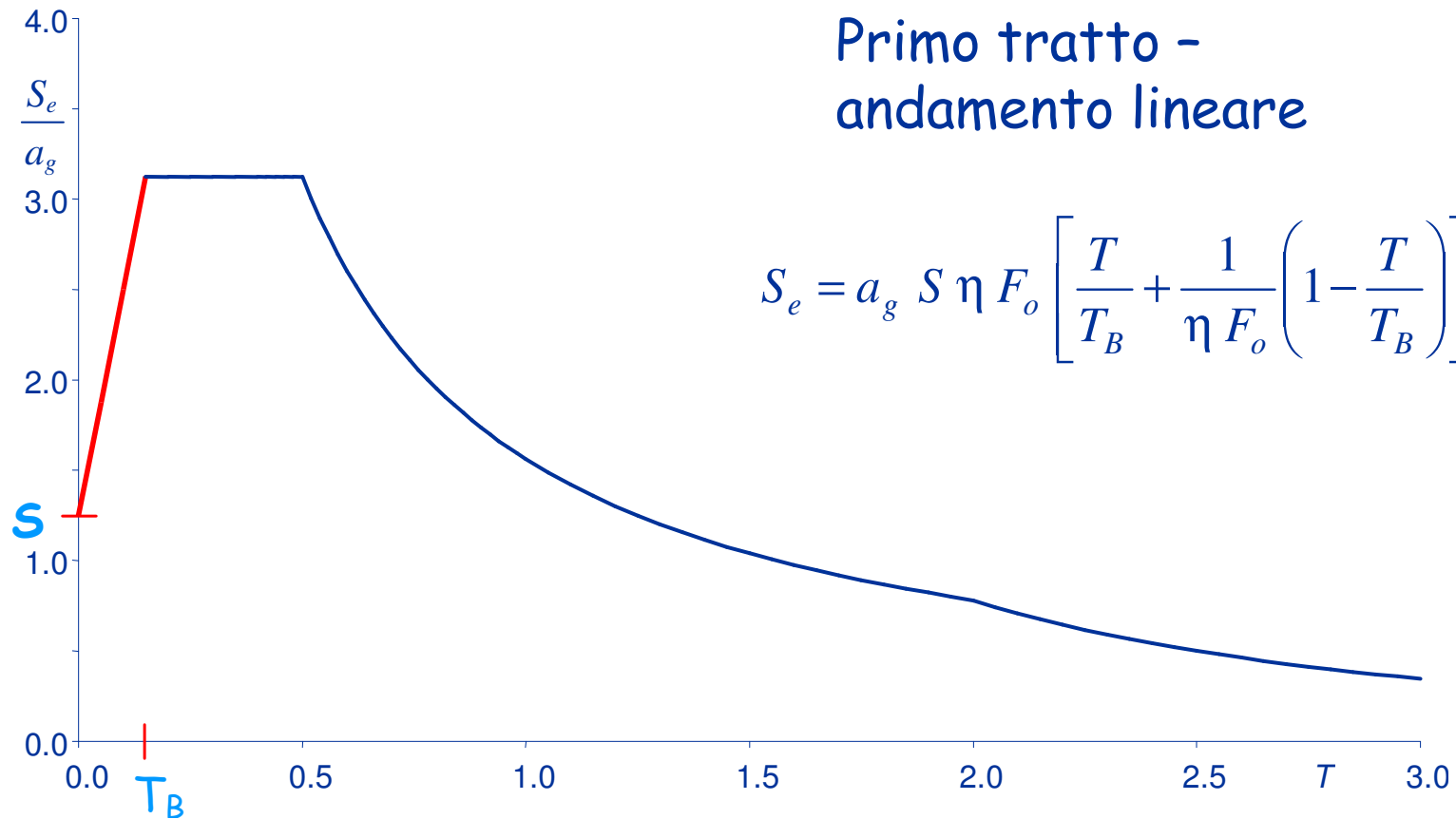
# Forma generale degli spettri di risposta elastica



# Forma generale degli spettri di risposta elastica



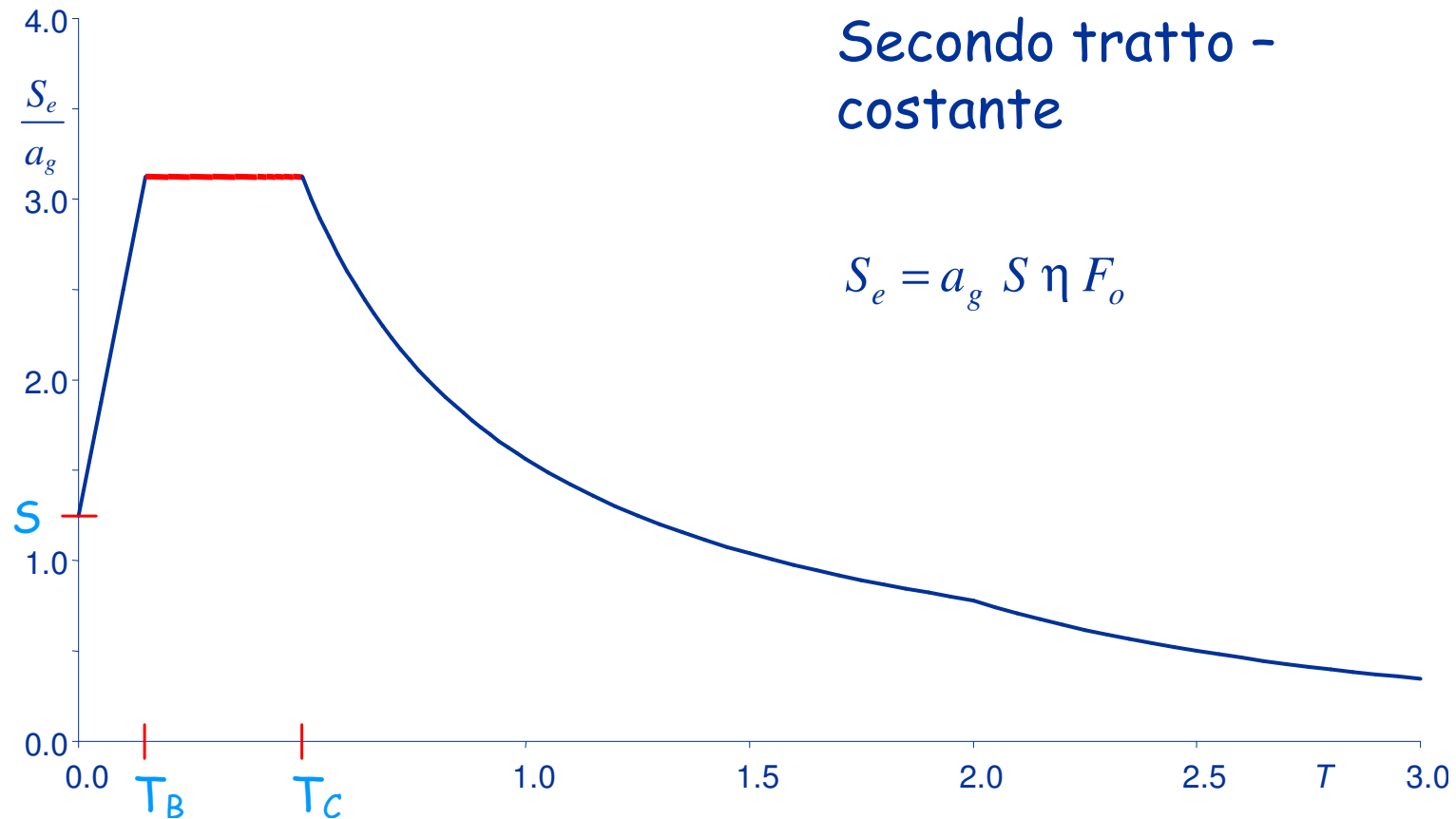
# Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



Amplificazione, legata  
al tipo di terreno

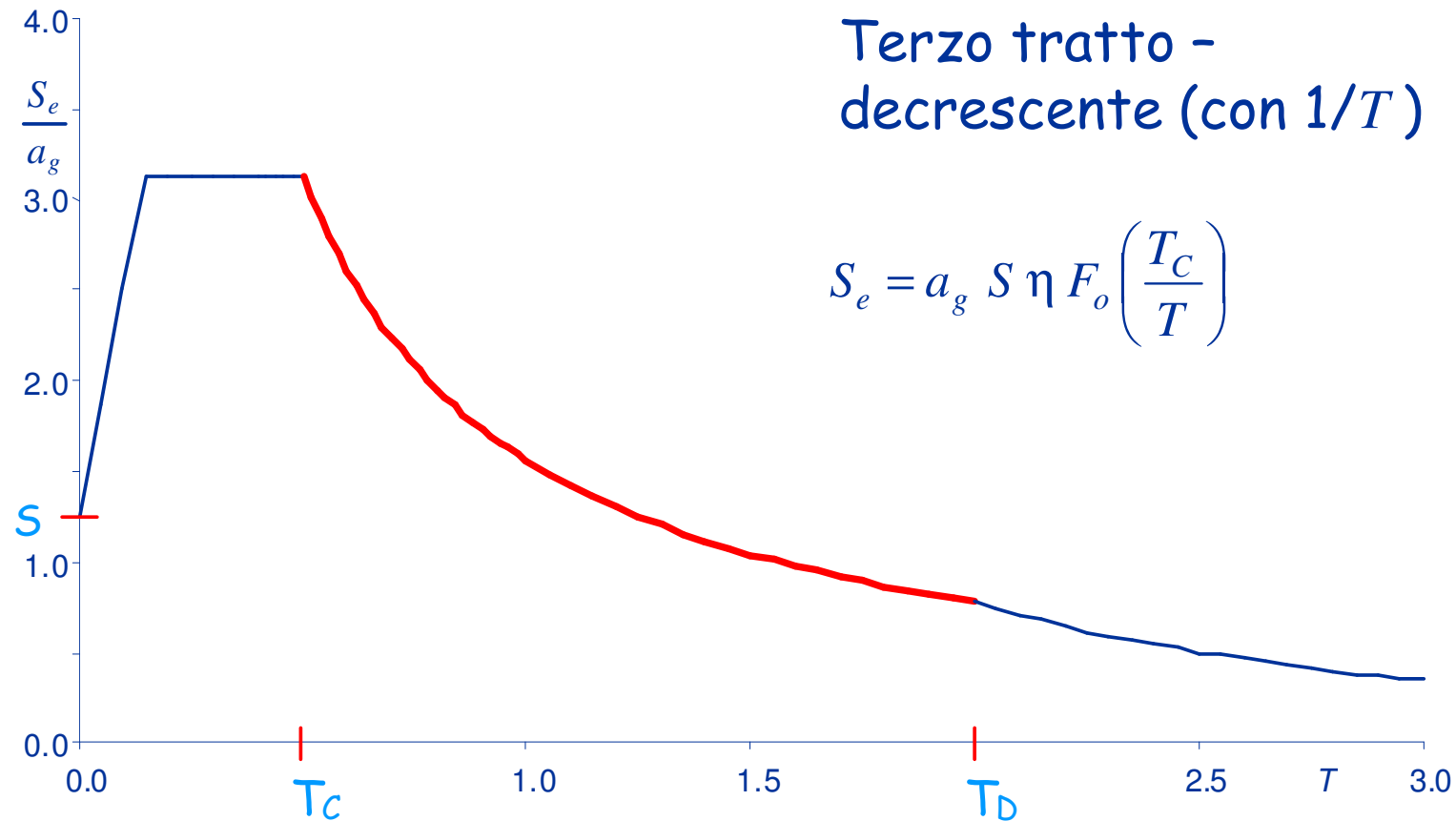
$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

# Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



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

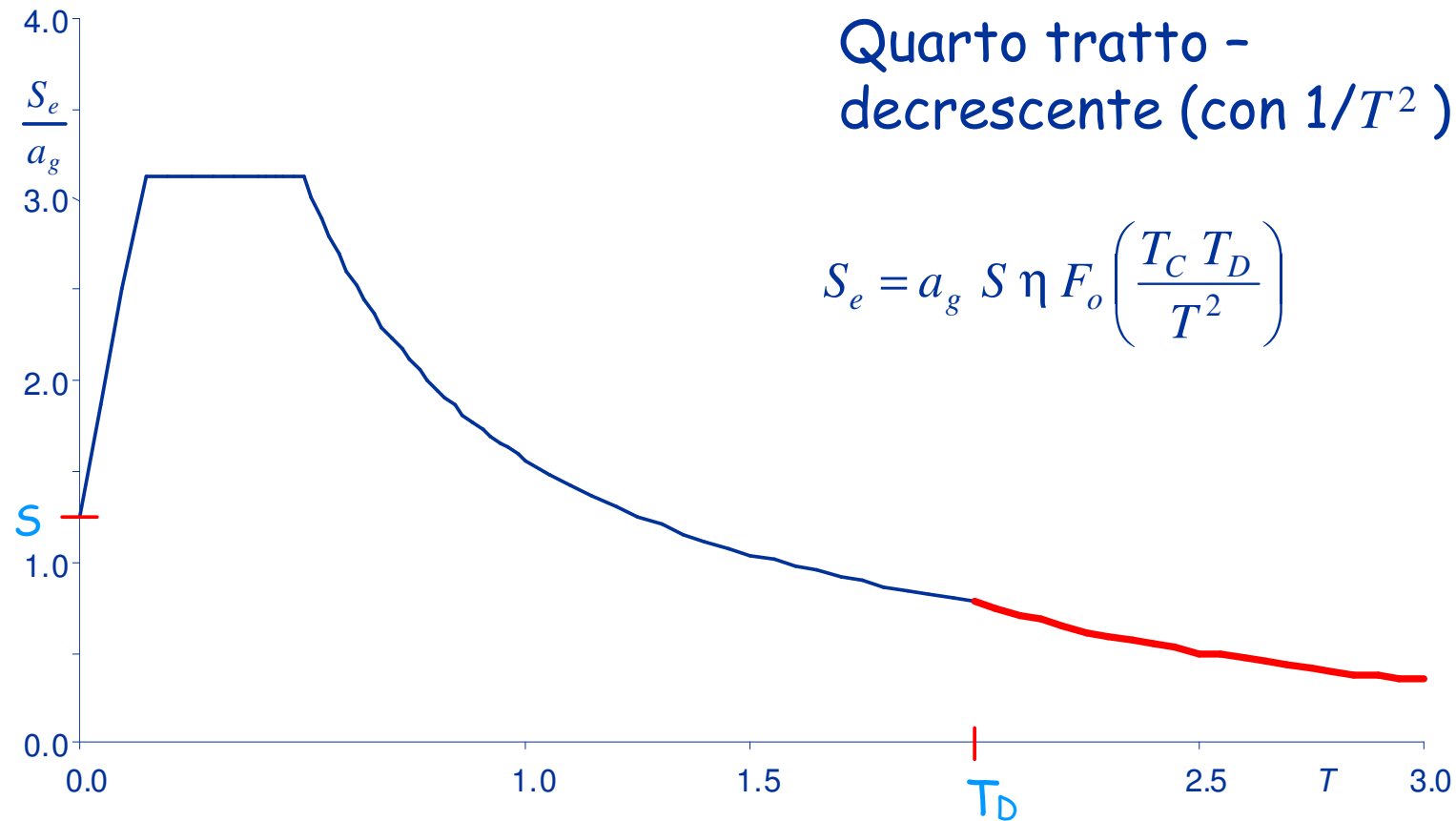
# Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



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



# 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)

## NTC15

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 - NTC13

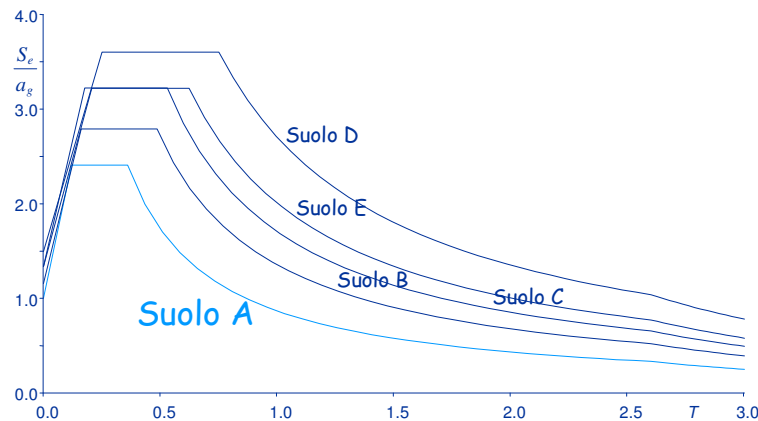
- In NTC15 scompare il riferimento a  $N_{SPT}$  e  $c_u$
- In NTC15 scompare la tabella 3.2.III che descriveva le categorie aggiuntive S1 e S2
- In NTC15 si parla di  $V_{s,eq}$  valutata nella profondità  $H$  del substrato roccioso, ovvero con  $V_s \geq 800$  m/s (ma se  $H > 30$  m si fa riferimento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

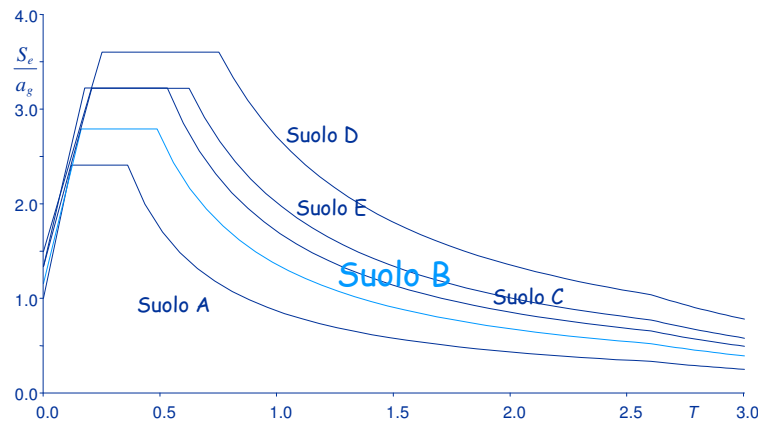
$$S = 1$$

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

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

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

# 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

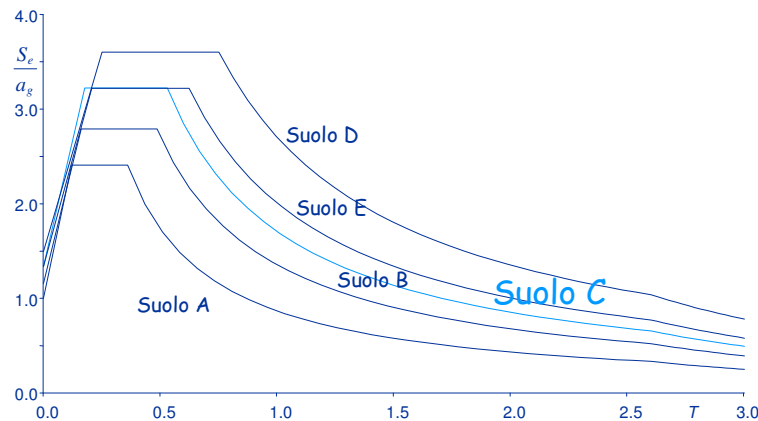
$$S = 1.20 \quad T_B = 0.15 \text{ s} \quad T_C = 0.5 \text{ s}$$

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

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

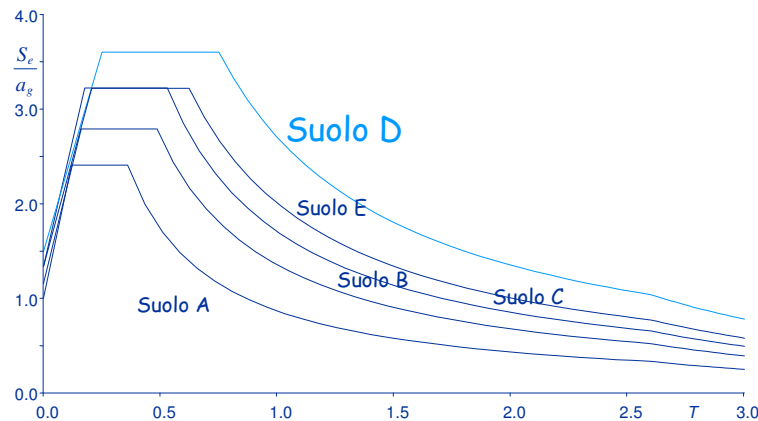
Per NTC08 anche:

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:

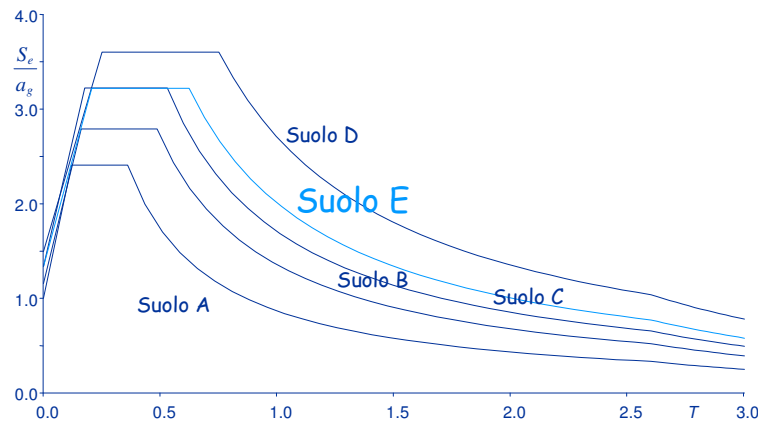
Resistenza penetrometrica

$$N_{SPT} < 15$$

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

NTC15

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

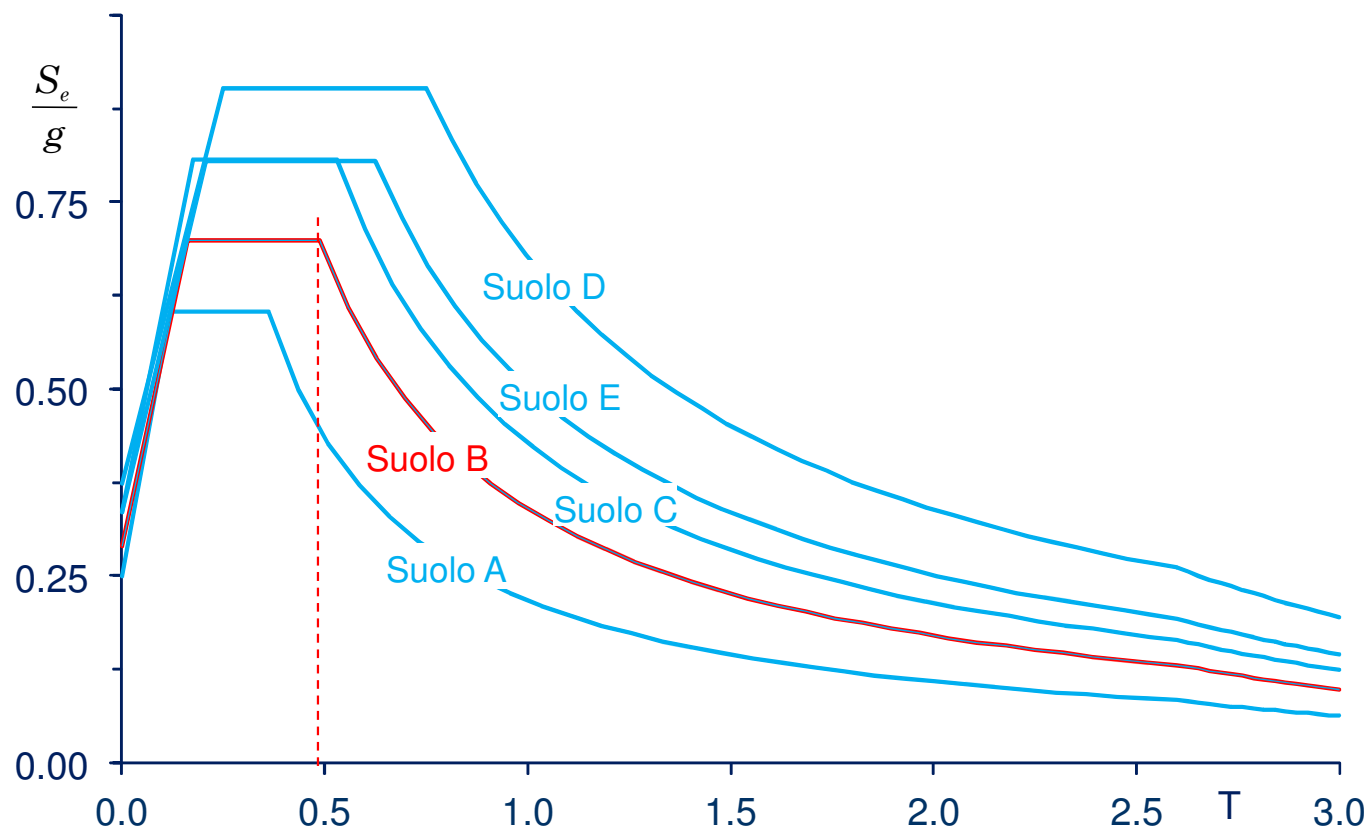
Depositi di terreni soggetti a  
liquefazione

I suoli S1 e S2  
non esistono più  
nelle NTC15

Per questi tipi di terreno occorrono studi speciali

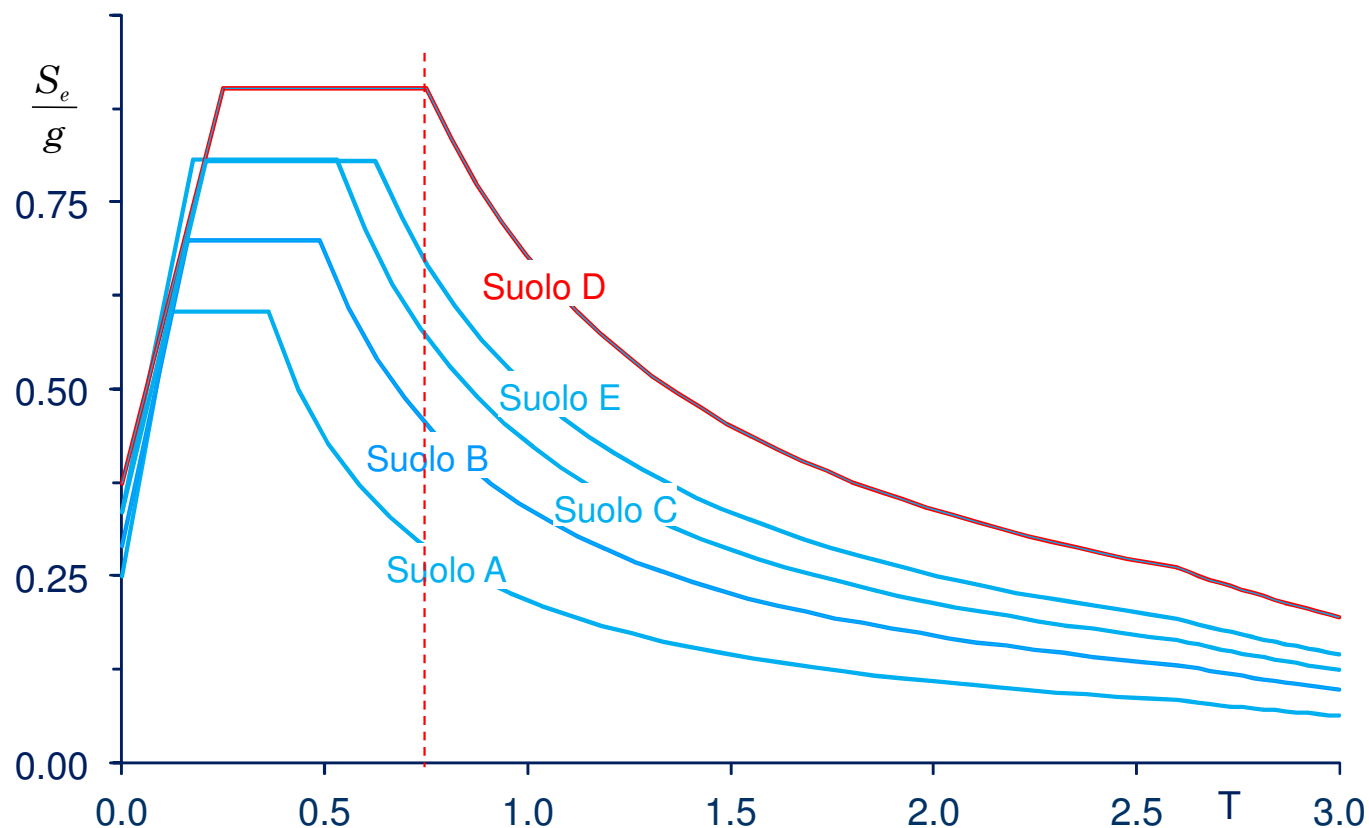
# Considerazione sugli spettri

- 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 Montefeltro"




latitudine:  longitudine:

Classe dell'edificio:

Vita Nominale: Struttura .....

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



Mappe 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

indirizzo

classe




vita  
nominale

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



# 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 MONTESILVA"

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**

### 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
<b>Salvaguardia Vita</b>	<b>475</b>	<b>0.222</b>	<b>2.385</b>	<b>0.320</b>
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 (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

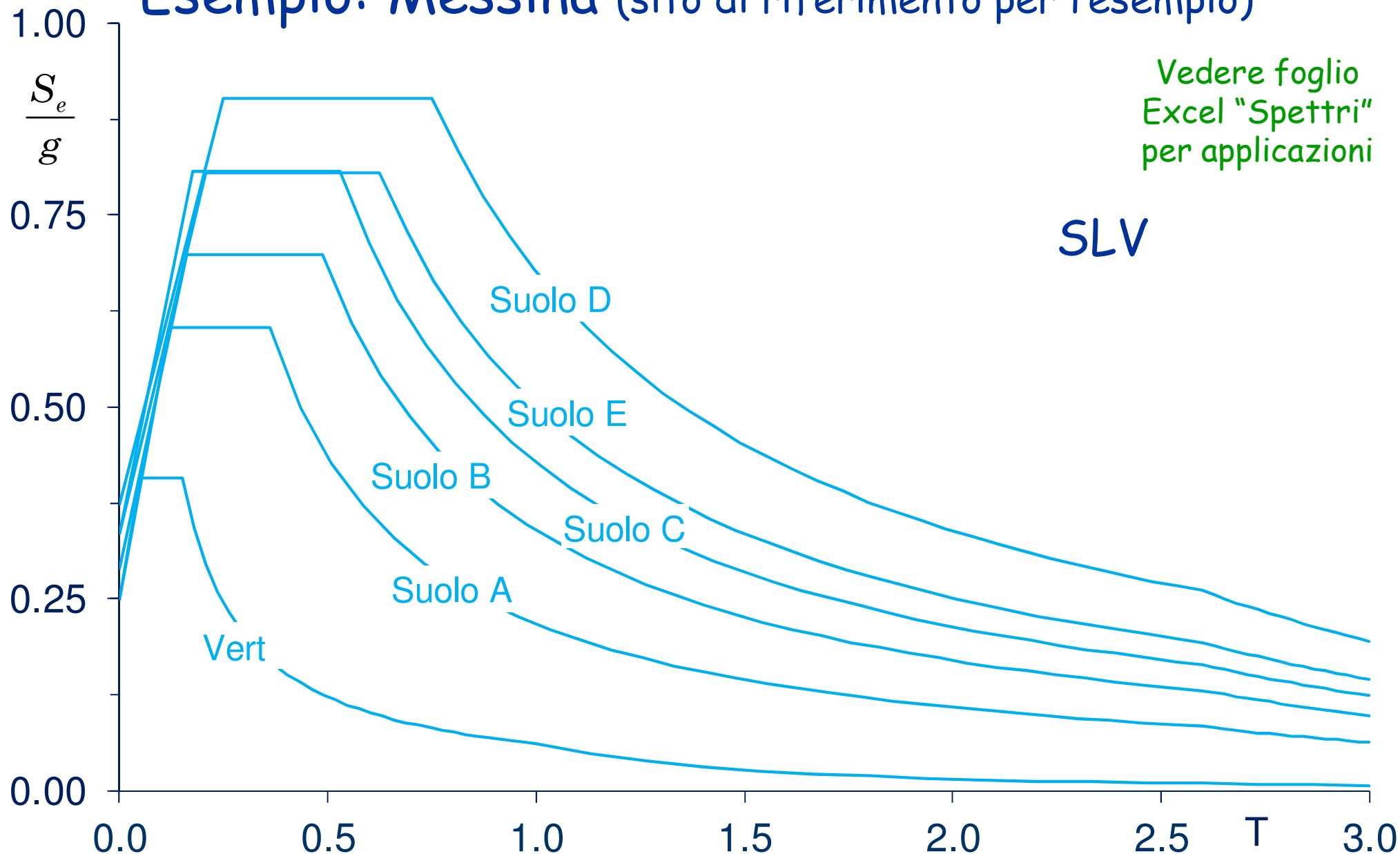
- Lo spettro ha la stessa forma, cambiano i parametri

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

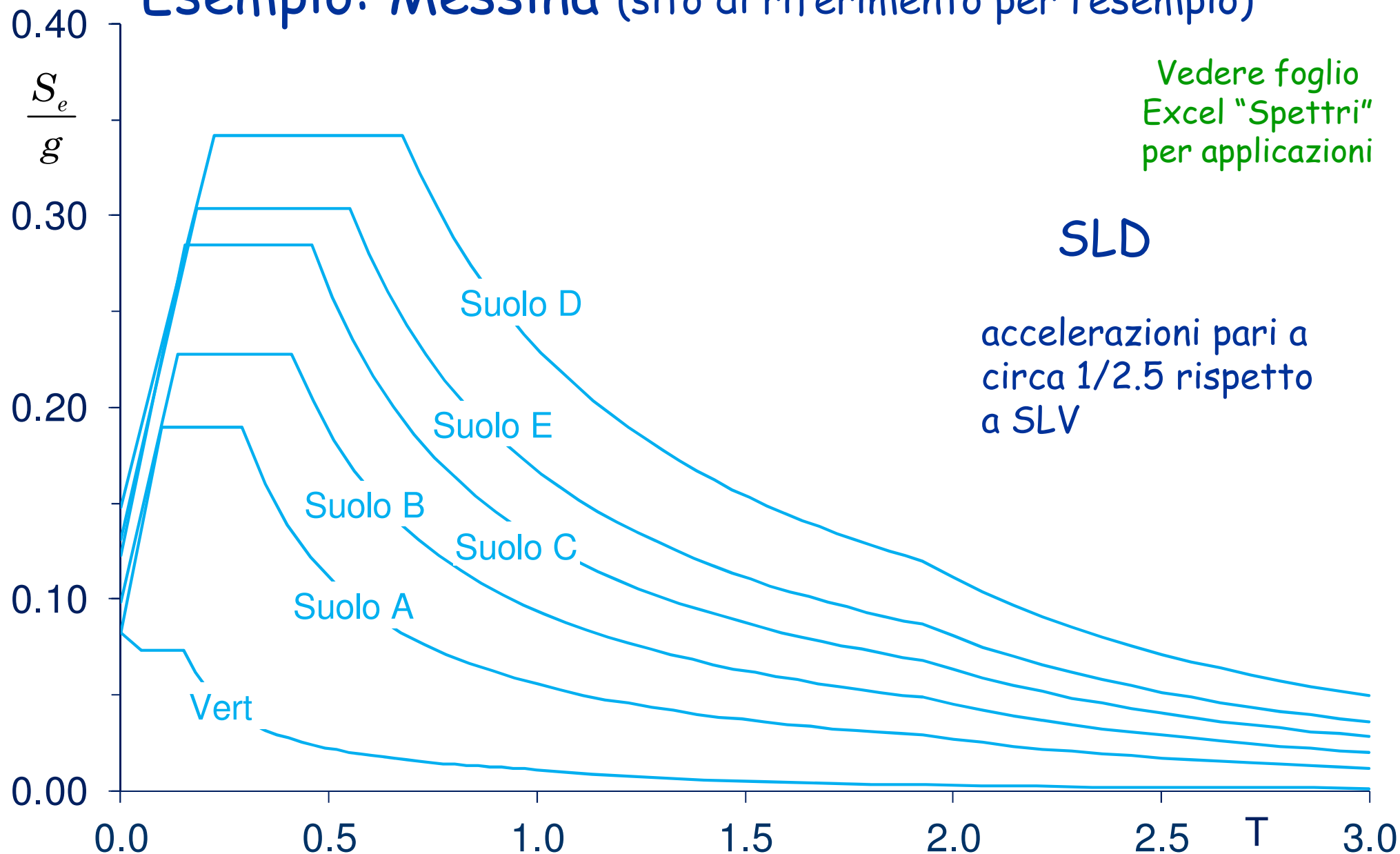
Esempio: Messina (sito di riferimento per l'esempio)





# 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

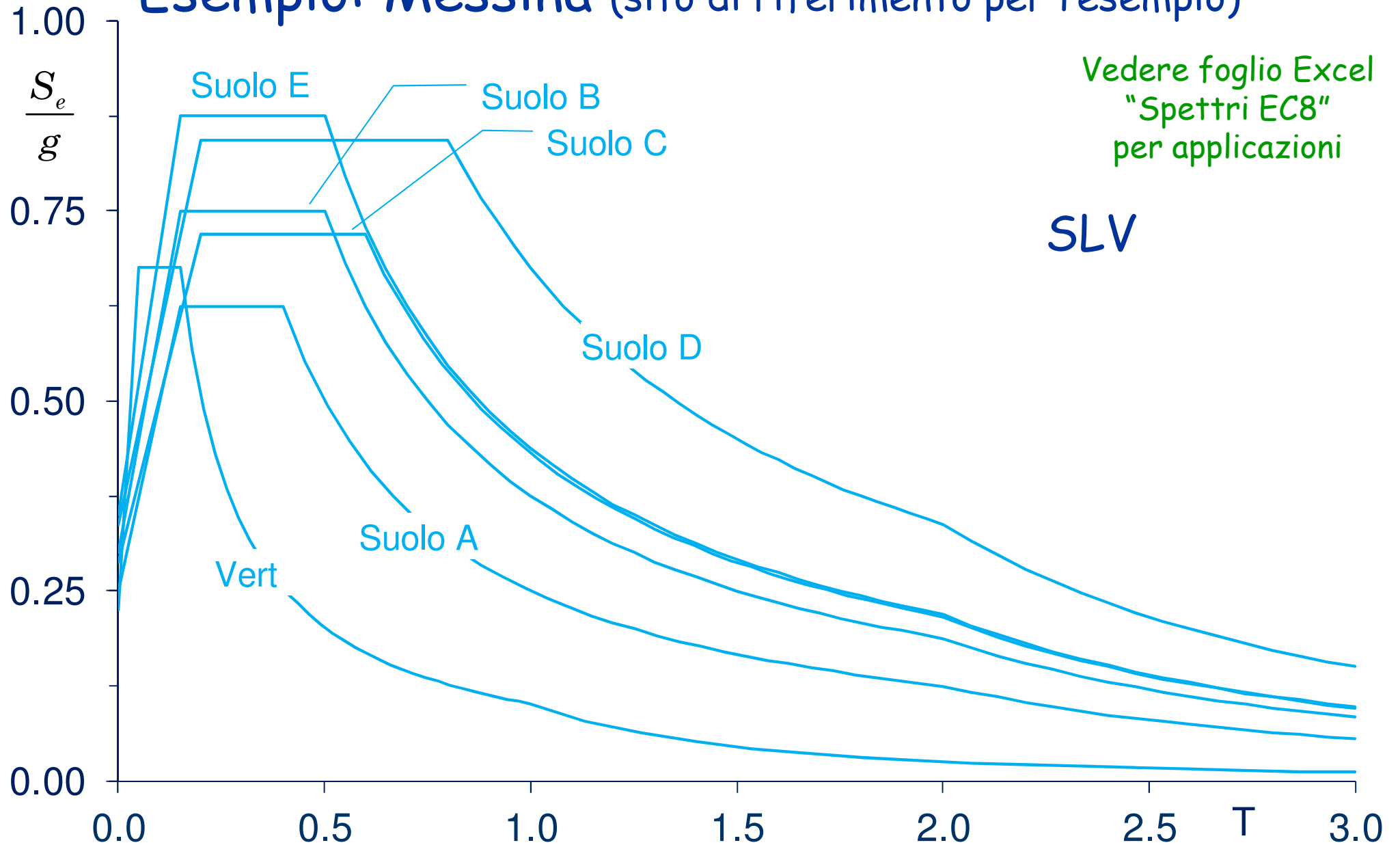
Valori che definiscono lo spettro di risposta elastico (Messina)

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

