

Incertezze  
e approcci per la sicurezza  
strutturale e geotecnica

5-6 giugno 2013

Aurelio Ghersi

## Approccio generale all'analisi strutturale e geotecnica

- Incertezze sulle azioni applicate alla struttura
- Incertezze sulla proprietà meccaniche (es. resistenza) dei materiali e del terreno



- Necessità di scegliere opportuni valori di riferimento
- Necessità di adottare opportuni coefficienti di sicurezza

## Quali valori di riferimento per i materiali strutturali ?

- Quello che succede in un singolo punto ha poca importanza
- Quello che succede in una zona un po' più ampia (ad esempio un concio di trave) può condizionare il comportamento o causare il collasso dell'intera struttura



- Il riferimento base deve essere una resistenza al di sotto della quale si può scendere solo raramente (solo nel 5% dei casi:  $f_k$  valore caratteristico)
- Quando si esamina il comportamento globale, a volte si usa come riferimento il valore medio  $f_m$  (edifici esistenti in zona sismica, comportamento duttile)

## Quali valori di riferimento per il terreno ?

- Quello che succede in un singolo punto o in zone un po' più ampie ha spesso poca importanza



- Il riferimento base devono essere le proprietà medie del terreno

La norma parla comunque di valore caratteristico ma definisce

"Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima **ragionata** e **cautelativa** del valore del parametro nello stato limite considerato"

## Quali valori di riferimento per il terreno ?

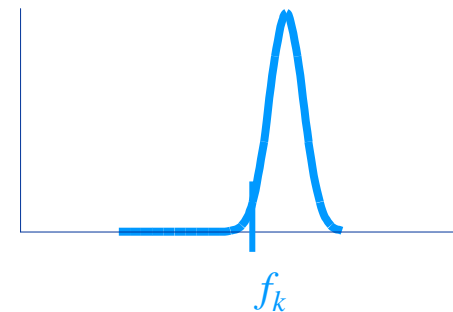
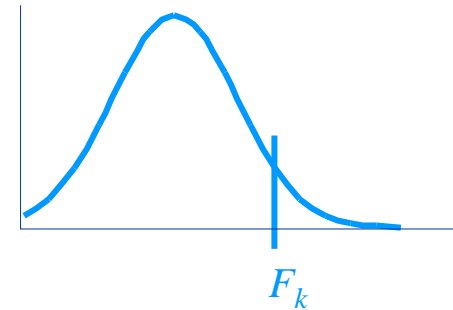
- Quello che succede in un singolo punto o in zone un po' più ampie ha spesso poca importanza



- Il riferimento base devono essere le proprietà medie del terreno
- Il terreno è spesso costituito da strati diversi, ma di solito si può far riferimento alle proprietà medie di ogni strato
- Attenzione: in certi casi diventa importante diversificare correttamente i terreni (es. cedimenti differenziali dovuti a terreni diversi in verticali distinte)

# Nel passato: strutture metodo delle tensioni ammissibili (TA)

- Per i carichi: valore di riferimento corrispondente ad un carico che solo raramente può essere superato (es. nel 5% dei casi, per tutta la vita della struttura)
- Per le resistenze: valore di riferimento corrispondente ad una resistenza al di sotto della quale si può scendere solo raramente (es. nel 5% dei casi)
- Applicazione di un coefficiente di sicurezza alle resistenze



$$\bar{\sigma}_c \cong \frac{f_{ck}}{3}$$

$$\bar{\sigma}_s \cong \frac{f_{yk}}{1.5}$$

## Nel passato: terreno calcolo "a rottura" (anche se il termine non è usato)

- Per i carichi: valore di riferimento corrispondente ad un carico che solo raramente può essere superato (es. nel 5% dei casi, per tutta la vita della struttura)
- Per le proprietà del terreno: valore di riferimento corrispondente a quello medio
- Applicazione di un coefficiente di sicurezza ai carichi limite

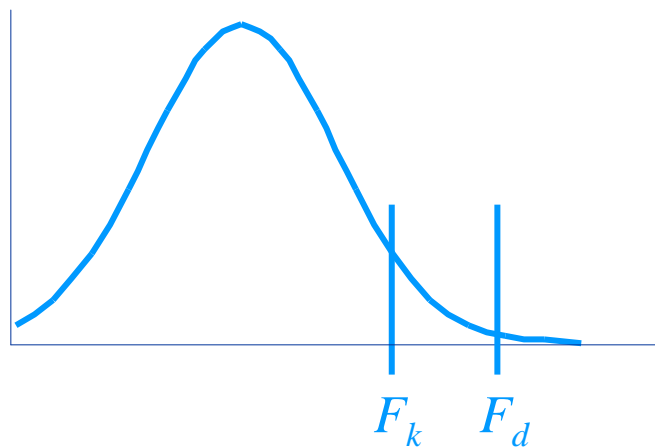
$$Q_{amm} \cong \frac{Q_{lim}}{3}$$

# Oggi: strutture verifica allo stato limite ultimo (SLU)

- Per i carichi: valore di riferimento corrispondente ad un carico che può essere superato solo in casi estremamente rari (es. nel 0.1% dei casi, per tutta la vita della struttura; oppure terremoto con  $T_r=475$  anni)
  - da valore caratteristico a valore di calcolo:

$$F_d = \gamma_F F_k$$

$\gamma_F$  coefficiente di  
sicurezza parziale



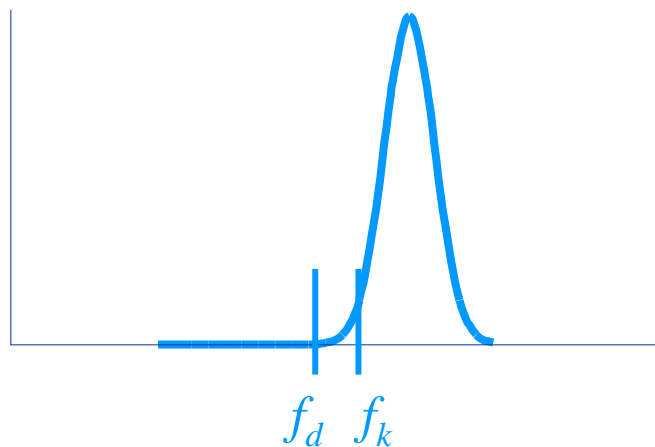


# Oggi: strutture verifica allo stato limite ultimo (SLU)

- Per le resistenze: valore di riferimento corrispondente ad una resistenza al di sotto della quale si può scendere solo in casi estremamente rari (es. nel 0.1% dei casi)
  - da valore caratteristico a valore di calcolo;

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$\gamma_M$  coefficiente di  
sicurezza parziale



## Oggi: terreno come dovrebbe essere ...

- Per i carichi: come per strutture, valore di riferimento corrispondente ad un carico che può essere superato solo in casi estremamente rari
  - da valore caratteristico a valore di calcolo:

$$F_d = \gamma_F F_k$$

$\gamma_F$  coefficiente di  
sicurezza parziale

- Per le proprietà del terreno: valore di riferimento corrispondente a situazioni al di sotto della quale si può scendere solo in casi estremamente rari (es. nel ??? dei casi)
  - da valore caratteristico a valore di calcolo;

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$\gamma_M$  coefficiente di  
sicurezza parziale

# Oggi: terreno

## Perché è difficile fare così ?

- C'è carenza di studi sperimentali che valutino la dispersione dei dati geotecnici e l'effetto di tale dispersione sul comportamento delle strutture
- Quasi tutte le formule che si usano nascono da dati sperimentali, tarati sul calcolo "a rottura"
- Le formule sono in molti casi fortemente non lineari al variare dei parametri geotecnici



Occorrerebbe "rifondare" la geotecnica, cioè riorganizzarla fin dall'inizio secondo i nuovi approcci ... ma per questo ci vuole molto tempo

## Oggi: terreno ... e come invece è

- Due distinti approcci (approccio 1 e approccio 2)

Notare:

- i risultati possono essere diversi
- tranne casi particolari, possiamo scegliere liberamente quale dei due usare

E la garanzia di uguale sicurezza dov'è finita?

- ... e vengono messe in mezzo pure le strutture
  - ma per le strutture non cambia niente nei due approcci

Era meglio non parlarne proprio

# Oggi: terreno

## In generale

- Per le proprietà del terreno: valore di riferimento determinato mediante un coefficiente di sicurezza parziale

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$\gamma_M$  coefficiente di  
sicurezza parziale

- E poi applicazione di un coefficiente di sicurezza ai carichi limite

$$q_{Rd} = \frac{q_{lim}}{R}$$

$R$  ulteriore coefficiente  
di sicurezza

Approccio misto, tra SLU e calcolo a rottura

# Oggi: terreno

## In particolare

### Approccio 1 (combinazione 2)

- Per i carichi: valore di riferimento corrispondente ad un carico (A2) che può essere superato solo in casi molto (ma non estremamente) rari

$$g_d = g_k \qquad q_d = 1.3 q_k$$

- Si applicano i coefficienti M2 alle proprietà del terreno (es.  $\gamma_{\phi'}=1.25$ ,  $\gamma_{cu}=1.4$ )
- Si applicano i coefficienti R2 ai carichi limite (es. capacità portante fondazioni dirette  $R=1.8$ )

Nota: questo ha senso solo in assenza di sisma

# Oggi: terreno

## In particolare

### Approccio 2

- Per i carichi: valore di riferimento corrispondente ad un carico (A1) che può essere superato solo in casi estremamente rari

$$g_d = 1.3 g_k \quad q_d = 1.5 q_k$$

- Si applicano i coefficienti M1 alle proprietà del terreno (sempre unitari)
- Si applicano i coefficienti R3 ai carichi limite (es. capacità portante fondazioni dirette R=2.3)

È un modo per operare così come si faceva nel passato

# Approcci per verifica SLU

Normativa:

- Approccio 1
  - Combinazione 1:  $(A1+M1+R1)$
  - Combinazione 2:  $(A2+M2+R2)$
- Approccio 2
  - $(A1+M1+R3)$

Nota:

A = coefficienti per azioni

M = coefficienti per materiali (calcestruzzo, acciaio, terreno)

R = coefficienti per resistenza sistema



# Approcci per verifica SLU per tutti gli elementi strutturali

incluso fondazioni

Normativa:

- Approccio 1

- Combinazione 1:  $(A1+M1+R1)$
- Combinazione 2:  $(A2+M2+R2)$



Secondo me è  
proprio inutile  
citare questi  
approcci quando si  
parla di struttura

- Approccio 2

- $(A1+M1+R3)$



Per calcestruzzo e acciaio coefficienti  $\gamma_c$  e  $\gamma_s$

Per il terreno coefficienti = 1

I coefficienti R in realtà non intervengono proprio

Quindi non sono due approcci diversi

# Approcci per verifica SLU per le verifiche geotecniche

Normativa:

- Approccio 1
  - Combinazione 1:  $(A1+M1+R1)$
  - Combinazione 2:  $(A2+M2+R2)$  ←
- Approccio 2
  - $(A1+M1+R3)$  ←

## ... in definitiva

Per gli elementi strutturali, incluse le fondazioni, esiste un unico approccio

$A1 + M1$

cioè con

- azioni incrementate dai coefficienti  $\gamma_F$  ( $\gamma_{G1}$   $\gamma_{G2}$   $\gamma_Q$ ) della tabella 2.6.I, colonna  $A1$
- proprietà dei materiali strutturali ridotte dei coefficienti  $\gamma_M$  riportati per ogni materiale nel capitolo 4
- proprietà del terreno (ove occorrano) nominali, non ridotte

... in definitiva

Per le verifiche geotecniche d'ora in poi parlerò di

- Approccio 1      ( $A_2+M_2+R_2$ )
- Approccio 2      ( $A_1+M_1+R_3$ )

senza più citare le combinazioni

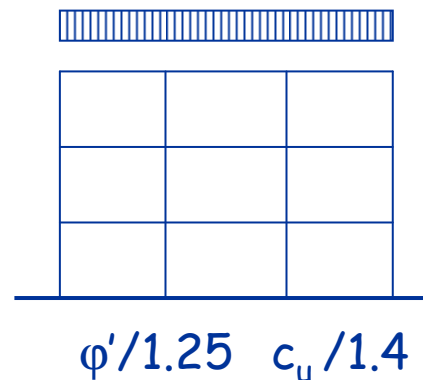
# Approcci per verifica SLU per le verifiche geotecniche

Per soli carichi verticali (senza sisma):

→ di sisma parlerò dopo

## Approccio 1

Carichi più piccoli  
Parametri terreno  
ridotti  
Resistenza ridotta



$$g_k + 1.3 q_k$$

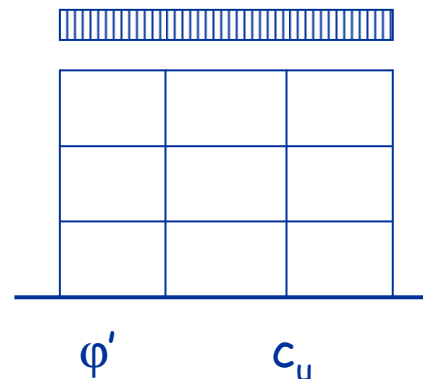
struttura

terreno

$$R_2 = 1.8$$

## Approccio 2

Carichi incrementati  
Parametri terreno  
non ridotti  
Resistenza più ridotta



$$1.3 g_k + 1.5 q_k$$

struttura

terreno

$$R_3 = 2.3$$

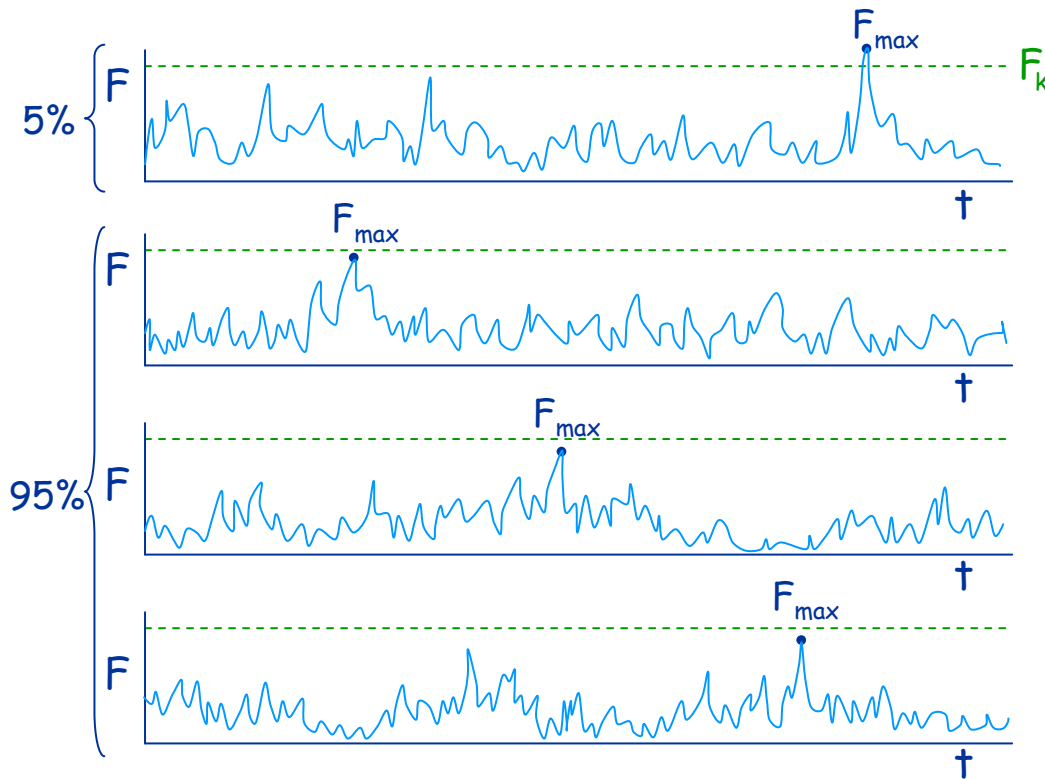
# Verifica SLE

## per le verifiche geotecniche

- Analogamente al caso delle strutture, non bisogna apportare modifiche ai parametri meccanici  
Quindi per il terreno si usano i soliti valori, senza coefficienti per modificarli
- Si fa riferimento alle combinazioni di carico per SLE (rara, frequente, quasi permanente)  $G_k + \psi Q_k$
- Si valutano i cedimenti del terreno sotto tali carichi e se ne controlla l'accettabilità  
Sono importanti soprattutto gli abbassamenti relativi, che possono pregiudicare l'uso dell'edificio ma anche il funzionamento della struttura

# Nelle combinazioni di carico SLE azioni variabili

Valore caratteristico  $F_k$

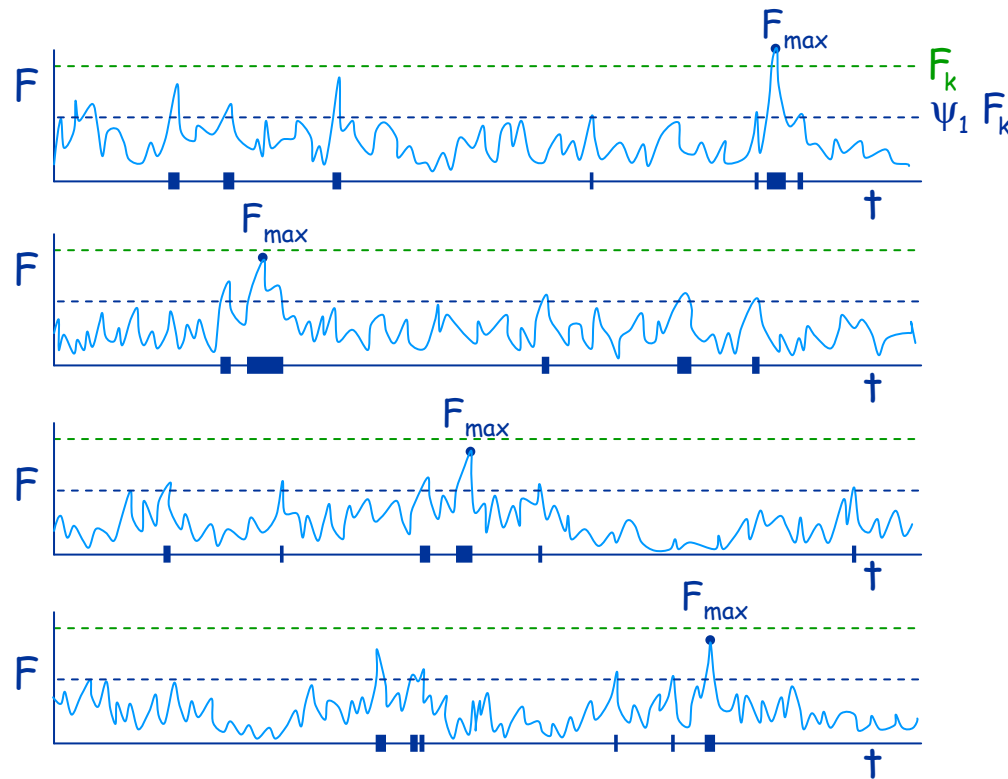


È il frattile 95% dei valori massimi che si hanno in un periodo di riferimento

Cioè è superato durante il periodo di riferimento solo nel 5% degli edifici

# Nelle combinazioni di carico SLE azioni variabili

Valore frequente  $\psi_1 F_k$



È il frattile 95% della  
distribuzione temporale in  
un periodo di riferimento

Cioè è superato solo nel 5%  
del periodo di riferimento

$\psi_1$  dipende dal tipo di carico

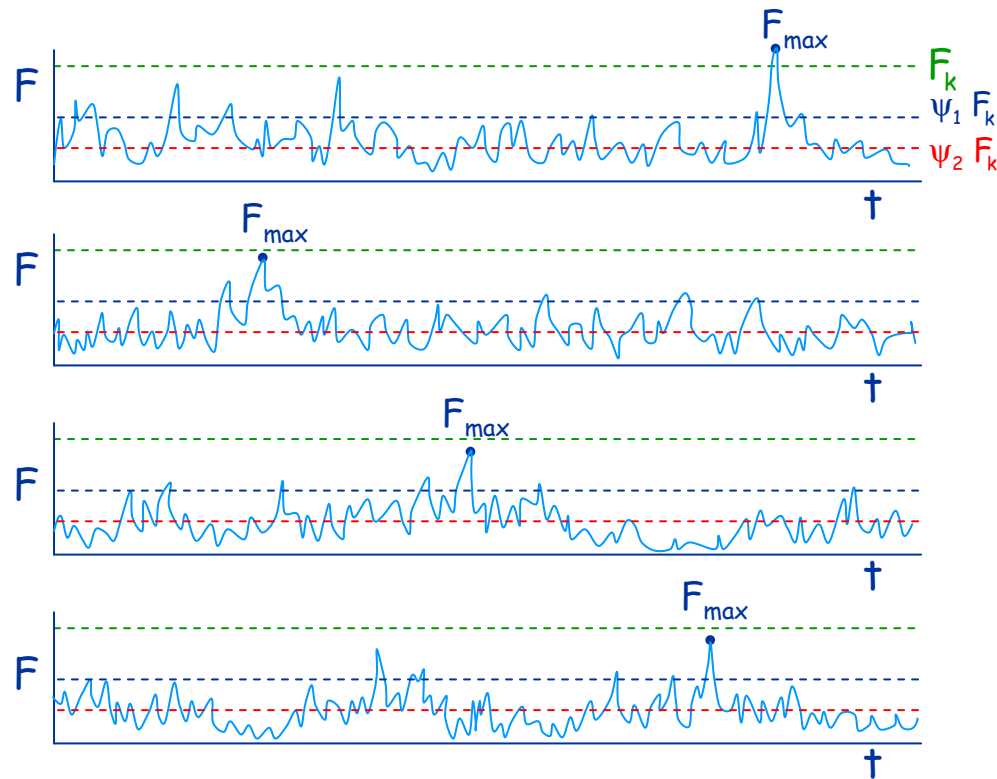
$\psi_1 = 0.5$  carico variabile per  
abitazione

0.2 per vento



# Nelle combinazioni di carico SLE azioni variabili

Valore quasi permanente  $\psi_2 F_k$



È la media della  
distribuzione temporale in  
un periodo di riferimento

$\psi_2$  dipende dal tipo di carico

$\psi_2 = 0.3$  c. var. per abitazione  
0 per vento

# Verifica SLE

## per le verifiche geotecniche

Quali combinazioni di carico usare?

- Non mi risultano particolari indicazioni di normativa
- La logica suggerisce:
  - per terreni a grana grossa, per i quali i cedimenti avvengono in breve tempo:  
usare i valori frequenti del carico variabile
  - per terreni a grana fine, per i quali i cedimenti avvengono solo dopo parecchio tempo:  
usare i valori quasi permanenti del carico variabile