

- 1 PREMESSE
- 2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE
- 3 AZIONI SULLE COSTRUZIONI
- 4 COSTRUZIONI CIVILI E INDUSTRIALI
- 5 PONTI
- 6 PROGETTAZIONE GEOTECNICA
- 7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE
- 8 COSTRUZIONI ESISTENTI
- 9 COLLAUDO STATICO
- 10 REDAZIONE DEI PROGETTI STRUTTURALI ESECUTIVI E DELLE RELAZIONI DI CALCOLO
- 11 MATERIALI E PRODOTTI AD USO STRUTTURALE
- 12 RIFERIMENTI TECNICI

## Documenti di riferimento

- NTC 2008 e circolare esplicativa
- EN 1990. Eurocode–Basis of Design
- EN 1997-1. Eurocode7: Geotechnical Design –Part 1: General Rules.
- EN 1998-1. Eurocode8: Design of structures for earthquake resistance -Part 1: General Rules, seismic actions and rules for buildings.
- EN 1998-5. Eurocode8: Design of structures for earthquake resistance -Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects
- AGI (2005). Linee guida sugli aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica

## 2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

...

### 2.2. REQUISITI DELLE OPERE STRUTTURALI

#### 2.2.1. STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

- a) perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte, considerati come corpi rigidi;
- b) spostamenti o deformazioni eccessive;
- c) raggiungimento della massima capacità di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- d) Raggiungimento della massima capacità della struttura nel suo insieme;
- e) Raggiungimento di una condizione di cinematismo irreversibile;
- f) Raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- g) rottura di membrane e collegamenti per fatica;
- h) rottura di membrane e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- i) instabilità di parti della struttura o del suo insieme;

Altri stati limite ultimi sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite Ultimi comprendono gli Stati Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e gli Stati Limite di prevenzione del Collasso (SLC), come precisato nel § 3.2.1.

$$R_d(F_d, X_d, a_d) \geq E_d(F_d, X_d, a_d)$$

Capacità (resistenza,...)

Domanda (azioni o  
effetto delle azioni, ...)

## 2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

### 2.2. REQUISITI DELLE OPERE STRUTTURALI

....

#### 2.2.2. STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

- a) danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- b) spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- c) spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- d) vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- e) danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- f) corrosione e/o degrado dei materiali in funzione del tempo e dell'ambiente di esposizione che possano compromettere la durabilità.

Altri stati limite sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite di Esercizio comprendono gli Stati Limite di Operatività (SLO) e gli Stati Limite di Danno (SLD), come precisato nel § 3.2.1.

$$C_d \geq E_d$$

Valore limite funzionalità

Effetto delle azioni

# Verifiche SLU (la sicurezza)

$$R_d(F_d, X_d, a_d) \geq E_d(F_d, X_d, a_d)$$

$$E_d = f(\gamma_F \cdot \psi_i \cdot F_k, X_k / \gamma_M, a_d)$$

$$E_d = \gamma_E \cdot f'(\psi_i \cdot F_k, X_k / \gamma_M, a_d)$$

$$R_d = 1 / \gamma_R \cdot g(\psi_i \cdot F_k, X_k / \gamma_M, a_d)$$

valori di progetto: pedice (d)

valori caratteristici: pedice (k)

coefficienti di combinazione:  $\psi$ , ( $\leq 1.0$ , sulle azioni variabili)

coefficienti parziali ( $\gamma$ ):

- sulle azioni o sull'effetto delle azioni (*domanda*):  $\gamma_F = \gamma_E$
- sulle resistenze dei materiali:  $\gamma_M (\geq 1.0)$
- sulla *capacità* (resistenza del sistema):  $\gamma_R (\geq 1.0)$

Classificazione in base a:

Natura: dirette, indirette e degrado

Risposta strutturale: statiche, pseudostatiche e dinamiche

Temporale: Permanenti (G, P), Variabili (Q), Eccezionali (A), Sismiche (E)

Valori caratteristici  $F_k$  : ...

Coefficienti di combinazione  $\psi$

- valore quasi permanente  $\psi_{2j} \cdot Q_{kj}$ : il valore istantaneo superato oltre il 50% del tempo nel periodo di riferimento. Indicativamente, esso può assumersi uguale alla media della distribuzione temporale dell'intensità;
- valore frequente  $\psi_{1j} \cdot Q_{kj}$ : il valore superato per un periodo totale di tempo che rappresenti una piccola frazione del periodo di riferimento. Indicativamente, esso può assumersi uguale al frattile 95% della distribuzione temporale dell'intensità;
- valore di combinazione  $\psi_{0j} \cdot Q_{kj}$ : il valore tale che la probabilità di superamento degli effetti causati dalla concomitanza con altre azioni sia circa la stessa di quella associata al valore caratteristico di una singola azione.

$$\psi_{2k} \text{ (quasi permanente)} < \psi_{1k} \text{ (frequente)} < \psi_{0k} \text{ (di combinazione)}$$

# Definizione delle Azioni e Combinazioni

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{12} \cdot Q_{k2} + \psi_{13} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

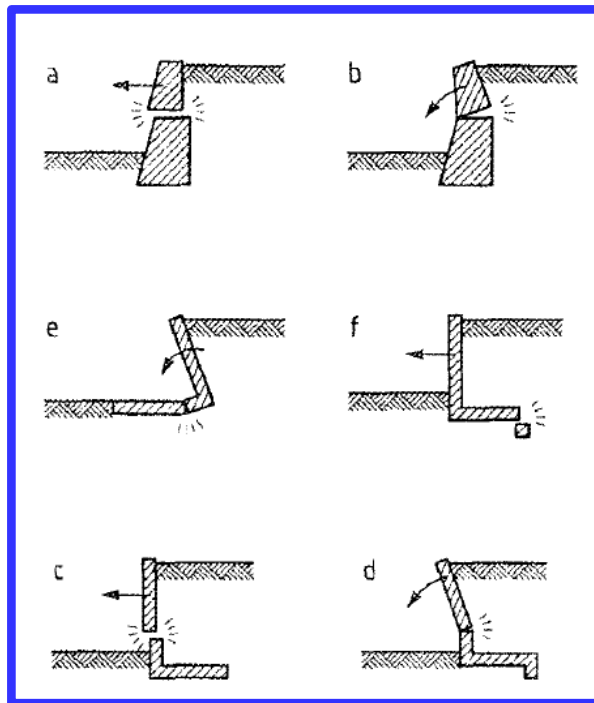
$$\psi_{2k} \text{ (quasi permanente)} < \psi_{1k} \text{ (frequente)} < \psi_{0k} \text{ (di combinazione)}$$

# Verifiche SLU (la sicurezza)

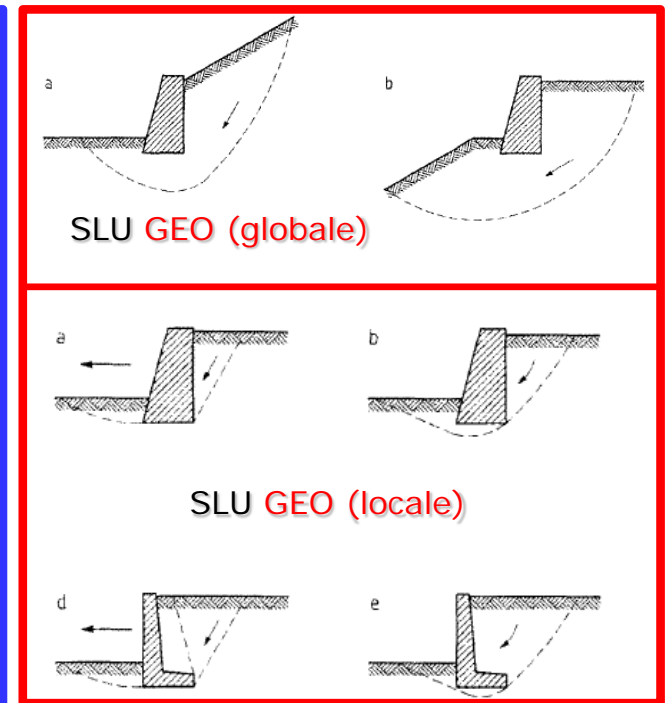
SLU EQU: stato limite di equilibrio come corpo rigido (non vengono chiamate in causa le resistenze dei materiali)

SLU STR: stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione (si raggiunge la resistenza del materiale strutturale)

SLU GEO: stato limite di resistenza del terreno (si raggiunge la resistenza del materiale 'terreno' (o roccia))



SLU STR



SLU GEO

# Verifiche SLU: azioni

Coefficienti  $\gamma_F$  (o  $\gamma_E$ ) amplificativi delle azioni (o degli effetti delle azioni)

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili $Q$	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Verifiche SLU EQU: colonna EQU

Verifiche SLU di elementi strutturali che non coinvolgano azioni geotecniche: STR, colonna A1

Verifiche SLU di elementi strutturali che coinvolgano azioni geotecniche: **2 Approcci progettuali**  
con **diverse** combinazioni dei coefficienti parziali  $\gamma_F$  (azioni),  $\gamma_M$  (materiali) e  $\gamma_R$  (resistenze sistema)

Approccio 1. 2 combinazioni dei coeff. parziali : A1M1R1 (STR) e A2M2R2 (GEO)

Approccio 2. 1 combinazione dei coeff. parziali: A1M1R3 (STR/GEO)



# Capitoli delle NTC che trattano aspetti geotecnici

---

## 6. PROGETTAZIONE GEOTECNICA

- 6.1 DISPOSIZIONI GENERALI
  - 6.2 ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO
  - 6.3 STABILITA' DEI PENDII NATURALI
  - 6.4 OPERE DI FONDAZIONE
  - 6.5 OPERE DI SOSTEGNO
  - 6.6 TIRANTI D'ANCORAGGIO
  - 6.7 OPERE IN SOTTERRANEO
  - 6.8 OPERE DI MATERIALI SCIOLTI E FRONTI DI SCAVO
  - 6.9 MIGLIORAMENTO E RINFORZO DEI TERRENI E DELLE ROCCE
  - 6.10 CONSOLIDAMENTO GEOTECNICO DI OPERE ESISTENTI
  - 6.11 DISCARICHE CONTROLLATE E DEPOSITI DI INERTI
  - 6.12 FATTIBILITA' DI OPERE SU GRANDI AREE
-

# Capitoli delle NTC che trattano aspetti geotecnici

---

## Cap. 3 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

.....

### § 3.2 AZIONE SISMICA

.....

## Cap. 7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE

.....

### § 7.11 OPERE E SISTEMI GEOTECNICI

.....

---

# PROGETTAZIONE GEOTECNICA

---

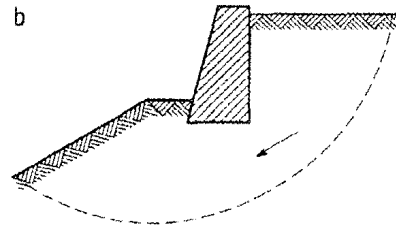
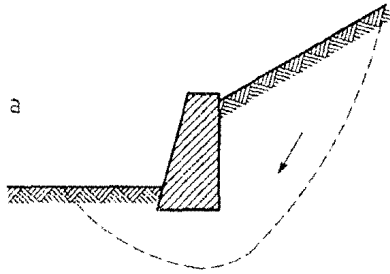
## *CHECK LIST*

1. Scelta delle opere geotecniche
  2. Identificazione degli **stati limite**
  3. Scelta delle indagini e delle prove geotecniche
  4. Identificazione dei **valori rappresentativi** e dei **valori caratteristici** dei parametri geotecnici
  5. Identificazione e qualificazione delle **azioni**; definizione dei loro **valori caratteristici**
  6. Scelta dell'**approccio progettuale** e definizione dei **valori di progetto** delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze
  7. Verifiche
-

## 2. Identificazione degli stati limite

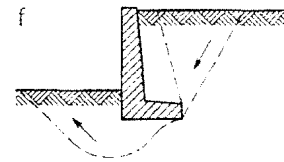
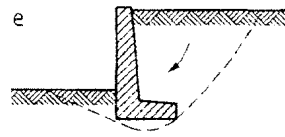
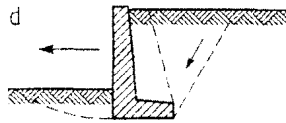
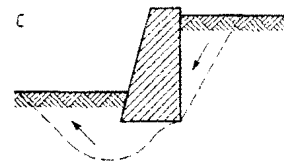
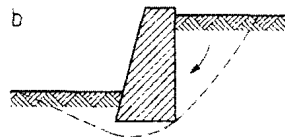
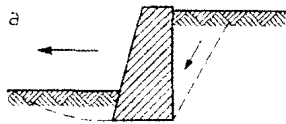
---

### Stabilità globale



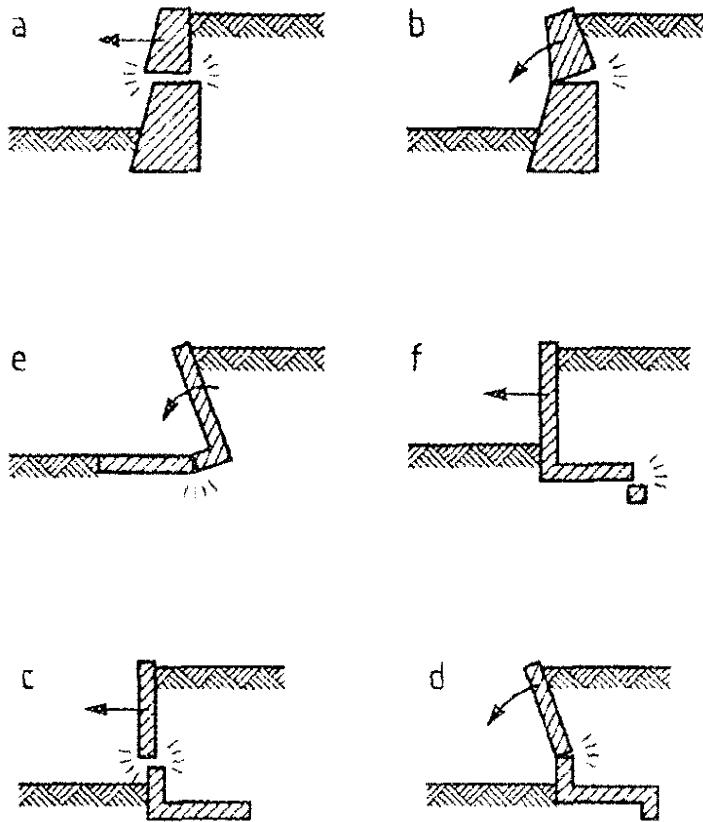
Stati limite geotecnici

### Stabilità della fondazione



## 2. Identificazione degli stati limite

---



Stati limite strutturali

# PROGETTAZIONE GEOTECNICA

---

## *CHECK LIST*

1. Scelta delle opere geotecniche
  2. Definizione degli **stati limite**
  3. Programmazione delle indagini geotecniche
  4. Identificazione dei **valori rappresentativi** e dei **valori caratteristici** dei parametri geotecnici
  5. Identificazione e qualificazione delle **azioni**; definizione dei loro **valori caratteristici**
  6. Scelta dell'**approccio progettuale** e definizione dei **valori di progetto** delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze
  7. Verifiche
-

---

Un aspetto cruciale riguarda il passaggio dai valori **rappresentativi** dei parametri geotecnici ai corrispondenti valori **caratteristici**.

---

## Valori **caratteristici** dei parametri geotecnici

EN 1997-1 (*Eurocodice 7: Geotechnical Design*)

**Characteristic value** as being **selected** as a **cautious** estimate of the value affecting the occurrence of the **limit state**

**selected** - evidenzia l'importanza dell'*engineering judgment*

**cautious estimate** - è richiesta una certa cautela (o consapevolezza)

**limit state** - il valore scelto deve riferirsi allo stato limite considerato

**QUESTA DEFINIZIONE E' CONDIVISA E ASSUNTA NELLE NTC**

---



# Determinazione valore caratteristico

## Art. 6.2.2

- valore caratteristico = stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato (*cautious estimate* secondo EN 1997-1)
- da prove di laboratorio o da interpretazione dei risultati di prove in sito

# Determinazione valore caratteristico

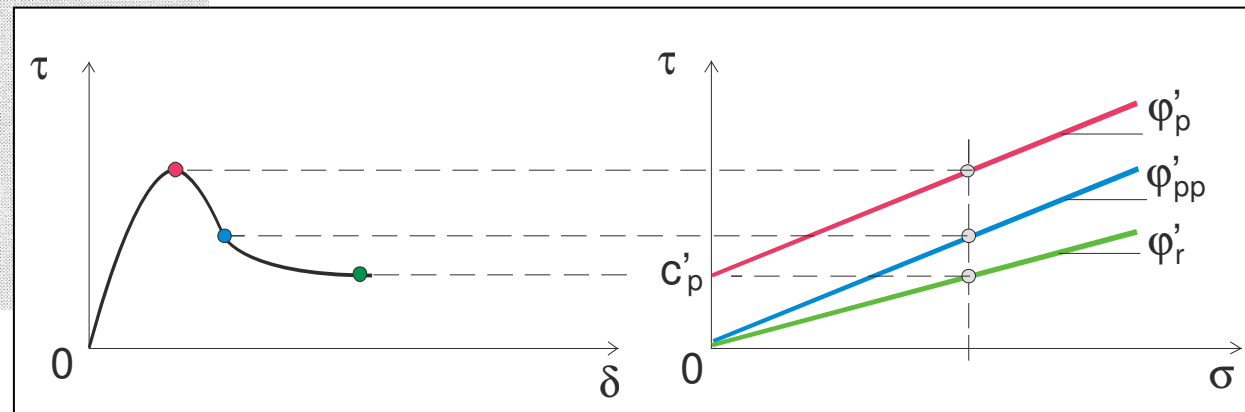
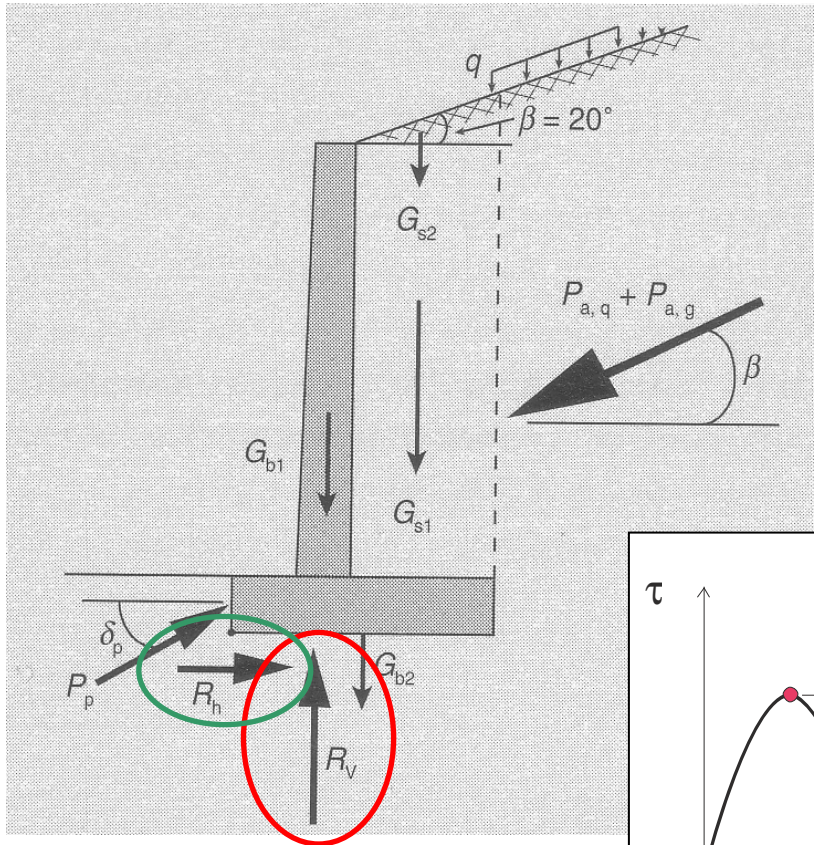
Circolare C.6.2.2

Due fasi:

- identificazione dei parametri geotecnici appropriati
- valutazione dei valori caratteristici

#### 4. Identificazione dei valori rappresentativi e caratteristici dei parametri geotecnici

## Valori **rappresentativi** dei parametri geotecnici



# Determinazione valore caratteristico

## Circolare C.6.2.2

### Due fasi:

- identificazione dei parametri geotecnici appropriati
- valutazione dei valori caratteristici

*2.4.5.2(7) The governing parameter is often the mean value of a range of values covering a large surface or volume of the ground. The characteristic value should be a cautious estimate of this mean value. (da EN 1997-1)*

# Determinazione valore caratteristico

## Circolare C.6.2.2

### Due fasi:

- identificazione dei parametri geotecnici appropriati
- valutazione dei valori caratteristici

### Valori caratteristici:

= valori prossimi ai medi se:

- coinvolto un elevato volume di terreno;
- struttura dotata di rigidità sufficiente

= valori prossimi ai valori minimi se:

- modesti volumi;
- struttura di insufficiente rigidità

# Determinazione valore caratteristico

EN 1997-1 punto 2.4.5.2(11)

If statistical methods are used, the characteristic value should be derived such that the calculated probability of a worse value governing the occurrence of the limit state under consideration is not greater than 5%.

Qualora sia il **valor medio** della proprietà a governare il fenomeno, queste considerazioni si applicherebbero a tale valore, inteso come **variabile aleatoria**

---

## Metodi statistici

---

1. L'impiego di metodi statistici è possibile, ma non obbligatorio
  2. Nel determinare i valori caratteristici dei parametri geotecnici, il progettista deve comunque motivare le proprie scelte e adottare un criterio di cautela
  3. La determinazione dei valori caratteristici deve essere effettuata dopo la scelta dei valori rappresentativi dei parametri geotecnici per i possibili stati limite
-

# Influenza del numero di determinazioni su valore caratteristico

- Generalmente, non utilizzabili approcci statistici
- Affidabilità cresce con numero di indagini
- Premialità (non esplicita) su valore caratteristico

- Premialità nello spirito delle NTC

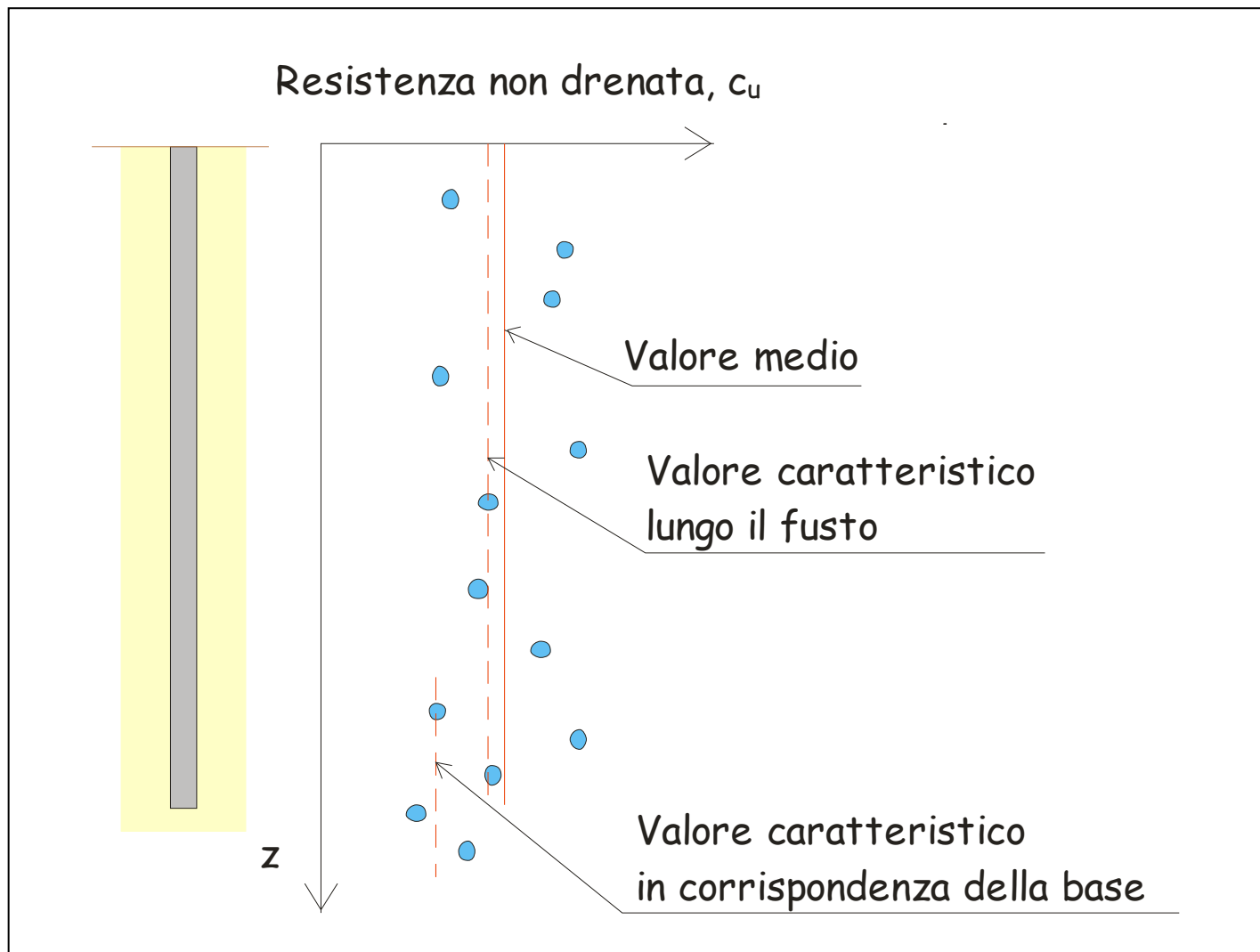
Infatti:

- Premialità esplicita per pali
- Premialità esplicita per ancoraggi

Coefficienti  $\xi$   
variabili con  
numero di prove  
su prototipi



# Valori caratteristici dei parametri geotecnici



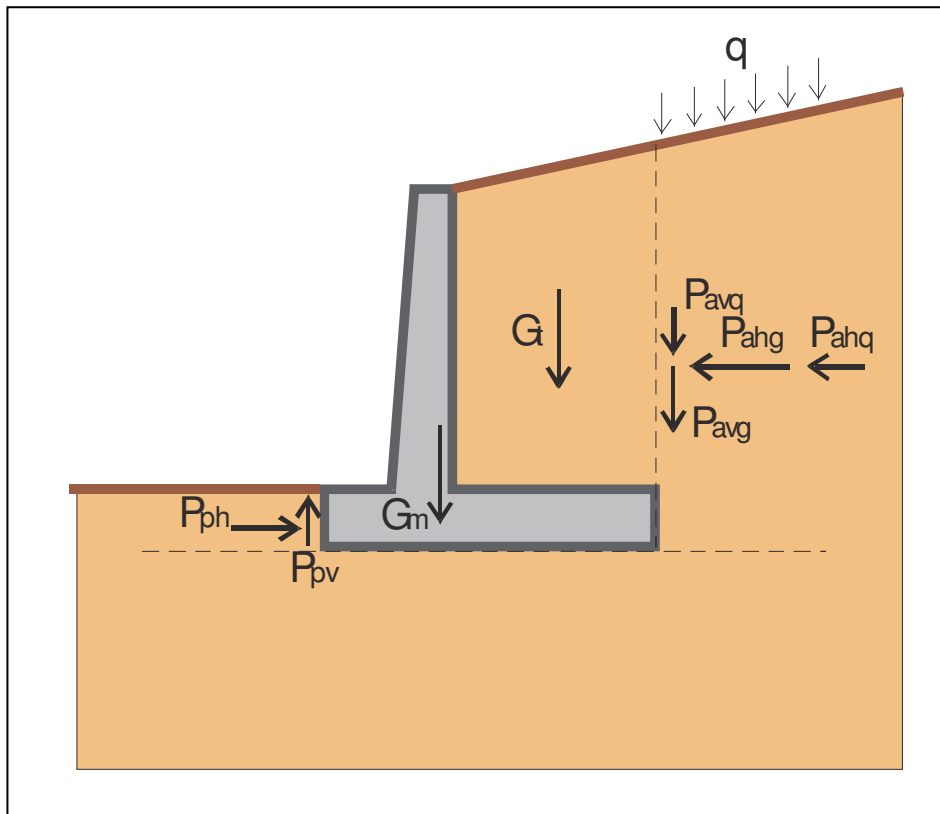
# PROGETTAZIONE GEOTECNICA

---

## *CHECK LIST*

1. Scelta delle opere geotecniche
  2. Identificazione degli **stati limite**
  3. Programmazione delle indagini geotecniche
  4. Identificazione dei **valori rappresentativi** e dei **valori caratteristici** dei parametri geotecnici
  5. Identificazione e qualificazione delle **azioni**; definizione dei loro **valori caratteristici**
  6. Scelta dell'**approccio progettuale** e definizione dei **valori di progetto** delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze
  7. Verifiche
-

## 5. Identificazione, qualificazione delle azioni; definizione dei loro valori caratteristici



### TIPO DI AZIONE

- Permanente
- Variabile

### EFFETTO DELL'AZIONE

- Favorevole
- Sfavorevole

# PROGETTAZIONE GEOTECNICA

---

## *CHECK LIST*

1. Scelta delle opere geotecniche
  2. Identificazione degli **stati limite**
  3. Programmazione delle indagini geotecniche
  4. Identificazione dei **valori rappresentativi** e dei **valori caratteristici** dei parametri geotecnici
  5. Identificazione e qualificazione delle **azioni**; definizione dei loro **valori caratteristici**
  6. Scelta dell'**approccio progettuale** e definizione dei **valori di progetto** delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze
  7. Verifiche
-

## 6. Scelta dell'approccio progettuale e .....

---

LE N.T.C. PREVEDONO DUE APPROCCI PROGETTUALI,  
DISTINTI E ALTERNATIVI

Amplificato   Parzialmente amplificato   Ridotto   Valore caratteristico

AZIONI   PARAMETRI  
MECCANICI   RESISTENZE   AP1-C1 (STR)

AZIONI   PARAMETRI  
MECCANICI   RESISTENZE   AP1-C2 (GEO)

AZIONI   PARAMETRI  
MECCANICI   RESISTENZE   AP2 (STR/GEO)

---

## 6. Scelta dell'approccio progettuale e .....

---

**LE N.T.C. PREVEDONO DUE APPROCCI PROGETTUALI,  
DISTINTI E ALTERNATIVI**

### *Approccio 1 (AP1)*

Combinazione 1 (AP1- C1):       $A1 + M1 + R1$       (STR)

Combinazione 2 (AP1- C2):       $A2 + M2 + R2$       (GEO)

*Approccio 2 (AP2)*                       $A1 + M1 + R3$       (STR/GEO)

Valori dei coefficienti parziali da utilizzare nei diversi approcci progettuali (AP)  
 AP1: A1M1R1 (STR) e A2M2R2 (GEO); AP2 A1M1R3 (STR/GEO)

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili $Q$	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

sulle azioni  
o sull'effetto  
delle azioni

$$\gamma_F = \gamma_E$$

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

sui  
parametri  
del terreno

$$\gamma_M$$

## Approcci progettuali e coefficienti parziali sulle resistenze $\gamma_R$

Opere geotecnica	SLU/GEO e Approccio	$\gamma_R$	note
Stabilità dei pendii naturali	Stabilità globale: - (val. caratt.)	(-)	$R_k/E_k(>1)$ , valut. Progettista
Fondazioni superficiali	Stabilità globale: AP1C2 (A2M2R2) Carico limite: AP2 (A1M1R3) Scorrimento: AP2 (A1M1R3)	1.2 (R2) 2.3 (R3) 1.1 (R3)	
Fondazioni profonde	Stabilità globale: AP1C2 (A2M2R2) Carico limite vert.: AP2 (A1M1R3) Carico limite orizz.: AP2 (A1M1R3)	1.2 (R2) 1.15-1.35 1.3	Valori dipendenti da tipologia di palo
Muri di sostegno	Stabilità globale: AP1C2 (A2M2R2) Carico limite: AP2 (A1M1R3) Scorrimento: AP2 (A1M1R3) <i>Ribaltamento:</i> AP2 (A1M1R3)	1.2 (R2) 1.4 1.1 1.15	
Paratie	Stabilità globale: AP1C2 (A2M2R2) Rotazione rigida: AP1 (A2M2R2)	1.2 (R2) 1.0 (R1/R2)	
Fronti di scavo e rilevati	Stabilità globale: AP1C2 (A2M2R2)	1.1 (R2)	
....			