
Norme Tecniche per le Costruzioni

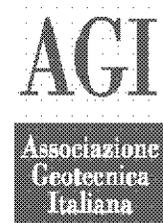
ASPETTI GEOTECNICI

Alberto Burghignoli

*Ordinario di Meccanica delle Terre
Presidente dell'Associazione Geotecnica Italiana*



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



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

.....

- La sicurezza
 - Le azioni, i parametri geotecnici, le resistenze
 - Gli approcci progettuali
 - Le verifiche
-
- Il *Metodo Osservazionale* nella progettazione geotecnica
 - Le opere e i sistemi geotecnici in presenza di azioni sismiche

LA SICUREZZA

LA SICUREZZA

Nel DM '88 la sicurezza è espressa quantitativamente da coefficienti globali.

Ad esempio, per una fondazione superficiale deve essere soddisfatta la condizione

$$\frac{Q_u}{Q_e} \geq F_{\min} \quad \text{con } F_{\min} = 3$$

Il coefficiente globale di sicurezza tiene conto di tutti i tipi di incertezza (geometria, carichi, proprietà meccaniche, modelli e metodi di analisi, ecc.)

LA SICUREZZA

Nelle NTC, in accordo con gli Eurocodici, la sicurezza è espressa dalla
condizione fondamentale

$$E_d \leq R_d$$

E_d : valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione (DOMANDA)

R_d : valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (CAPACITA')

LA SICUREZZA

$$E_d = f\left(\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\right)$$
$$E_d = \gamma_E f\left(F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\right)$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} g\left(\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\right)$$

Coefficienti di sicurezza parziali:

$\gamma_F = \gamma_E$: riguardo alla domanda

γ_M : riguardo ai materiali

γ_R : riguardo alla capacità

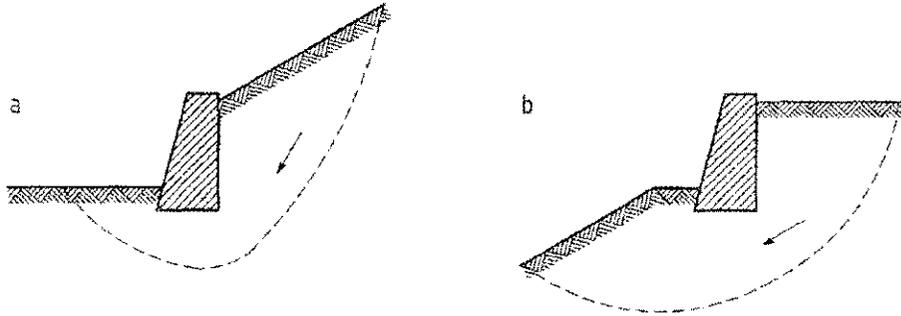
Si introducono coefficienti di sicurezza parziali, specializzati e differenziati, nella definizione sia della domanda sia della capacità.

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

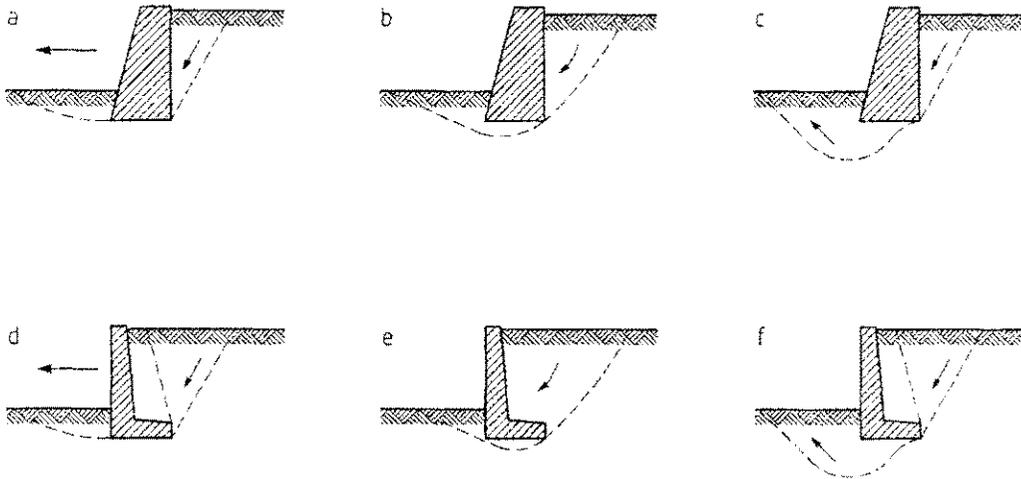
2. Identificazione degli stati limite

Stabilità globale

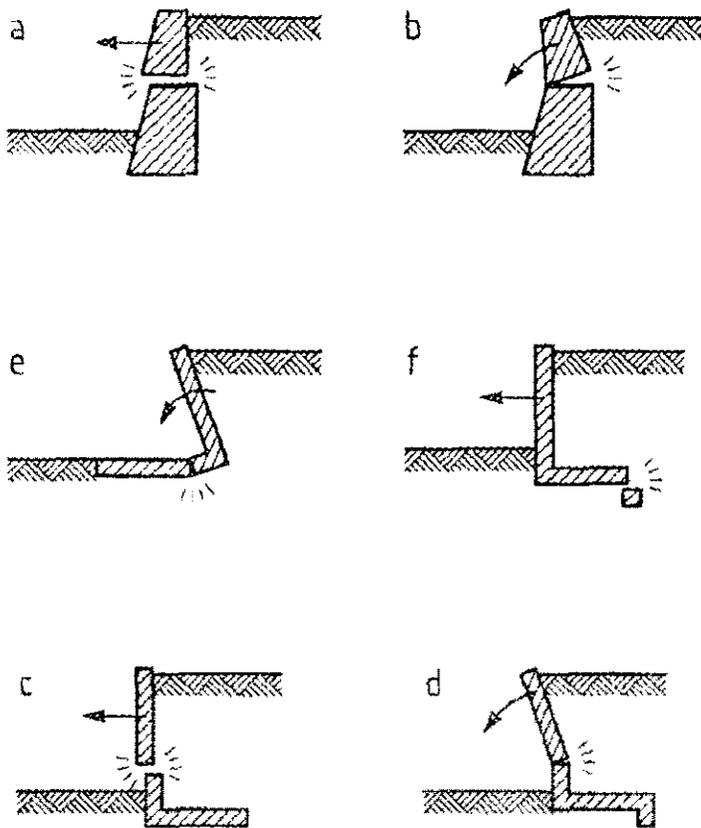


Stati limite geotecnici

Stabilità della fondazione



2. Identificazione degli stati limite



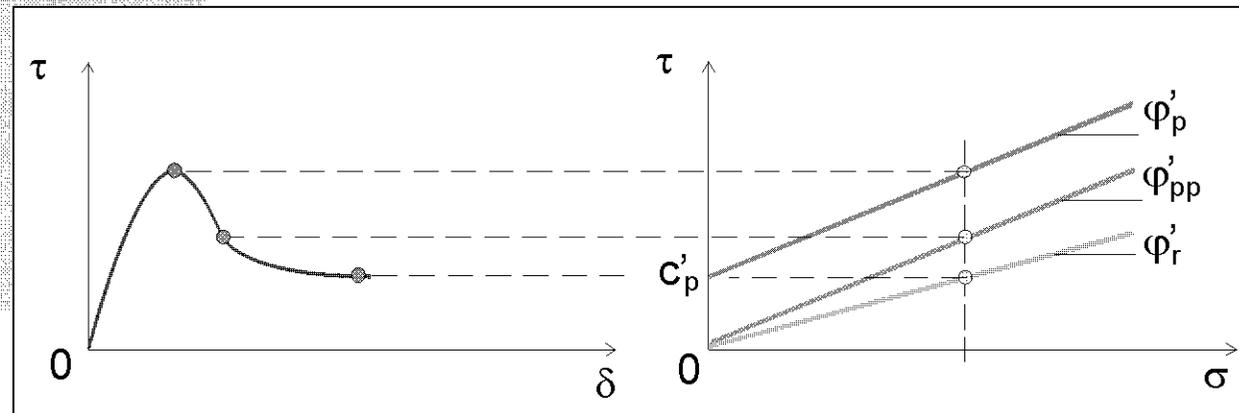
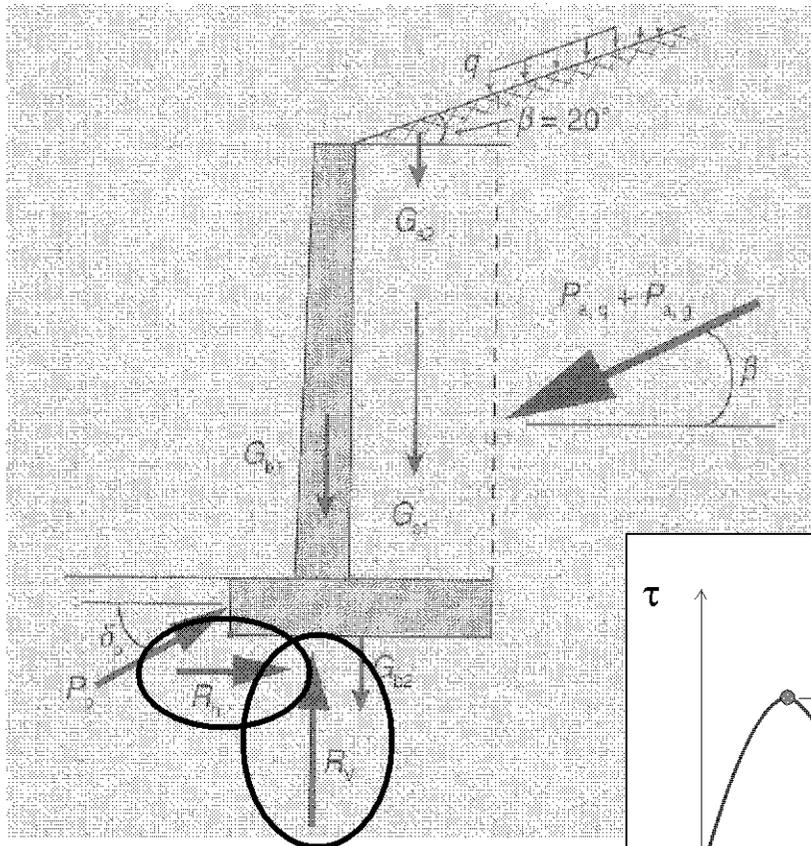
Stati limite strutturali

CHECK LIST

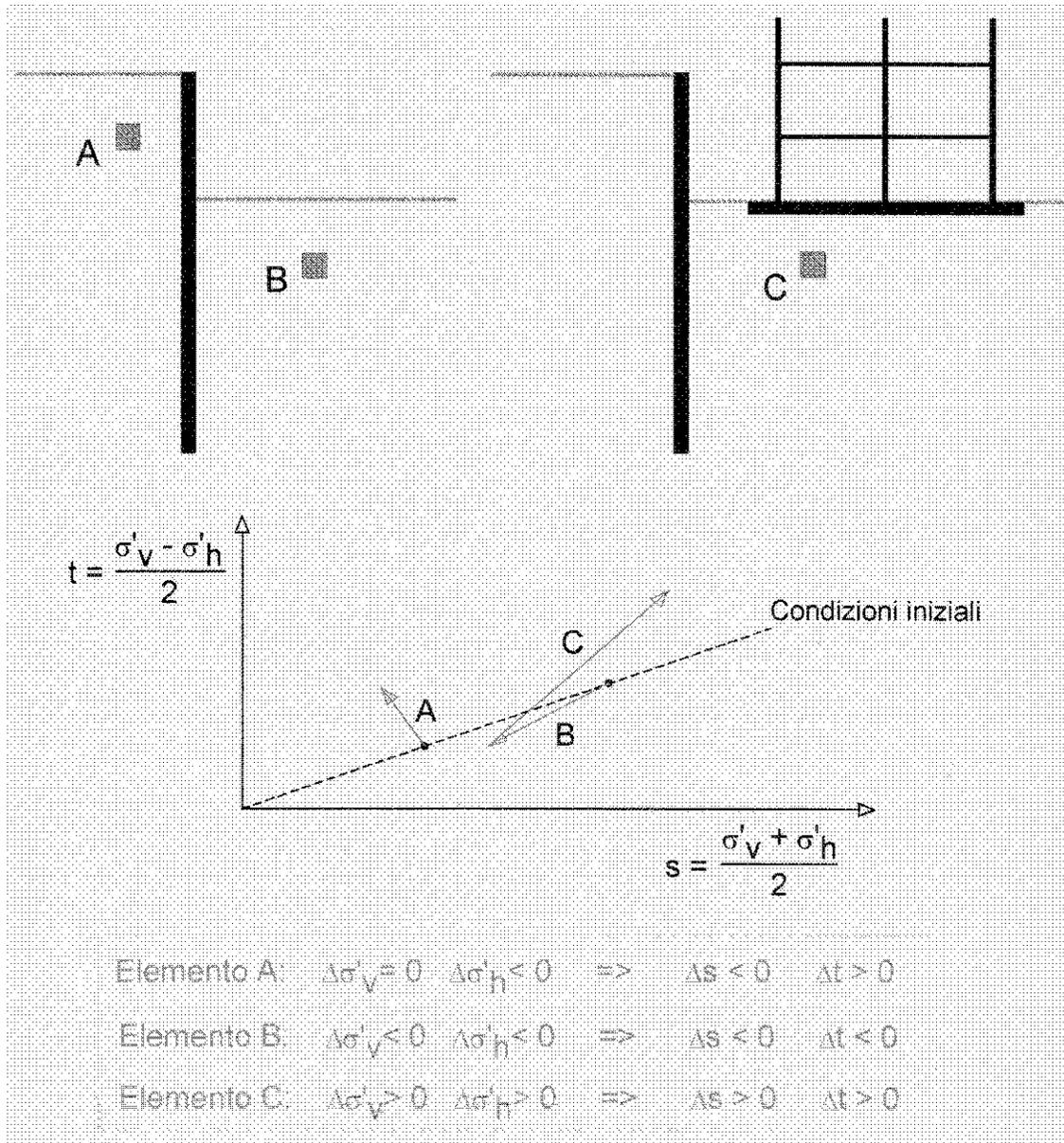
1. Scelta delle opere geotecniche
2. Definizione degli stati limite
3. Programmazione delle indagini geotecniche
4. Identificazione dei valori rappresentativi e dei valori caratteristici dei parametri geotecnici
5. Identificazione e qualificazione delle azioni; definizione dei loro valori caratteristici
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 rappresentativi dei parametri geotecnici



4. Identificazione dei valori rappresentativi e caratteristici dei parametri geotecnici



I parametri di resistenza e deformabilità dipendono dai percorsi tensionali seguiti dai diversi elementi di terreno nel volume significativo

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.

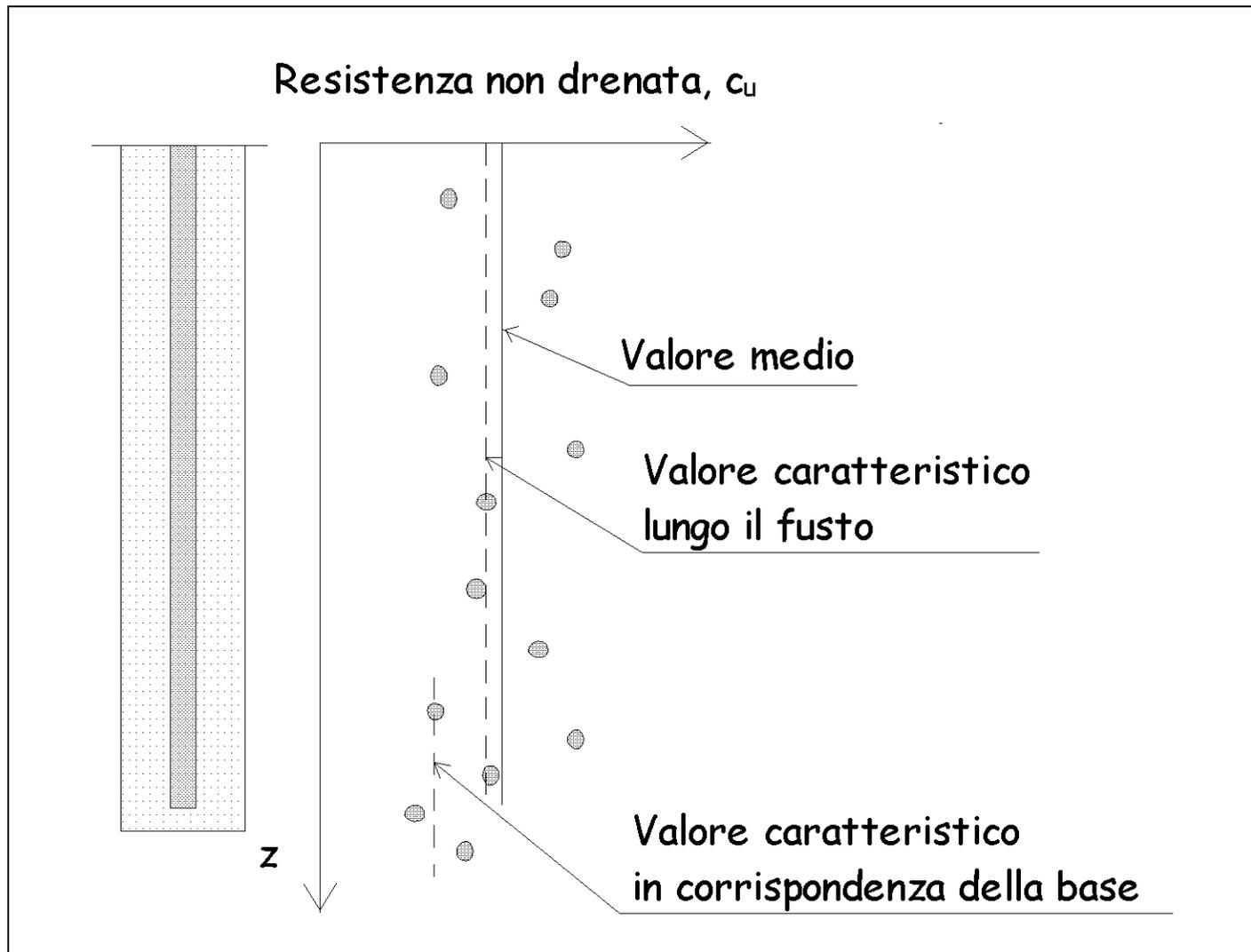
selected - evidenzia l'importanza dell'*engineering judgment*

cautious estimate - è richiesta una certa cautela

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

QUESTA DEFINIZIONE E' CONDIVISA E ASSUNTA NELLE NTC

Valori caratteristici dei parametri geotecnici

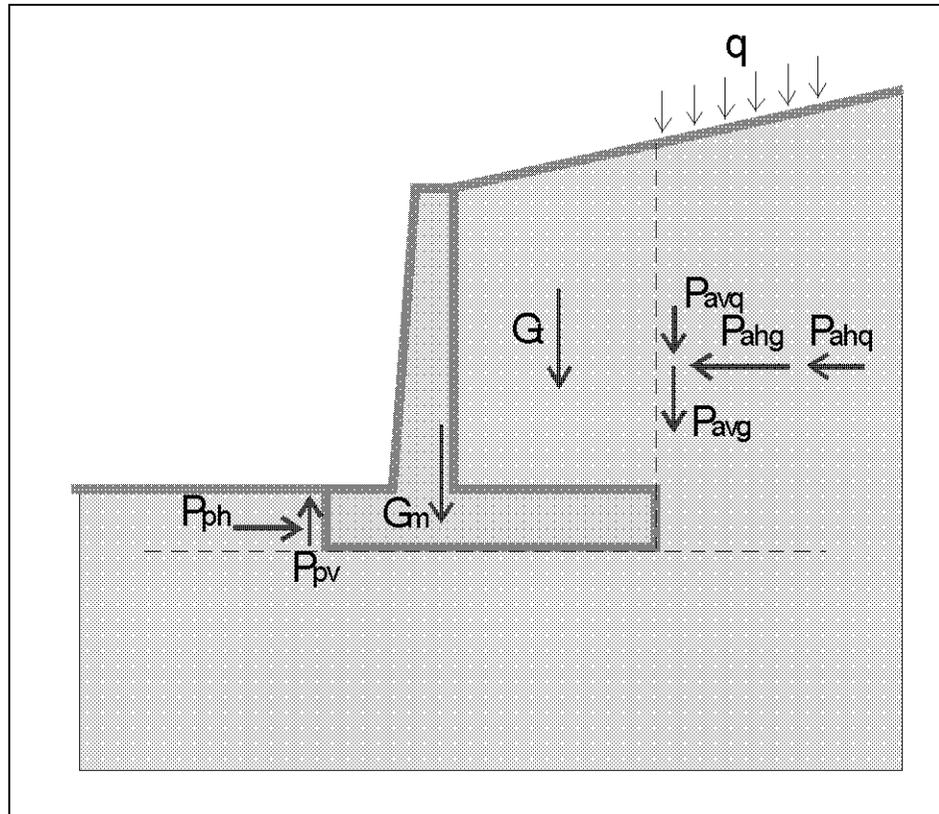


CHECK LIST

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

Identificazione delle azioni



Qualificazione delle azioni

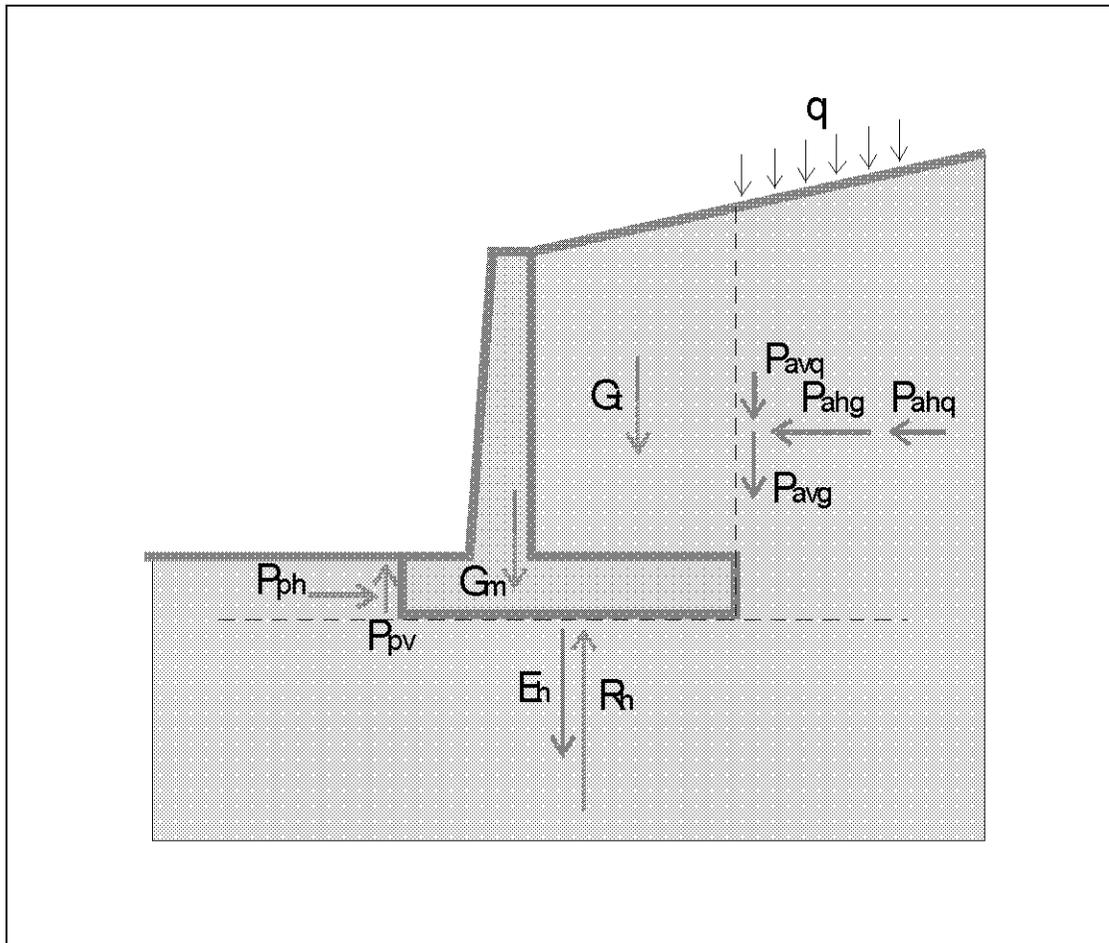
TIPO DI AZIONE

- Permanente
- Variabile

EFFETTO DELL'AZIONE

- Favorevole
- Sfavorevole

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

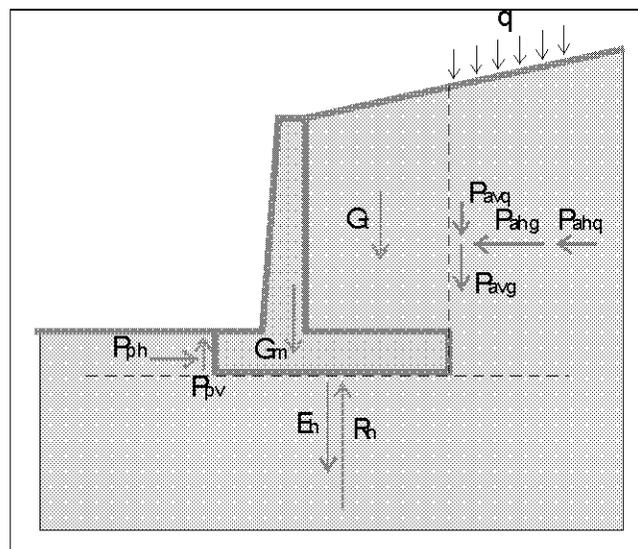


Capacità portante della fondazione

EFFETTO DELL'AZIONE

- Favorevole
- Sfavorevole

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



				AP1-C1	AP1-C2	AP2
AZIONE	TIPO	EFFETTO	γ_F	A1	A2	A1
Pahq	variabile	sfavorevole	γ_{Qi}	1.5	1.3	1.5
Pahg	permanente	sfavorevole	γ_{G2}	1.3	1.0	1.3
Pavq	variabile	sfavorevole	γ_{Qi}	1.5	1.3	1.5
Pavg	permanente	sfavorevole	γ_{G2}	1.3	1.0	1.3
Pph	permanente	favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0	1.0
Ppv	permanente	favorevole	γ_{G1}	1.3	1.0	1.3
Gt	permanente	favorevole sfavorevole	γ_{G1} γ_{G2}	1.0 1.3	1.0 1.0	1.0 1.3
Gm	permanente	favorevole sfavorevole	γ_{G1} γ_{G2}	1.0 1.3	1.0 1.0	1.0 1.3

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)

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

Approccio 1 (AP1)

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

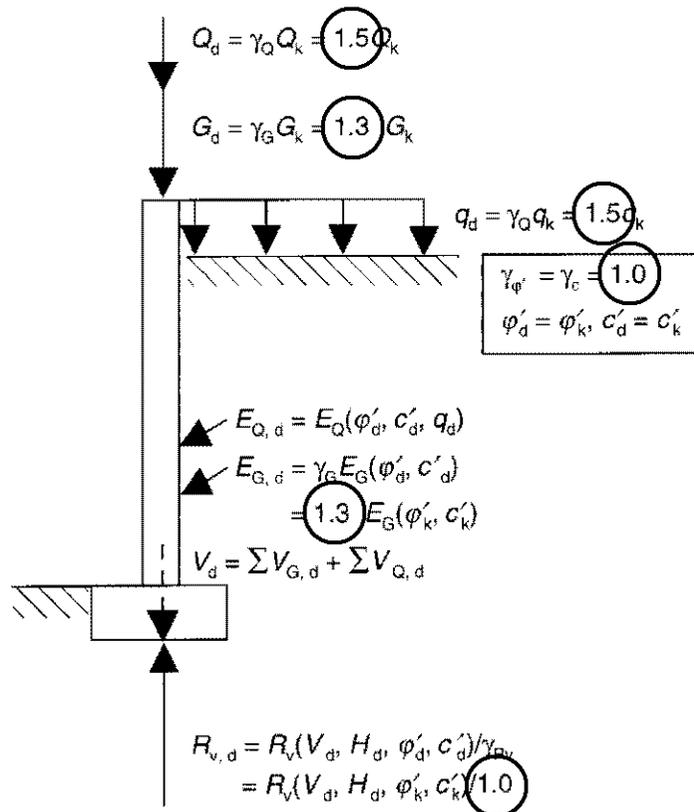
Combinazione 2 (AP1- C2): A2 + M2 + R2 (GEO)

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

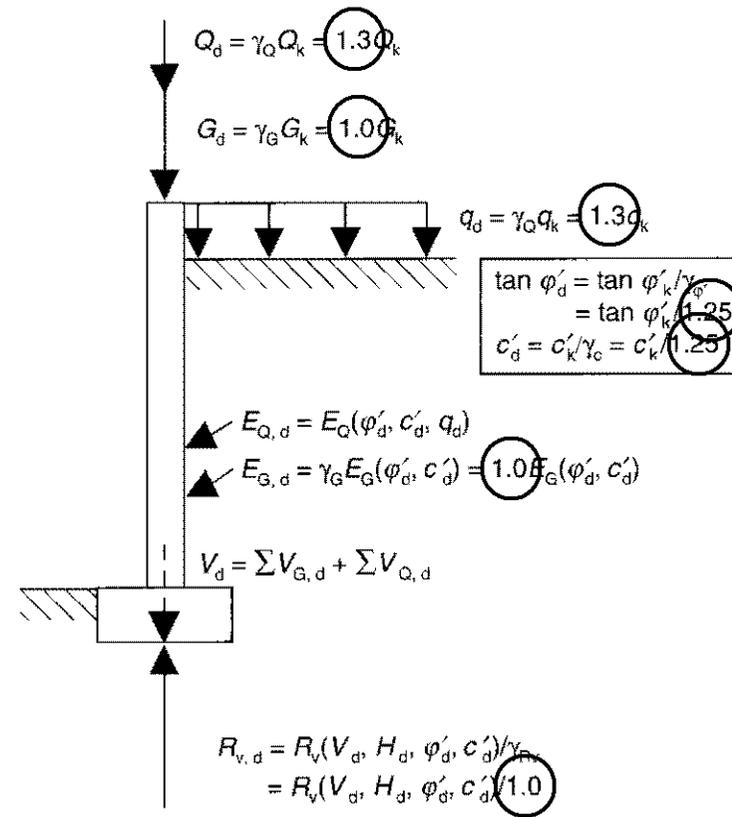
6. valori di progetto delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze

Approccio progettuale 1

Combinazione 1 (STR)

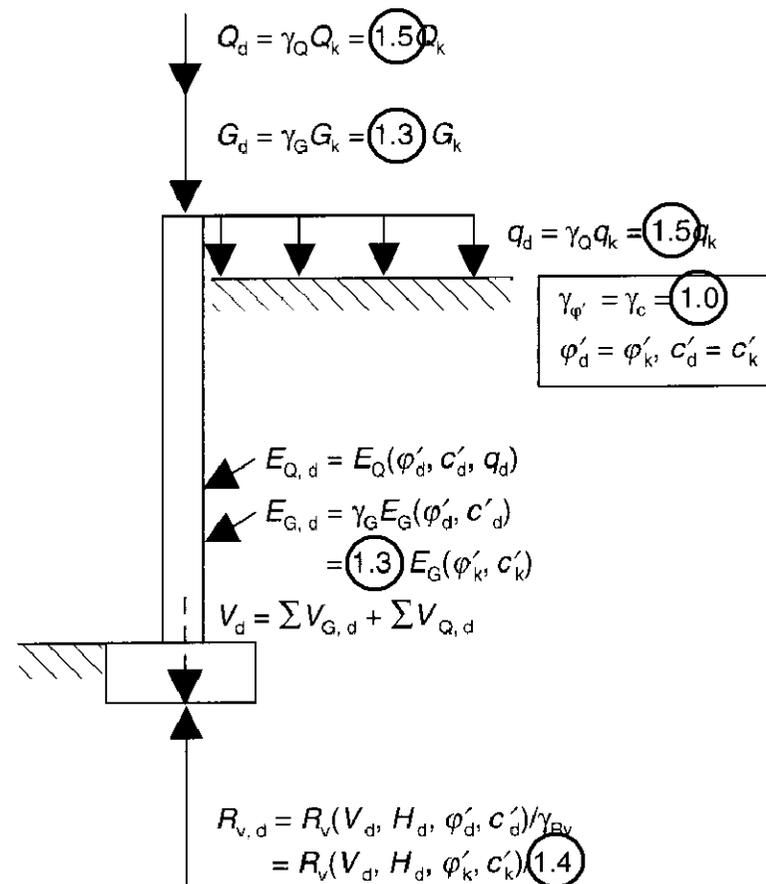


Combinazione 2 (GEO)



6. valori di progetto delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze

Approccio progettuale 2



AZIONI

CARICHI	COEFFICIENTE PARZIALE γ_F	EFFETTO	EQU	UPL	HYD	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	γ_G	Favorevole	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0
		Sfavorevole	1,1	1,1	1,3	1,3	1,0
Variabili	γ_Q	Favorevole	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Sfavorevole	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3

MATERIALI

PARAMETRO	γ_M	M1	M2
$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
γ	γ_γ	1,0	1,0

RESISTENZE

FONDAZIONI SUPERFICIALI

	(R1)	(R2)	(R3)
VERIFICA	γ_R	γ_R	γ_R
Stabilità globale	-	1,1	-
Capacità portante	1,0	1,8	2,3
Scorrimento	1,0	1,1	1,1

PALI DI FONDAZIONE

	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
RESISTENZA	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R
<i>Carichi assiali</i>									
Base	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25
<i>Carichi trasversali</i>									
	1,0	1,6	1,3	1,0	1,6	1,3	1,0	1,6	1,3

RESISTENZE

OPERE DI SOSTEGNO

	(R1)	(R2)	(R3)
VERIFICA	γ_R	γ_R	γ_R
Stabilità globale	-	1,1	-
Capacità portante	1,0	1,0	1,4
Scorrimento	1,0	1,0	1,1
Resistenza del terreno a valle	1,0	1,0	1,4

TIRANTI D'ANCORAGGIO

	(R3)
VERIFICA	γ_R
<i>Sfilamento</i>	
Tiranti temporanei	1,1
Tiranti permanenti	1,2

VERIFICHE

PALI DI FONDAZIONE

CARICHI	γ_F	EFFETTO	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	γ_G	Favorevole	1,0	1,0
		Sfavorevole	1,3	1,0
Variabili	γ_Q	Favorevole	0,0	0,0
		Sfavorevole	1,5	1,3

PARAMETRO	γ_M	(M1)	(M2)
$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
c_{uk}	γ_{c_u}	1,0	1,4
γ	γ_γ	1,0	1,0

	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
RESISTENZA	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R	γ_R
<i>Carichi assiali</i>									
Base	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25
<i>Carichi trasversali</i>	1,0	1,6	1,3	1,0	1,6	1,3	1,0	1,6	1,3

Verifiche

AP1- C1: A1+M1+R1

AP1- C2: A2+M1+R2

AP2: A1+M1+R3

PALI DI FONDAZIONE

Resistenza caratteristica valutata con metodi analitici

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$
$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

PALI DI FONDAZIONE

Resistenza caratteristica ricavata da prove di carico di progetto su pali pilota

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,m})_{\text{media}}}{\xi_1}, \frac{(R_{c,m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,m})_{\text{media}}}{\xi_1}, \frac{(R_{t,m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\}$$

Numero di prove di carico	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,0
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,0

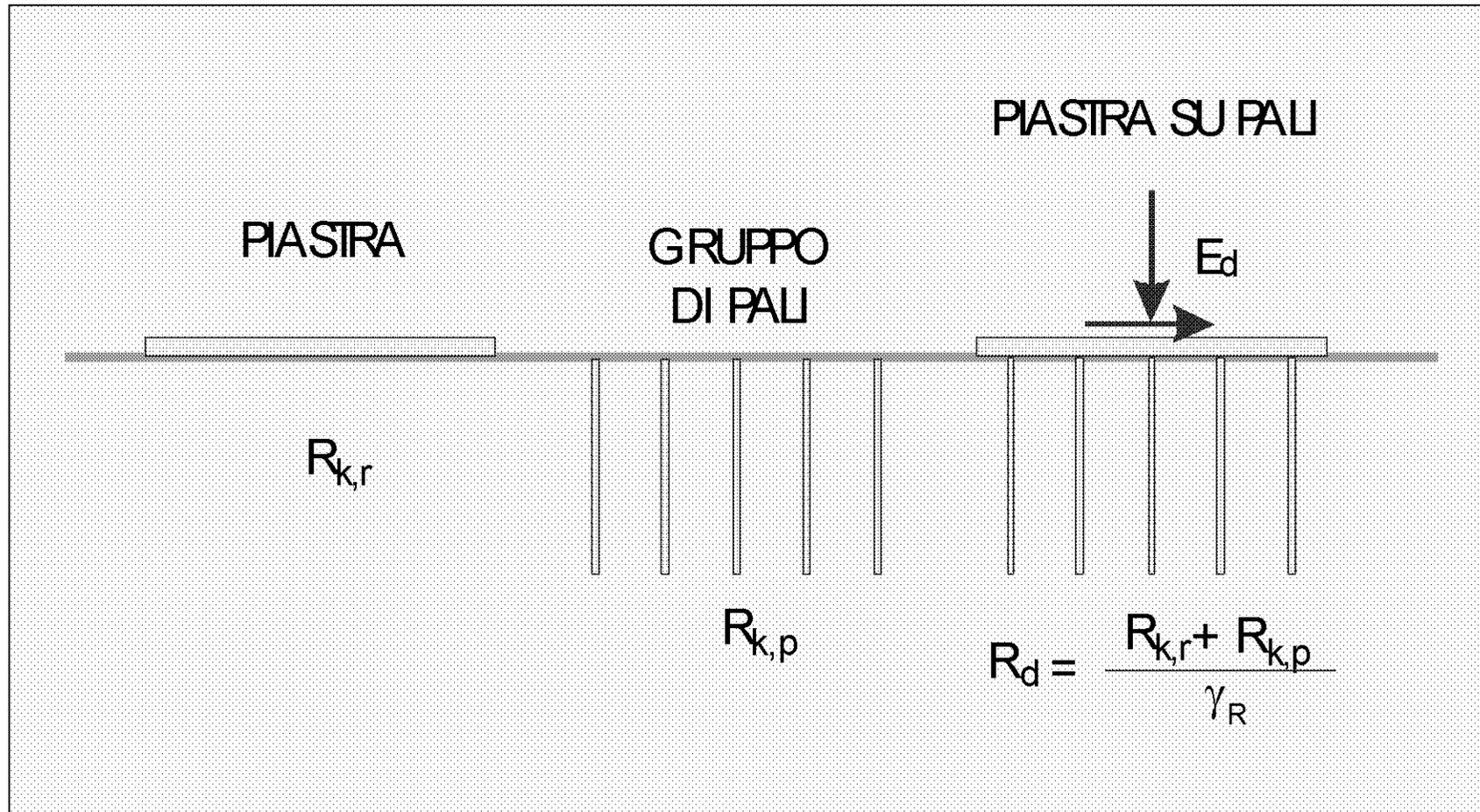
PALI DI FONDAZIONE

Resistenza caratteristica ricavata da prove dinamiche di progetto ad alto livello di deformazione

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,m})_{\text{media}}}{\xi_5}, \frac{(R_{c,m})_{\text{min}}}{\xi_6} \right\}$$

Numero di prove di carico	≥ 2	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

FONDAZIONI MISTE A PIASTRA SU PALI



Altri aspetti innovativi relativi ai pali di fondazione

- Controlli d'integrità dei pali
- Prove di progetto su pali pilota
- Prove di verifica in corso d'opera

SISMICA

Rappresentazione dell'azione sismica

In funzione dell'analisi:

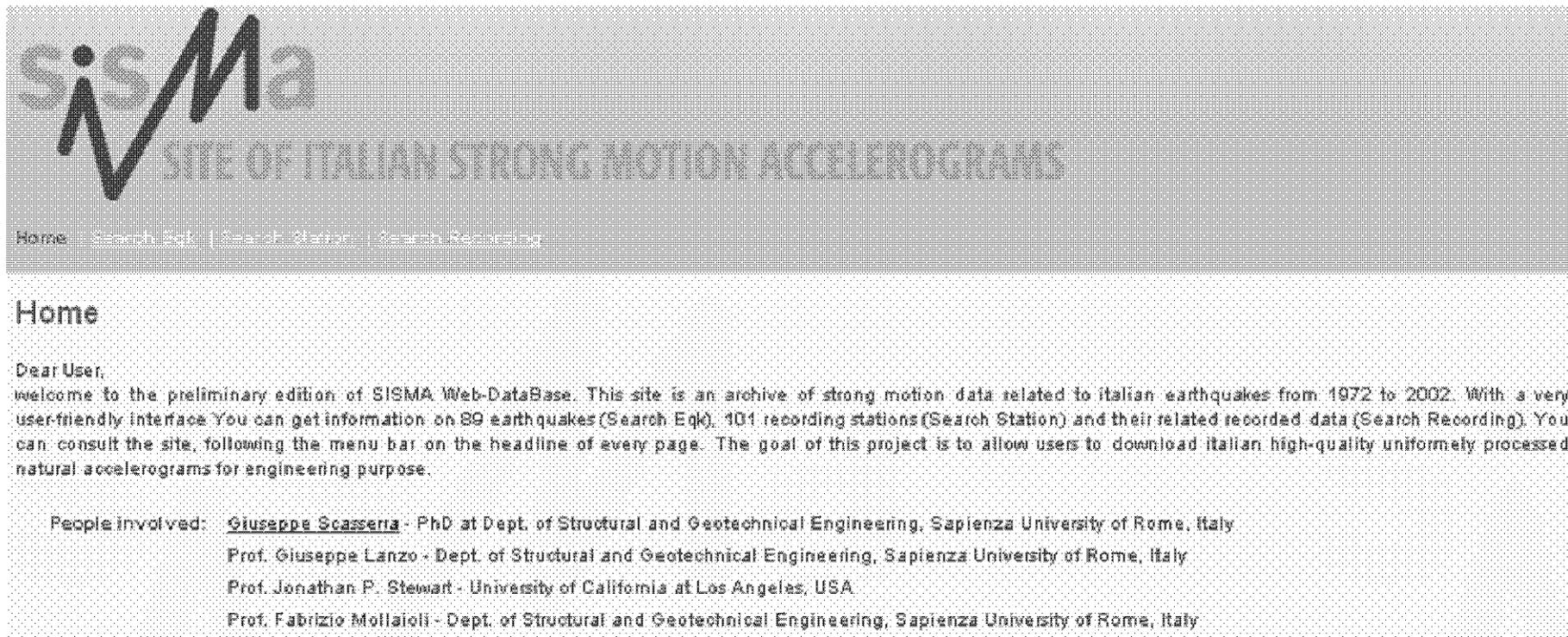
- accelerazione massima in superficie
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta in superficie (differenti spettri per diversi tipi di sottosuolo)
- accelerogrammi

Per le opere e i sistemi geotecnici devono essere impiegati solo accelerogrammi sintetici o naturali

Scelta degli accelerogrammi

Database:

- PEER: <http://peer.berkeley.edu/smcat>
- ESD: <http://ww.isesd.cv.ic.ac.uk>
- SISMA: <http://ww.sisma.disg.uniroma1.it>



SISMA
SITE OF ITALIAN STRONG MOTION ACCELEROGRAMS

Home | Search Eqk | Search Station | Search Recording

Home

Dear User,
welcome to the preliminary edition of SISMA Web-DataBase. This site is an archive of strong motion data related to Italian earthquakes from 1972 to 2002. With a very user-friendly interface you can get information on 89 earthquakes (Search Eqk), 101 recording stations (Search Station) and their related recorded data (Search Recording). You can consult the site, following the menu bar on the headline of every page. The goal of this project is to allow users to download Italian high-quality uniformly processed natural accelerograms for engineering purpose.

People involved: [Giuseppe Scasserra](#) - PhD at Dept. of Structural and Geotechnical Engineering, Sapienza University of Rome, Italy
Prof. Giuseppe Lanzo - Dept. of Structural and Geotechnical Engineering, Sapienza University of Rome, Italy
Prof. Jonathan P. Stewart - University of California at Los Angeles, USA
Prof. Fabrizio Mollaioli - Dept. of Structural and Geotechnical Engineering, Sapienza University of Rome, Italy

Database accelerogrammi naturali

Dati di partenza

- **160** stazioni accelerometriche
- **100** eventi di magnitudo $M \geq 3.5$
- **500** accelerogrammi (3 componenti) in condizioni free-field

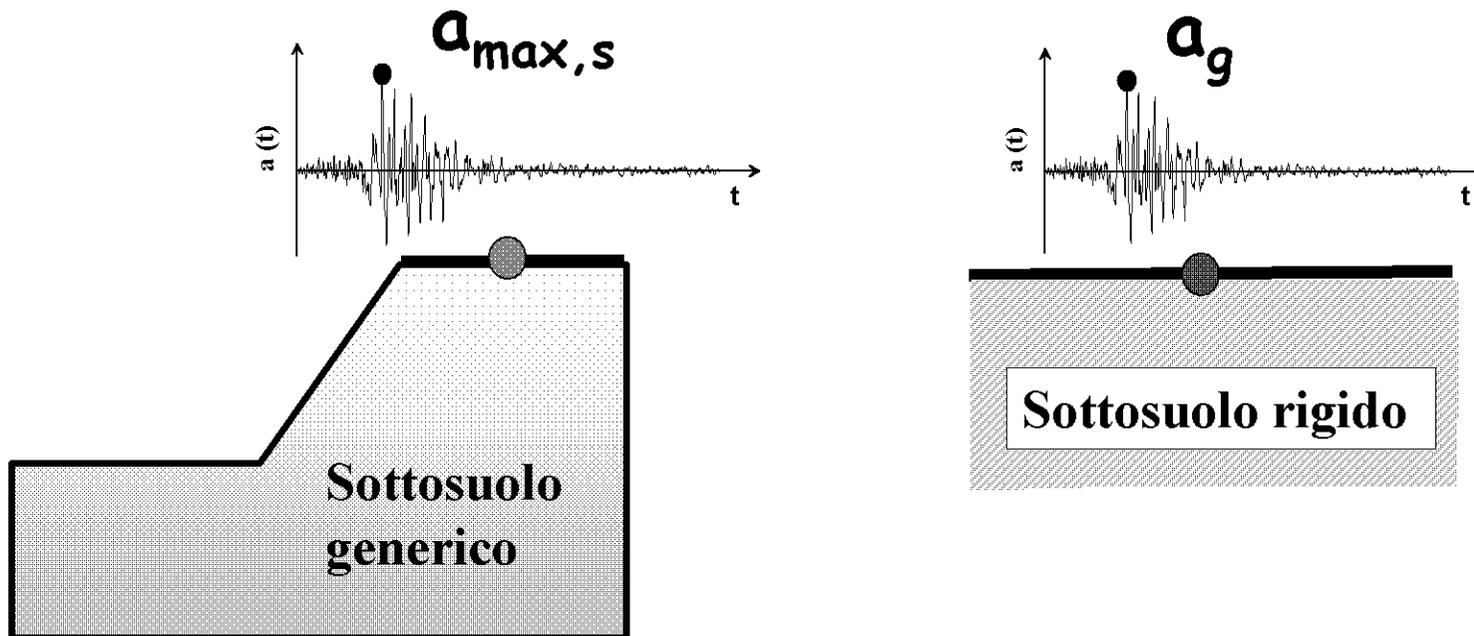
Dati selezionati

- **100** stazioni accelerometriche
- **86** eventi magnitudo $M = 4.0 - 6.9$;
distanze epicentrali ≤ 100 km ;
profondità focali di **2 - 24 km**
- **240** accelerogrammi (3 componenti) in condizioni free-field
PGA = 0.033 - 0.405g
- **tre** tipi di sottosuolo:
 - rock $V_s > 800$ m/s
 - stiff soils $V_s = 360 - 800$ m/s
 - soft soils $V_s < 360$ m/s

Risposta sismica locale

Accelerazione massima in superficie

$$a_{\max,s} = S a_g = S_S S_T a_g$$



Accelerazione massima in superficie

- Analisi semplificata della risposta sismica

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_T = coefficiente di amplificazione topografica

oppure

- Specifiche analisi di risposta sismica

analisi di risposta sismica \longrightarrow azione sismica sui piani di riferimento

- fondazioni superficiali: piano imposta
- fondazioni su pali: testa pali
- opere di sostegno di terreno naturale (paratie): testa opera
- opere di sostegno di terrapieni: piano imposta fondazioni

Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Deposit di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Deposit di terreni suscettibili alla liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

AZIONE PSEUDOSTATICA

$$F_h = k_h \cdot W \qquad F_v = k_v \cdot W$$

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = 0.5k_h$$

α = coefficiente che tiene conto della deformabilità del terreno.

β = coefficiente che tiene conto degli spostamenti ammissibili del sistema geotecnico

I coefficienti α e β dipendono dalla geometria del sistema, dall'amplificazione sismica locale e dall'intensità del sisma.

Progettazione geotecnica in zona sismica

PENDII NATURALI E MURI DI SOSTEGNO

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

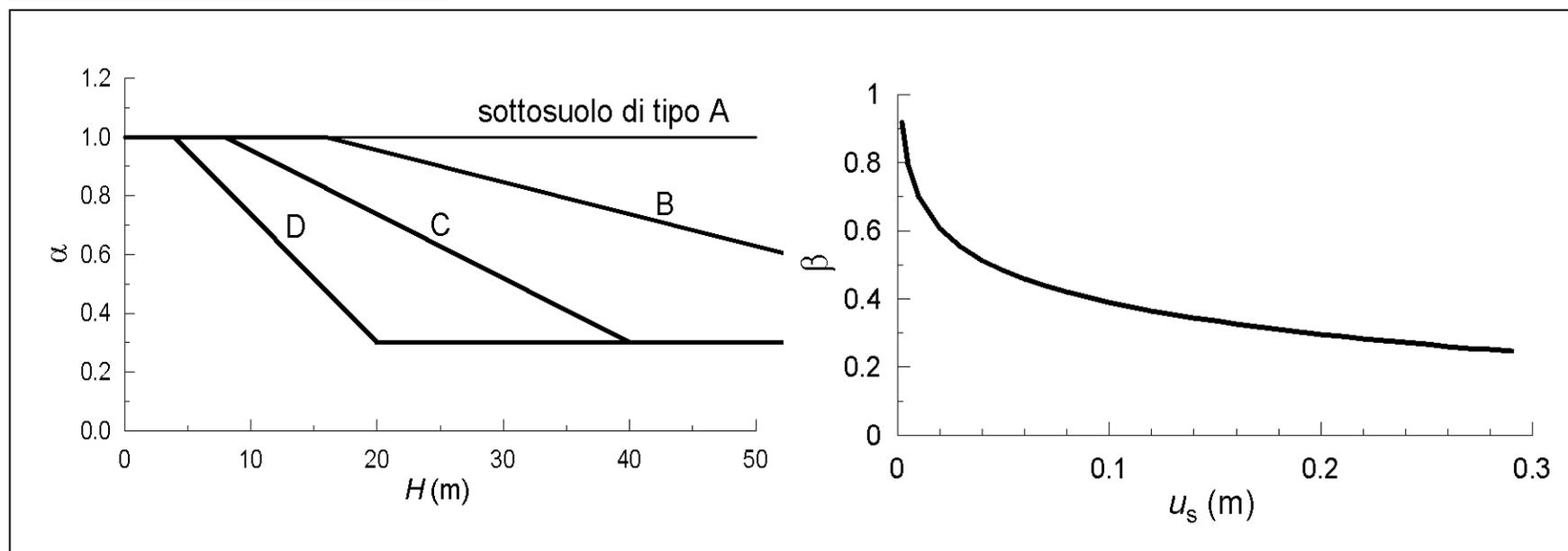
$$\alpha = 1$$

$a_g (g)$	Coefficiente b			
	Categoria di sottosuolo A		Categorie di sottosuolo B, C, D, E	
	PENDII NATURALI	MURI DI SOSTEGNO	PENDII NATURALI	MURI DI SOSTEGNO
$0.2 < a_g (g) \leq 0.4$	0.30	0.28	0.31	0.31
$0.1 < a_g (g) \leq 0.2$	0.27	0.24	0.29	0.24
$a_g (g) \leq 0.1$	0.20	0.20	0.20	0.18

Progettazione geotecnica in zona sismica

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

PARATIE



H : altezza totale della paratia

u_s : spostamento ammissibile

Grazie per l'attenzione!

Alberto Burghignoli

*Ordinario di Meccanica delle Terre
Presidente dell'Associazione Geotecnica Italiana*



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

