

Corsi di aggiornamento  
Progettazione strutturale e  
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Villa Redenta, Spoleto  
settembre 2010 - maggio 2011

Organizzati da Aurelio Gherzi

Con il patrocinio degli Ordini degli ingegneri delle province di  
Perugia, Oristano, Parma, Ascoli Piceno, Ancona, Rimini, Teramo,  
Terni e dell'ATE, Associazione Tecnologi dell'Edilizia



Corso di aggiornamento  
Progettazione strutturale e  
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

## Progettazione strutturale e geotecnica di fondazioni e opere di sostegno

## 1 - Problematiche generali e approcci di normativa

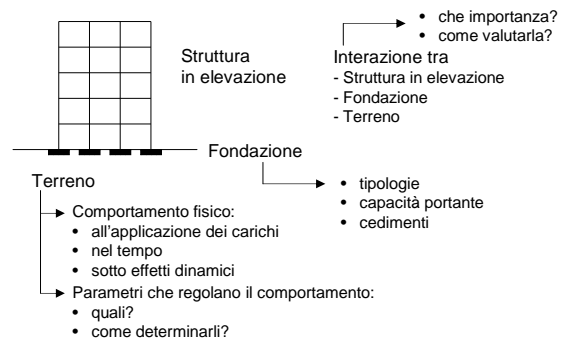
Spoletto  
17-19 febbraio 2011

Aurelio Ghersi

## Obiettivi del corso

- Fornire le basi concettuali per affrontare le problematiche geotecniche
  - Basi di meccanica dei terreni, per la comprensione del comportamento fisico dei terreni e della sua modellazione
  - Conoscenza di terminologia e simbologia usati in ambito geotecnico
- Vedere in che modo questi concetti si applicano nella progettazione strutturale/geotecnica

## Alcune problematiche



## Incertezze e approcci per la sicurezza

# 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 ?

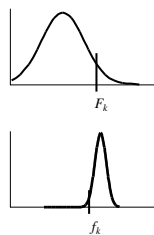
- Quello che succede in un singolo punto ha poca importanza
  - Quello che succede in una zona un po' più ampia (ad esempio un concio di trave) può condizionare il comportamento o causare il collasso dell'intera struttura
- ↓
- Il riferimento base deve essere una resistenza al di sotto della quale si 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
  - Il terreno è spesso costituito da strati diversi, ma di solito si può far riferimento alle proprietà medie dei diversi strati
  - **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



$$\bar{\sigma}_c \equiv \frac{f_{ck}}{3} \quad \bar{\sigma}_s \equiv \frac{f_{yk}}{1.5}$$

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

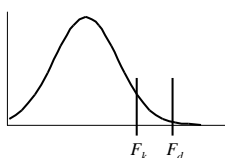
- Per i carichi: valore di riferimento corrispondente ad un carico che solo raramente può essere superato (es. nel 5% dei casi, per tutta la vita della struttura)
- Per le proprietà del terreno: valore di riferimento corrispondente a quello medio
- Applicazione di un coefficiente di sicurezza ai carichi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

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

### 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:

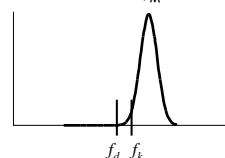
$$F_d = \gamma_F F_k \quad \gamma_F \text{ coefficiente di sicurezza parziale}$$



### 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:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \quad \gamma_M \text{ coefficiente di sicurezza parziale}$$



### 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:

$$F_d = \gamma_F F_k \quad \gamma_F \text{ coefficiente di sicurezza parziale}$$

- 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:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \quad \gamma_M \text{ coefficiente di sicurezza parziale}$$

### 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

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \quad \gamma_M \text{ coefficiente di sicurezza parziale}$$

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

$$q_{Rd} = \frac{q_{lim}}{R} \quad R \text{ ulteriore coefficiente di sicurezza}$$

Approccio misto, tra SLU e calcolo a rottura

### Oggi: terreno In particolare

#### Approccio 1

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

$$g_d = g_k \quad g_d = 1.3 g_k$$

- 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

NTC 08, punti 2.6.1 e 6.4.2.1

### 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

Normativa:

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

→ incluso fondazioni

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

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

$A1 + M1$

come si è sempre visto nei corsi precedenti

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  $(A2+M2+R2)$
- Approccio 2  $(A1+M1+R3)$

senza più citare le combinazioni

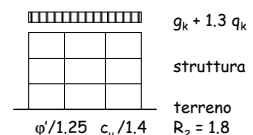
## Approcci per verifica SLU per le verifiche geotecniche

Per soli carichi verticali (senza sisma):

→ di sisma parlerò dopo

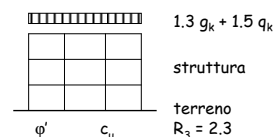
### Approccio 1

Carichi più piccoli  
 Parametri terreno ridotti  
 Resistenza ridotta



### Approccio 2

Carichi incrementati  
 Parametri terreno non ridotti  
 Resistenza più ridotta

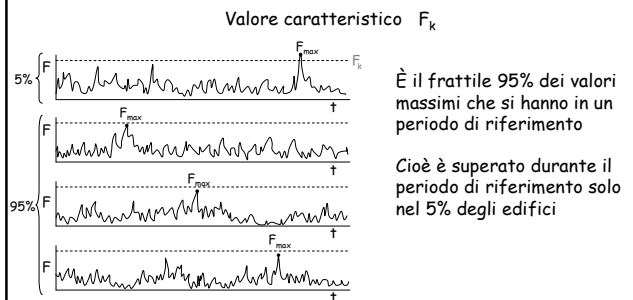


## Verifica SLE per le verifiche geotecniche

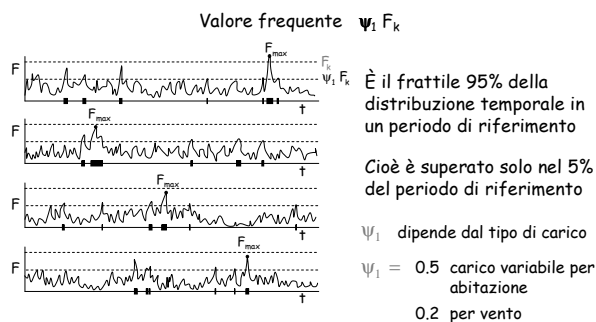
- Analogamente al caso delle strutture, non bisogna apportare modifiche ai parametri meccanici  
Quindi per il terreno si usano i soliti valori, senza coefficienti per modificarli
- Si fa riferimento alle combinazioni di carico per SLE (rara, frequente, quasi permanente)  $G_k + \psi Q_k$
- Si valutano 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

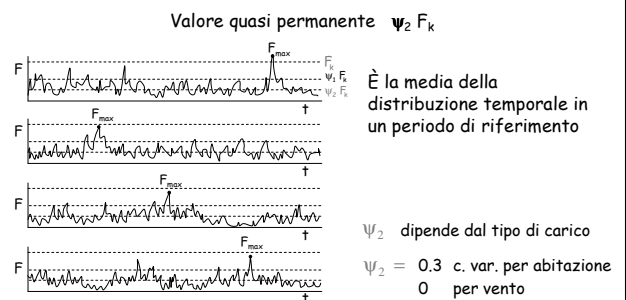
## Nelle combinazioni di carico SLE azioni variabili



## Nelle combinazioni di carico SLE azioni variabili



## Nelle combinazioni di carico SLE azioni variabili



## 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