# Ordinanza 3274 Progettazione di edifici in zona sismica

# Azione sismica: spettri di risposta elastica

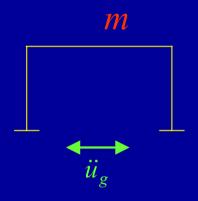
Rimini, 16-17 aprile 2004

Aurelio Ghersi

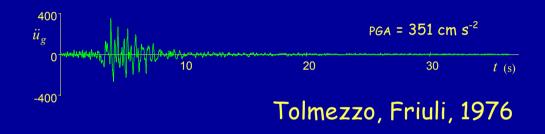
# Come si valuta l'effetto di un terremoto?

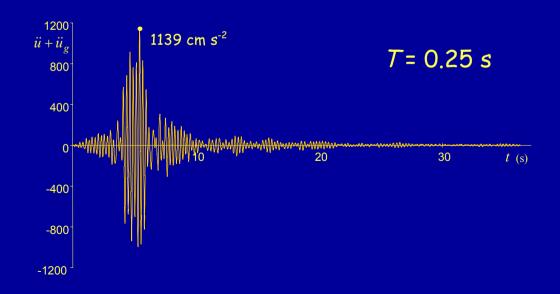
## Oscillazioni forzate

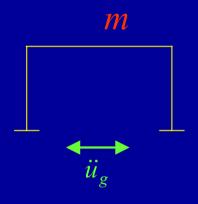
(moto del terreno - accelerogramma)

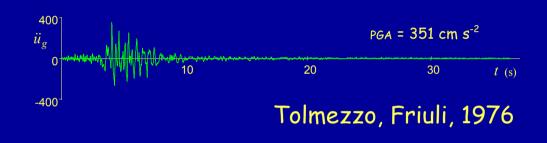


Dall'input sismico (accelerogramma) si può ricavare numericamente la risposta della struttura

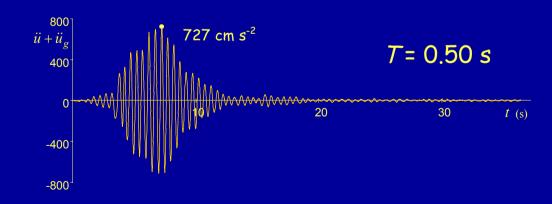


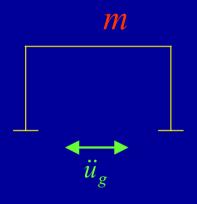


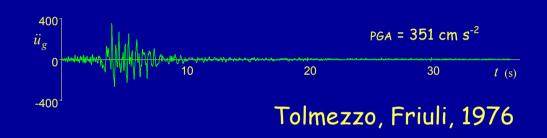




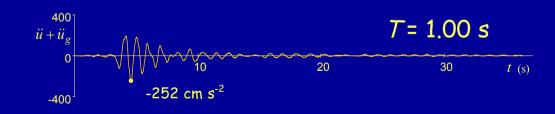
Cambiando il periodo dell'oscillatore, cambia la risposta



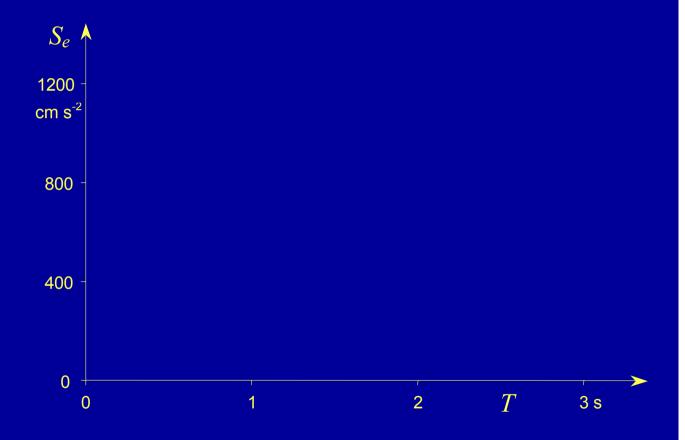


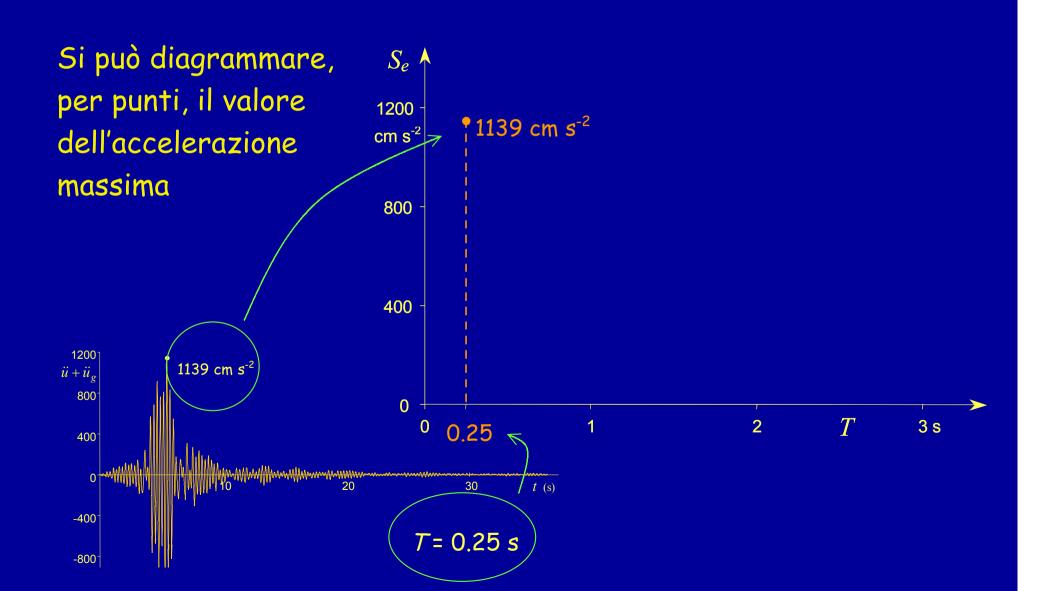


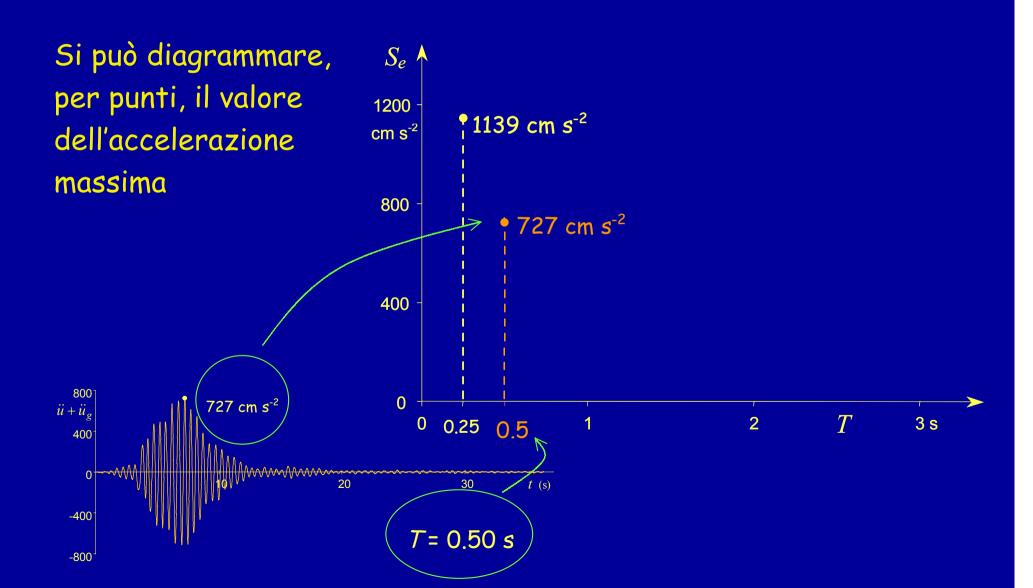
Cambiando il periodo dell'oscillatore, cambia la risposta

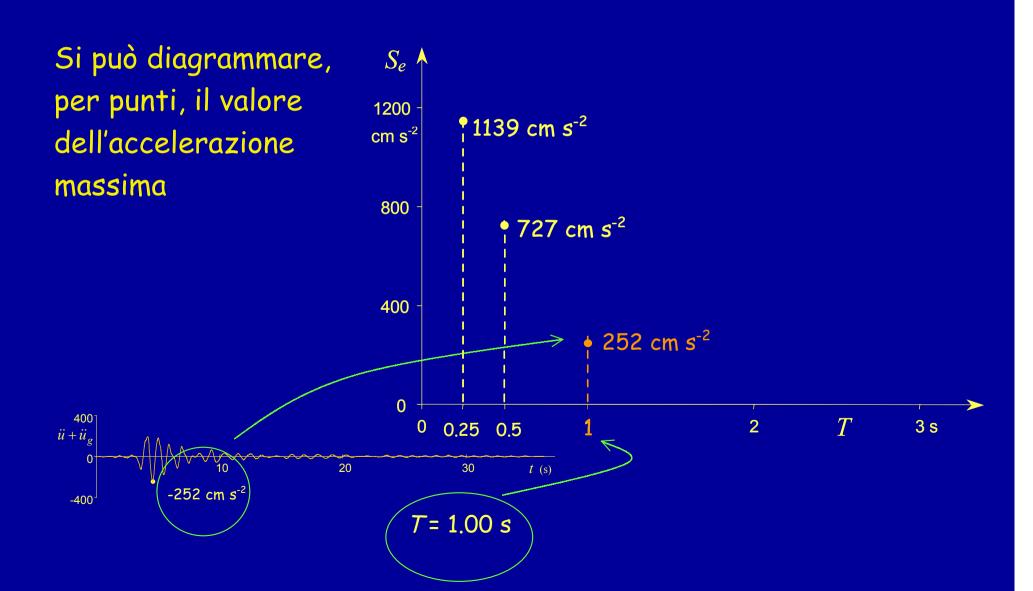


Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



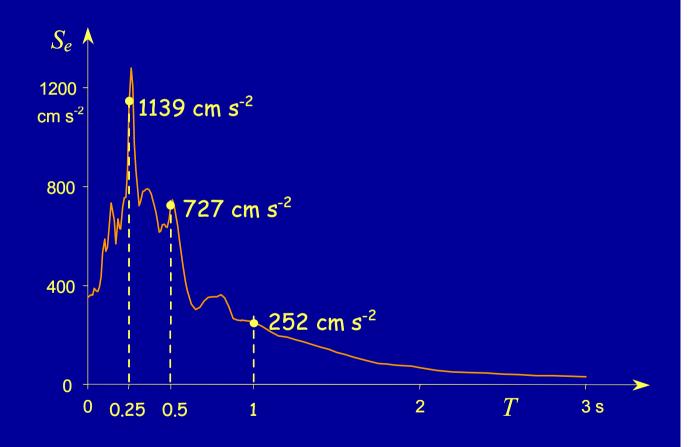






## Oscillazioni forzate Spettro di risposta

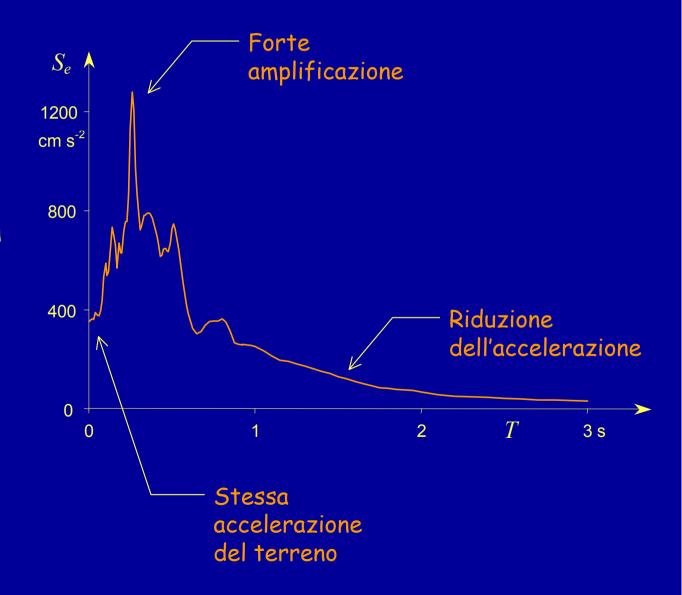
Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



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



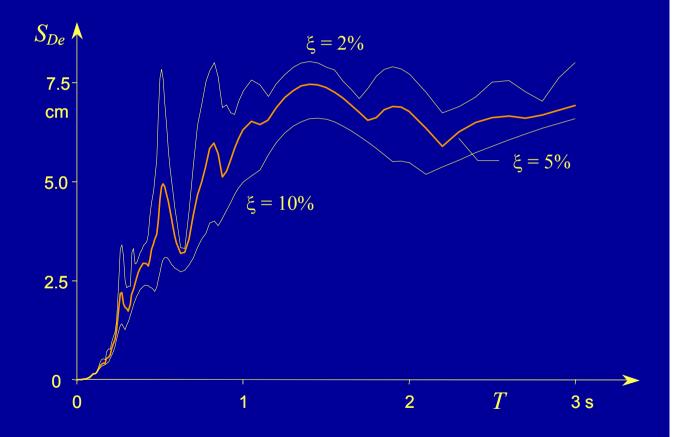
## Oscillazioni forzate Spettro di risposta (accelerazione)

Al variare dello smorzamento si ottengono diverse curve



## Oscillazioni forzate Spettro di risposta (spostamento)

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

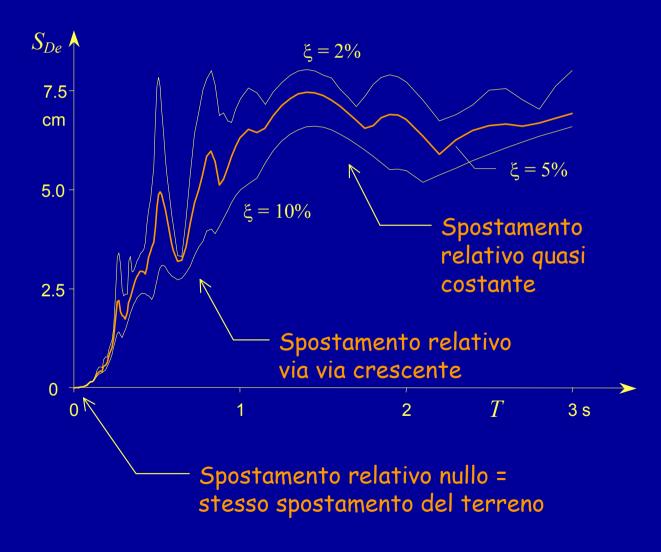


Il diagramma così ottenuto viene detto "spettro di risposta" (in termini di spostamento)

## Oscillazioni forzate Spettro di risposta (spostamento)

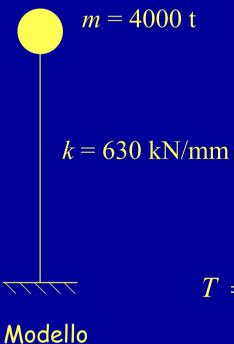
Si noti l'andamento dello spostamento relativo massima in funzione del periodo proprio

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





Foto



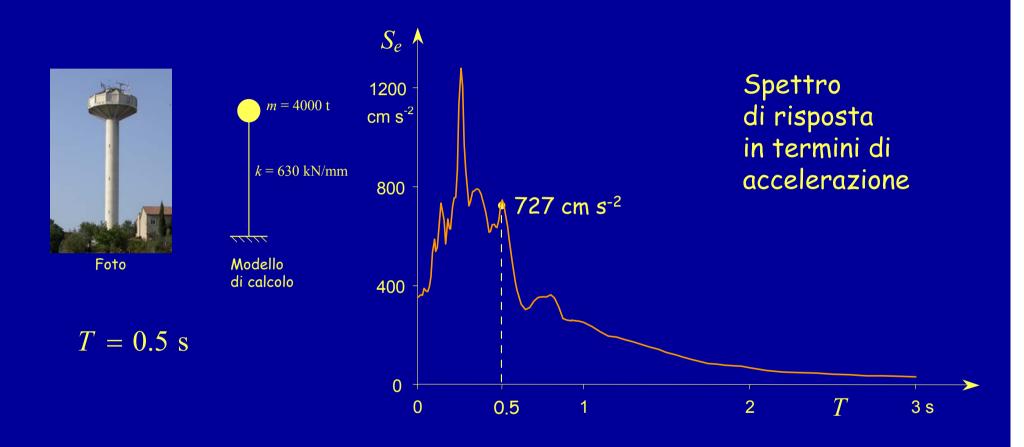
di calcolo

Conoscendo massa e rigidezza possiamo determinare il periodo proprio

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

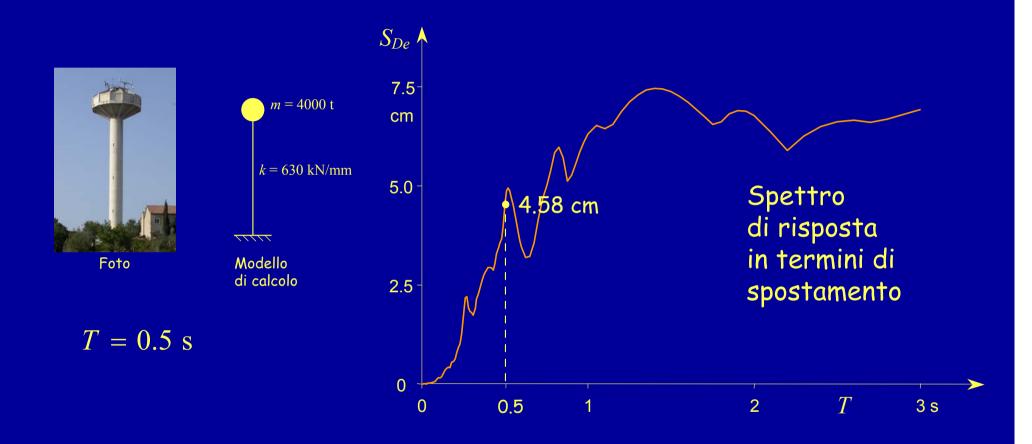
$$= 2 \times 3.14 \times \sqrt{\frac{4000 \times 10^3}{630 \times 10^6}} =$$

$$= 0.5 \text{ s}$$



Noto il periodo proprio, possiamo leggere dallo spettro l'accelerazione assoluta massima

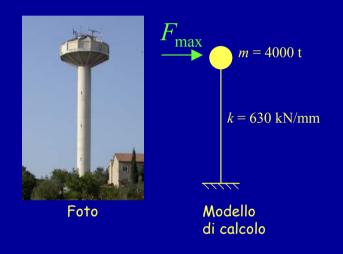
$$a_{\text{max}} = 7.27 \text{ m s}^{-2} = 0.74 \text{ g}$$



Noto il periodo proprio, possiamo leggere dallo spettro l'accelerazione assoluta massima

o lo spostamento relativo massimo

$$a_{\text{max}} = 7.27 \text{ m s}^{-2} = 0.74 \text{ g}$$
  
 $u_{\text{max}} = 4.58 \text{ cm}$ 



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

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

$$F_{\text{max}} = m \ a_{\text{max}} = 4000 \times 7.27 = 2900 \text{ kN}$$

e quindi le massime sollecitazioni nella struttura

Noto il periodo proprio, possiamo leggere dallo spettro l'accelerazione assoluta massima

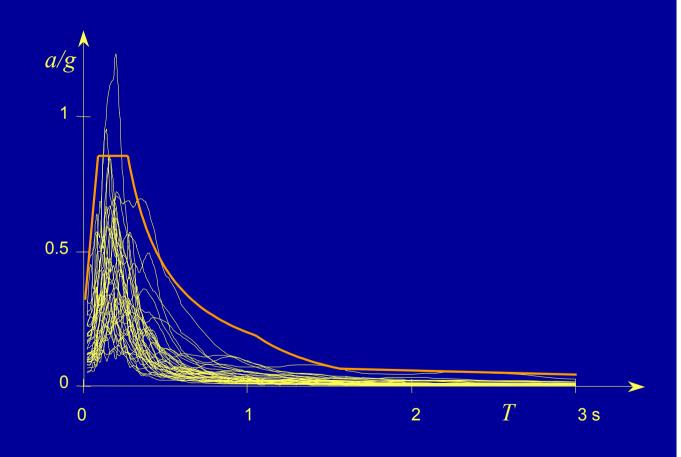
o lo spostamento relativo massimo

$$a_{\text{max}} = 7.27 \text{ m s}^{-2} = 0.74 \text{ g}$$

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

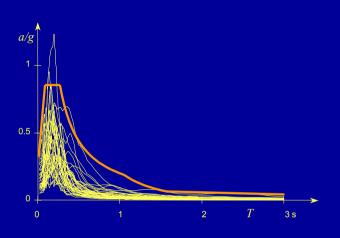
#### Spettri di risposta

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

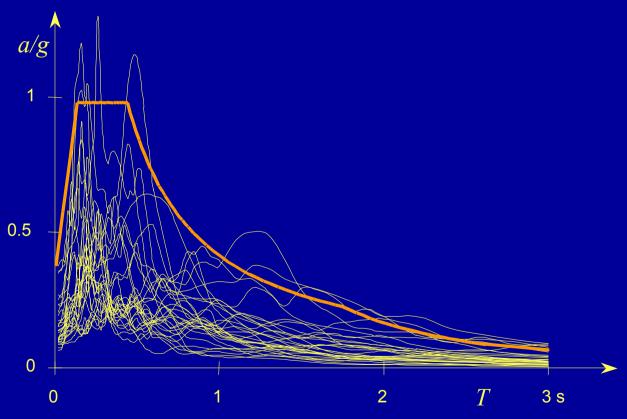


Si può quindi definire una curva che inviluppa tutti gli spettri di risposta, o che viene superata solo occasionalmente

### Spettri di risposta

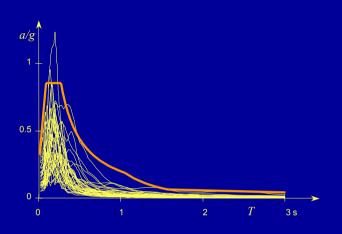


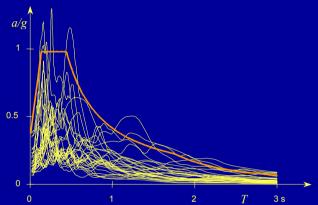
In zone differenti e su terreni differenti si otterranno risultati diversi



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

### Spettri di risposta

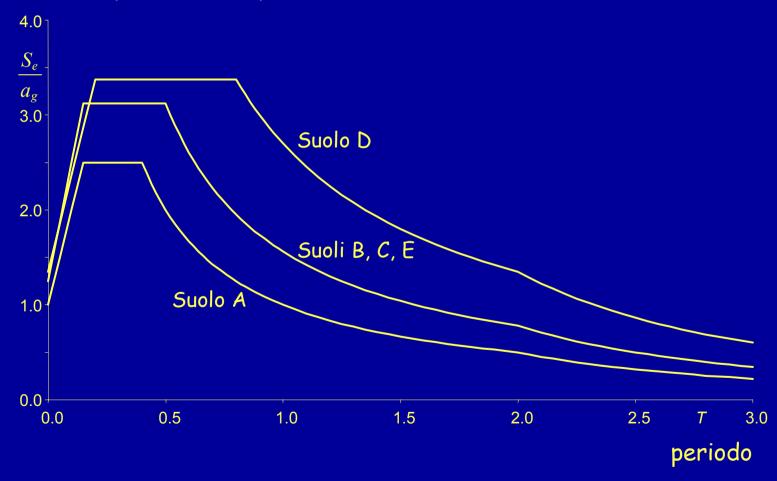


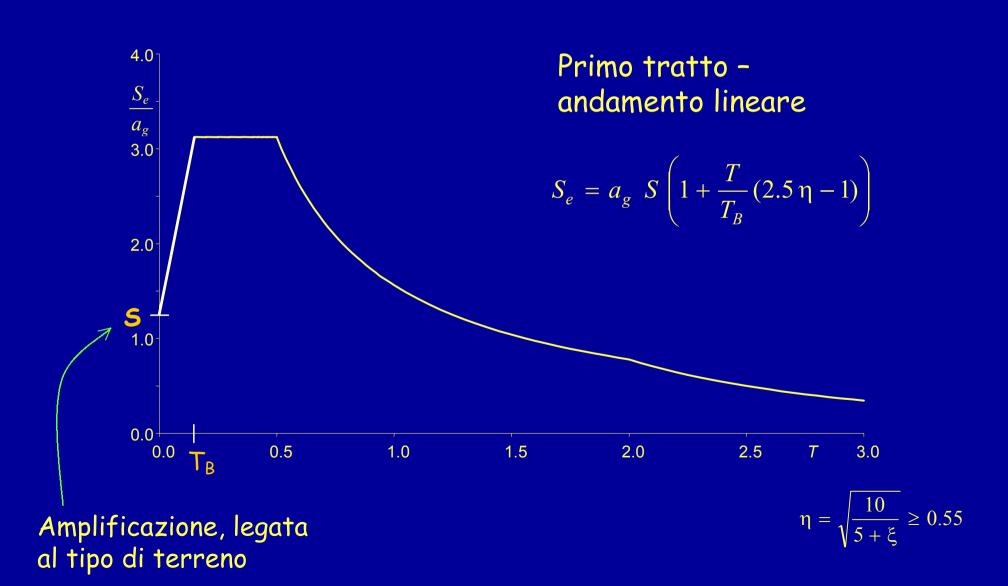


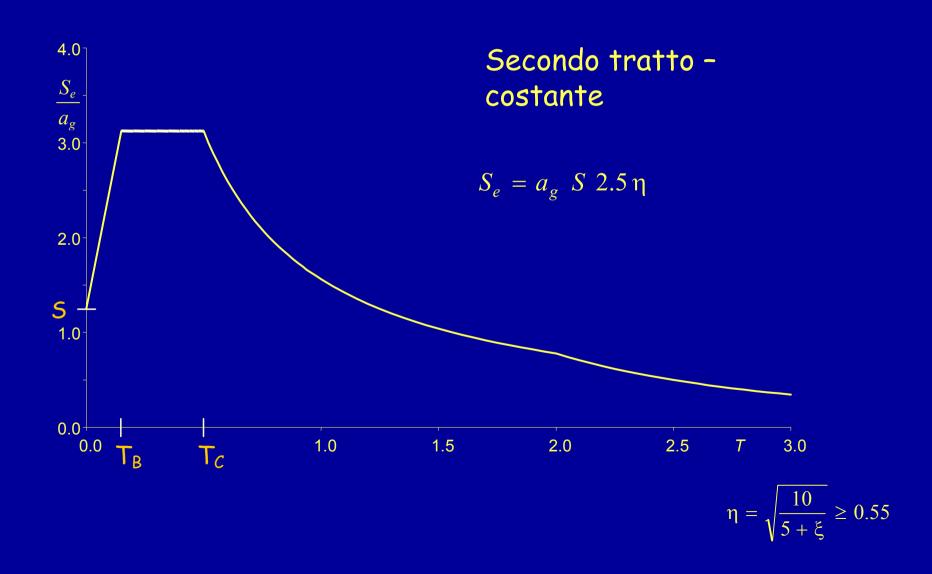
In zone differenti
e su terreni
differenti
si otterranno
risultati diversi

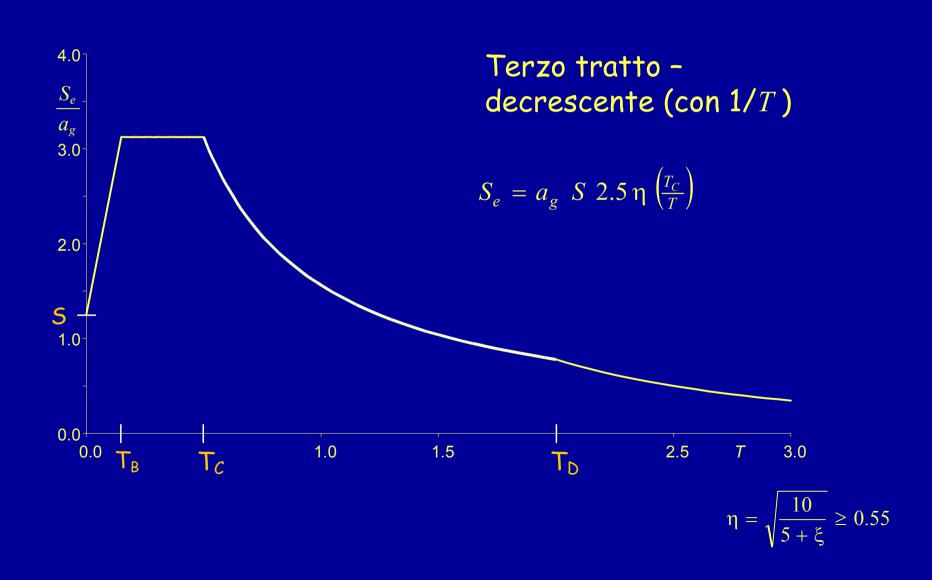
La normativa fornisce quindi spettri di risposta differenziati in funzione delle caratteristiche del suolo e della zona in cui è ubicata la struttura

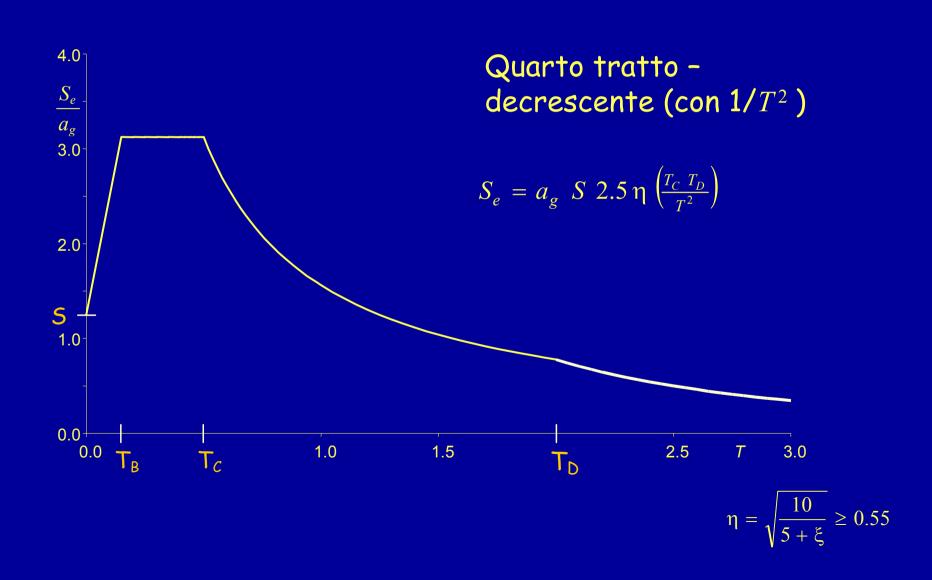
accelerazione (normalizzata)

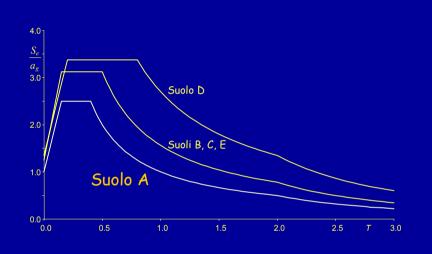












#### Suolo A

Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi

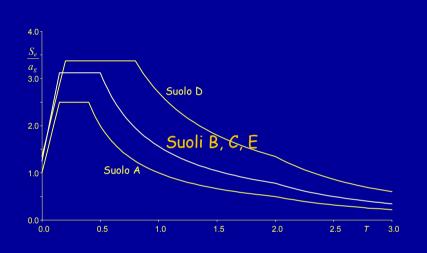
$$V_{530} > 800 \text{ m/s}$$

$$S = 1$$
  $T_A = 0.15 s$   $T_B = 0.4 s$ 

V<sub>530</sub>

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

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



$$S = 1.25$$
  $T_A = 0.15 s$   $T_B = 0.5 s$ 

V<sub>530</sub>

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

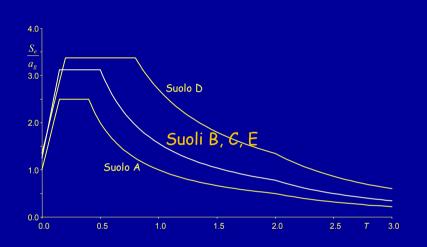
#### Suolo B

Depositi di sabbi e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti

 $360 \text{ m/s} < V_{530} < 800 \text{ m/s}$ 

Resistenza penetrometrica  $N_{SPT} > 50$ 

Coesione non drenata c<sub>u</sub> > 250 kPa



V<sub>530</sub>

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

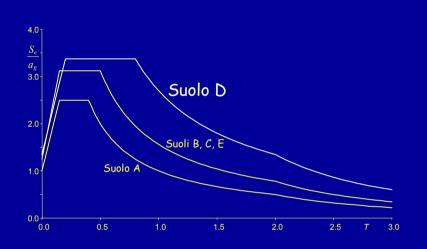
#### Suolo C

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

 $180 \text{ m/s} < V_{530} < 360 \text{ m/s}$ 

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

Coesione non drenata 70 < c<sub>u</sub> < 250 kPa



$$S = 1.35$$
  $T_A = 0.2 s$   $T_B = 0.8 s$ 

V<sub>530</sub>

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

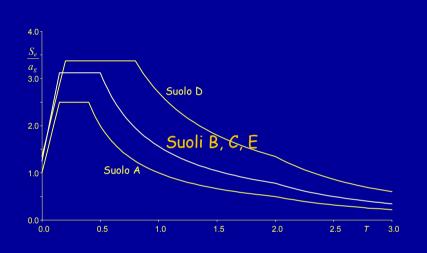
#### Suolo D

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

$$V_{530} < 180 \text{ m/s}$$

Resistenza penetrometrica N<sub>SPT</sub> < 15

Coesione non drenata c<sub>u</sub> < 70 kPa



#### 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  $V_{530} > 800$  m/s

V<sub>530</sub>

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

Suolo S1

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

 $V_{530} < 100 \text{ m/s}$ 

Coesione non drenata 10 < c<sub>u</sub> < 20 kPa Suolo 52

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<sub>SPT</sub> = 18
- 3.5 m ciottoli, argille brune  $N_{SPT} = 40$

#### SONDAGGIO Nº 6 ATTREZZATURA ATLAS A50 CAROTIERE Ø 101 mm CASSETTE CATALOGATRICI Sabbie marnose, grigiastre a inclusi elementi lapidei Sabbie marnose e/o marne Sabbie marnose con a tratti livelli decimetrici di argille brugrigio-brune bolmente sabbiose con a tratti abbondanti elementi lapidei Argille grigio-brune a tratti Marne sabbiose e/o sabbie marnose bianco crema. Argitle marnose bianco giallastre con inclusi sporadici elementi lapidei eterometrici e con intercalati livelli di sabbie Ciottoli eterometrici sub-arrotondati in poca matrice sabbio Arnille di colore bruno (paieo suolo) con abbondanti inclusio ni di minuti elementi lapidei.

## 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  $N_{SPT} = 40$

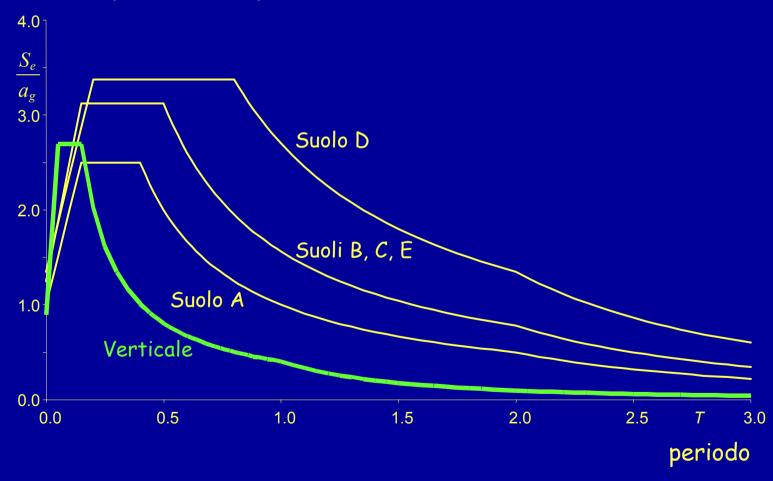
$$N_{SPT} = \frac{30}{\frac{12}{26} + \frac{6.1}{47} + \frac{1.9}{16} + \frac{6.5}{18} + \frac{3.5}{40}}$$

$$N_{SPT} = 25.9$$

Si può considerare suolo di tipo C, perché 15 < N<sub>SPT</sub> < 50

## Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali e verticali

accelerazione (normalizzata)



L'accelerazione di picco del terreno  $a_g$  da utilizzare per verifiche allo stato limite ultimo, cioè per terremoti con alto periodo di ritorno, dipende dalla sismicità della zona

zona	$a_g$
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

#### Spettri di risposta elastica di normativa

Terremoti con periodo di ritorno più basso possono avere spettri differenti. Per semplicità si assume che il terremoto da usare per lo stato limite di danno abbia lo stesso spettro ma accelerazione al suolo ridotta di 2.5

SLU

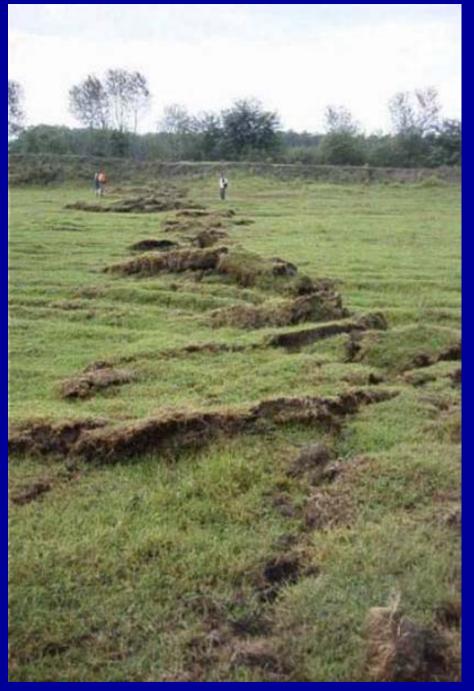
zona	$a_g$
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

SLD

zona	$a_g$
1	0.35 / 2.5 = 0.14 g
2	0.25 / 2.5 = 0.10 g
3	0.15 / 2.5 = 0.06 g
4	0.05 / 2.5 = 0.02 g



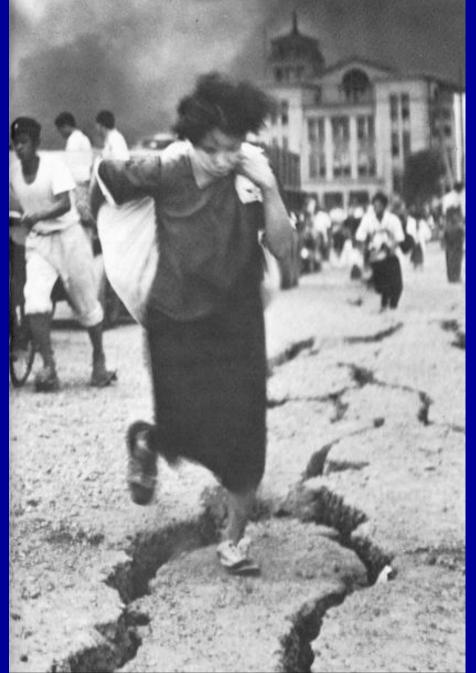




## Movimenti della faglia, smottamenti del terreno, frane



1999 - Turchia



## Movimenti della faglia, smottamenti del terreno, frane



1948 - Giappone 1999 - Turchia

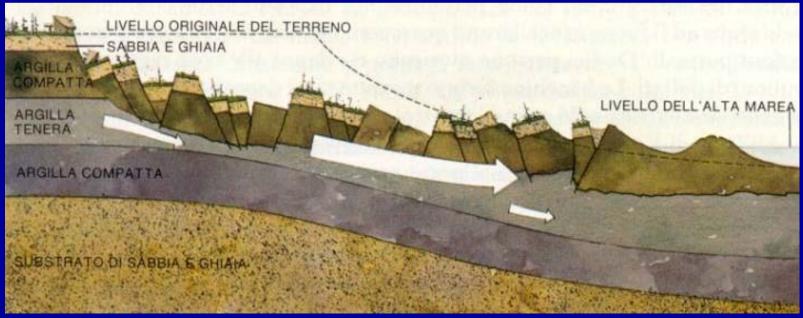


## Movimenti della faglia, smottamenti del terreno, frane

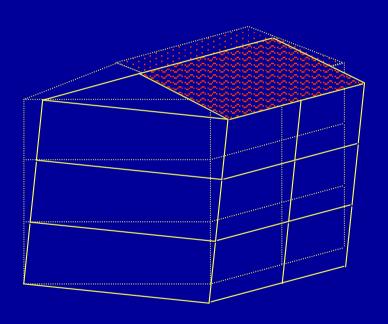


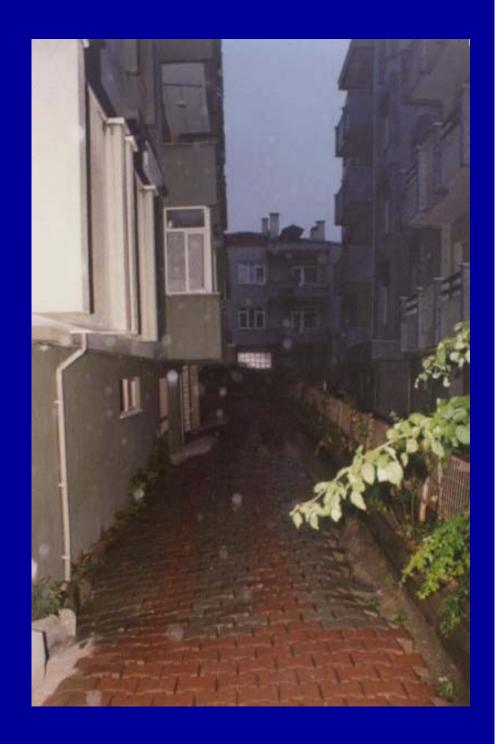


## Frane, cedimenti del terreno















#### FINE

Diapositive tratte dalle presentazioni
"Azioni - 1" e "Azioni - 3",
preparate per Teramo e Catania,
nonché "Terremoto-1" (per corso
Elementi di ingegneria sismica)

Per questa presentazione:
coordinamento
realizzazione
ultimo aggiornamento

A. Ghersi A. Ghersi 16/04/2004