



Palermo, 10 Maggio 2012

La Progettazione secondo il D.M. 14.01.2008
“Norme Tecniche per le Costruzioni”

Aspetti geotecnici

Maurizio ZICCARELLI

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali– DICAM
Facoltà di Ingegneria - Università degli Studi di Palermo**

La Geotecnica nelle NTC 2008 è contemplata

Cap. 2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

.....

**§ 2.6 STATI LIMITE SLU E SLE
VERIFICHE CON I COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI γ_i**

.....

Cap. 3 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

.....

§ 3.2 AZIONE SISMICA

.....

Cap. 6. PROGETTAZIONE GEOTECNICA

- 6.1 DISPOSIZIONI GENERALI**
 - 6.2 ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO**
 - 6.3 STABILITÀ 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 FATTIBILITÀ DI OPERE SU GRANDI AREE**
-

Cap. 7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE

.....

§ 7.11 OPERE E SISTEMI GEOTECNICI

.....

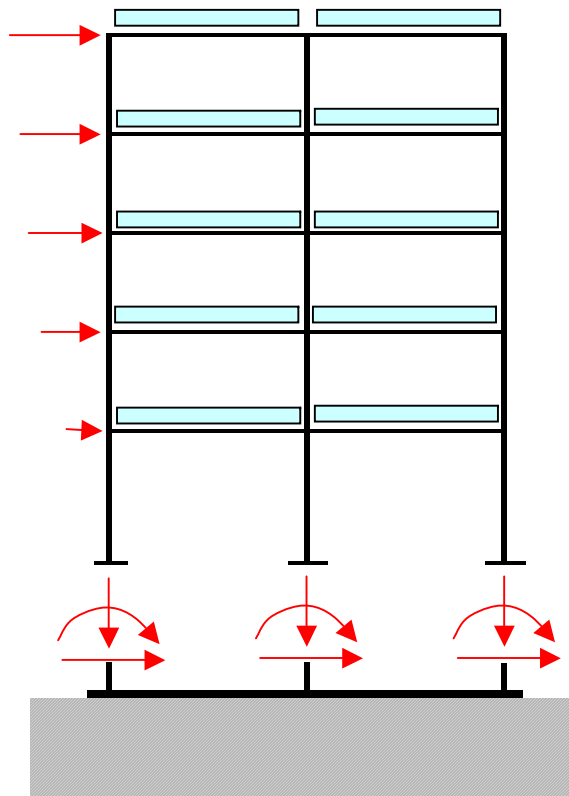
Altri principali documenti di riferimento

- EN 1990. Eurocode – Basis of Design
 - EN 1997-1. Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 1 : General Rules.
 - EN 1998-1. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General Rules, seismic actions and rules for buildings.
 - EN 1998-5. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 5 : Foundations, retaining structures and geotechnical aspects
-

Altri principali documenti di riferimento

- EN 1990. Eurocode – Basis of Design
 - EN 1997-1. Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 1 : General Rules.
 - EN 1998-1. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General Rules, seismic actions and rules for buildings.
 - EN 1998-5. Eurocode 8: 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**
-

Progettazione tradizionale di un edificio



Fase A1

Analisi della struttura in elevazione a
vincoli fissi (analisi disaccoppiata)
(verifica alle tensioni ammissibili)



Fase A2

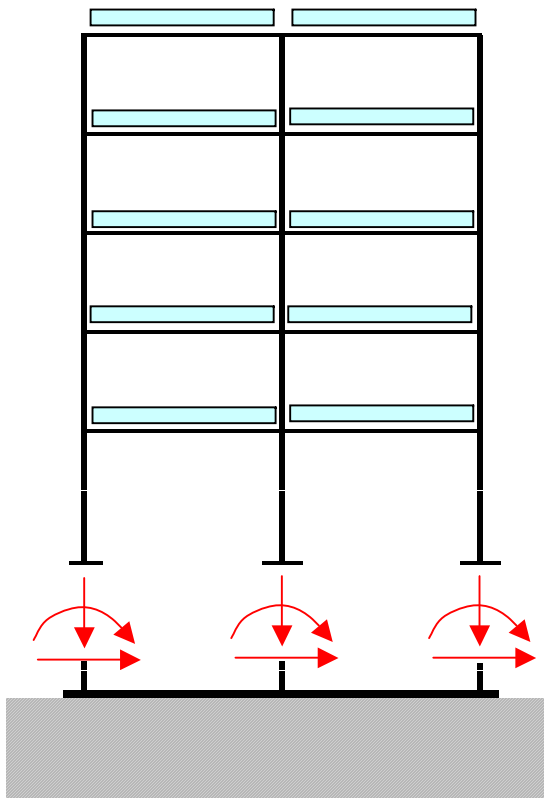
Analisi della fondazione sotto le
azioni trasmesse dalla struttura in
elevazione
(verifica con coefficienti globali di
sicurezza e calcolo dei cedimenti)

Aspetti innovativi delle NTC rispetto al precedente quadro normativo

Modifiche introdotte nelle NTC

- Verifiche agli stati limite (**SLU** e **SLE**) con coefficienti parziali
 - Diverse combinazioni di azioni
 - Due approcci progettuali per verifiche SLU
 - Azioni sismiche differenziate per SLC, SLV, SLD e SLO
 - Azioni sismiche funzione del sottosuolo ("effetto locale")
 - Studio dell'interazione "cinematica" palo-terreno
 - Aspetti legati all'interazione "inerziale"
-

Verifica SLU secondo NTC sotto azioni statiche



- Carichi caratteristici (F_k)
- Det. carichi rappresentativi (ψF_k)
- Det. carichi di progetto ($F_d = \gamma_F \psi F_k$)
- Determinazione azioni di progetto in fondazione, E_d
- Verifica in fondazione
 - Determinazione carichi limite di progetto, R_d (forze orizzontali e verticali)
 - Verifica: $E_d \leq R_d$

LE NOVITÀ PER LA GEOTECNICA RIGUARDANO

- **Sicurezza**
 - Azioni, parametri geotecnici, resistenze
 - **Approcci progettuali**
 - Verifiche

 - **Impiego del metodo osservazionale nella progettazione geotecnica**

 - Opere e sistemi geotecnici in condizioni sismiche
-

LA SICUREZZA

Nella vecchia normativa (D.M. 11.3.88) la sicurezza è espressa mediante coefficienti di sicurezza globali.

Ad esempio:

Verifica nei riguardi del carico limite di una fondazione superficiale

$$F_{qlim} = \frac{q_{lim}}{q_{es}} \geq F_{min} \quad (F_{min} = 3)$$

Verifica nei riguardi della traslazione lungo il piano di posa di un muro di sostegno con fondazioni dirette

$$F_{trasl} = \frac{F_{H\ res}}{F_{H\ inst}} \geq F_{min} \quad (F_{min} = 1.3)$$

Verifica nei riguardi del carico limite di un palo per forze verticali di compressione

$$F_{qilm} = \frac{Q_{lim}}{Q_{es}} \geq F_{min} \quad (F_{min} = 2.5)$$

Mediante il **coefficiente di sicurezza globale** si tiene conto di **tutti i tipi di incertezza** (**legate alle azioni**, alla geometria del problema, **alle proprietà meccaniche dei materiali interessati**, **ai modelli utilizzati**, ai metodi di analisi, etc.)

LA SICUREZZA

Nelle NTC 2008 la sicurezza è espressa (in accordo con gli Eurocodici) mediante la relazione 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 (**CAPACITÀ**)

LA SICUREZZA

Valore di progetto dell'azione
o dell'effetto dell'azione

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

Valore di progetto della
resistenza del sistema
geotecnico

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

$F_k, X_k \longrightarrow$ Azioni e parametri caratteristici

$\gamma_F F_k, \frac{X_k}{\gamma_M} \longrightarrow$ Azioni e parametri di progetto

$a_d \longrightarrow$ geometria di progetto

LA SICUREZZA

$\gamma_F = \gamma_E$ → Coefficienti di sicurezza parziali riguardo alle azioni o all'effetto delle azioni (**domanda**)

γ_M → Coefficienti di sicurezza parziali riguardo ai **materiali**

γ_R → Coefficiente che opera direttamente sulla resistenza del sistema (**capacità**)

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

PROGETTAZIONE GEOTECNICA

CHECK LIST

a) Scelta delle opere geotecniche

b) Identificazione degli **stati limite**

c) Scelta delle indagini e delle prove geotecniche

d) Identificazione dei **valori rappresentativi** e dei **valori caratteristici** dei parametri geotecnici

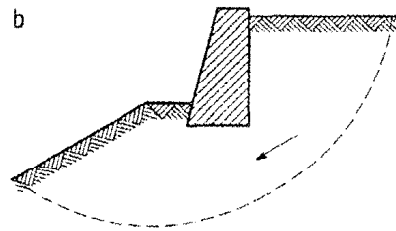
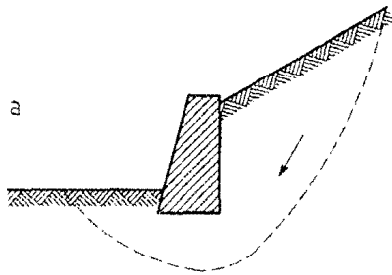
e) Identificazione e qualificazione delle **azioni**; definizione dei loro **valori caratteristici**

f) Scelta dell'**approccio progettuale** e definizione dei **valori di progetto** delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze

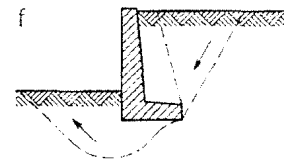
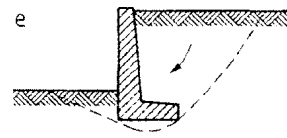
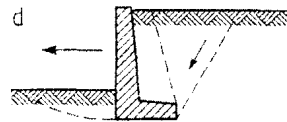
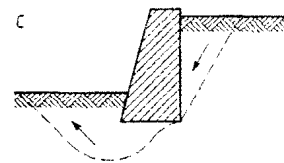
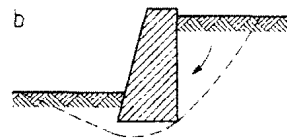
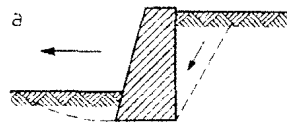
g) Verifiche

b) Identificazione degli stati limite

STATI LIMITE GEOTECNICI

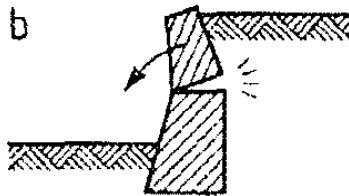
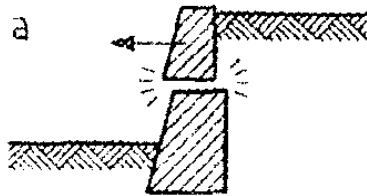


Stabilità globale

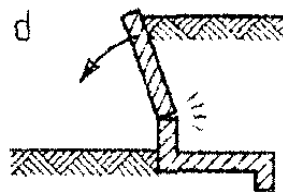
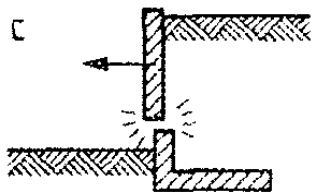
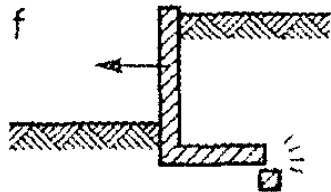
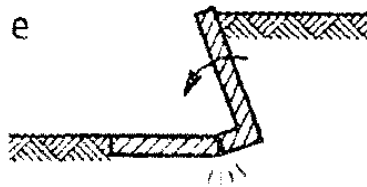


**Stabilità
della
fondazione**

b) IDENTIFICAZIONE DEGLI STATI LIMITE



STATI LIMITE STRUTTURALI



PROGETTAZIONE GEOTECNICA

CHECK LIST

- a) Scelta delle opere geotecniche
 - b) Identificazione degli **stati limite**
 - c) Scelta delle indagini e delle prove geotecniche
 - d) Identificazione dei **valori rappresentativi** e dei **valori caratteristici** dei parametri geotecnici
 - e) Identificazione e qualificazione delle **azioni**; definizione dei loro **valori caratteristici**
 - f) Scelta dell'**approccio progettuale** e definizione dei **valori di progetto** delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze
 - g) Verifiche
-

b) Identificazione dei valori rappresentativi e dei valori caratteristici dei parametri geotecnici

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

b) Identificazione dei valori rappresentativi e dei valori caratteristici dei parametri geotecnici

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 È CONDIVISA E ASSUNTA NELLE NTC

Determinazione del 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)
 - Deve discendere da prove di laboratorio o da **interpretazione dei risultati di prove in sito**
-

Determinazione del valore caratteristico

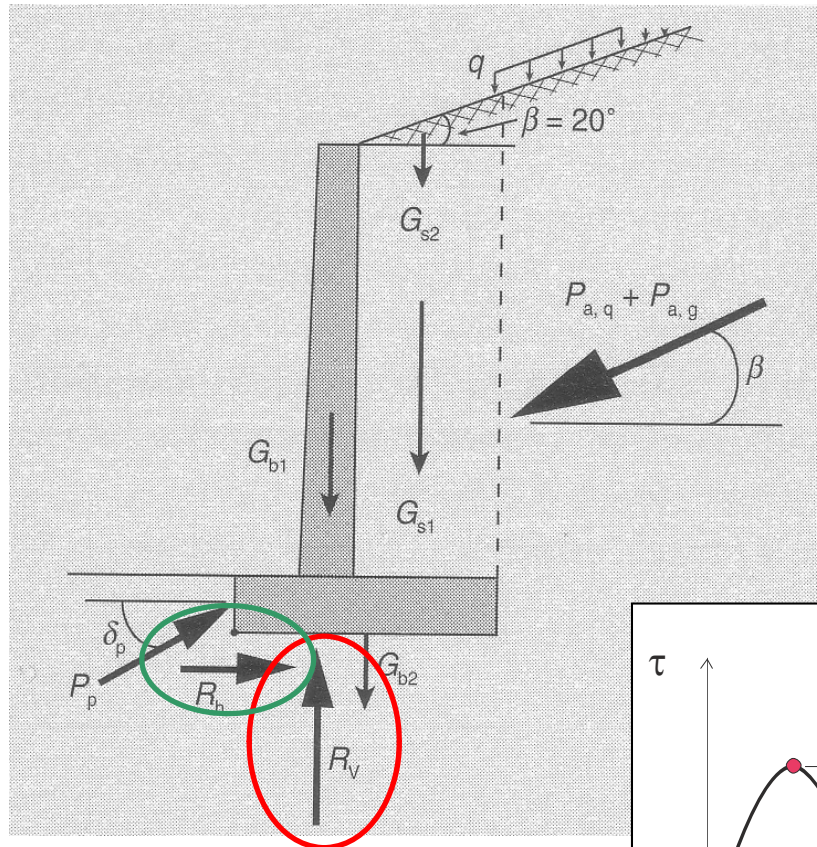
Circolare C.6.2.2

Identifica due fasi:

- identificazione dei parametri geotecnici appropriati
- valutazione dei valori caratteristici

b) Identificazione dei valori rappresentativi e dei valori caratteristici dei parametri geotecnici

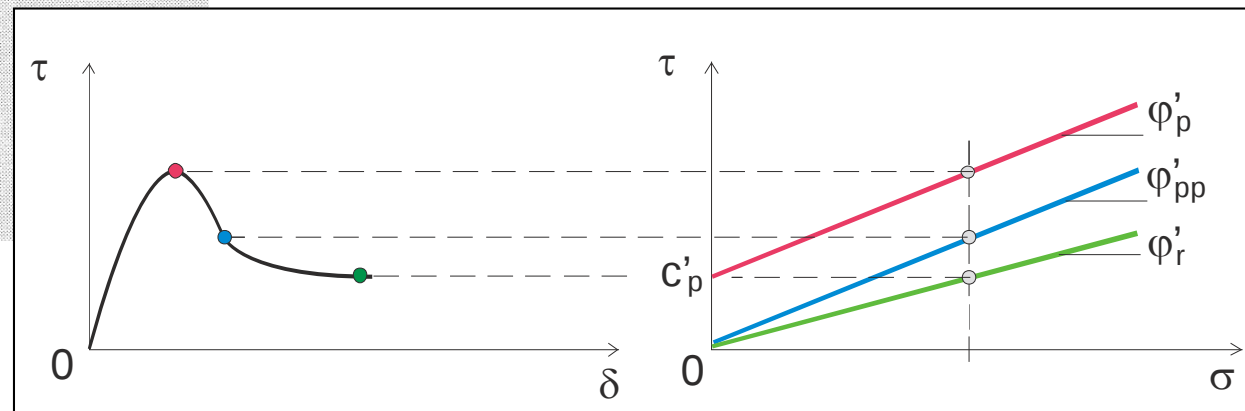
Valori **rappresentativi** dei parametri geotecnici



Carico limite fondazione: **picco**

Scorrimento lungo il piano di posa della fondazione:

- post picco
- resistenza residua
(per grandi spostamenti relativi)



Determinazione del valore caratteristico

Circolare C.6.2.2

Due fasi:

- identificazione dei parametri geotecnici appropriati
- valutazione dei valori caratteristici

Valori caratteristici:

Uguali ai valori prossimi a quelli medi se:

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

Uguali ai valori prossimi a quelli minimi se:

- modesti volumi;
 - struttura di insufficiente rigidità
-

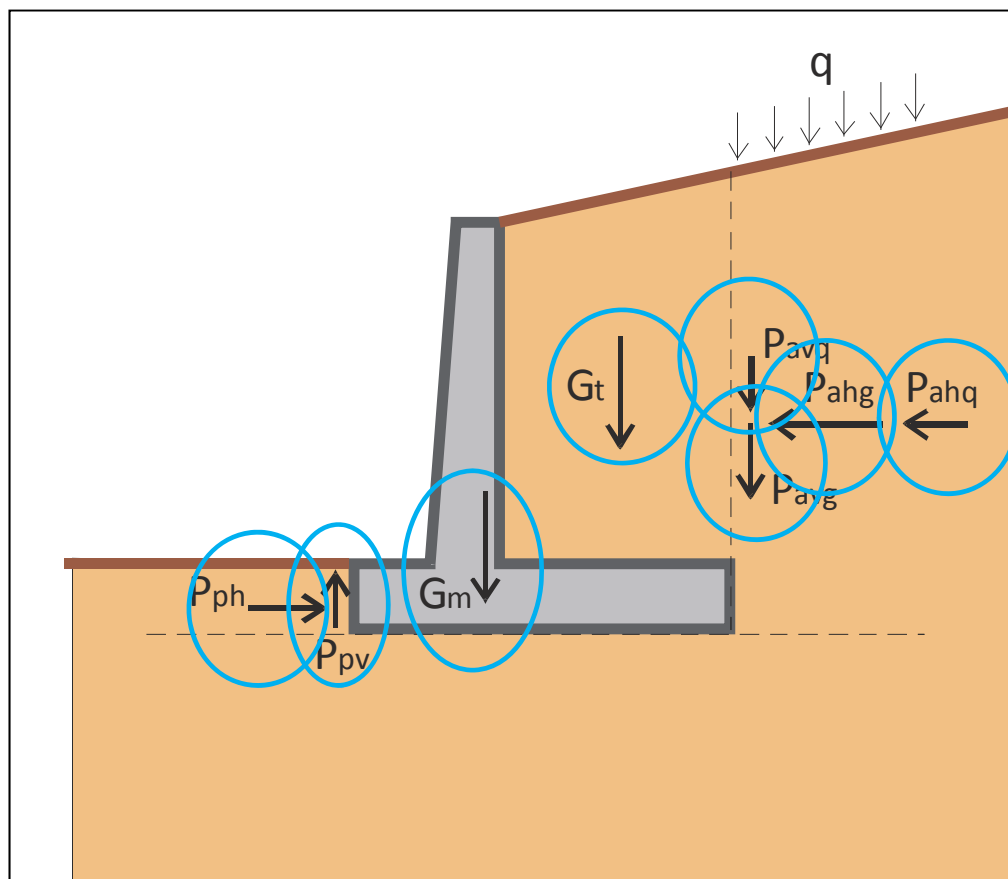
PROGETTAZIONE GEOTECNICA

CHECK LIST

- a) Scelta delle opere geotecniche
 - b) Identificazione degli **stati limite**
 - c) Scelta delle indagini e delle prove geotecniche
 - d) Identificazione dei **valori rappresentativi** e dei **valori caratteristici** dei parametri geotecnici
 - e) Identificazione e qualificazione delle **azioni**; definizione dei loro **valori caratteristici**
 - f) Scelta dell'**approccio progettuale** e definizione dei **valori di progetto** delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze
 - g) Verifiche
-

e) Identificazione e qualificazione delle **AZIONI**; Definizione dei loro **VALORI CARATTERISTICI**

Esempio: muro di sostegno a mensola in c.a.



TIPO DI AZIONE

Permanente

- G_t
- G_m
- P_{avg}
- P_{ahg}
- P_{ph}
- P_{pv}

Variabile

- P_{ahq}
- P_{ahv}

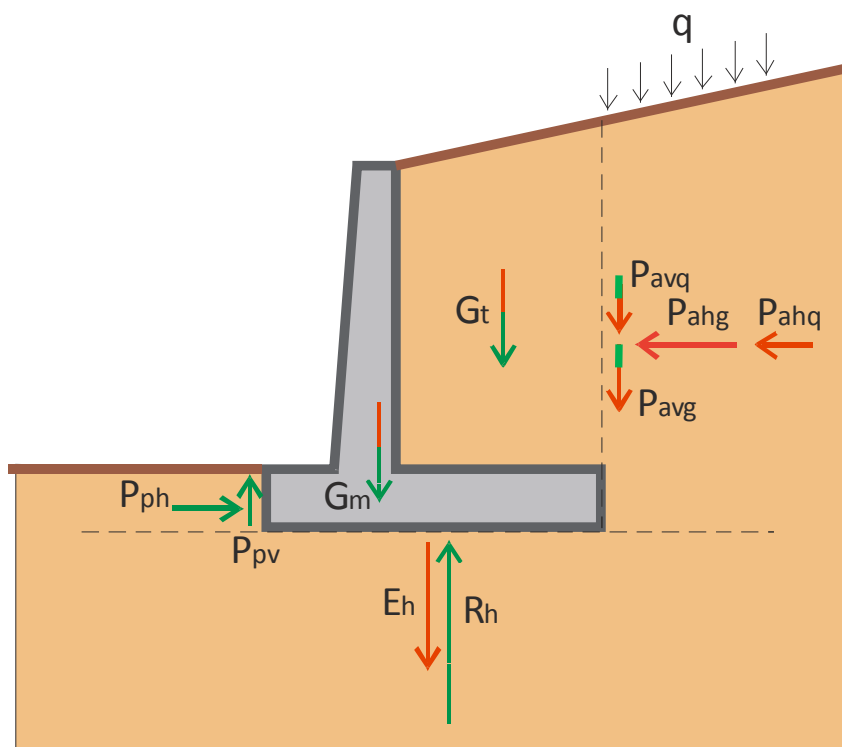
EFFETTO DELL'AZIONE

- Favorevole

- Sfavorevole

e) Identificazione e qualificazione delle **AZIONI**; Definizione dei loro **VALORI CARATTERISTICI**

SLU: Carico limite del complesso fondazione-terreno



EFFETTO DELL'AZIONE

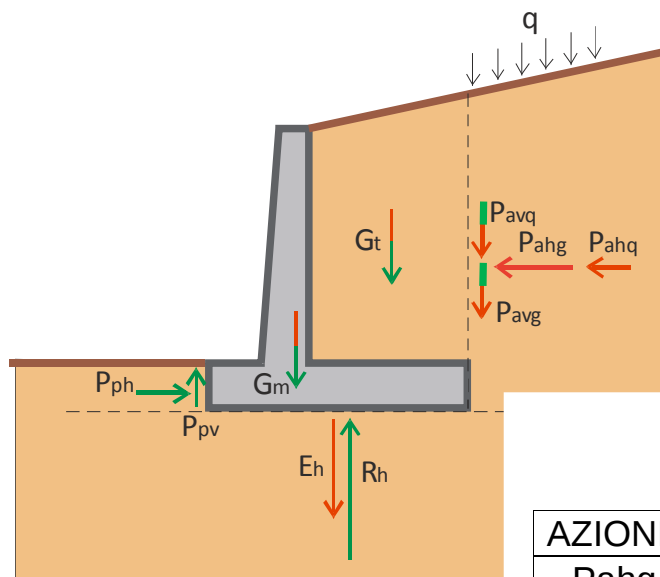
- Favorevole

(P_{ph} , P_{pv} , G_m , G_t , P_{avq} , P_{avg})

- Sfavorevole

(P_{ahq} , P_{ahq} , G_m , G_t , P_{avq} , P_{avq})

e) Identificazione e qualificazione delle **AZIONI**; Definizione dei loro **VALORI CARATTERISTICI**



Carico limite della fondazione

AZIONE	TIPO	EFFETTO	γ_F	Approccio 1		Approccio 2
				C1	C2	AP2
Pahg	Permanente	sfavorevole	γ_{G1}	1.3	1.0	1.3
Pahq	Variabile	sfavorevole	γ_{Q1}	1.5	1.3	1.5
Pavq	Variabile	sfavorevole favorevole	γ_{Q1}	1.5 0	1.3 0	1.5 0
Pavg	Permanente	sfavorevole favorevole	γ_{G1}	1.5 1.0	1.3 1.0	1.5 1.0
Pph	Permanente	favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0	1.0
Ppv	Permanente	favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0	1.0
Gt	Permanente	sfavorevole favorevole	γ_{G1}	1.3 1.0	1.0 1.0	1.3 1.0
Gm	Permanente	sfavorevole favorevole	γ_{G1}	1.3 1.0	1.0 1.0	1.3 1.0

G1: Carichi permanenti strutturali (comprendenti, in alcuni casi, peso dell'acqua e dei terreni)

PROGETTAZIONE GEOTECNICA

CHECK LIST

- a) Scelta delle opere geotecniche
 - b) Identificazione degli **stati limite**
 - c) Scelta delle indagini e delle prove geotecniche
 - d) Identificazione dei **valori rappresentativi** e dei **valori caratteristici** dei parametri geotecnici
 - e) Identificazione e qualificazione delle **azioni**; definizione dei loro **valori caratteristici**
 - f) Scelta dell'**approccio progettuale** e definizione dei **valori di progetto** delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze
 - g) Verifiche
-

f - Scelta dell'approccio progettuale e definizione dei valori di progetto delle azioni, dei parametri geotecnici e delle resistenze.

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)

Le verifiche di stabilità globale di qualsiasi opera devono essere eseguite con l'Approccio 1 combinazione 2 ($A2+M2+R2$).

AZIONI

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	EQU (*)	UPL	HYD	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	0.9	0.9	1	1
	Sfavorevole		1.1	1.1	1.3	1.3	1
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0	0	0	0	0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0	0	0	0	0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.5	1.5	1.3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

RESISTENZE

Coefficienti parziali sulla resistenza del sistema geotecnico

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
Carichi assiali									
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
Carichi trasversali									
	1,0	1,6	1,3	1,0	1,6	1,3	1,0	1,6	1,3

Coefficienti parziali sulla resistenza del sistema geotecnico

MURI DI SOSTEGNO

	(R1)	(R2)	(R3)
VERIFICA	γ_R	γ_R	γ_R
Stabilità globale	-	1,1	-
Carico limite	1,0	1,0	1,4
Scorrimento sul piano di posa	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

FONDAZIONI SUPERFICIALI

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_{cu}	1,0	1,4
γ	γ_γ	1,0	1,0

Carico limite

$$E_d \leq R_d$$

Combinazione (A1+M1+R1) :

$$R_d = \frac{Q_{lim}}{\gamma_R} = \frac{Q_{lim}}{1}$$

Combinazione (A2+M2+R2) :

$$R_d = \frac{Q_{lim}}{\gamma_R} = \frac{Q_{lim}}{1.8}$$

Combinazione (A1+M1+R3) :

$$R_d = \frac{Q_{lim}}{\gamma_R} = \frac{Q_{lim}}{2.3}$$

FONDAZIONI SUPERFICIALI

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_{cu}	1,0	1,4
γ	γ_γ	1,0	1,0

Scorrimento sul piano di posa

$$E_d \leq R_d$$

Combinazione (A1+M1+R1) :

$$R_d = \frac{T_{lim}}{\gamma_R} = \frac{T_{lim}}{1}$$

Combinazione (A2+M2+R2) :

$$R_d = \frac{T_{lim}}{\gamma_R} = \frac{T_{lim}}{1.1}$$

Combinazione (A1+M1+R3) :

$$R_d = \frac{T_{lim}}{\gamma_R} = \frac{T_{lim}}{1.1}$$

PALI DI FONDAZIONE – carichi assiali

CARICHI	γ_F	EFFETTO	(A1) STR	(A2) GEO	PARAMETRO	γ_M	(M1)	(M2)
Permanenti	γ_G	Favorevole	1,0	1,0	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
		Sfavorevole	1,3	1,0	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Variabili	γ_Q	Favorevole	0,0	0,0	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
		Sfavorevole	1,5	1,3	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
Carichi assiali									
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

Verifiche

AP1- C1: A1+M1+R1

AP1- C2: A2+M1+R2

AP2: A1+M1+R3

PALI DI FONDAZIONE – carichi assiali

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

(Si premia il numero di prove)

PALI DI FONDAZIONE – carichi assiali

**Resistenza caratteristica valutata con metodi analitici
(utilizzo parametri geotecnici o risultati prove in sito,
SPT, CPT, pressiometriche, etc.)**

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

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

(Si premia il numero di verticali indagate, quelle però spinte a profondità maggiori della lunghezza dei pali stessi)

PALI DI FONDAZIONE – carichi assiali

Fra le azioni **permanenti** deve essere portato in conto il peso proprio del palo e l'eventuale effetto dell'attrito negativo valutato con i coefficienti sui parametri geotecnici M1 (non ridotti).

PALI DI FONDAZIONE

CARICHI TRASVERSALI

Alla resistenza “trasversale” caratteristica $R_{tr,k}$ si applica il coefficiente di sicurezza parziale γ_T

Tabella 6.4.VI - Coefficienti parziali γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali.

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_T = 1,0$	$\gamma_T = 1,6$	$\gamma_T = 1,3$

L'approccio 1 combinazione 2 (A2+M1+R2) e l'approccio 2 (A1+M1+R3) risultano determinanti per il progetto (più gravosi).

PALI DI FONDAZIONE

CARICHI TRASVERSALI

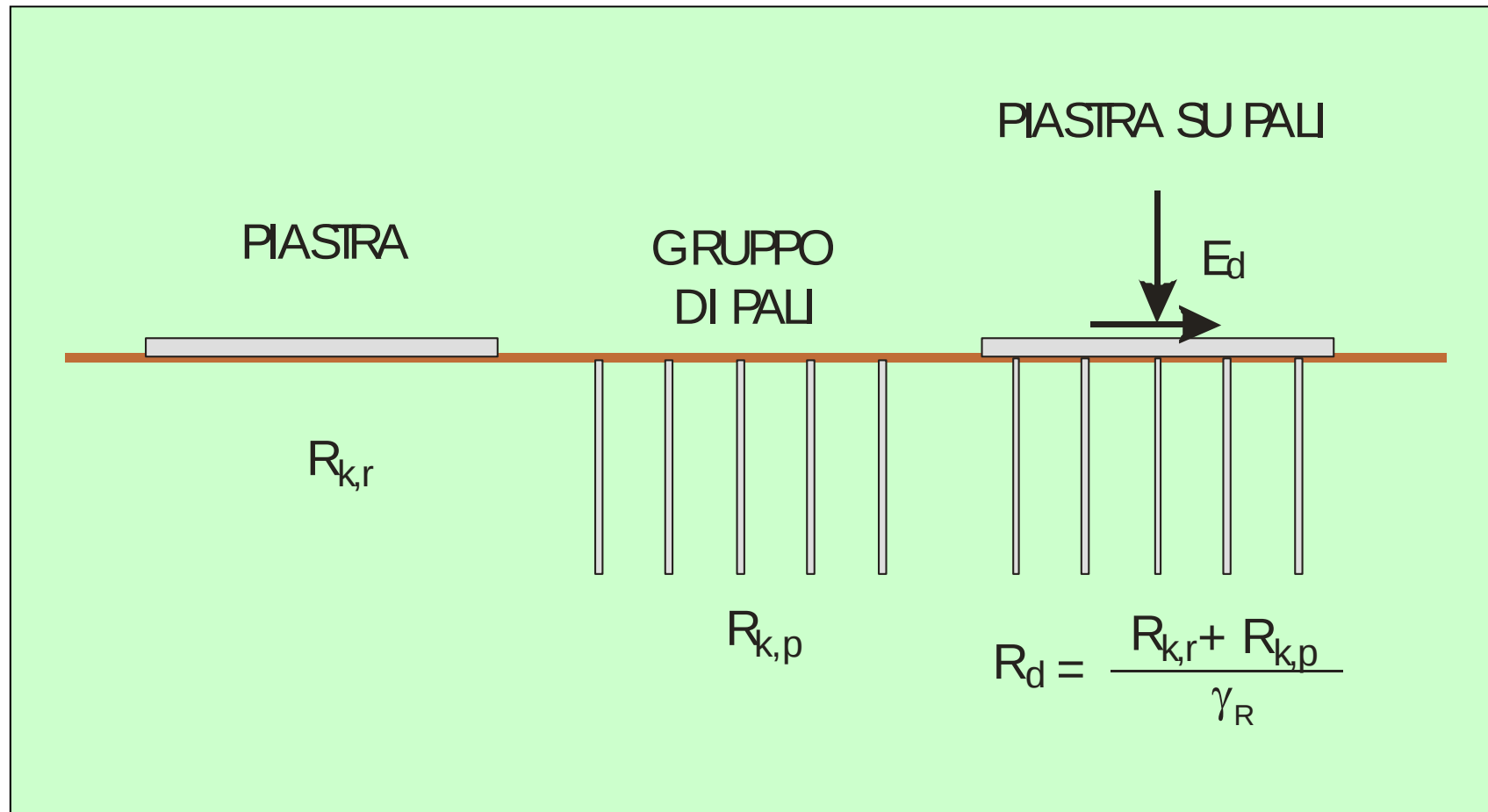
La resistenza trasversale può essere determinata anche mediante prove di carico statico su pali pilota.

Esse non devono essere necessariamente spinte a rottura, ma comunque devono riprodurre intensità e retta d'azione delle azioni di progetto.

Non è fornito alcun coefficiente di correlazione da applicare alle resistenze così determinate.

FONDAZIONI MISTE

Le NTC prevedono l'utilizzo di fondazioni miste (piastra + pali)



$\gamma_R = 2.3$ CARICO LIMITE

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

CENNI DI SISMICA

Rappresentazione dell'azione sismica

In funzione del tipo di analisi:

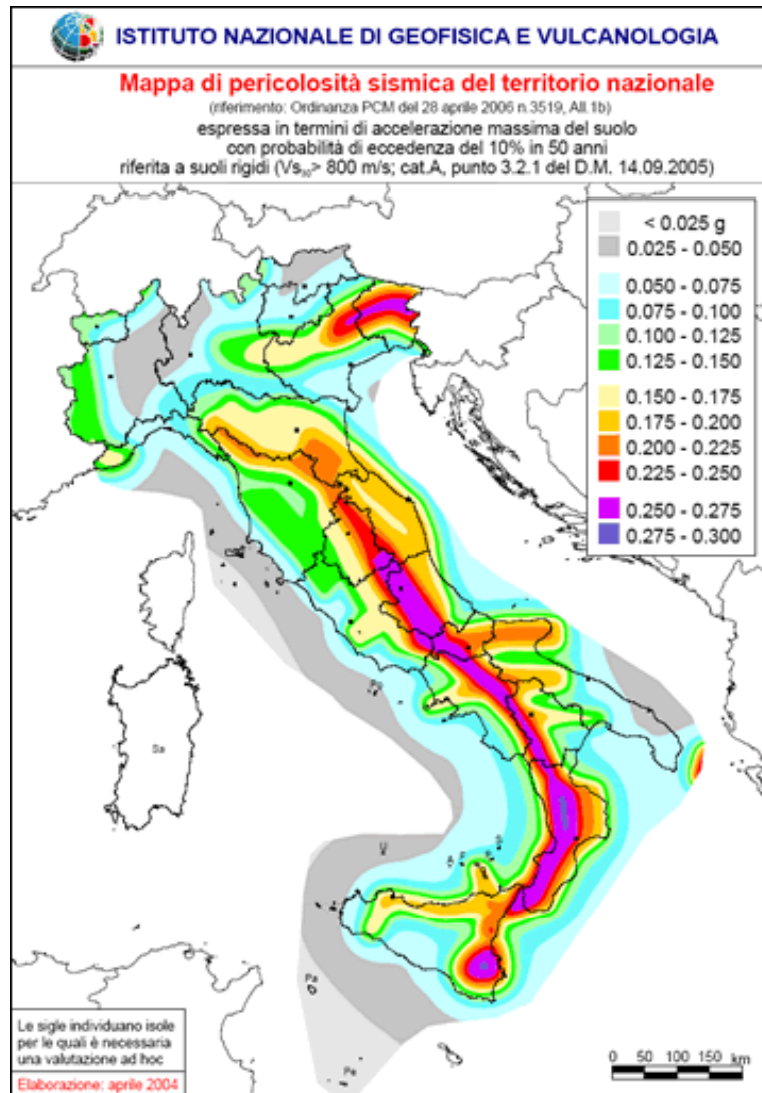
- accelerazione massima in superficie
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta in superficie (differenti spettri per diversi tipi di sottosuolo)
- accelerogrammi

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

Pericolosità sismica di base

Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>



↓
PALERMO

$a_g = 0.177$ g (SLV)

(SLU)

$P_{VR} = 10$ % (50 perc) in 50 anni

$a_g = 0.061$ g (SLE)

(SLE)

$P_{VR} = 63$ % (50 perc) in 50 anni

$a_g = 0.044$ g (SLO)

(SLE)

$P_{VR} = 81$ % (50 perc) in 50 anni

$a_g = 0.229$ g (SLC)

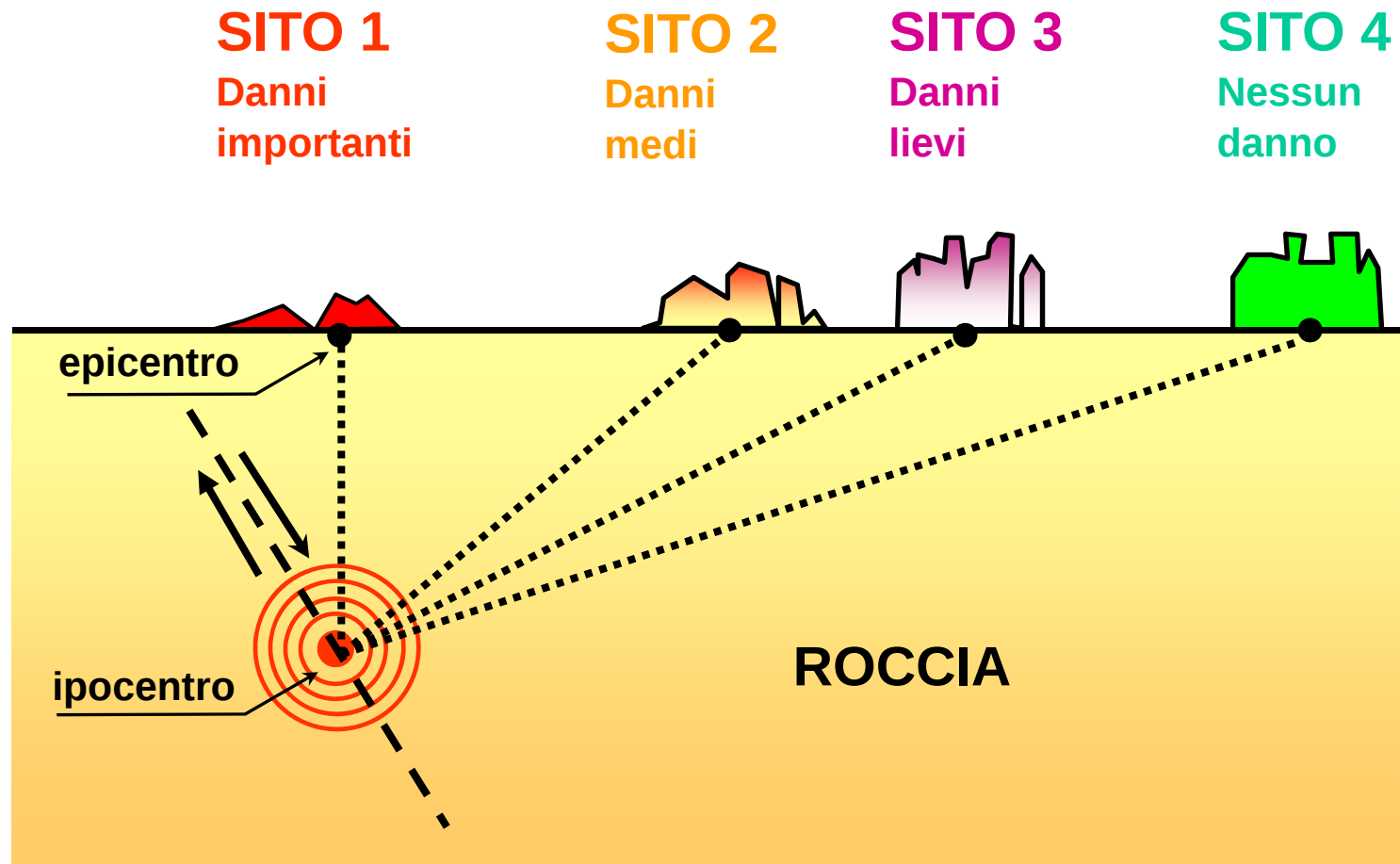
(SLu)

$P_{VR} = 5$ % (50 perc) in 50 anni

Strutture particolari (es. strutture con isolatori sismici)

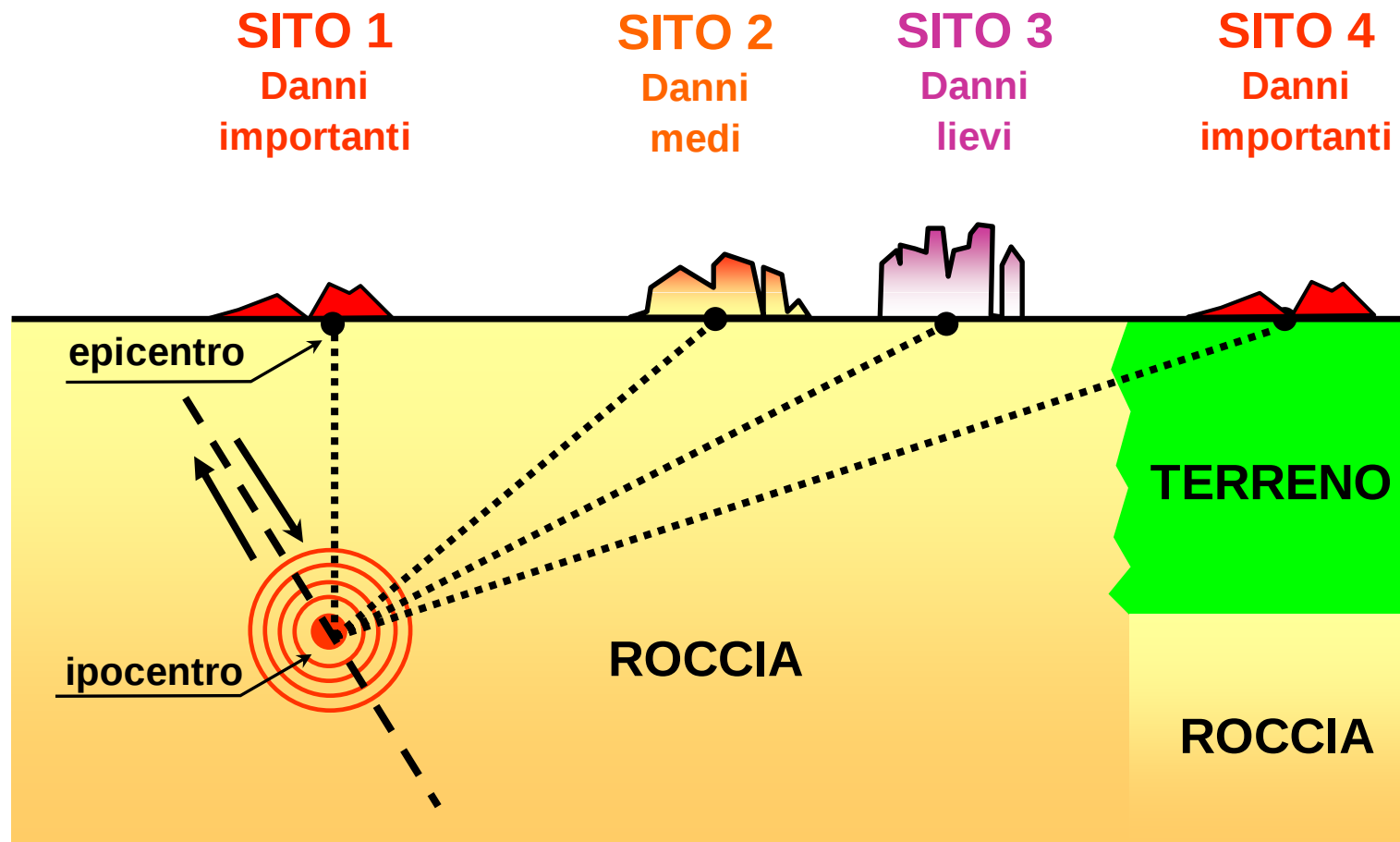
Pericolosità sismica locale

Gli **effetti di sito** possono modificare notevolmente il moto sismico atteso in un dato sito rispetto a quello che si avrebbe su roccia affiorante



Pericolosità sismica locale

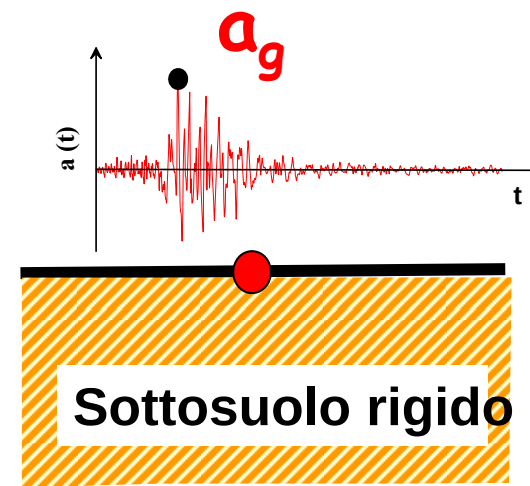
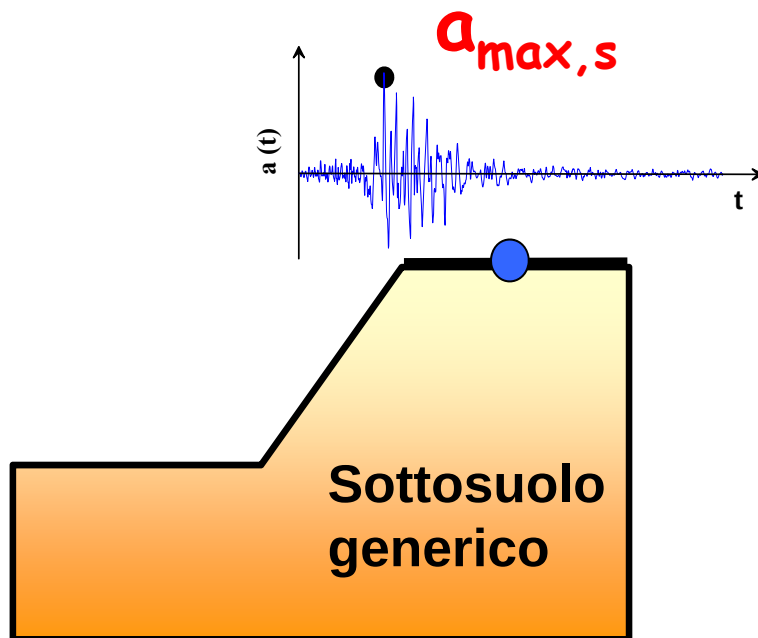
Gli ***effetti di sito*** possono modificare notevolmente il moto sismico atteso in un dato sito rispetto a quello che si avrebbe su roccia affiorante



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 locale
-

Accelerazione massima in superficie

- Piani di riferimento

analisi di risposta sismica
locale



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 (non suolo)

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>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente 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 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>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ 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	Depositi 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	Depositi di terreni suscettibili alla liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti .

**Per qualsiasi opera deve essere eseguita preliminarmente la verifica nei riguardi della
riguardi della liquefazione**

Questa verifica è particolarmente importante per i depositi sabbiosi poco addensati saturi d'acqua nei primi 15-20m.

AZIONE PSEUDOSTATICA

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

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

$$k_v = 0.5k_h$$

α = coefficiente che tiene conto della deformabilità del terreno.

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

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

Progettazione geotecnica in zona sismica

PENDII E MURI DI SOSTEGNO

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

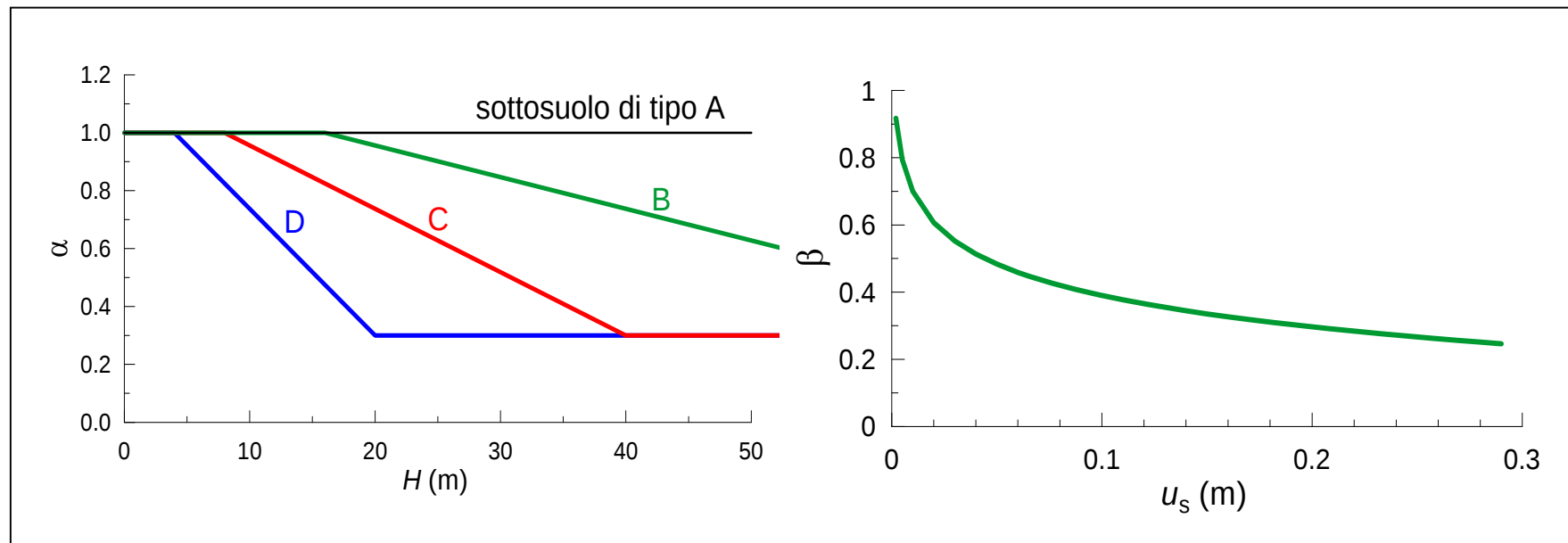
$$\alpha = 1$$

$a_g (g)$	Coefficiente β			
	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

Requisiti strutturali degli elementi di fondazione

Le **azioni di progetto in fondazione** derivano dall'analisi della sovrastruttura alla quale sono applicate le **azioni statiche e sismiche** (con coefficienti amplificativi unitari).

Le azioni da considerare in fondazione sono:

N_d : sforzo assiale trasmesso dalla sovrastruttura;

M_{rd} e T_{rd} : momento flettente resistente e sforzo di taglio resistente valutati per $N=N_d$;

Queste azioni devono essere **non maggiori** di quelle trasmesse dalla struttura sovrastante amplificate di

- **1.1** per strutture in CD“B”
- **1.3** per strutture in CD“A”

e comunque **non maggiori** di quelle ottenute con fattore di struttura **$q=1$** .

Requisiti strutturali degli elementi di fondazione

Le strutture delle fondazioni superficiali devono essere progettate per restare **in campo elastico** anche nelle verifiche agli **SLU**, indipendentemente da come è eseguita la verifica della sovrastruttura e dalla **classe di duttilità** della sovrastruttura (**indipendentemente se la sovrastruttura è dissipativa o meno**).

È prevista **un'armatura minima** (0.2% dell'area di calcestruzzo, per l'intera lunghezza, sia inferiormente che superiormente) .

Requisiti strutturali degli elementi di fondazione

I pali devono essere armati per tutta la lunghezza $A_s \geq 0.3\% A_c$.

Nei casi in cui sono rilevanti gli effetti dell'interazione cinematica, bisogna considerare la condizione di sollecitazione più sfavorevole estesa a tutta la lunghezza del palo.

È da evitare l'uso di pali inclinati. Nel caso in cui è necessario usarli, essi devono essere dimensionati con adeguato margine di sicurezza nei delle sollecitazioni derivanti dall'analisi del complesso fondazione-terreno in condizioni sismiche.

Requisiti strutturali degli elementi di fondazione

Le strutture di fondazione devono essere collegate. Il sistema di fondazione deve essere dotato di elevata rigidezza flessionale ed estensionale.

$$\pm 0.3 N_{sd} \frac{a_{max}}{g} \quad \text{Sottosuolo di tipo B}$$

$$\pm 0.4 N_{sd} \frac{a_{max}}{g} \quad \text{Sottosuolo di tipo C}$$

$$\pm 0.6 N_{sd} \frac{a_{max}}{g} \quad \text{Sottosuolo di tipo D}$$

dove N_{sd} è il **valore medio** delle forze verticali agenti sugli elementi collegati, e a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito (da risposta sismica locale).

Il sistema di fondazione deve essere dotato di elevata rigidezza flessionale ed estensionale.

VERIFICA NEI CONFRONTI DI SLE

6.4.2.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Si devono calcolare i valori degli **spostamenti** e delle **distorsioni** per verificarne la **compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione** (§§ 2.2.2 e 2.6.2), nel rispetto della condizione (6.2.7). Analogamente, forma, dimensioni e rigidezza della struttura di fondazione devono essere stabilite nel rispetto dei summenzionati requisiti prestazionali, tenendo presente che **le verifiche agli stati limite di esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli stati limite ultimi**.

Per la verifica deve risultare quindi:

$$E_d \leq C_d$$

E_d : valore di progetto dell'effetto delle azioni.

C_d : prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

Il valore di C_d deve essere stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione (da valutare caso per caso).

VERIFICA NEI CONFRONTI DI SLE

Circolare.

I valori delle proprietà meccaniche da adoperare nell'analisi sono quelli **caratteristici** e i **coefficienti parziali** sulle azioni e sui parametri di resistenza sono sempre **unitari**.

Sulla base della previsione dei cedimenti deve esprimersi un giudizio **sulla loro ammissibilità** con riferimento ai limiti imposti dal comportamento statico e dalla funzionalità del manufatto. Qualora il manufatto in progetto possa influire sul comportamento statico e sulla funzionalità di **manufatti adiacenti**, il giudizio di ammissibilità deve essere **esteso a questi ultimi**.

La normativa **non fissa** i valori ammissibili per i cedimenti, le distorsioni etc.

Per le opere e i sistemi geotecnici, gli stati limite di esercizio si riferiscono al raggiungimento di **valori critici di spostamenti e rotazioni**, assoluti e/o relativi, e distorsioni che possano compromettere la funzionalità dell'opera. È quindi necessario valutare, utilizzando i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze dei materiali, gli spostamenti e le rotazioni delle opere, nonché il loro andamento nel tempo.

VERIFICA NEI CONFRONTI DI SLE

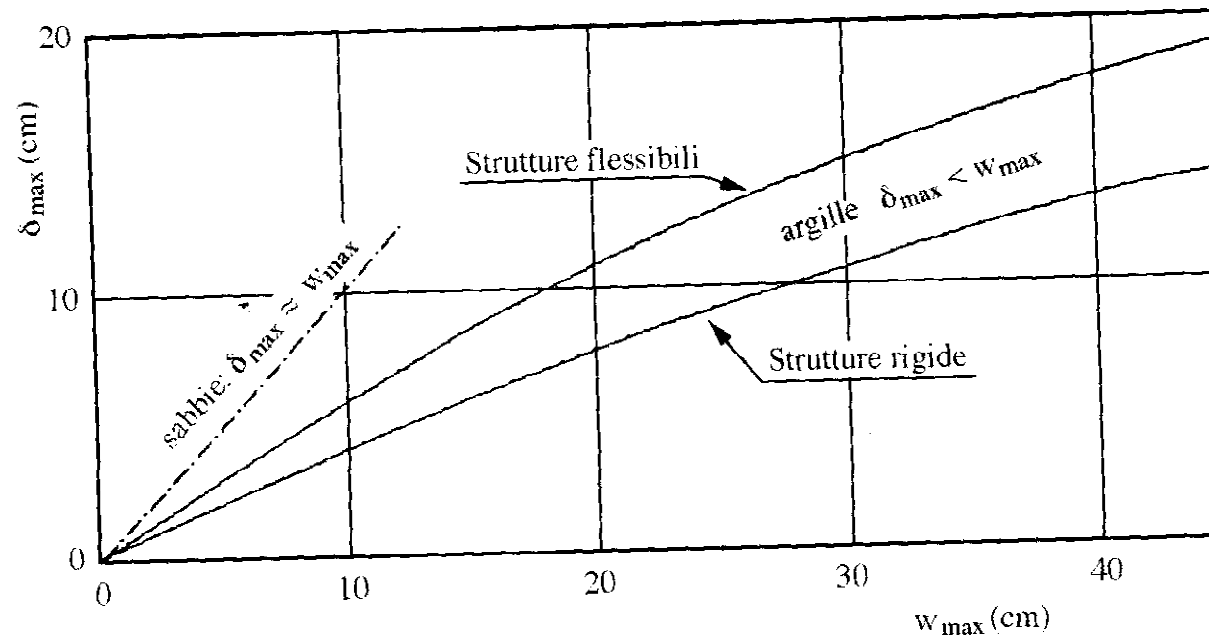


Fig. 10.15. Correlazione statistica tra il massimo cedimento assoluto ed il massimo cedimento differenziale

Correlazione tra cedimento massimo $w_{\max}$ e cedimento differenziale massimo $\delta_{\max}$ su edifici in vera grandezza

VERIFICA NEI CONFRONTI DI SLE

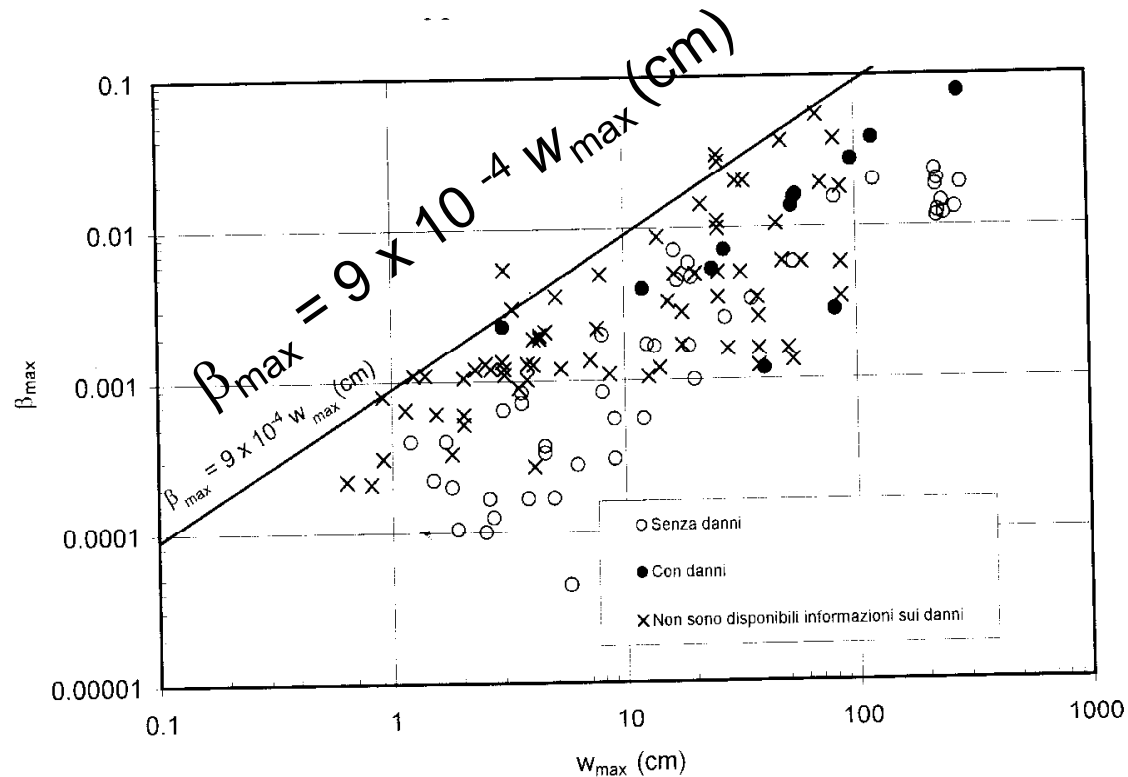


Fig. 10.16. Correlazione fra distorsione angolare massima $\beta_{\max}$ e cedimento massimo $w_{\max}$

Correlazione tra distorsione angolare $\beta_{\max}$ e cedimento massimo $w_{\max}$

VERIFICA NEI CONFRONTI DI SLE

VALORI AMMISSIBILI DELLE DISTORSIONI

Struttura	Tipo di danno	Valori ammissibili di β			
		Skempton e McDonald (1956)	Meyerhof (1974)	Polshin e Tokar (1957)	Bjerrum (1973)
Strutture intelaiate e murature armate	Alle strutture	1/150	1/250	1/200	1/150
	Ai tompagni	1/300	1/500	1/500	1/500
	Valori ammissibili di Δ/L				
		Meyerhof (1974)	Polshin e Tokar (1957)	Burland e Wroth (1975)	
Murature portanti non armate	Deformata con concavità verso l'alto	$0,4 \times 10^{-3}$	$0,3 \div 0,4 \times 10^{-3}$ ($L/H \leq 3$)	$0,4 \times 10^{-3}$ ($L/H = 1$) $0,8 \times 10^{-3}$ ($L/H = 5$)	
	Deformata con concavità verso il basso			$0,2 \times 10^{-3}$ ($L/H = 1$) $0,4 \times 10^{-3}$ ($L/H = 5$)	

Tab. 10.3. Valori ammissibili della rotazione relativa β e del rapporto di inflessione Δ/L delle strutture

I valori delle distorsioni accettabili sono molto variabili e dipendono dal concetto stesso di danno accettabile. In genere i valori più restrittivi si riferiscono a strutture di pregio mentre quelli meno restrittivi a alle costruzioni industriali.

VERIFICA NEI CONFRONTI DI SLE

Metodi per la riduzione delle distorsioni

- Fondazioni su pali
 - Modifica della struttura
 - Modifica fondazione
 - Migliorare le caratteristiche del terreno
-

6.1.2 delle NTC

Le scelte progettuali, il programma e i risultati delle indagini (obbligatorie), la caratterizzazione e la modellazione geotecnica, unitamente ai calcoli per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive, devono essere illustrati nella

RELAZIONE GEOTECNICA

GRAZIE PER L'ATTENZIONE