

**PROGETTAZIONE GEOTECNICA  
SECONDO LE NORME TECNICHE  
PER LE COSTRUZIONI  
D.M. 14.01.2008**

**fondazioni e opere di sostegno**

---

Luigi Callisto



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

- analisi agli stati limite
- valutazione della sicurezza secondo NTC
- fondazioni, condizioni statiche
- condizioni sismiche
  - determinazione dell'azione sismica
  - fondazioni superficiali e profonde
- muri di sostegno
  - condizioni statiche
  - condizioni sismiche
- paratie e ancoraggi
  - condizioni statiche
  - condizioni sismiche



# stato limite

condizione nella quale l'opera non soddisfa un requisito

- di stabilità **SLU**
- funzionale **SLE**

**SLU** → sicurezza (collasso, totale o parziale)

**SLE** → comportamento (spostamenti, fessurazioni...)

analisi agli stati limite

valori caratteristici ( $k$ ) di:

- azioni (valori rappresentativi)
- parametri di resistenza o resistenze globali

coefficienti parziali applicati ai valori caratteristici

altre incertezze:

- geometria e modello di sottosuolo
- distribuzione pressioni interstiziali
- schematizzazione del problema (1D, 2D)
- ...



verifiche nei confronti degli  
Stati Limite Ultimi (SLU)

$$E_d \leq R_d$$

effetto delle azioni

$$E_d = E \left[ \gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

resistenza del sistema

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

# coefficienti parziali NTC sulle azioni

$\gamma_F$  oppure  $\gamma_E$

carichi		$\gamma_F$ ( $\gamma_E$ )	EQU	A1 STR	A2 GEO
permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0.9	1.0	1.0
	sfavorevoli		1.1	1.3	1.0
permanenti non strutturali	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0.0	0.0	0.0
	sfavorevoli		1.5	1.5	1.3
variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0.0	0.0	0.0
	sfavorevoli		1.5	1.5	1.3

## coefficienti parziali sulle proprietà meccaniche (parametri di resistenza)

grandezza	$\gamma_M$	M1 (STR)	M2 (GEO)
$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
$C_{uk}$	$\gamma_{Cu}$	1.0	1.4
$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.0	1.0

valori caratteristici ( $k$ ) delle azioni  $F$  e dei parametri di resistenza  $X$   $P[X < X_k] \leq 5\%$

EN 1997-1 (*Eurocodice 7: Geotechnical Design*)  
characteristic value  $\rightarrow$  a **cautious estimate** of the value affecting the occurrence of the **limit state**.

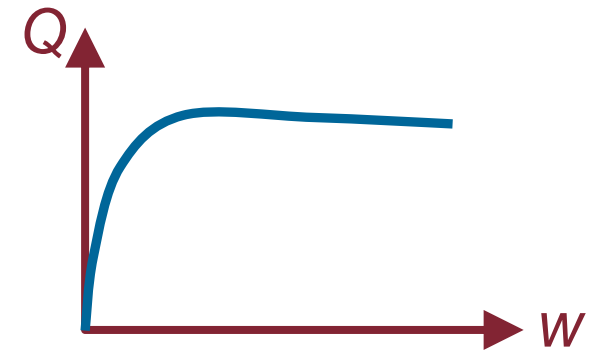
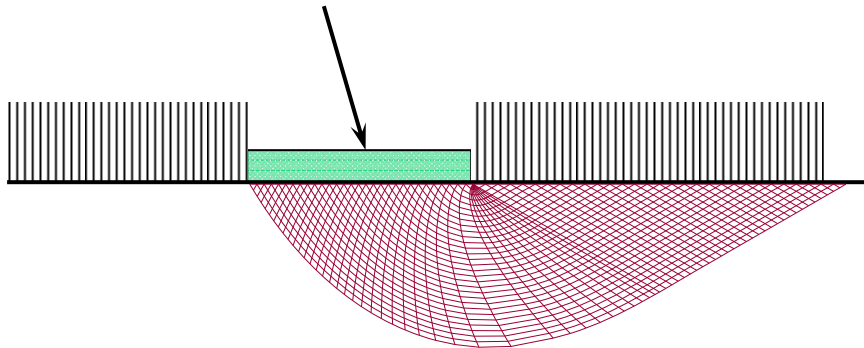
NTC 6.2.2

“per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato”

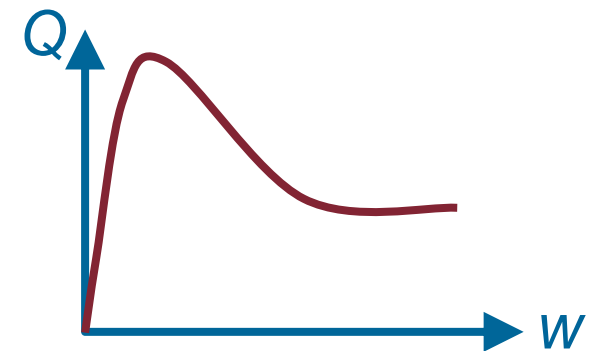
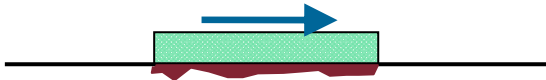


## scelta dei valori caratteristici dei parametri di resistenza

- **valori medi:** volumi elevati, comportamento duttile



- **valori minimi:** volumi piccoli, comportamento fragile



## verifiche nei confronti degli Stati Limite Ultimi

APPROCCIO 1: due diverse combinazioni

**C1**: si amplificano le azioni o gli effetti delle azioni

**C2**: si penalizzano i parametri di resistenza del terreno  
(e le resistenze globali)

APPROCCIO 2: unica combinazione

si amplificano le azioni e si penalizzano le resistenze  
globali del terreno

## approcci di progetto e coefficienti parziali

appr.	azioni permanenti	proprietà $c', \varphi' (C_u)$	resistenze
1 C1	1.3	1.0	1.0
1 C2	1.0	1.25 (1.4)	$\gamma_R$
2	1.3	1.0	$\gamma_R$

$\gamma_R$  dipende dal tipo di opera



## approcci di progetto e coefficienti parziali

appr.	azioni permanenti	azioni variabili	proprietà $c', \varphi' (C_u)$	resistenze
1 C1	1.3	1.5	1.0	1.0
1 C2	1.0	1.3	1.25 (1.4)	$\gamma_R$
2	1.3	1.5	1.0	$\gamma_R$

$\gamma_R$  dipende dal tipo di opera

coefficienti  $\gamma_R$  sulla resistenza globale

definiti per ciascun tipo di opera e per ciascun approccio di progetto

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

EC7:  $\gamma_R$  usato in **alternativa** a  $\gamma_M$

NTC:  $\gamma_R$  usato in **aggiunta** a  $\gamma_M$

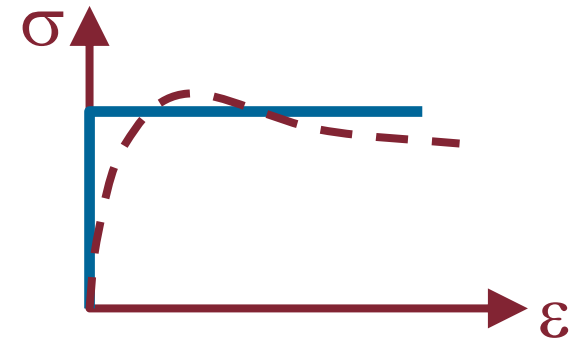
# analisi di un sistema geotecnico

(Terzaghi 1943)

## 1. *stability problems*

*deal with the conditions for the equilibrium of ideal soils immediately preceding ultimate failure by plastic flow*

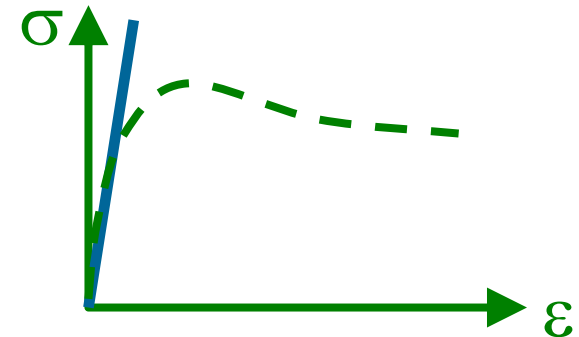
**analisi di un meccanismo di collasso**



## 2. *elasticity problems*

*deal with the deformation of the soil due to its own weight or due to external forces*

**analisi di interazione**



## verifiche di resistenza **strutturali**

**mobilitazione locale** della resistenza in:

- fibre (tensioni ammissibili)
- sezioni (stati limite)

## verifiche di resistenza **geotecniche**

- **mobilitazione globale** resistenze (meccanismo)
- plasticizzazioni locali sempre presenti



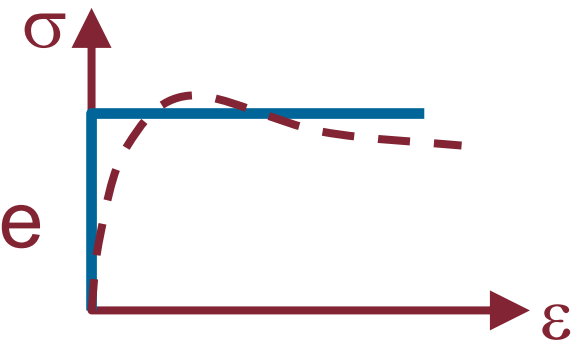
# analisi di un sistema geotecnico

## 1. analisi di un meccanismo di collasso

studio della sicurezza

**resistenza**

distanza da una condizione limite

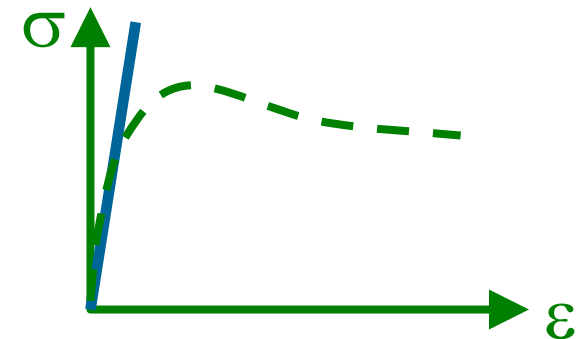


## 2. analisi di interazione

spostamenti e sollecitazioni

**deformabilità**

effettivo comportamento





# analisi di un sistema geotecnico (tradizionale)

1. analisi di un meccanismo di collasso  
studio della sicurezza **SLU**

2. analisi di interazione **SLE (?)**

- sollecitazioni negli elementi strutturali → tensioni ammissibili
- spostamenti



# analisi di un sistema geotecnico (contemporanea)

1. analisi di un cinematismo di collasso  
studio della sicurezza **SLU** **GEO**  
verifica  $E_d < R_d \rightarrow$  distanza dal collasso

## 2. analisi di interazione

- sollecitazioni negli elementi  
strutturali **SLU** **STR**  
es.:  $M_{Ed} \leq M_{Rd}$
- spostamenti **SLE**

# fondazioni superficiali

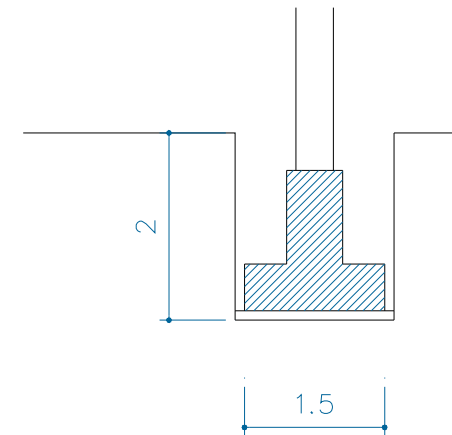
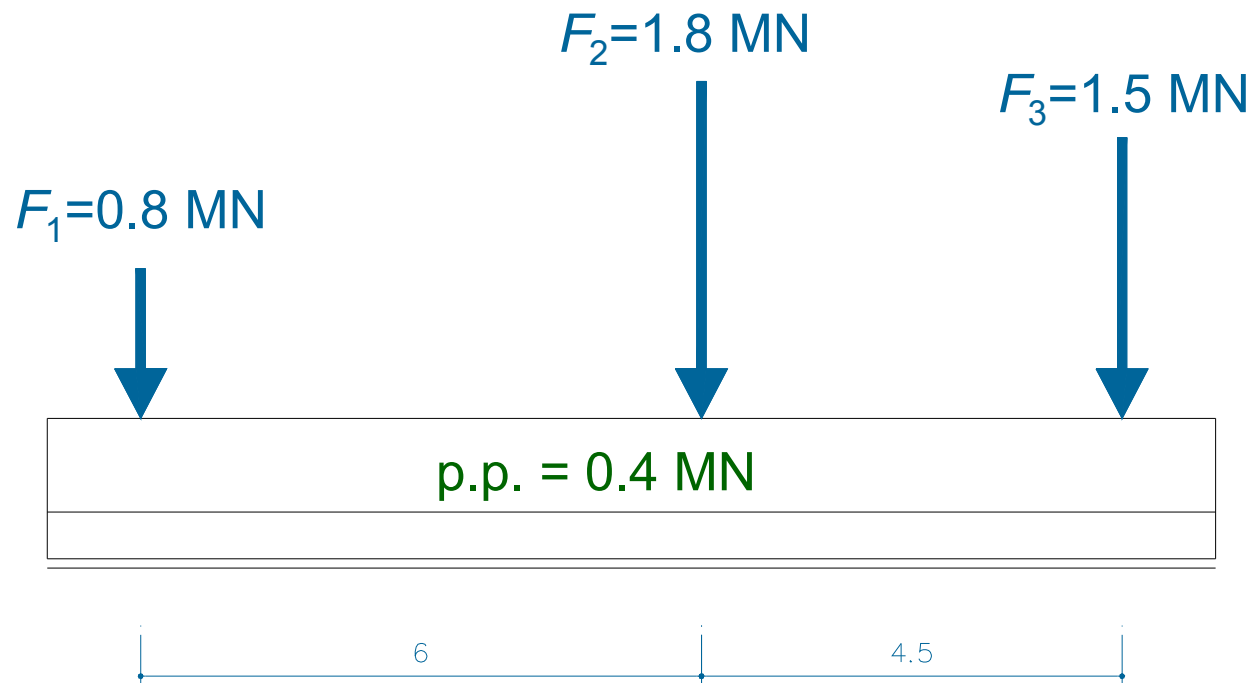
## stati limite ultimi

- carico limite
- scorrimento
- resistenza strutturale

	valori di $\gamma_R$		
verifica	R1	R2	R3
carico limite	1.0	1.8	2.3
scorrimento	1.0	1.1	1.1



## esempio: trave di fondazione



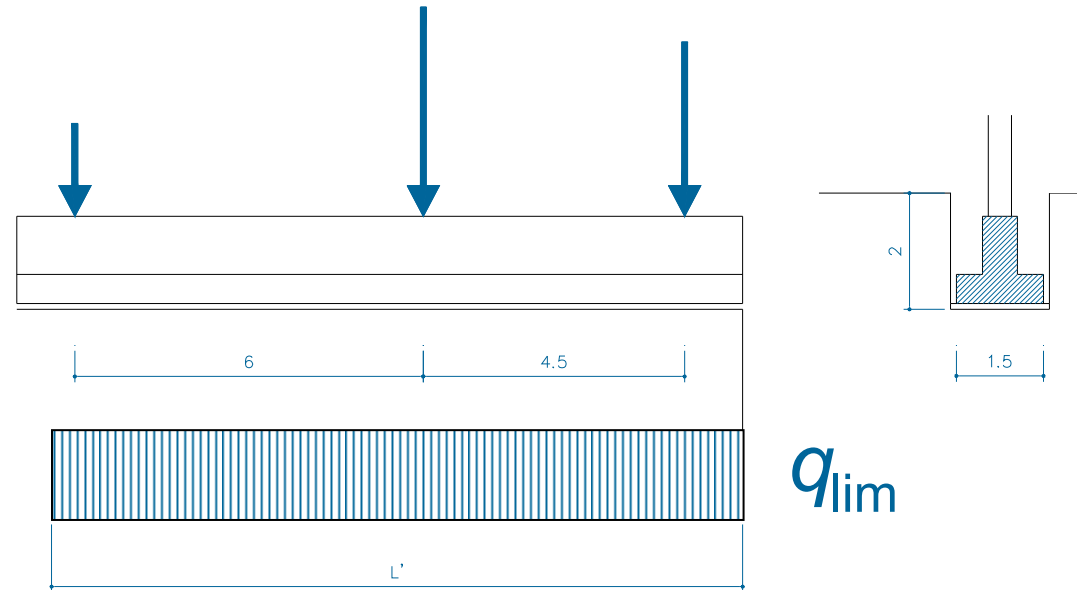
sabbia mediamente addensata  
 $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$   $\varphi' = 33^\circ$   $E = 5 \text{ MPa}$

$F$ : azioni permanenti derivanti da valori caratteristici dei carichi (non amplificati)



approccio  
tradizionale  
(GEO)

$$\varphi' = 33^\circ$$



analisi di un meccanismo di collasso  
(rottura generale)

$$B = 1.5 \text{ m}$$

$$L' = 11.9 \text{ m}$$

$$q_{lim} = 1230 \text{ kPa}$$

$$Q_{lim} = 22 \text{ MN}$$

$$Q_{es} = 4.5 \text{ MN}$$

$$FS = 4.8$$

A1-C2 (GEO)

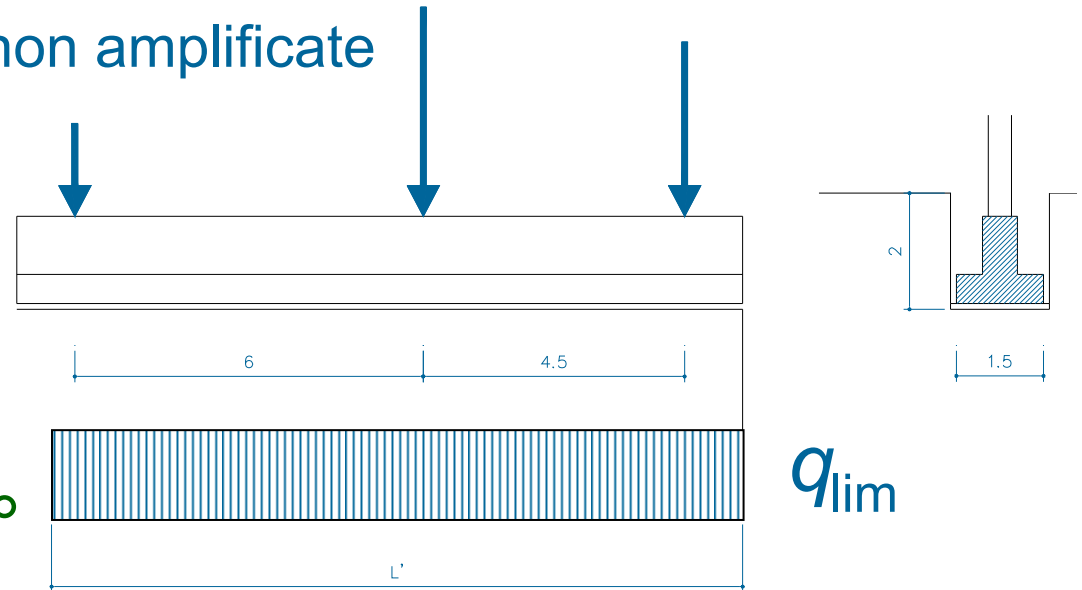
$$\gamma_G = 1.0$$

$$\gamma_{\varphi'} = 1.25$$

$$\gamma_R = 1.8$$

$$\varphi_k' = 33^\circ \quad \varphi_d' = 27.4^\circ$$

azioni non amplificate



analisi di un meccanismo di collasso  
(rottura generale)

$$B = 1.5 \text{ m}$$

$$L' = 11.9 \text{ m}$$

$$q_{lim} = 632 \text{ kPa}$$

$$Q_{lim} = R = 11 \text{ MN}$$

$$R_d = R / \gamma_R = 6 \text{ MN}$$

$$E_d = Q_{es} \cdot 1.0 = 4.5 \text{ MN}$$

$$R_d / E_d = 1.4$$

$$[ \text{oppure: } \gamma_{\varphi} = 1.88 \rightarrow R_d = E_d ]$$

A2 (GEO)

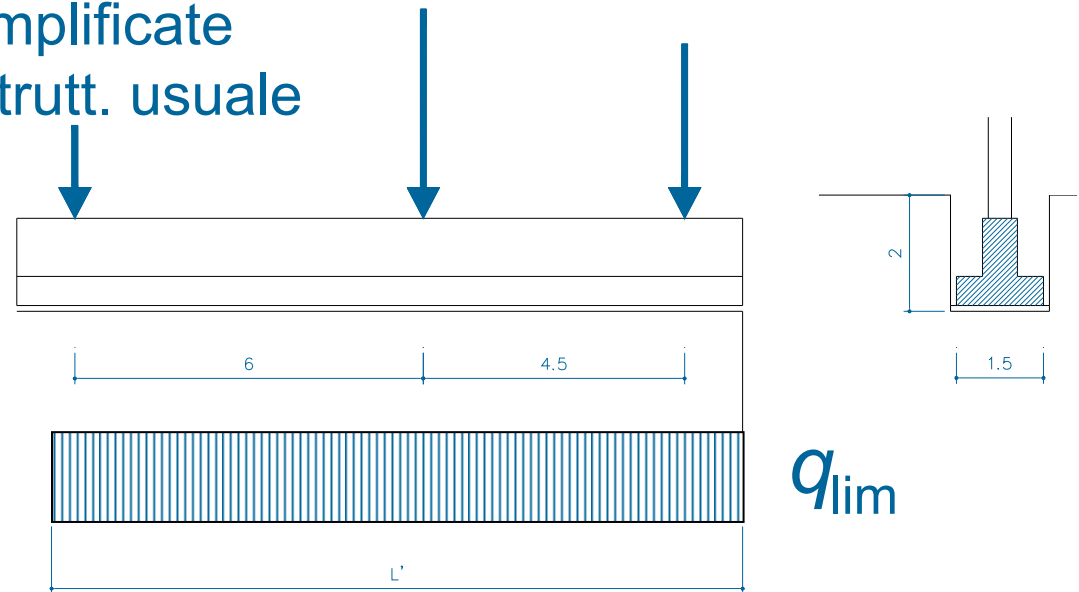
$$\gamma_G = 1.3$$

$$\gamma_{\varphi'} = 1.0$$

$$\gamma_R = 2.3$$

$$\varphi_k' = \varphi_d' = 33^\circ$$

azioni amplificate  
analisi strutt. usuale



analisi di un meccanismo di collasso  
(rottura generale)

$$B = 1.5 \text{ m}$$

$$L' = 11.9 \text{ m}$$

$$q_{lim} = 1230 \text{ kPa}$$

$$Q_{lim} = R = 22 \text{ MN}$$

$$R_d = R / \gamma_R = 9.6 \text{ MN}$$

$$E_d = Q_{es} \cdot 1.3 = 5.9 \text{ MN}$$

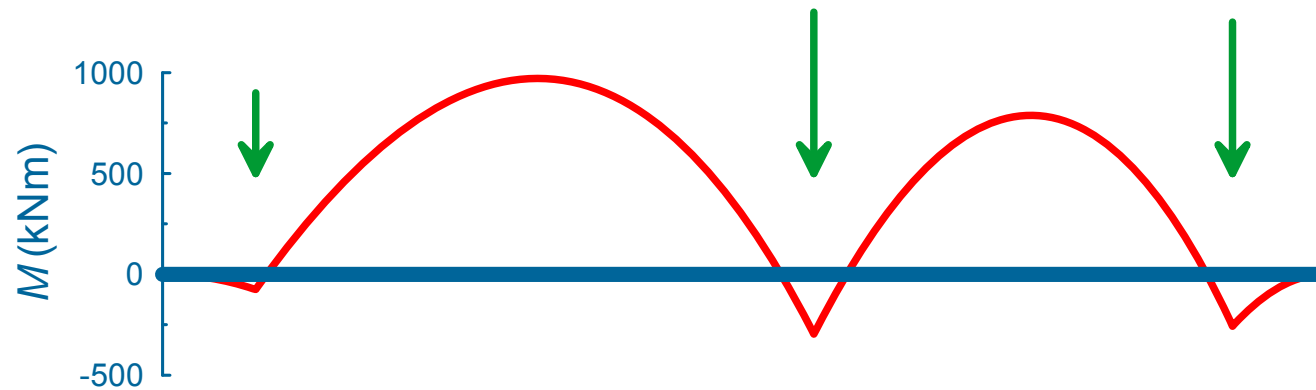
$$R_d / E_d = 1.6$$

$$[1.3 \times 2.3 \times 1.6 = 4.8]$$



# esempio: trave di fondazione approccio tradizionale (STR)

Winkler –  $k = 3.0 \text{ MN/m}^3$



rigidezza  $\equiv$  costante di sottofondo

$M_{\max} = 1 \text{ MNm} \rightarrow$  tensioni ammissibili





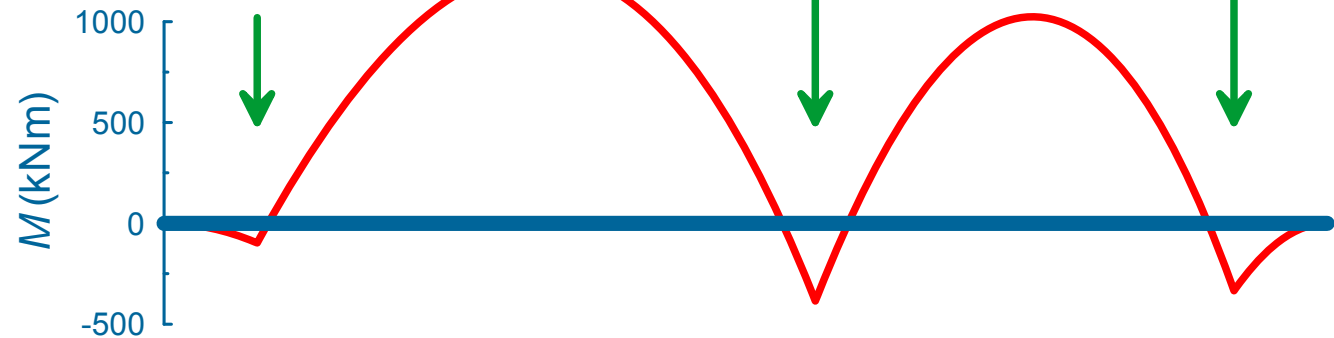
## A1-C1 (STR)

$$\gamma_G = 1.3$$

$$\gamma_{\varphi'} = 1.0$$

~~$$\gamma_R = 1.0$$~~

azioni amplificate  
analisi strutt. usuale



il modello costitutivo non include parametri di resistenza

~~A1-C2~~

analisi lineare:

amplificazione azioni  $F_i \leftrightarrow$  effetti delle azioni  $M, T$

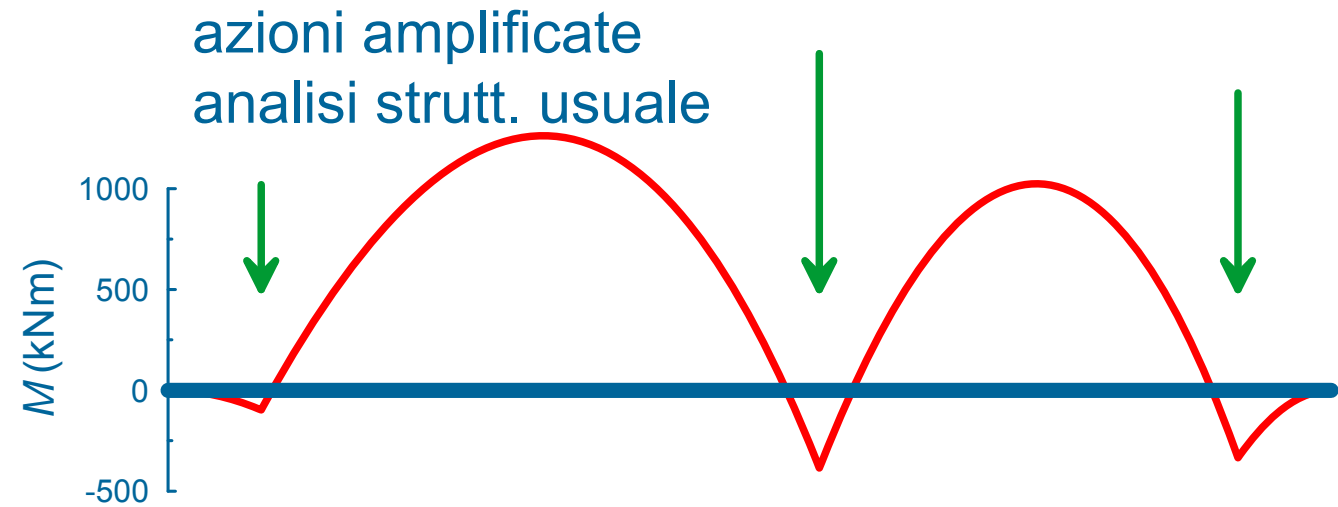
$$M_{\max} = 1.3 \text{ MNm} (= 1 \times 1.3) = M_{Ed} < M_{Rd}$$

## A2 (STR)

$$\gamma_G = 1.3$$

$$\gamma_{\phi'} = 1.0$$

$$\gamma_R = 2.3$$



$\gamma_R$  non compare nell'analisi  $\rightarrow$  come A1C1

$$M_{\max} = 1.3 \text{ MNm} (= 1 \times 1.3) = M_{\text{Ed}} < M_{\text{Rd}}$$



# stati limite di esercizio

## SLE

cedimenti

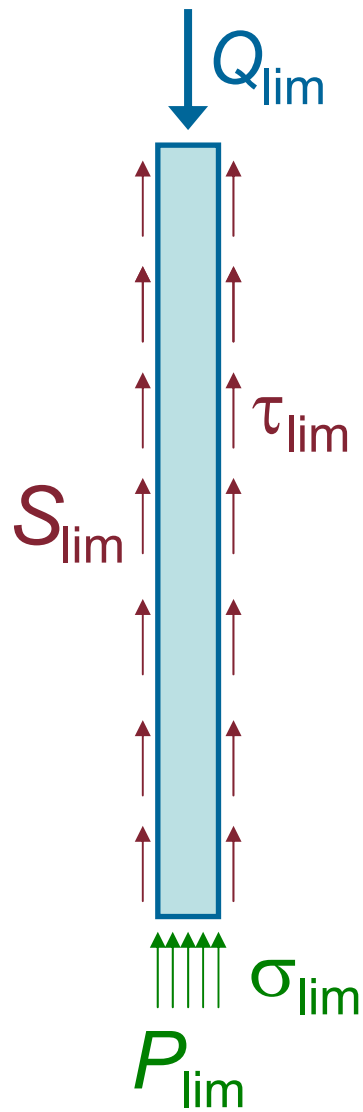
aspetti strutturali (fessurazioni...)

- verifica obbligatoria
- si opera con valori caratteristici  
i coefficienti parziali sono unitari

# pali di fondazione (e ancoraggi)

- resistenza influenzata da fattori tecnologici
- spesso determinata per via empirica
  
- coefficienti applicati alla resistenza globale e non ai parametri di resistenza

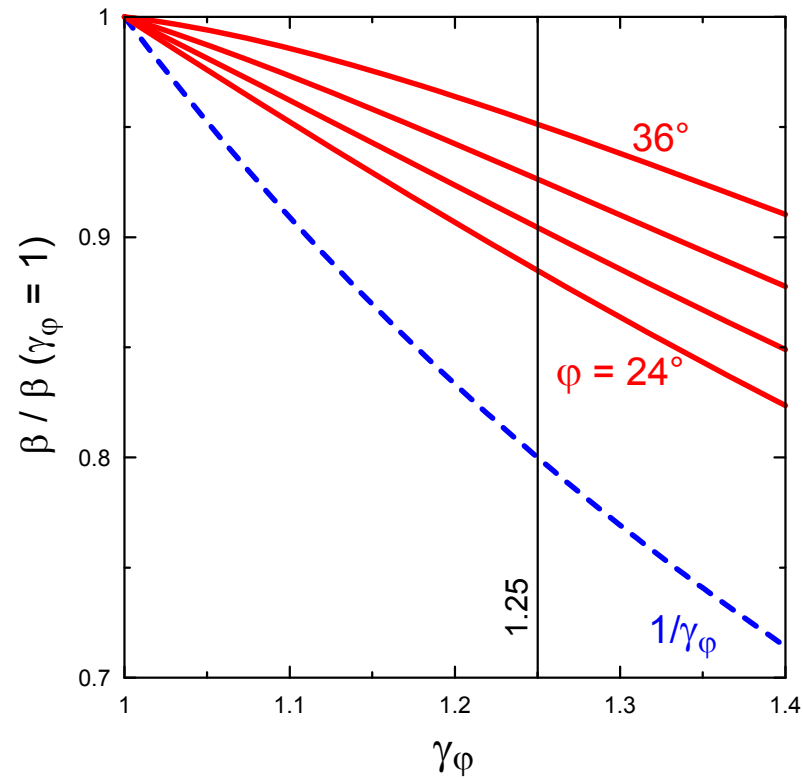
distinzione A1-A2 solo convenzionale



$$\sigma_{lim} = f(c', \varphi', C_u \dots)$$

$$\tau_{lim} = \sigma'_v K \tan \varphi_s = \sigma'_v \beta$$

$$\beta = (1 - \sin \varphi') \times \tan \varphi'$$



verifiche **fondazioni profonde**  
valutazione resistenze caratteristiche

- a) da prove di carico su pali pilota
- b) con metodi analitici o con relazioni empiriche con prove in sito
- c) da prove dinamiche ad alto livello di deformazione, su pali pilota

$$R_k = \text{Min} \left\{ \frac{R_{\text{media}}}{\xi_1}, \frac{R_{\text{min}}}{\xi_2} \right\}$$

$\xi_1, \xi_2 = f(\text{numero prove di carico/verticali d'indagine})$

$$\xi = 1.0 - 1.7$$

# verifiche fondazioni profonde

## APPROCCIO 1

combinazione 2: A2+M1+R2

GEO

$\gamma_{G1} = 1.0$   $\gamma_Q = 1.3$  resistenze caratteristiche /  $\gamma_R$

valori di  $\gamma_R$

resistenza	tecnologia		
	infissi	trivellati	elica cont.
base	1.45	1.70	1.60
laterale	1.45	1.45	1.45
totale	1.45	1.60	1.55
lat.traz.	1.60	1.60	1.60
orizzontale		1.60	



# verifiche fondazioni profonde

## APPROCCIO 1

combinazione 1: A1+M1+R1

STR

$$\gamma_{G1} = 1.3 \quad \gamma_Q = 1.5$$

$$\gamma_{\phi'} = \gamma_{c'} = \gamma_{Cu} = 1$$

$$\gamma_R = 1.0$$

le resistenze del terreno  
non compaiono nelle  
verifiche





# verifiche fondazioni profonde

## APPROCCIO 2

combinazione A1+M1+R3

$\gamma_{G1} = 1.3$   $\gamma_Q = 1.5$  resistenze caratteristiche /  $\gamma_R$

valori di  $\gamma_R$

tecnologia

resistenza	infissi	trivellati	elica cont.
base	1.15	1.35	1.30
laterale	1.15	1.15	1.15
totale	1.15	1.30	1.25
lat.traz.	1.25	1.25	1.20
orizzontale		1.30	

GEO

$\gamma_R$  non compare nelle verifiche STR



## verifiche **fondazioni miste**

- solo approccio 2
- coefficienti  $\gamma_R$  applicati  
alla somma delle resistenze caratteristiche

capacità portante

$$\gamma_R = 2.3$$

scorrimento

$$\gamma_R = 1.1$$

# stato limite di esercizio

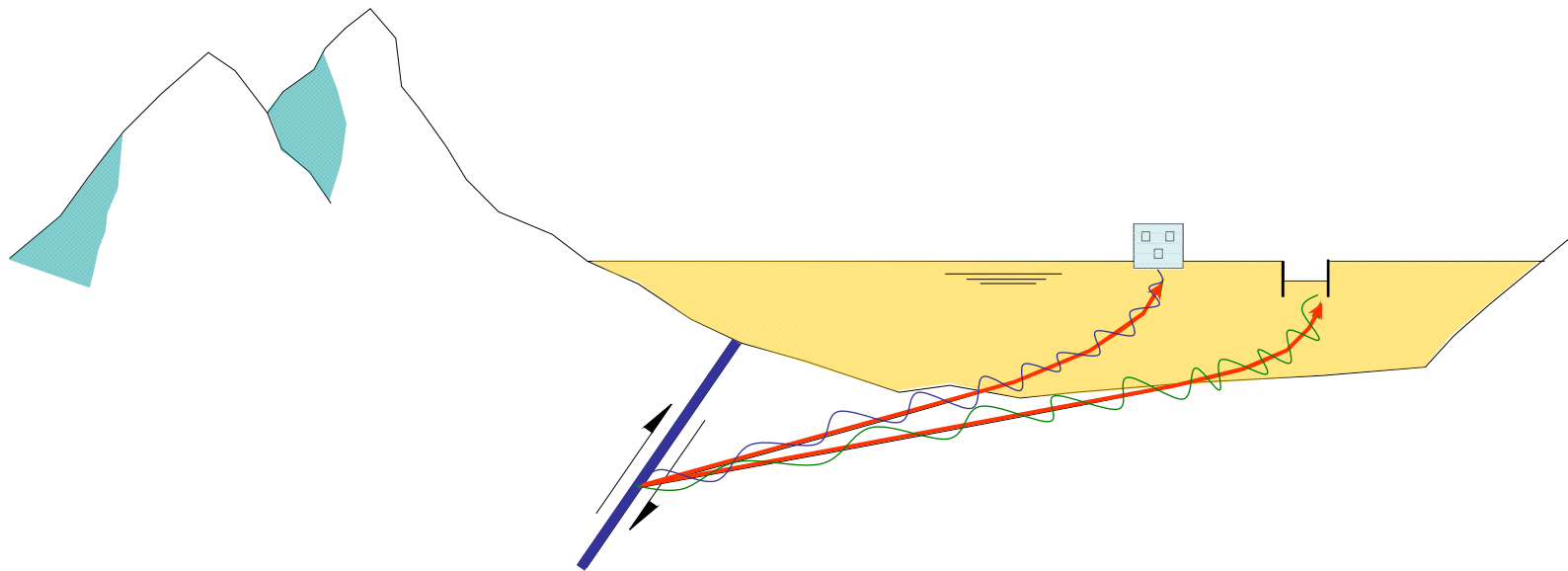
## SLE

- verifica obbligatoria
- si opera con valori caratteristici  
i coefficienti parziali sono unitari

# condizioni sismiche

## risposta sismica

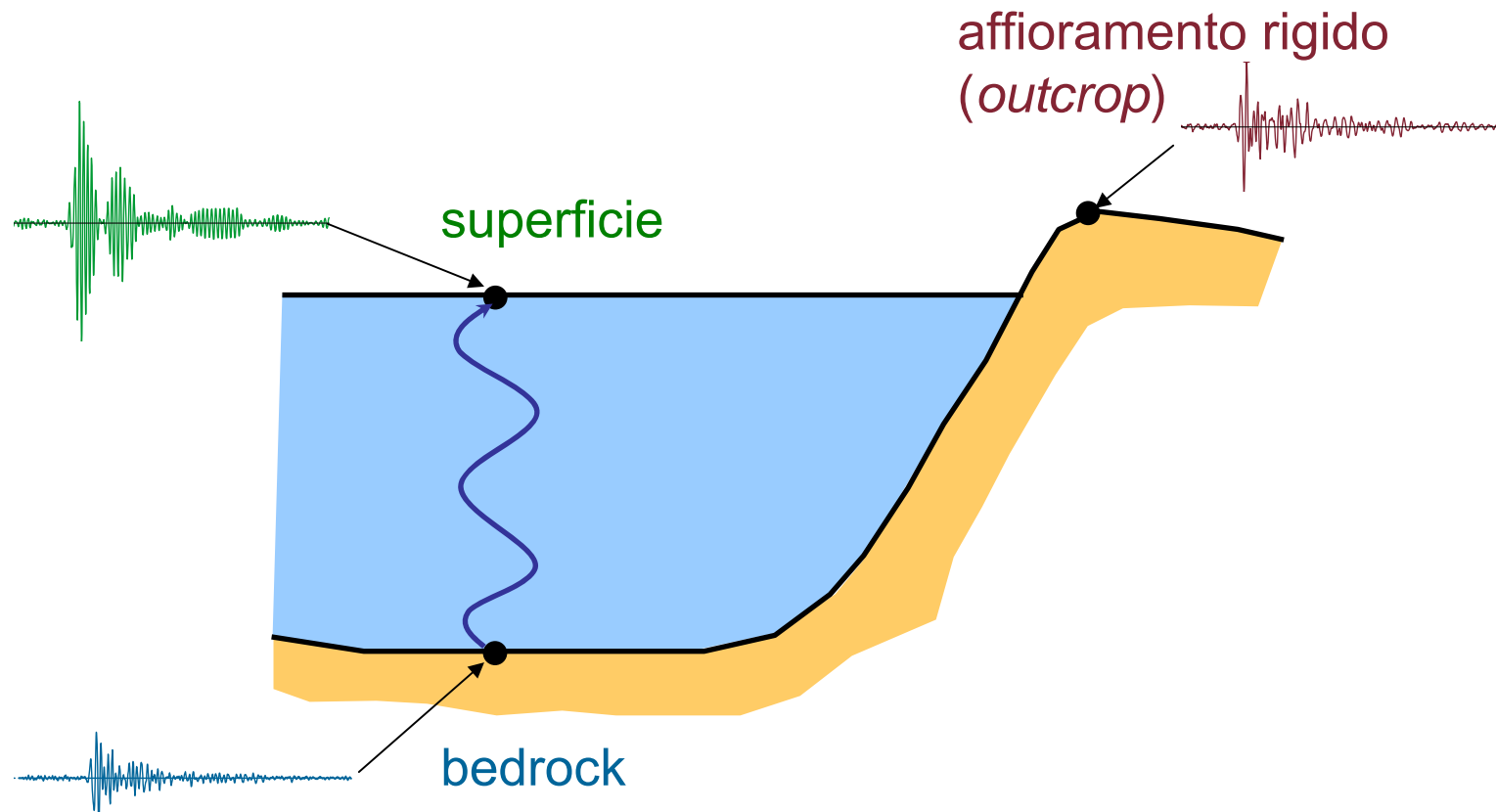
previsione del moto del terreno, in superficie o in profondità, indotto da un evento sismico



rottura lungo una discontinuità (faglia)

propagazione, sotto forma di onde, dell'energia rilasciata





moto su  
affioramento



modifica (RSL)

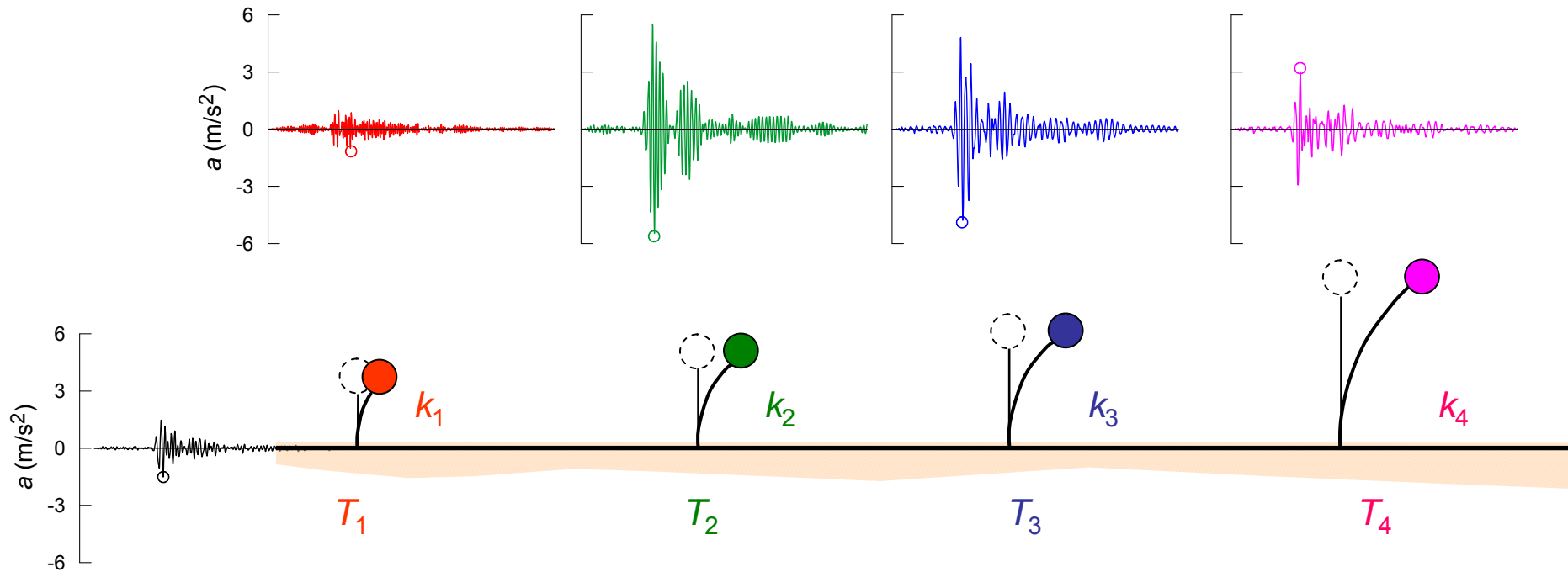


azione di progetto

$a_g, F_0, T_c^*$

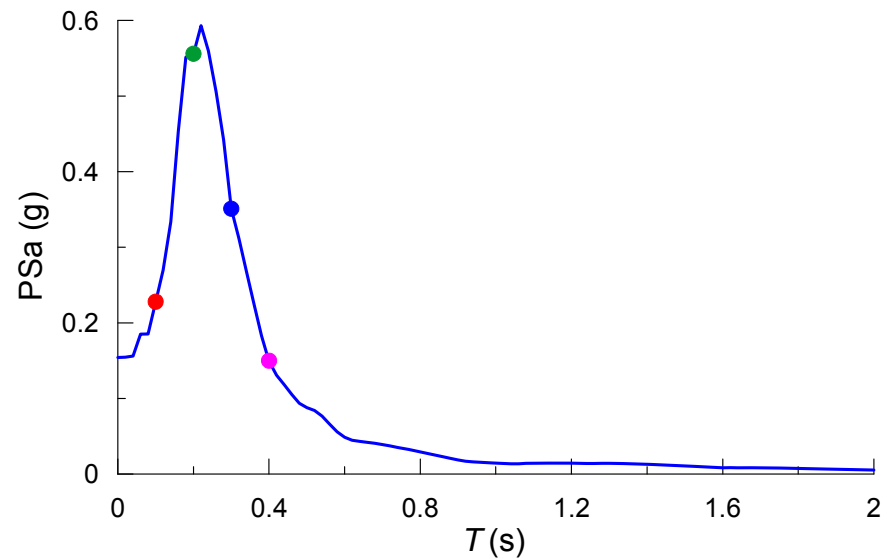
$S_S, S_T$

$a_{max}, T_c$



descrizione azione sismica

spettro elastico di risposta



vita di riferimento  $V_R = V_N \times C_U$

stati limite  $\rightarrow$  probabilità di superamento  $P_{VR}$

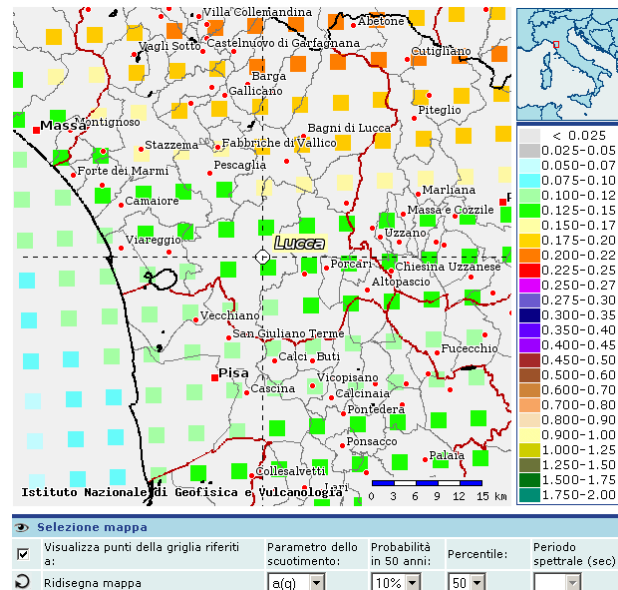
stati limite		$P_{VR}$ (%)
ultimi	SLC	5
	SLV	10
di esercizio	SLD	63
	SLO	81

periodo di ritorno

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

moto su affioramento

$a_g, F_0, T_c^*$





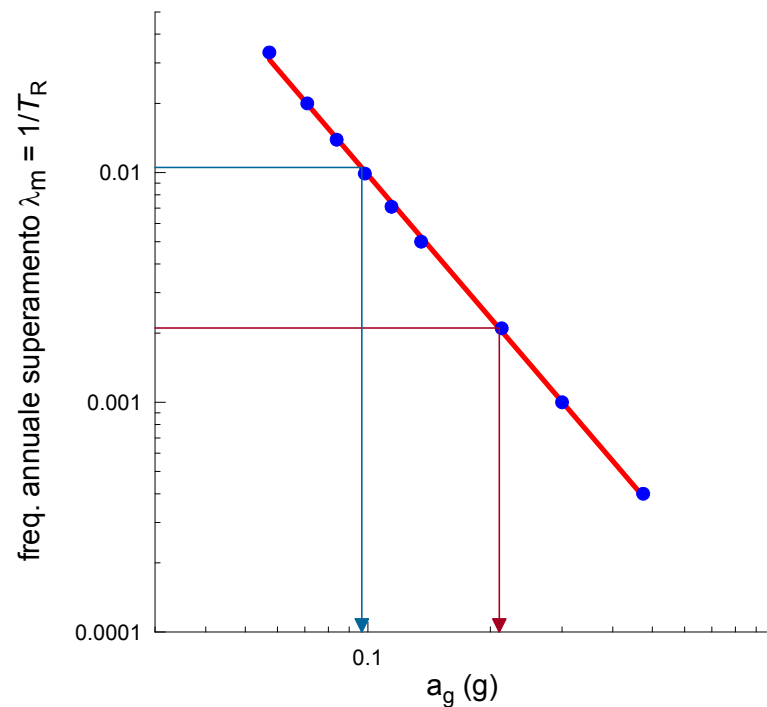
vita di riferimento  $V_R = V_N \times C_U$

stati limite  $\rightarrow$  probabilità di superamento  $P_{VR}$

stati limite		$P_{VR}$ (%)
ultimi	SLC	5
	<b>SLV</b>	<b>10</b>
di esercizio	<b>SLD</b>	<b>63</b>
	SLO	81

periodo di ritorno

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$



moto su  
affioramento

$$a_g, F_0, T_c^*$$

periodo di ritorno

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

intensità

prestazione

elevato (evento raro)

alta

anche  
modesta  
(SLU)

basso (evento frequente)

bassa

buona  
(SLE)



$a_{\max}$ ,  $T_C \rightarrow$  analisi di risposta sismica semplificata

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$S_T$  coefficiente di amplificazione topografica

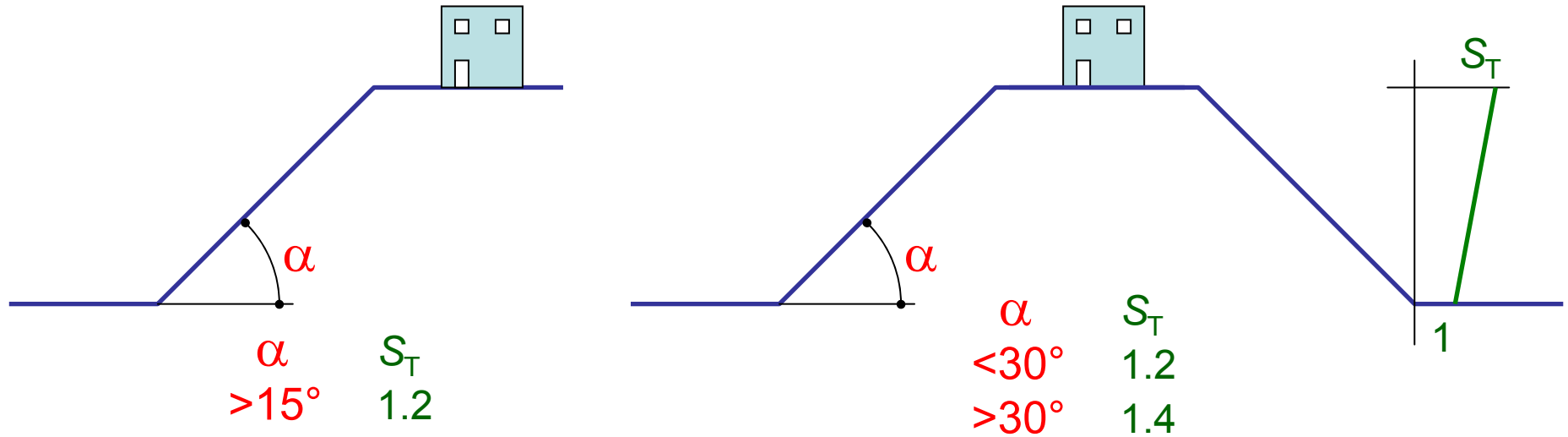
$S_S$  coefficiente di amplificazione stratigrafica = 1.0-1.8  
(dipende dalla categoria di sottosuolo)

Cat.	$V_{S30}$	$N_{SPT30}$	$C_{U30}$
A	> 800		
B	360-800	> 50	> 250
C	180-360	15-50	70-250
D	< 180	<15	< 70

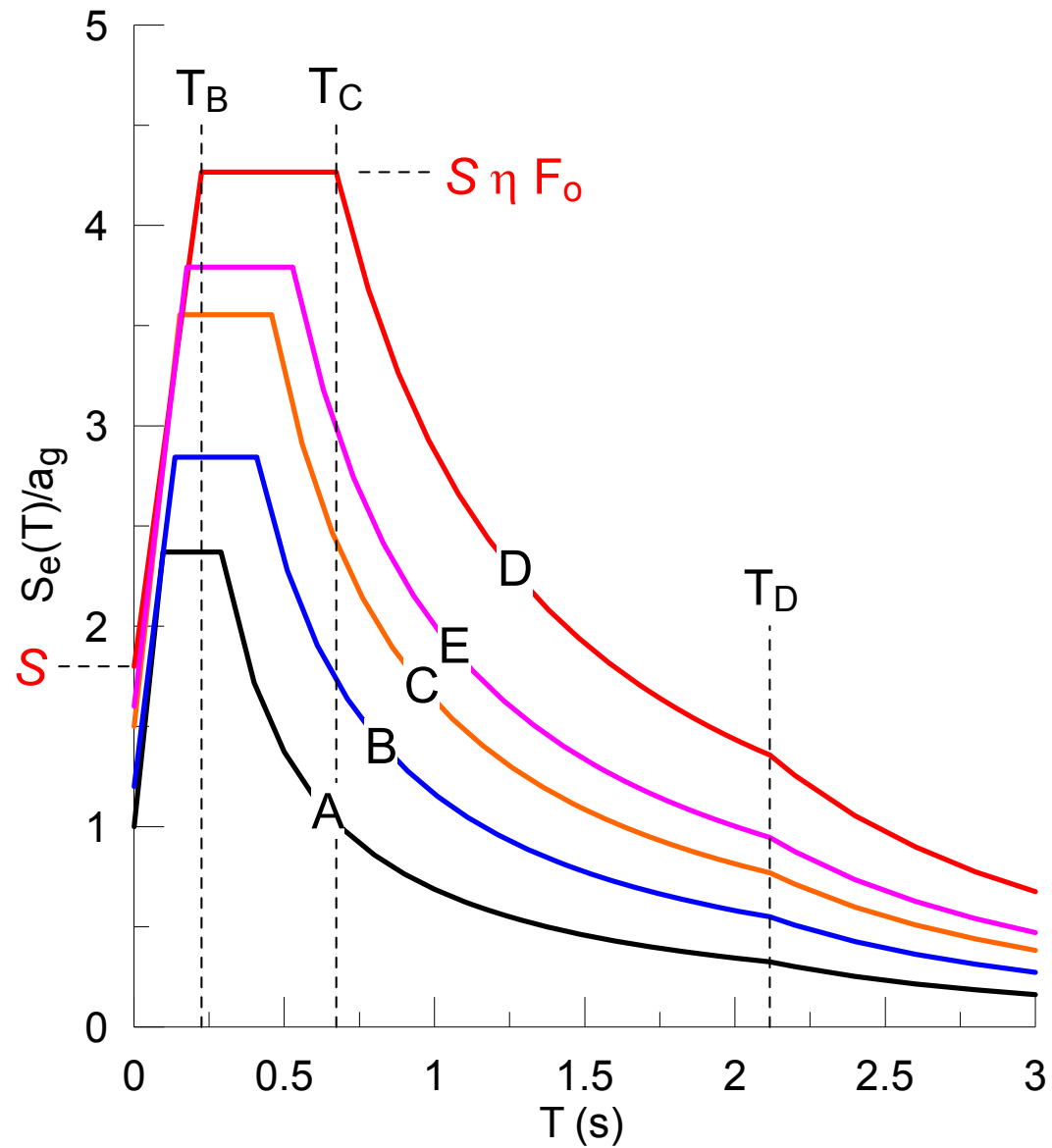
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_i \frac{h_i}{v_{si}}} \quad (\text{m/s})$$

# coefficienti di amplificazione topografica $S_T$

(per altezze maggiori di 30 m)



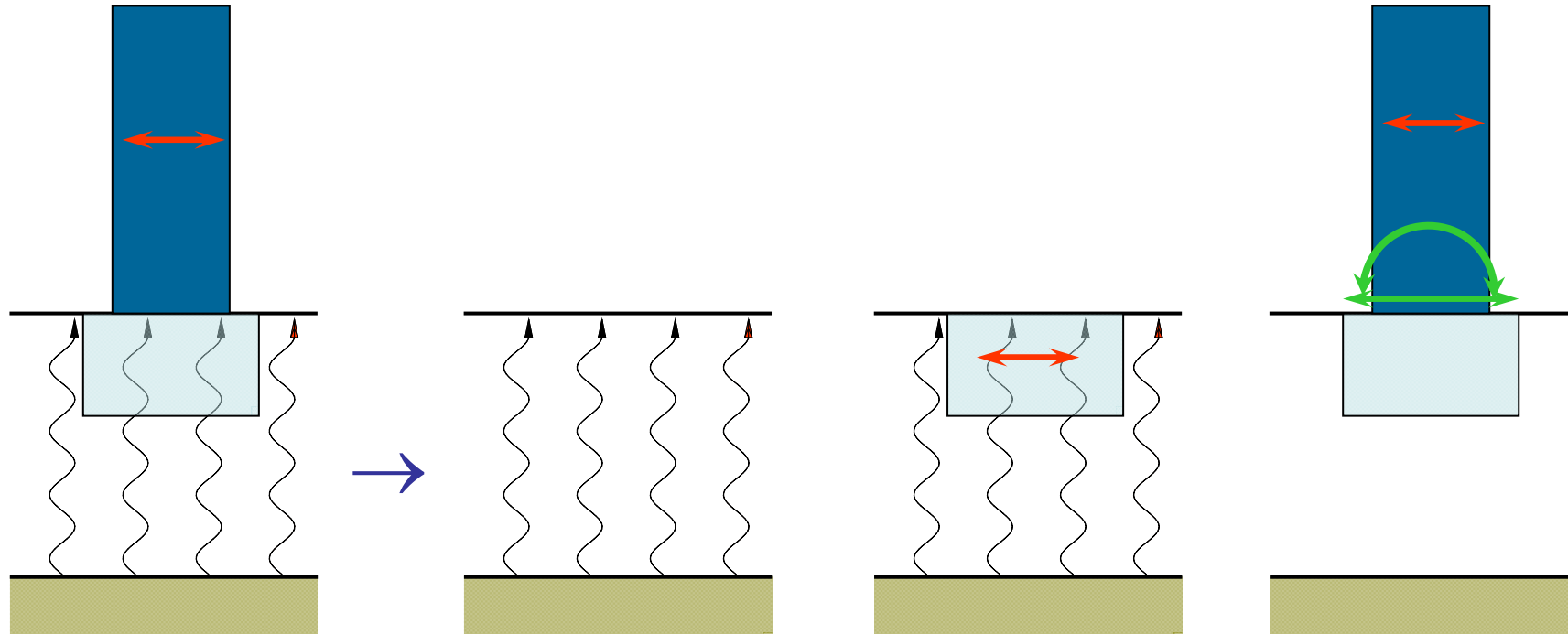
# spettro di risposta di progetto (esempio)



# fondazioni in condizioni sismiche

# fondazioni

# metodo delle sottostrutture



interazione  
"completa"

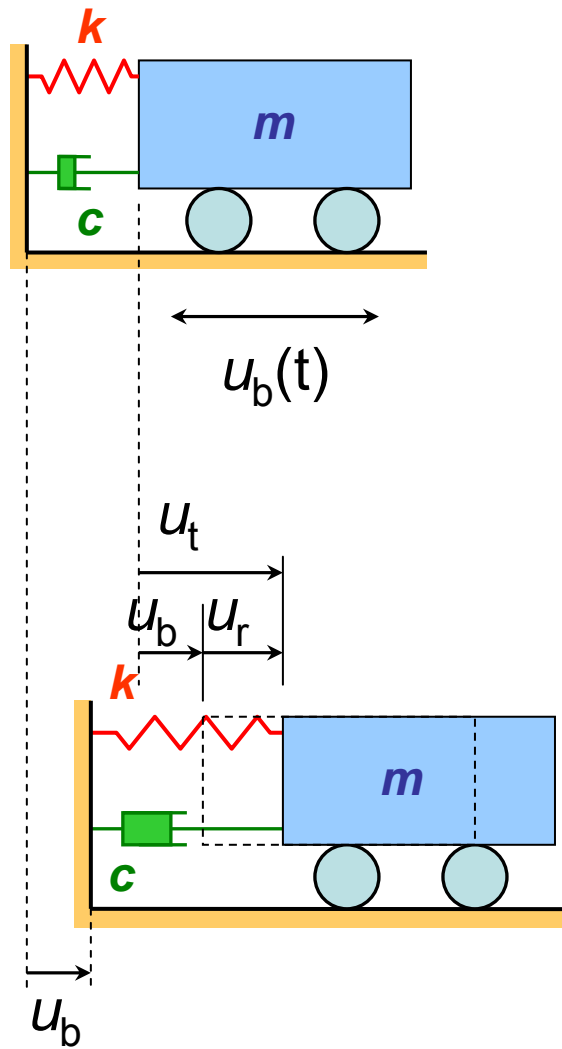
risposta  
sismica  
locale

interazione  
cinematica

interazione  
inerziale



# oscillatore elementare moto alla base



$$u_t = u_b + u_r$$

forze d'inerzia  $\rightarrow$  accelerazione totale

$$F_i(t) = m \cdot \ddot{u}_t(t)$$

smorzatore  $\rightarrow$  velocità relativa

$$F_c(t) = c \cdot \dot{u}_r(t)$$

molla  $\rightarrow$  spostamento relativo

$$F_k(t) = k \cdot u_r(t)$$

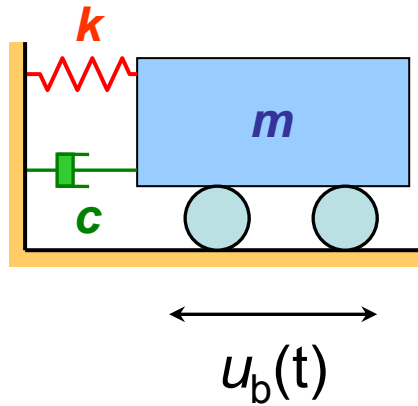
$$m(\ddot{u}_b + \ddot{u}_r) + c \dot{u}_r + k u_r = 0$$

$$m \ddot{u}_r + c \dot{u}_r + k u_r = \underbrace{-m \ddot{u}_b}_{\text{forzante equivalente}}$$

forzante  
equivalente

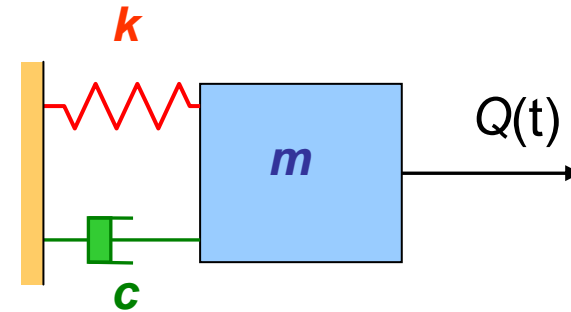


# interazione inerziale



moto alla base

moto relativo

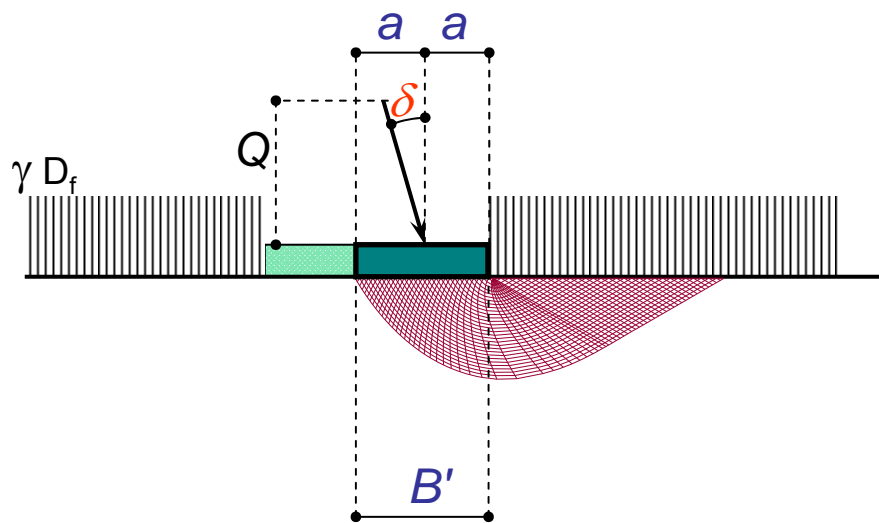
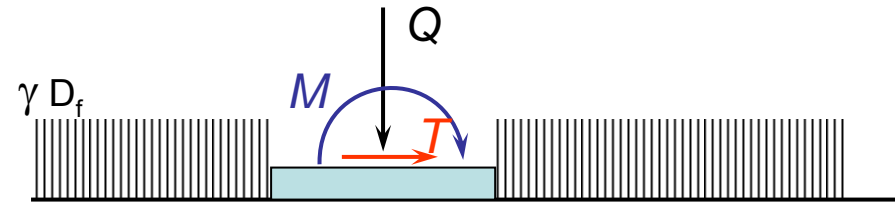
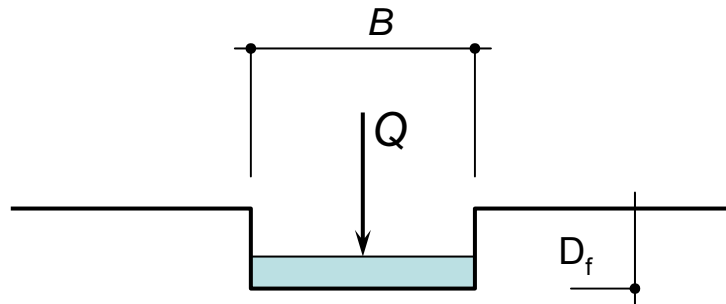


forzante equivalente

$$Q(t) = -m\ddot{u}_b$$

$$u(t) = u_r(t)$$

# interazione inerziale - fondazioni superficiali carico limite e scorrimento (GEO)



$\gamma, \varphi, c$

$$N_q, N_c, N_\gamma = f(\varphi)$$

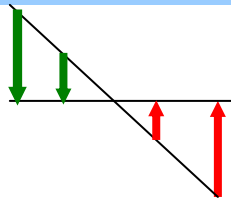
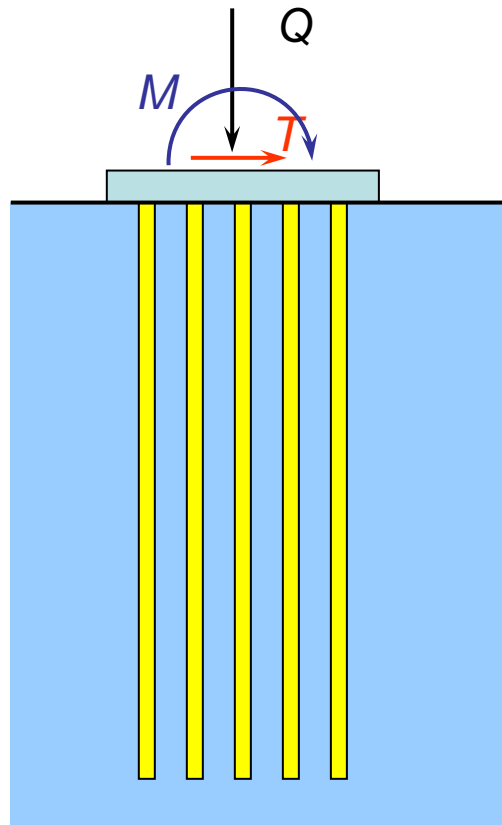
$$\xi_{sq}, \xi_{sc}, \xi_{s\gamma} = f(\delta)$$

$$Q_{lim}/B' = \xi_{sq} N_q \gamma D_f + \xi_{sc} N_c c + \xi_{s\gamma} N_\gamma \gamma B'/2$$

$$T_{lim} = c B' + Q \tan \varphi$$

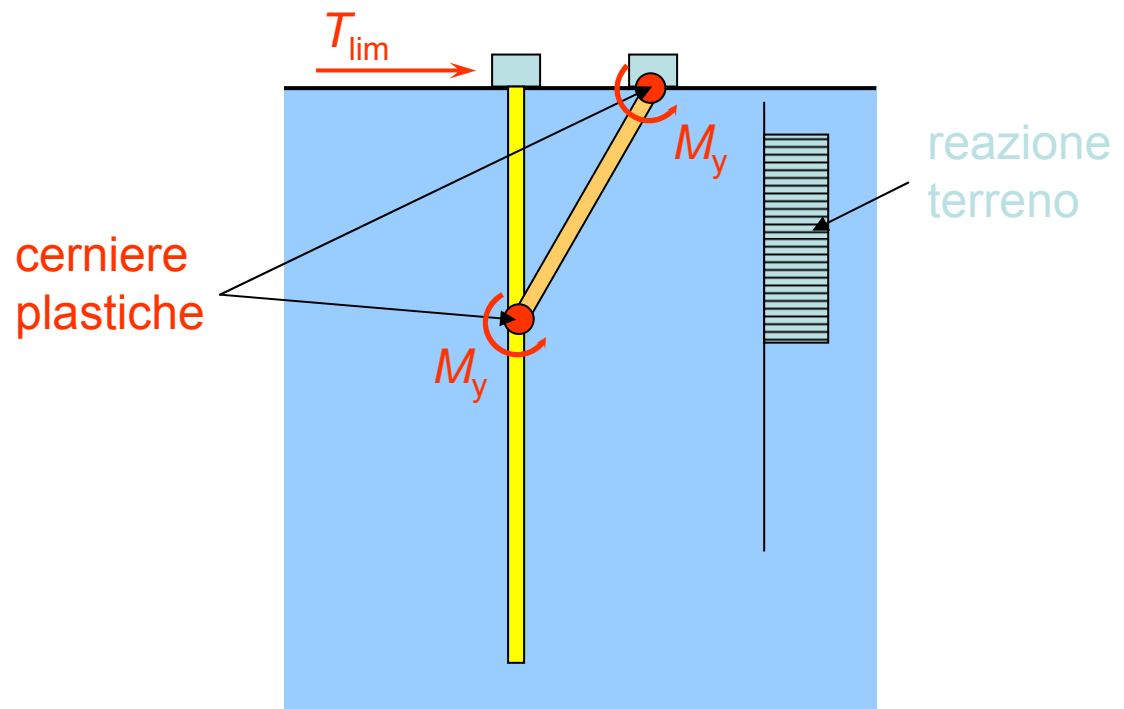


# interazione inerziale - fondazioni profonde carico limite (GEO)



effetto di  $M$ :  
incremento - decremento carico assiale

effetto di  $T$ :  
meccanismo di collasso per carichi trasversali (Broms)

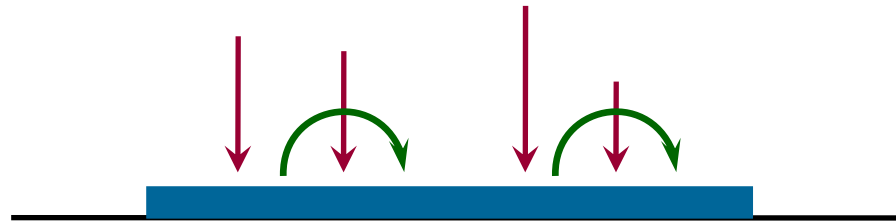


## interazione inerziale

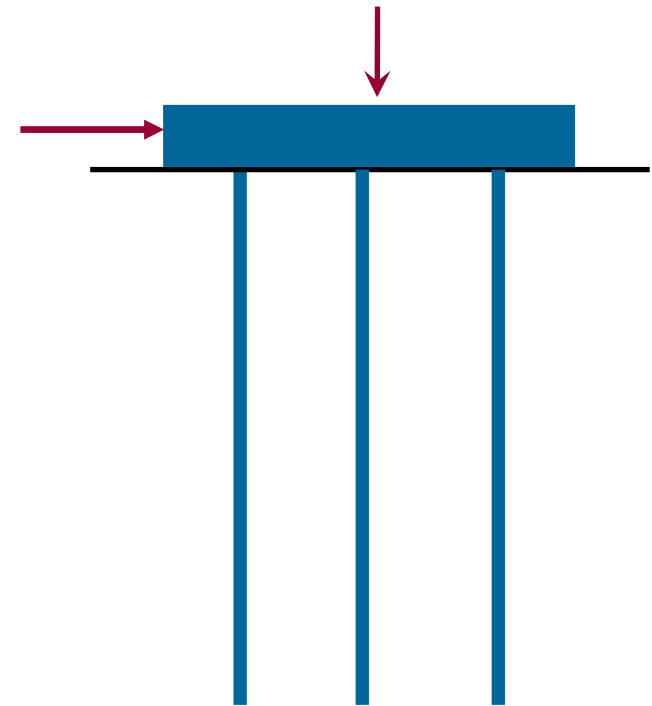
analisi strutturale (STR)

determinazione sollecitazioni negli elementi di fondazione

fondazioni superficiali



fondazioni profonde



terreno:

enfasi sulla **deformabilità**

es. Winkler, continuo elastico



# interazione inerziale - azioni in fondazione - NTC

## Combinazione fondamentale

$$\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times G_2 + \gamma_P \times P + \gamma_{Q1} \times 1 \times Q_{k1} + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \dots$$

## Combinazione sismica

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \dots$$

variano i coefficienti di combinazione

i coefficienti  $\gamma_G$ ,  $\gamma_Q$  sono unitari, indipendentemente dall'approccio di verifica scelto

# interazione inerziale - azioni in fondazione - NTC

Classi di Duttività (CD)

coefficiente di sovraresistenza

CD "A"

$$\gamma_{Rd} = 1.3$$

CD "B"

$$\gamma_{Rd} = 1.1$$

**azioni in fondazione: valori minimi fra:**

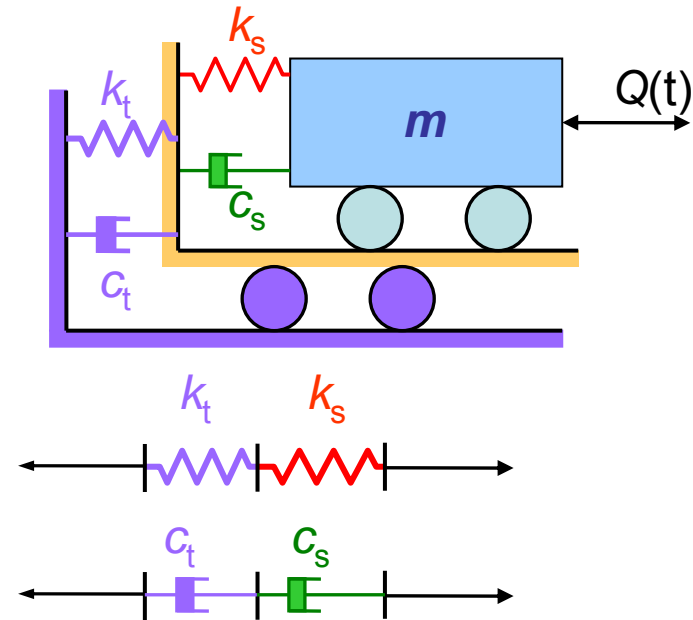
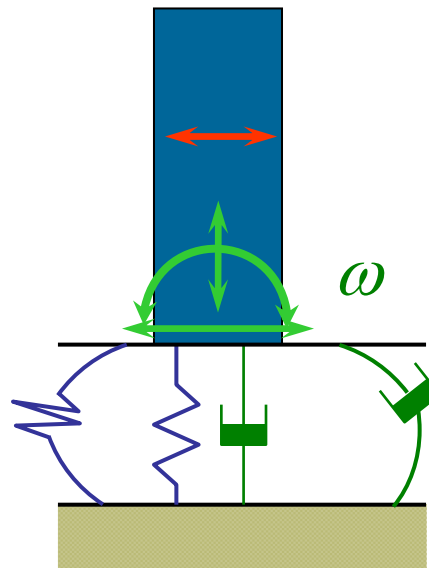
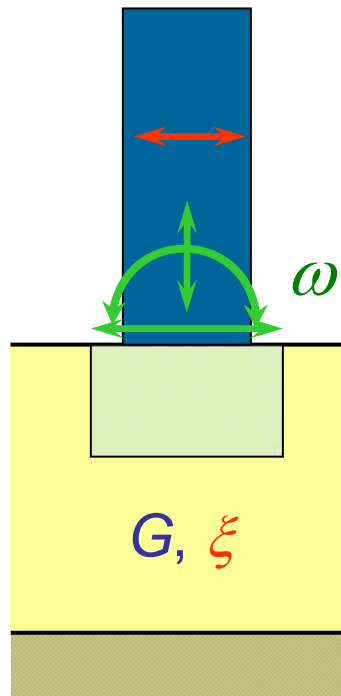
resistenze elementi strutturali sovrastanti

azioni trasmesse  $\times \gamma_{Rd}$

azioni trasmesse in campo elastico  $q = 1$



# interazione inerziale - fondazioni superficiali analisi strutturale (STR)



$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_t} + \frac{1}{k_s}$$

$$\xi_{eq} = \frac{c_{eq}}{2m\omega_{eq}}$$

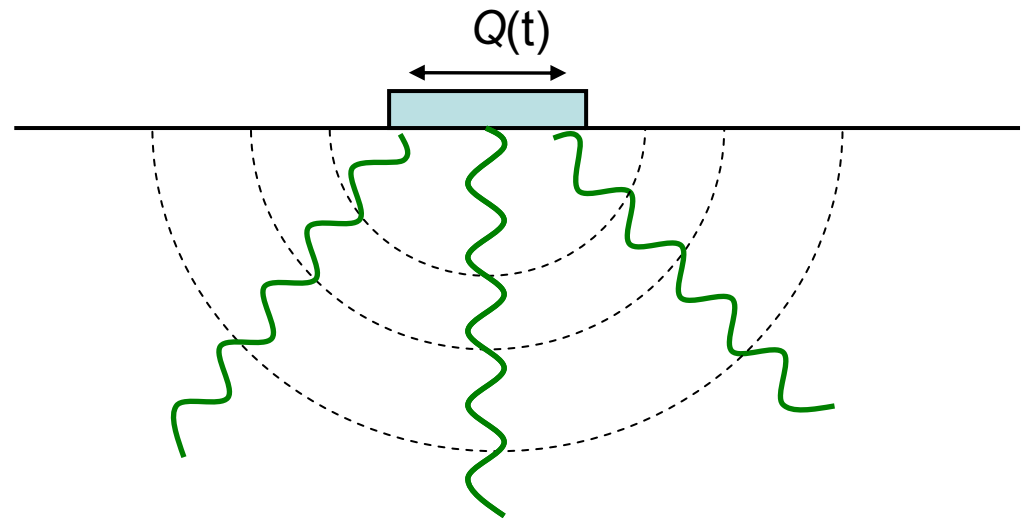
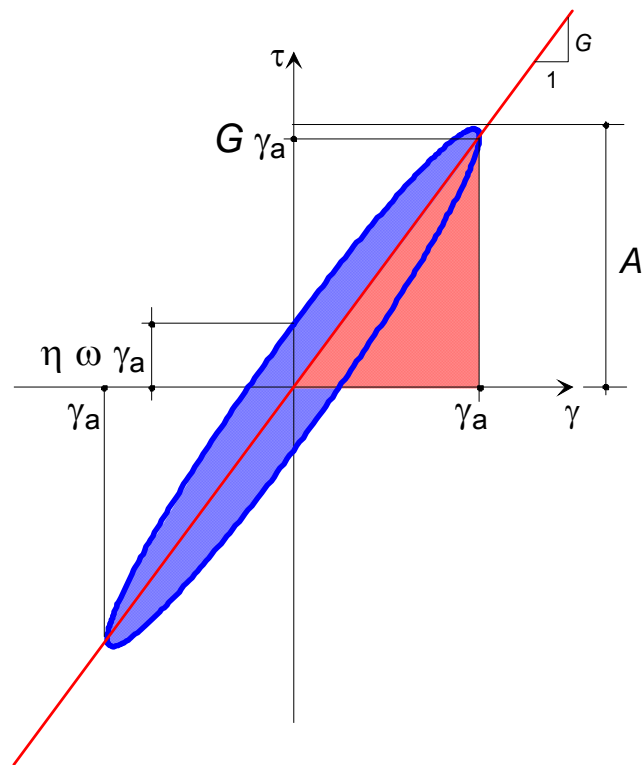
$$\frac{1}{\omega_{eq}^2} = \frac{1}{\omega_t^2} + \frac{1}{\omega_s^2}$$

riduzione pulsazione naturale

aumento smorzamento

## interazione con il terreno → due cause di smorzamento

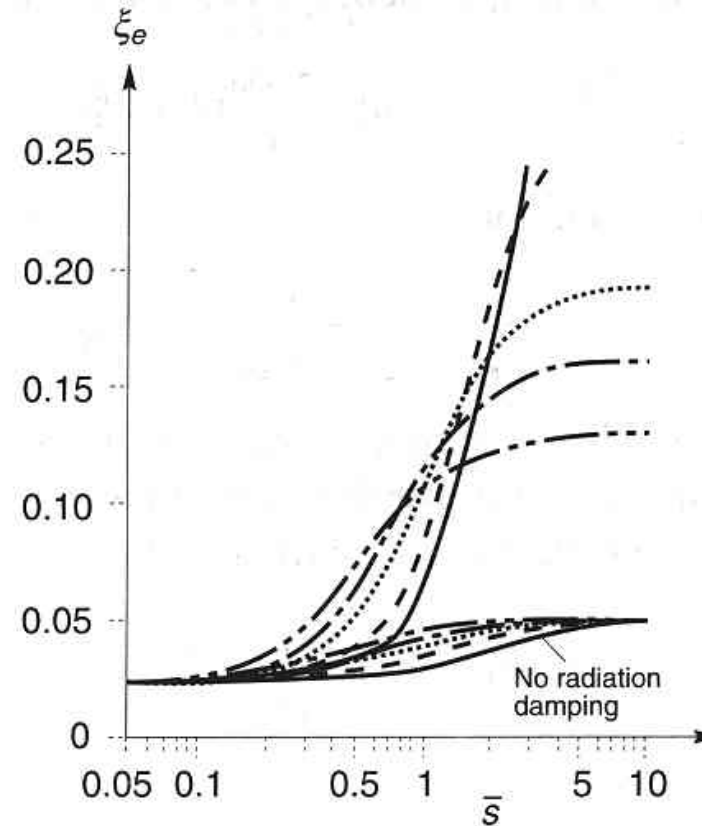
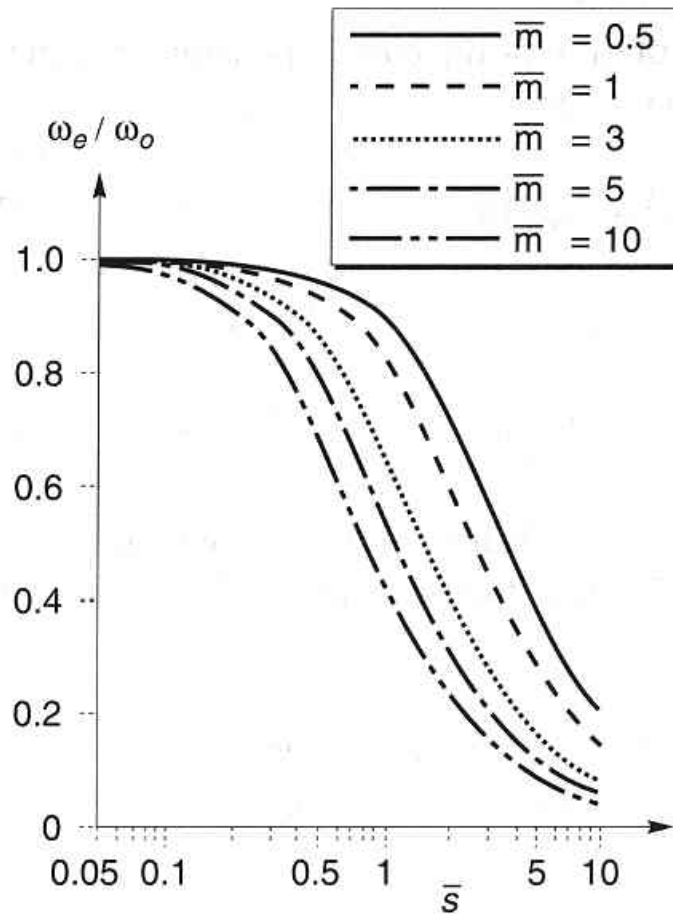
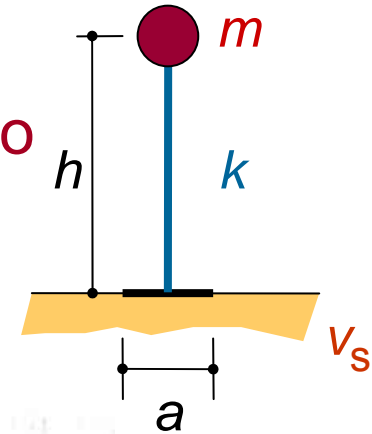
- smorzamento isteretico, legato al comportamento meccanico del terreno (es. sviluppo di deformazioni plastiche)
- smorzamento geometrico: fronte d'onda di dimensioni crescenti





- sistema a un grado di libertà
- fondazione circolare rigida su semispazio elastico

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$



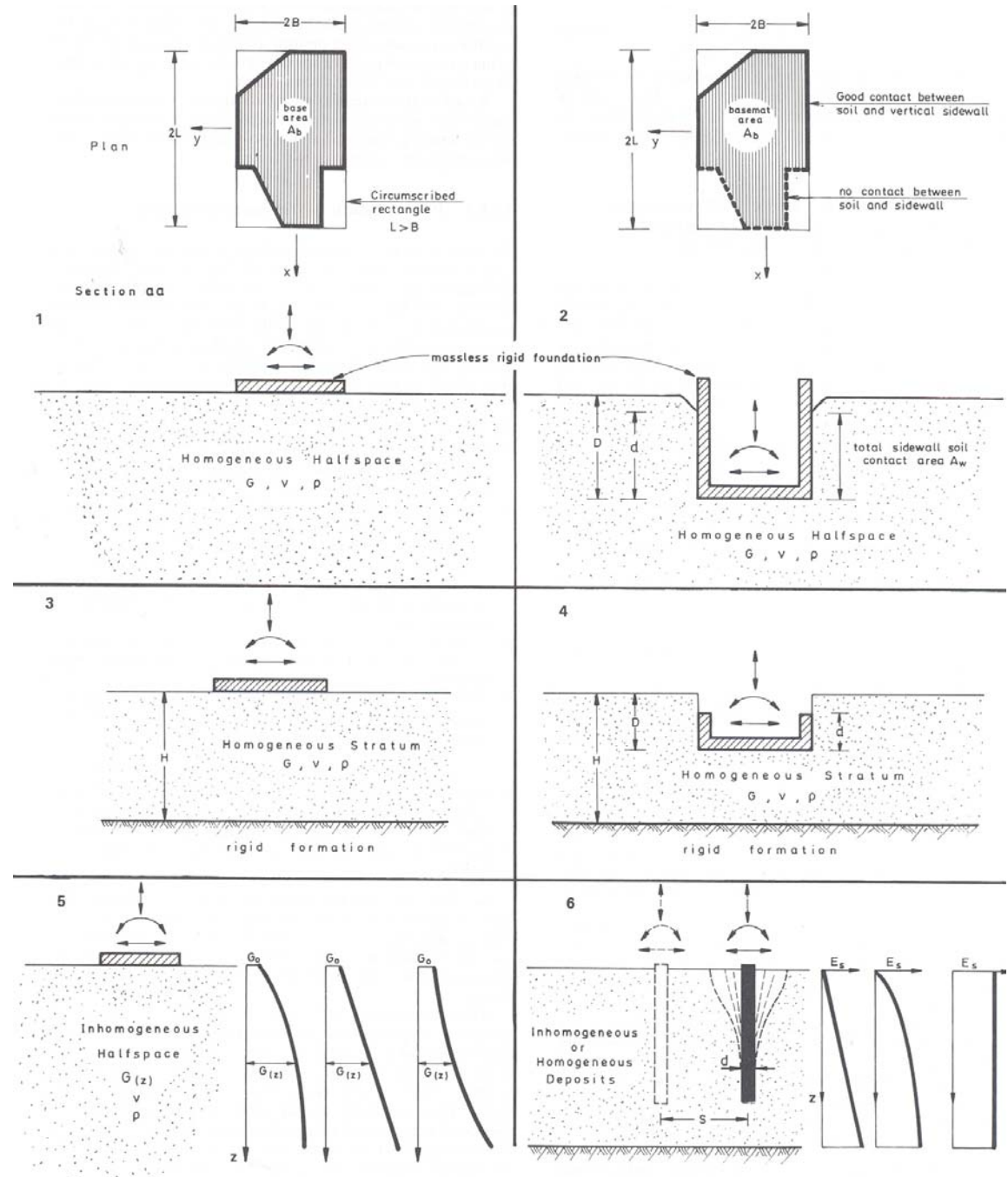
$$\bar{s} = \frac{\omega_0 \cdot h}{v_s}$$

$$\bar{m} = \frac{m}{\rho \cdot a^3}$$

Wolf (1985)

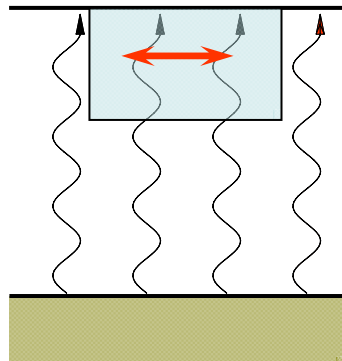
## NTC: 7.2.6

- $V_s < 100$  m/s
- Strutture alte e snelle

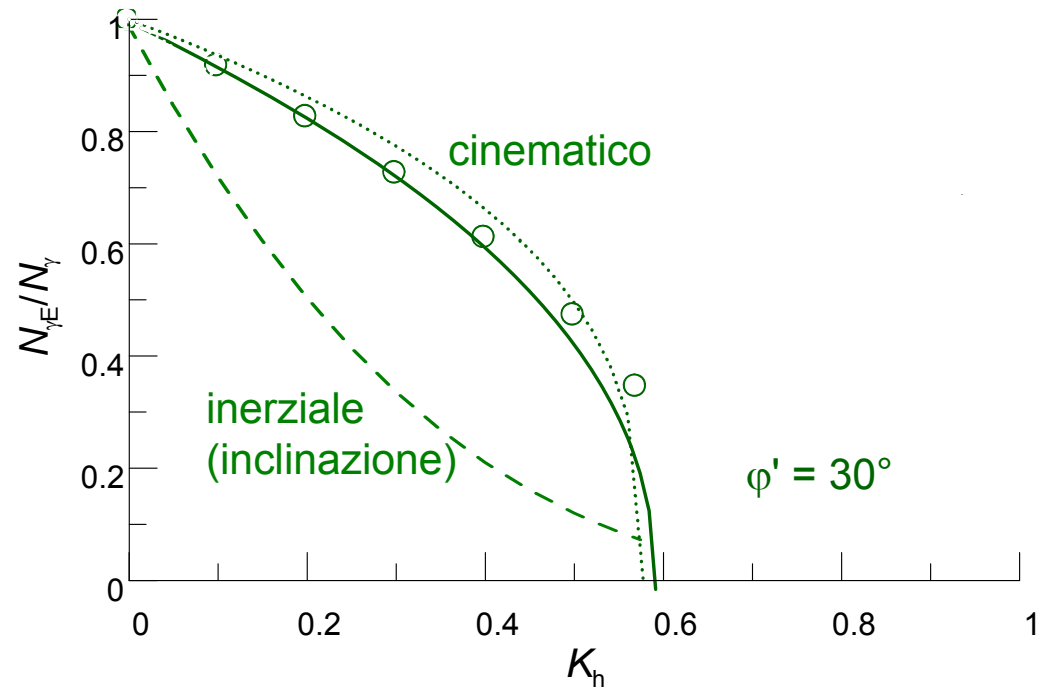
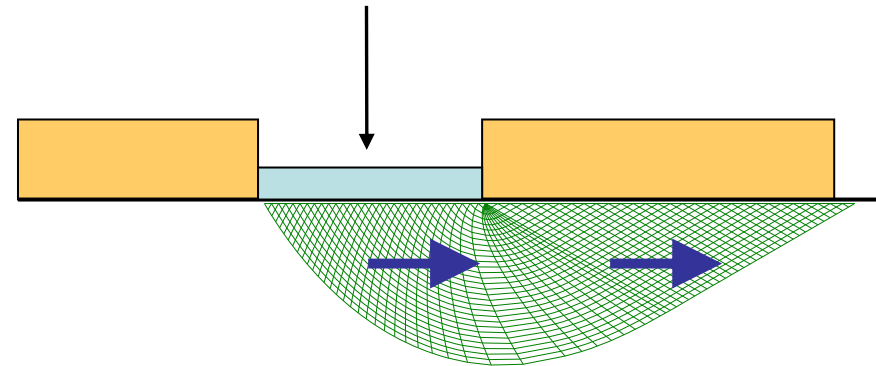


Gazetas (1990) *Foundation Vibrations*  
in: *Foundation Engineering Handbook*  
2nd edition - Fang ed.  
Van Nostrand Reinhold, NY, cap 15

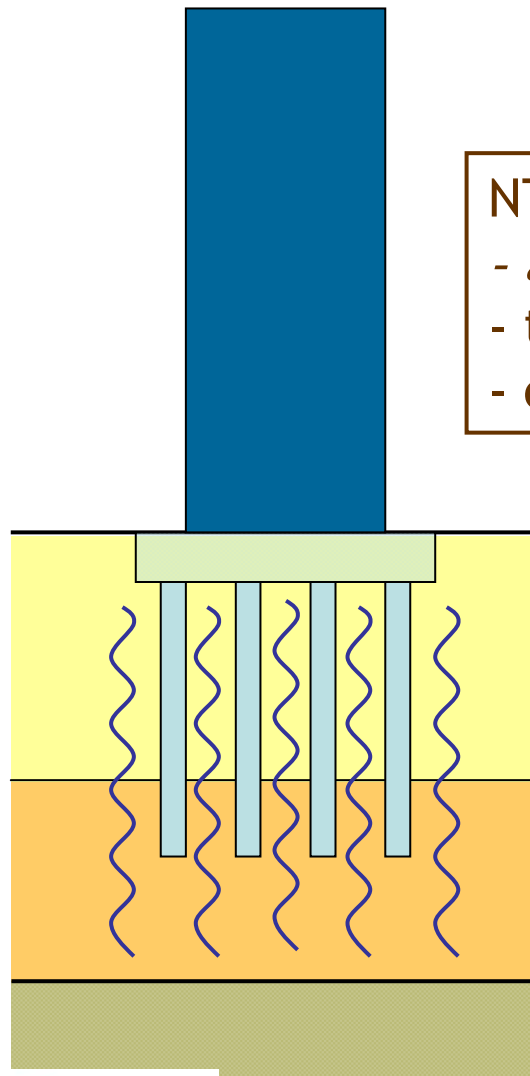
# interazione cinematica - fondazioni superficiali riduzione del carico limite (GEO)



interazione  
cinematica



# interazione cinematica - fondazioni profonde sollecitazioni flettenti aggiuntive (STR)

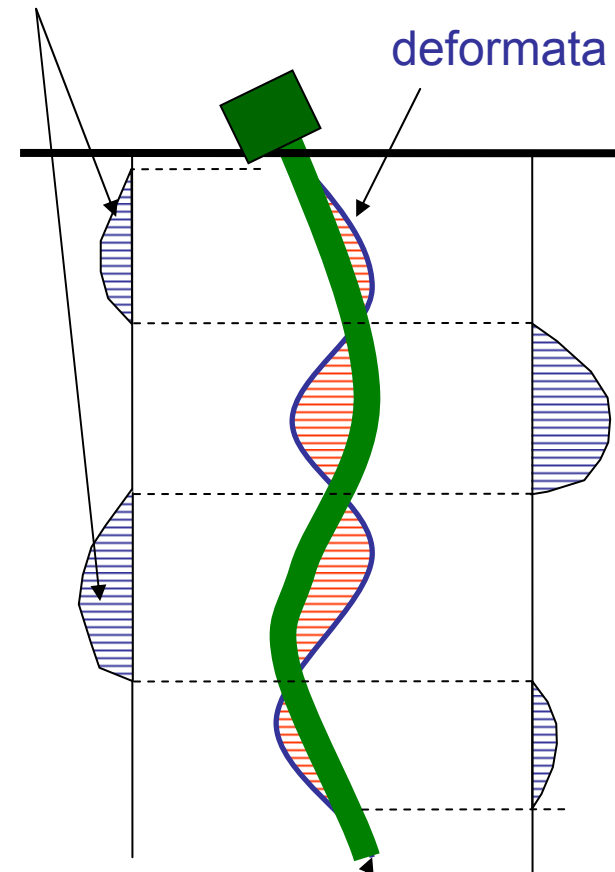


NTC:

- $a_g \geq 0.25 g$
- terreno tipo D
- contrasti rigidezza

pressioni sul palo

deformata terreno

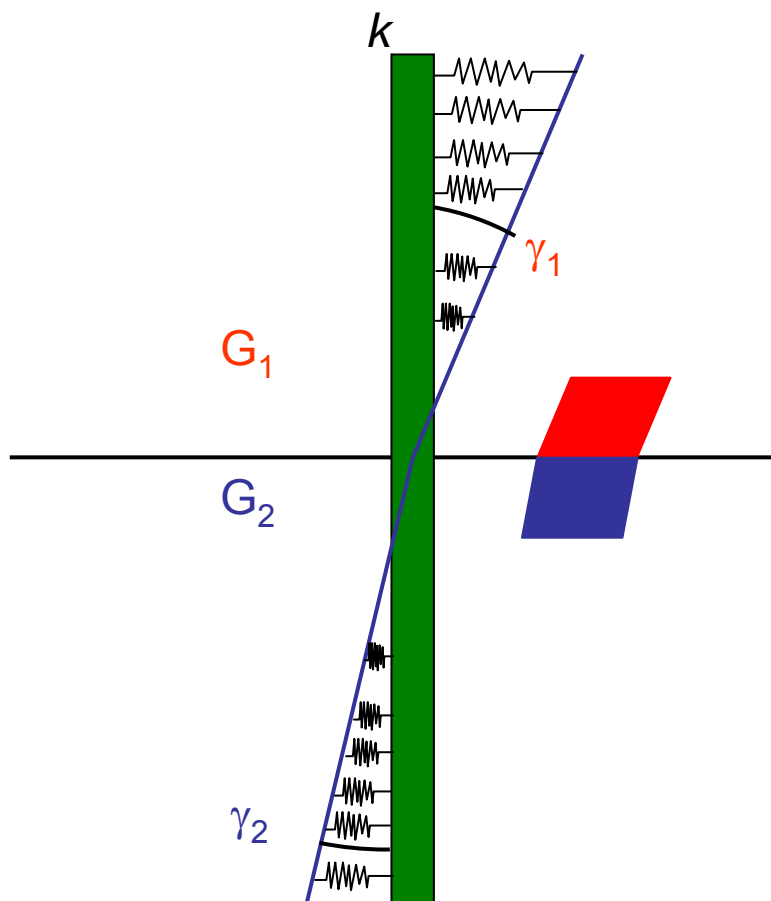


deformata palo



Dobry & O'Rourke (1983)  
 metodo della costante di sottofondo (Winkler)

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4EI}{k_1 D}}$$



$$M = \frac{2EI}{\lambda} \gamma_1 \cdot F \left( \frac{G_2}{G_1} \right)$$

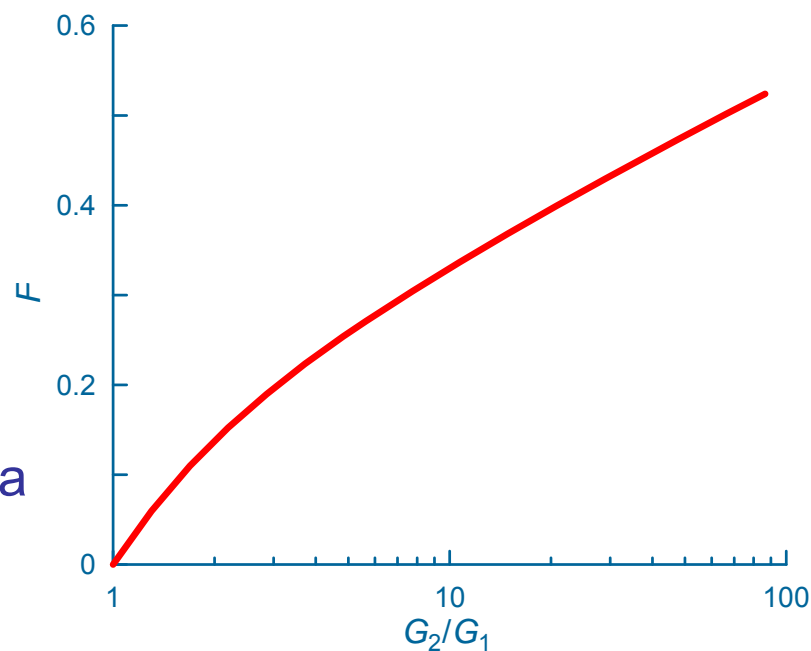
$$F = \frac{(1 - c^{-4})(1 + c^3)}{(1 + c)(c^{-1} + 1 + c + c^2)}$$

$$k = \frac{3G}{D}$$

$$G_1 \gamma_1 = G_2 \gamma_2 = \tau_{\max}$$

$$c = \sqrt[4]{\frac{G_2}{G_1}}$$

$G$  e  $\tau$  da analisi di risposta sismica  
 o da valutazioni semplificate



$D = 0.8\text{ m}$   
 $E = 30\text{ GPa}$   
 $EI = 603\text{ MNm}^2$

$a_{\text{max}} = 0.3\text{ g}$   
 $H = 20\text{ m}$   
 $r_d = 0.7$

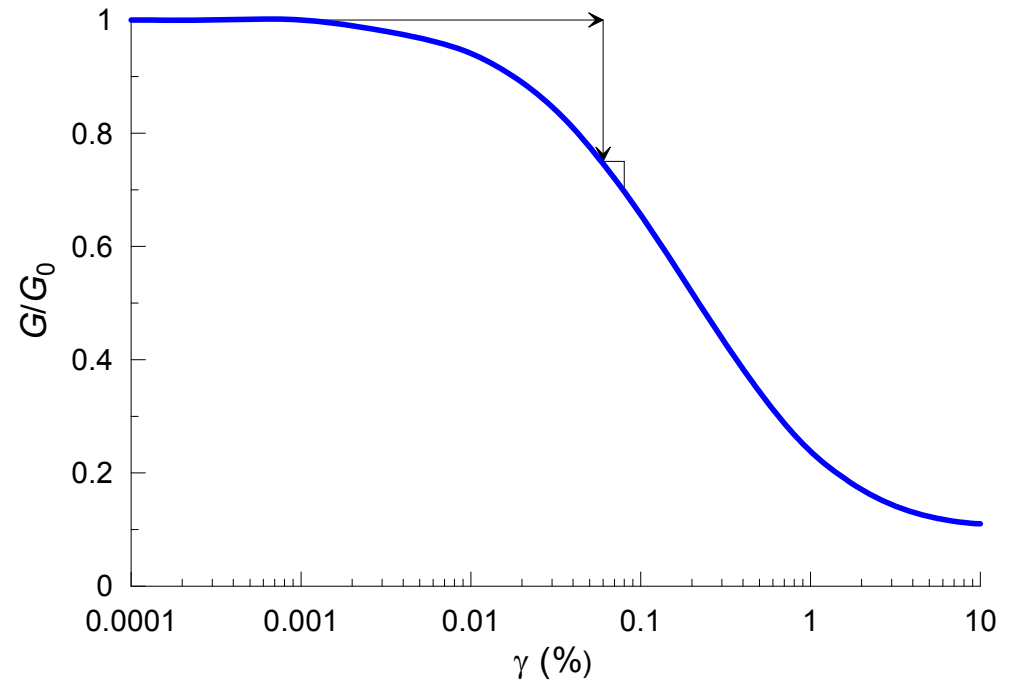
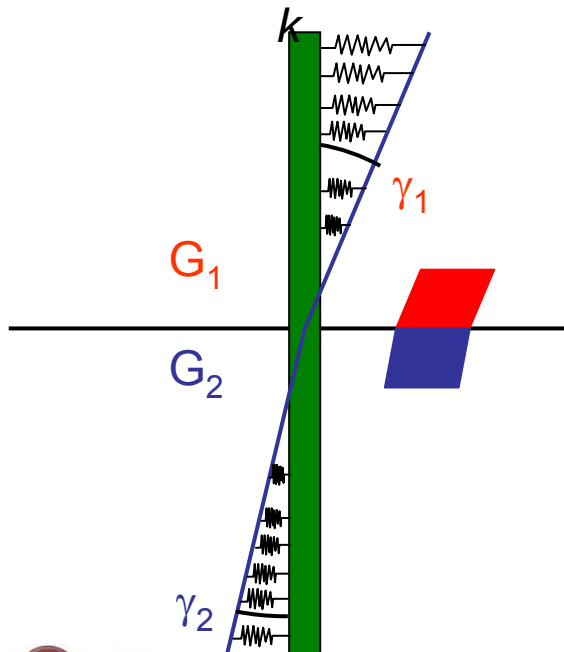
$\tau = 120\text{ kPa}$   
 $G_{01} = 200\text{ MPa}$   
 $G_1 = 0.7 G_{01} = 140\text{ MPa}$   
 $\gamma_1 = 0.086\%$

$$\lambda = 4 \sqrt{\frac{4EI}{k_1 D}} = 1.55\text{ m}$$

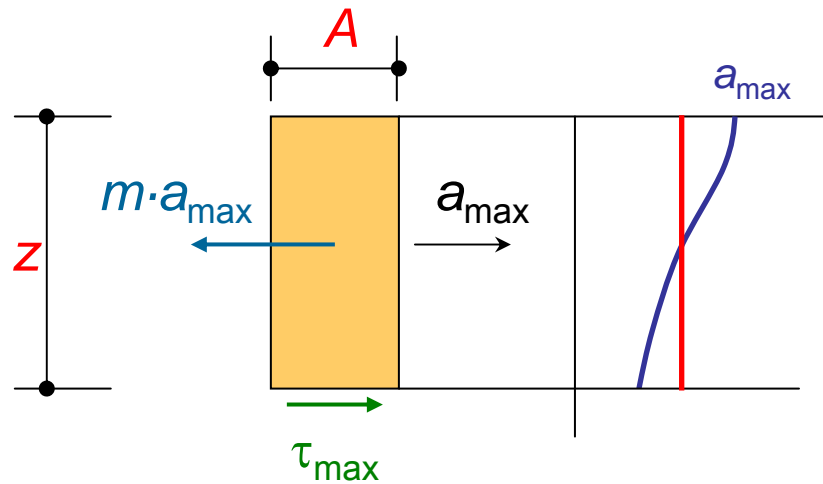
$$F \left( \frac{G_2}{G_1} \right) = 0.296$$

$G_2 = 1000\text{ MPa}$   
 $\gamma_2 = 0.012\%$

$$M = \frac{2EI}{\lambda} \gamma_1 \cdot F = 198\text{ kNm}$$



## valutazione semplificata

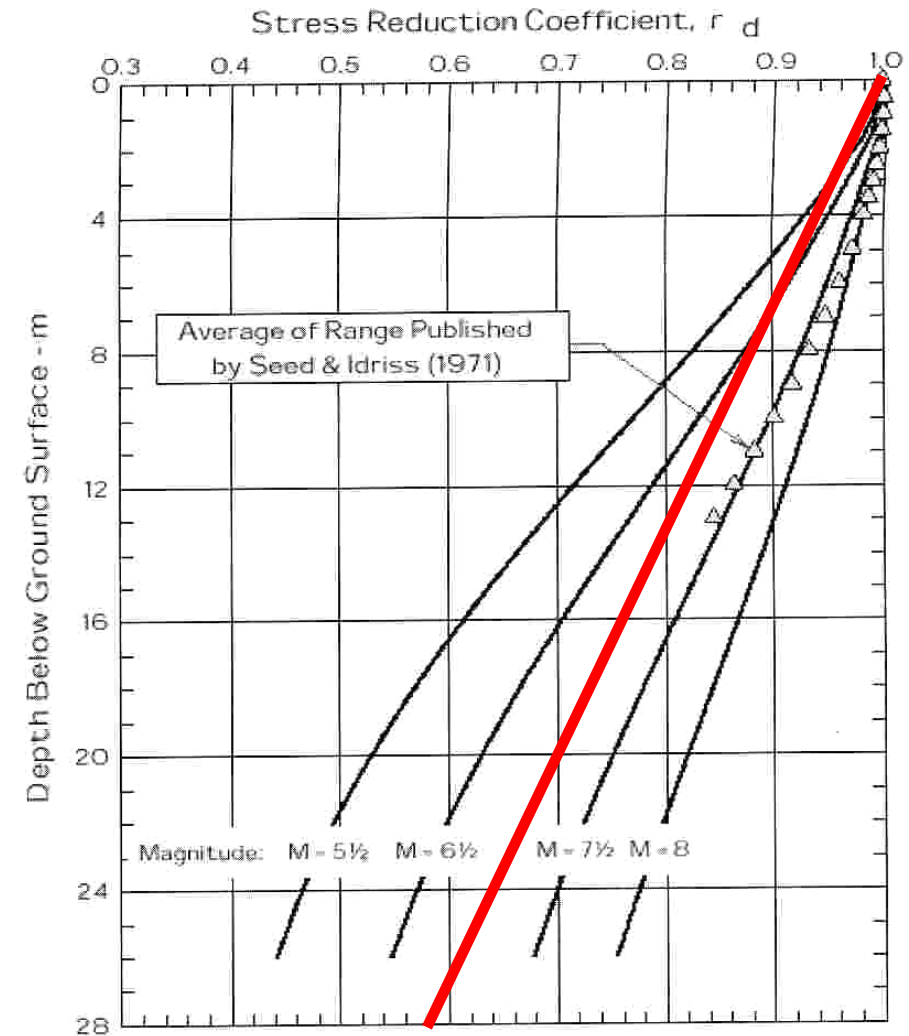


$$\tau_{\max} A = m \cdot a_{\max}$$

$$\tau_{\max} = \frac{m \cdot a_{\max}}{A} = \rho \cdot A \cdot z \frac{a_{\max}}{A} = \frac{\gamma}{g} \cdot z \cdot a_{\max}$$

$$\tau_{\max} = \sigma_v \frac{a_{\max}}{g} \cdot r_d$$

$$r_d = 1 - 0.015 z$$



Idriss e Golesorkhi (1997)

## fondazioni: criteri costruttivi

- tipologia unica
- elevata rigidezza orizzontale
- no plasticizzazioni
- armatura pali estesa a tutta la lunghezza  $A_{a-min} = 0.3 \%$
- evitare pali inclinati
- evitare cerniere plastiche nei pali

