



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI BERGAMO
COMMISSIONE GEOTECNICA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
BERGAMO
FACOLTA' DI INGEGNERIA



Norme Tecniche per le Costruzioni

D.M. 14 gennaio 2008

Progettazione geotecnica

Dalmine - Venerdì, 23 Maggio 2008

Opere e sistemi geotecnici in condizioni sismiche (Parte II)



Prof. ing. Stefano Aversa

Dipartimento per le Tecnologie - Università di Napoli Parthenope



Opere trattate

- Fondazioni superficiali
- Fondazioni su pali
- Muri di sostegno
- Paratie

Approcci presentati

- Coerenti con Norme Tecniche (DM 14.01.08)
- Prevalentemente pseudostatici
- Cenni a:
 - metodi dinamici semplificati per i pali
 - metodi degli spostamenti per i muri di sostegno

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Collocazione della lezione

- A valle delle lezioni di:
 - **Renato Lancellotta:** Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica
 - **Franco Mola:** La filosofia del metodo agli stati limite, il concetto di sicurezza
 - **Armando L. Simonelli:** Opere e sistemi geotecnici (Parte I)
- A monte delle lezioni di:
 - **Francesco Colleselli e Mario Manassero:** Criteri generali di progetto delle fondazioni e delle opere di sostegno

Inevitabile qualche invasione di campo nelle lezioni di Colleselli e Manassero

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Documento di riferimento

DM 14/01/08 - Norme Tecniche per le costruzioni
con particolare attenzione ai seguenti paragrafi:

3.2 - Azione sismica

6 - Progettazione geotecnica

6.2 - Articolazione del progetto

6.4 - Opere di fondazione

6.5 - Opere di sostegno

7 - Progettazione per azioni sismiche

7.2 - Criteri generali di progettazione e modellazione

7.11 - Opere e sistemi geotecnici

**Si farà riferimento anche a EN (con Appendici Nazionali)
e Linee Guida AGI**

Introduzione

Fondazioni
superficiali

Fondazioni su
pali

Muri di
sostegno

Paratie



Progettazione tradizionale

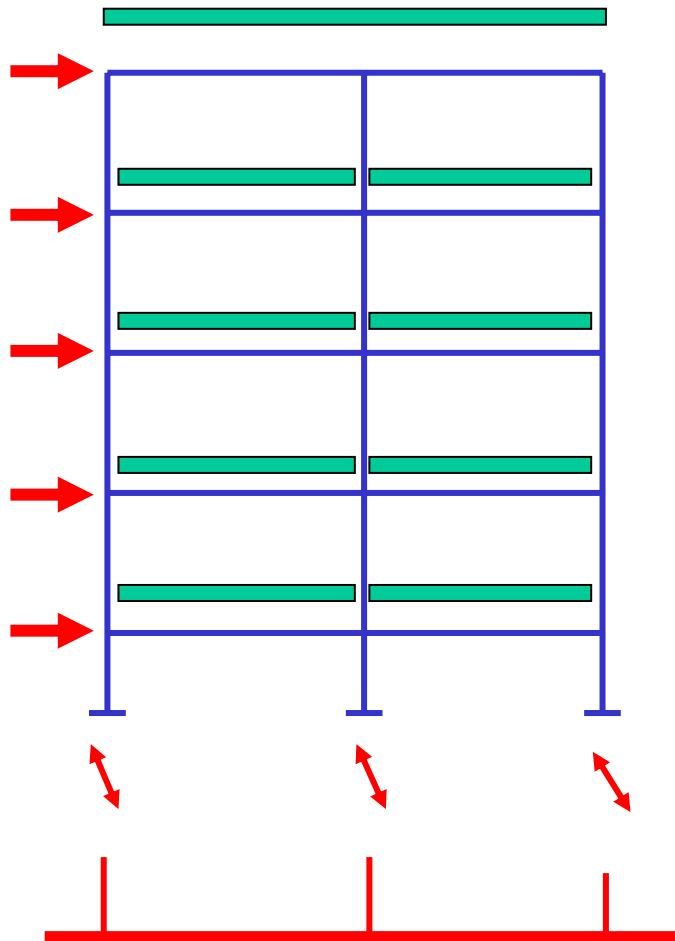
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Fase A1

Analisi della struttura in elevazione a vincoli fissi

(verifica alle tensioni ammissibili)



Fase A2

Analisi della fondazione sotto gli "scarichi" della struttura in elevazione

(verifica con coefficienti globali di sicurezza e calcolo dei cedimenti)



Modifiche dovute agli Eurocodici recepiti da NTC

- Verifiche agli stati limite con coefficienti parziali
- **Diverse combinazioni di azioni**
- Diversi approcci progettuali (**Design Approaches**)
- **Azioni sismiche differenziate per SLU e SLE**
- Azioni sismiche funzione del sottosuolo ("effetto locale")
- **Studio dell'interazione "cinematica" palo-terreno**
- Possibilità di utilizzazione di metodi degli spostamenti per alcune strutture

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Verifica SLU secondo NTC sotto azioni statiche

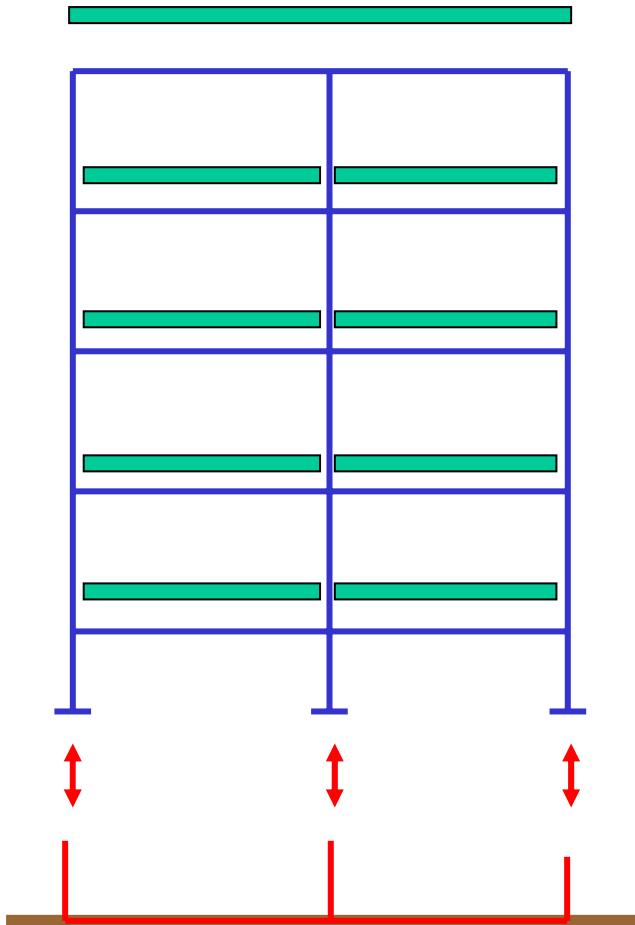
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



- Carichi caratteristici (F_k)
- Det. carichi rappresentativi (ψF_k)
- Det. carichi di progetto ($F_d = \gamma_F \psi F_k$)
- Determinazione delle caratteristiche della sollecitazione nella struttura
- Verifica: $M_d \leq M_{rd}$



Verifica SLU secondo NTC sotto azioni statiche

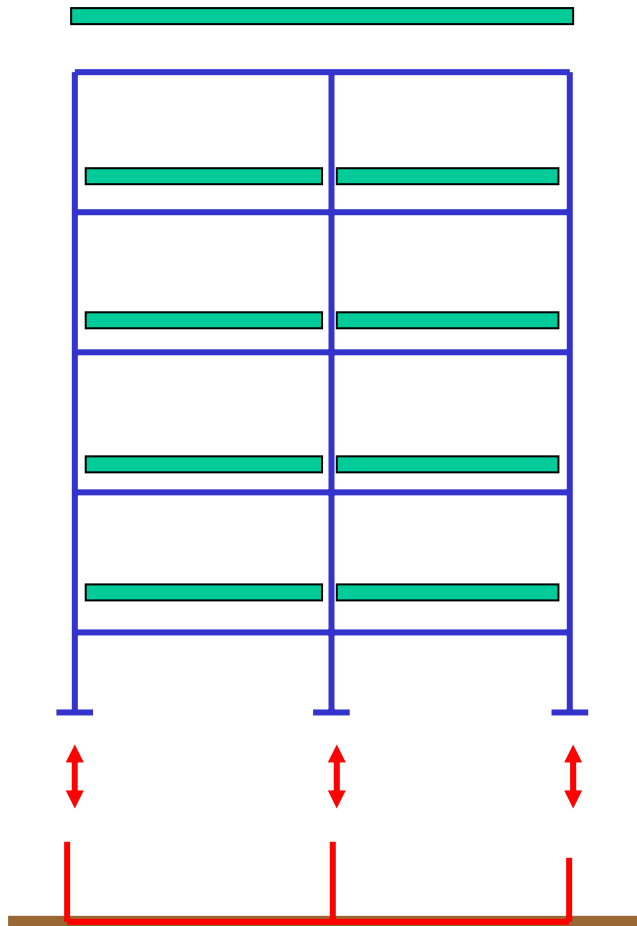
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



- Carichi caratteristici (F_k)
- Det. carichi rappresentativi (ψF_k)
- Det. carichi di progetto ($F_d = \gamma_F \psi F_k$)
- Determinazione “scarichi” di progetto in fondazione, E_d



Verifica SLU secondo NT sotto azioni statiche

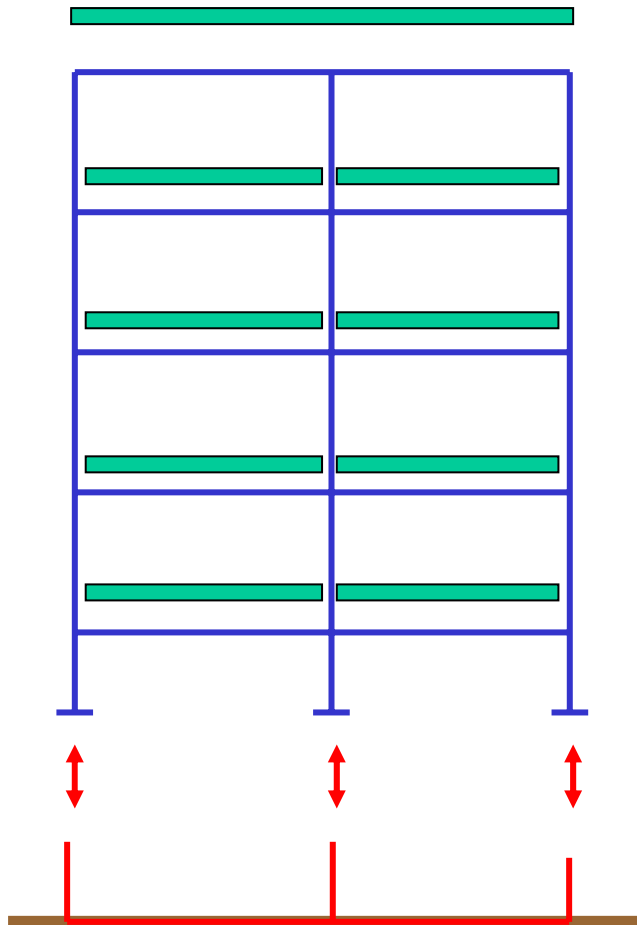
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



- Carichi caratteristici (F_k)
- Det. carichi rappresentativi (ψF_k)
- Det. carichi di progetto ($F_d = \gamma_F \psi F_k$)
- Determinazione “scarichi” di progetto in fondazione, E_d
- Verifica in fondazione
 - Determinazione carichi limite di progetto, R_d (forze orizzontali e verticali)
 - Verifica: $E_d \leq R_d$
 - Verifica allo SLU dell'elemento di fondazione



Verifica SLU secondo NTC

Per ogni SLU si deve verificare che l'Effetto delle azioni di progetto (E_d) sia non superiore alle Resistenze di progetto (R_d):

$$E_d \leq R_d$$

$$E_d = \gamma_F E \left\{ \gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left\{ \gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}$$

Ad esempio, il carico assiale di progetto sulla fondazione superficiale deve essere inferiore alla resistenza a carico limite di progetto del complesso terreno-fondazione

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Coefficienti sulle azioni per verifiche SLU da NTC

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

	Azioni sfavorevoli		
Approccio	Permanenti		Variabili
	strutturali	non strutturali	
Approccio 1-1	1.30	1.50	1.50
Approccio 1-2	1.00	1.30	1.30
Approccio 2	1.30	1.50	1.50

Le azioni del terreno (peso proprio, spinta attiva, ecc.) sono comprese tra quelle strutturali



Coefficienti sulle azioni per verifiche SLU da NTC

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Approccio	Azioni favorevoli		
	Permanenti		Variabili
	strutturali	non strutturali	
Approccio 1-1	1.00	0	0
Approccio 1-2	1.00	0	0
Approccio 2	1.00	0	0



Verifica SLS secondo NTC sotto azioni statiche

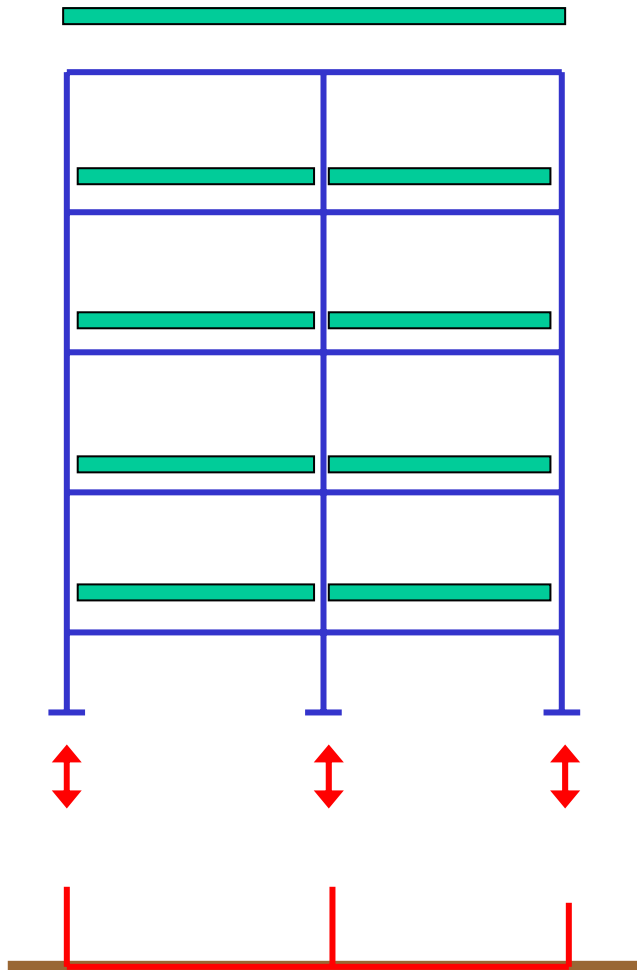
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



- Carichi caratteristici (F_k)
- Det. carichi rappresentativi (ψF_k)
- Determinazione “scarichi” di progetto in fondazione, E_d
- Verifica in fondazione in esercizio (calcolo degli spostamenti)



Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Verifiche sotto azioni sismiche



Requisiti geotecnici e strutturali delle fondazioni superficiali

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Si deve effettuare analisi della risposta sismica locale del sito

Si deve effettuare verifica a liquefazione

Le strutture di fondazione superficiali devono essere progettate per rimanere in campo elastico anche nelle verifiche allo SLU

Non necessarie armature per avere comportamento duttile

Previsti comunque minimi di armatura longitudinale nelle travi di fondazione



Requisiti strutturali delle fondazioni superficiali

Tenere presente degli effetti indotti da possibili spostamenti relativi tra elementi indipendenti di fondazione

o

collegare le fondazioni isolate con reticolo di travi o piastra sottoposta a sforzi normali di progetto funzioni di sottosuolo e accelerazione sismica (assegnati sforzi normali di progetto)

Collegamento non necessario per sottosuoli tipo A e per siti ricadenti in zona IV

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Modifiche prodotte dall'Eurocodice 8 (recepite da NTC)

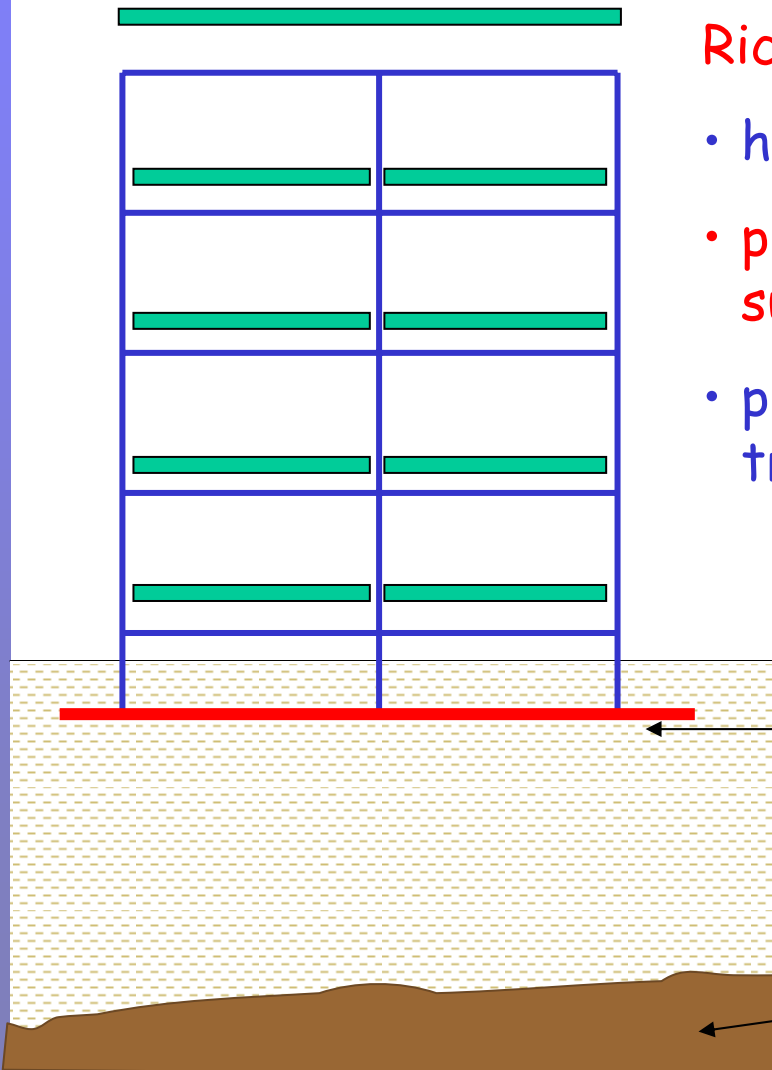
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

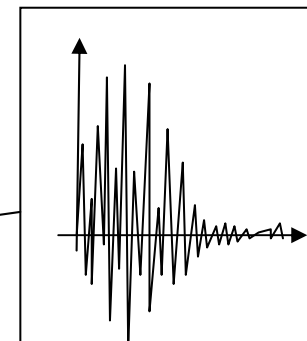
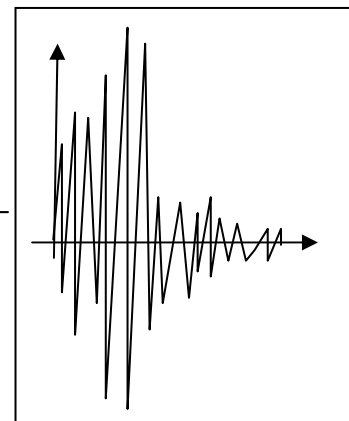
Muri di sostegno

Paratie



Riconosce che l'azione sismica:

- ha origine nel terreno;
- può essere modificata dai terreni superficiali (effetto locale)
- può essere alterata dall'interazione tra la struttura ed il terreno





Schematizzazione del problema

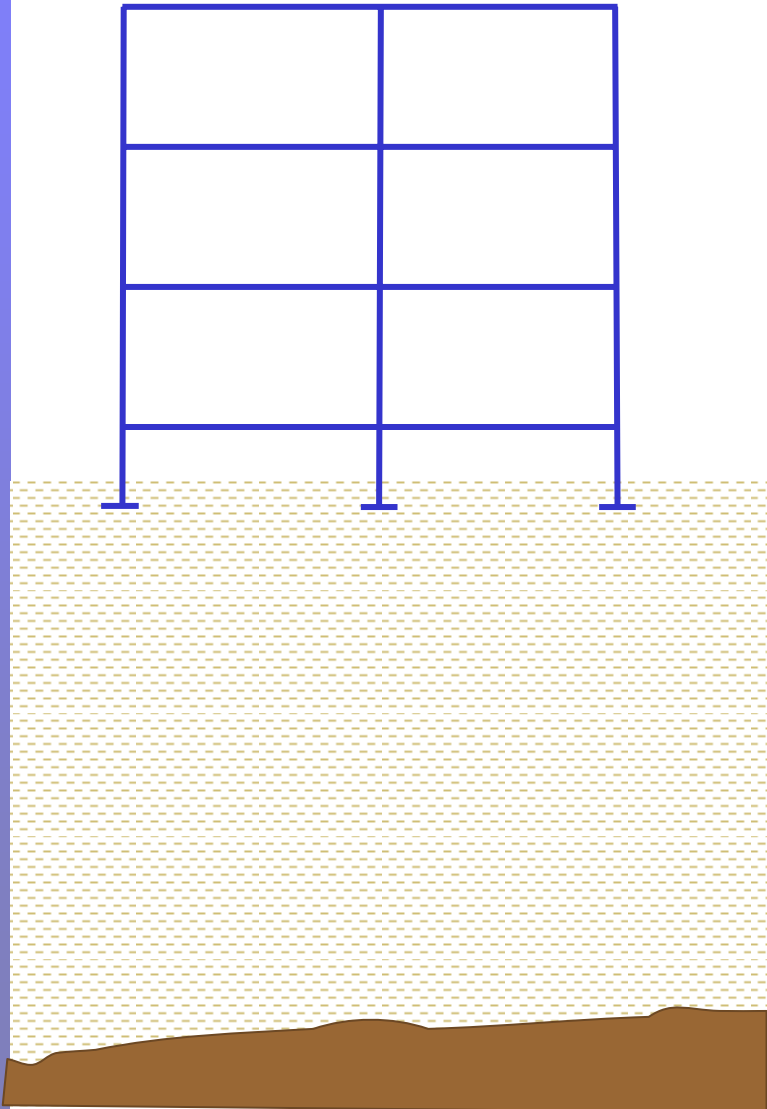
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Fase A0

Definizione dell'azione sismica sulla struttura (teoricamente dipendente da interazione terreno-struttura)



Fase A1

Analisi della struttura in elevazione



Fase A2

Analisi della fondazione sotto le azioni inerziali trasmesse dalla struttura in elevazione



Rappresentazione dell'azione sismica ed effetto del sottosuolo

Introduzione

Fondazioni
superficiali

Fondazioni su
pali

Muri di
sostegno

Paratie

- Per NTC quattro stati limite (SLC, SLV, SLD e SLO)
- **Terremoti distinti per stati limite**
- **Azioni sismiche rappresentate con:**
 - spettri elastici di risposta **o, raramente, con**
 - accelerogrammi naturali o artificiali
- **Spettri variabili con zonazione sismica e stato limite di riferimento**
- **Spettri diversi per diverse tipologie di sottosuolo**



Stati limite

Nelle NTC si considerano quattro stati limite (**SLO**, **SLD**, **SLV** e **SLC**), con requisiti prestazionali richiesti via via decrescenti, corrispondenti a quattro diverse azioni sismiche con diversa probabilità di superamento nella vita di riferimento della struttura

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Generalmente, sono sufficienti le verifiche ai soli SLV e SLD



Rappresentazione dell'azione sismica ed effetto del sottosuolo (spettri dell'EN 1998)

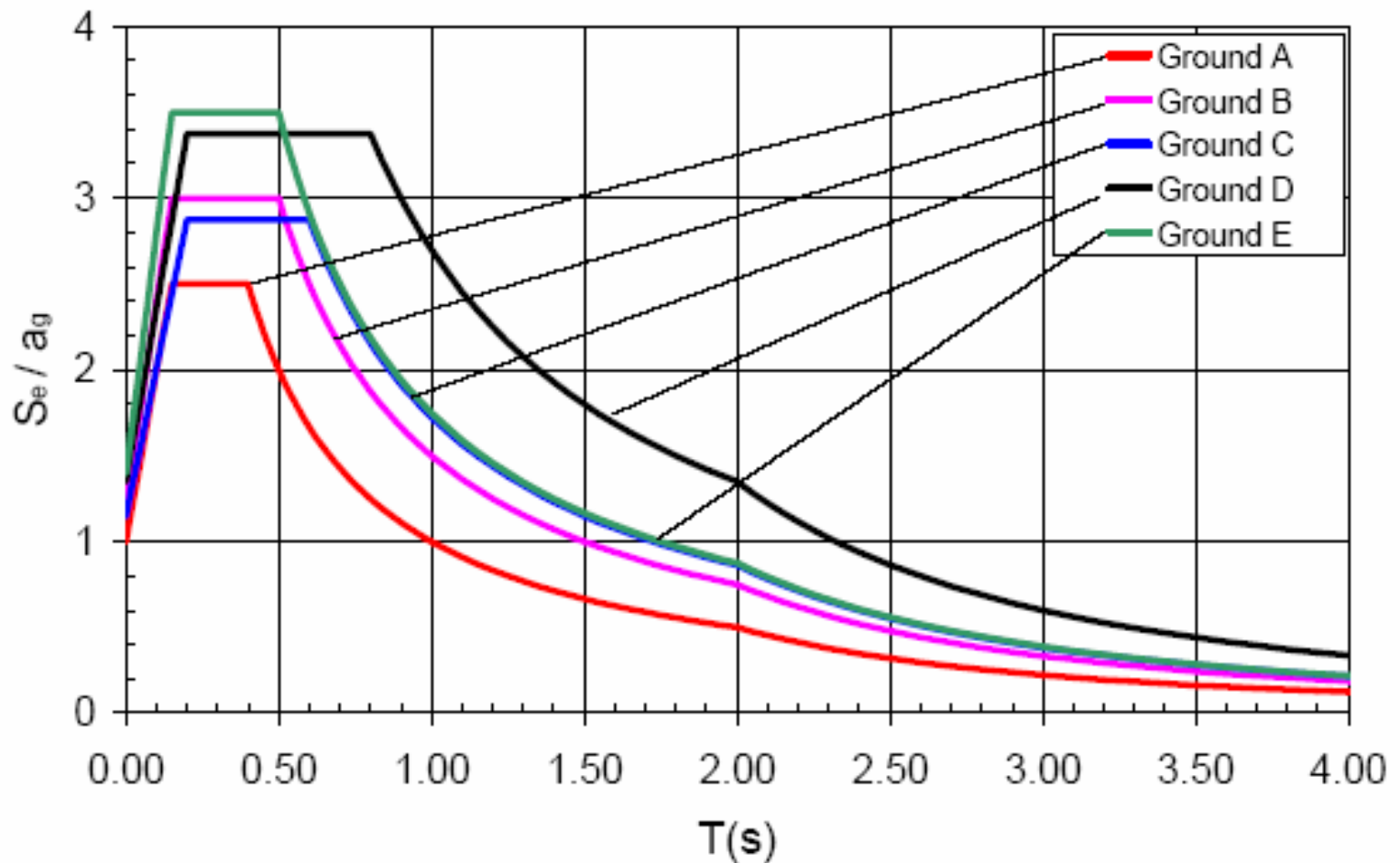
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie





Coefficienti parziali sotto azioni sismiche

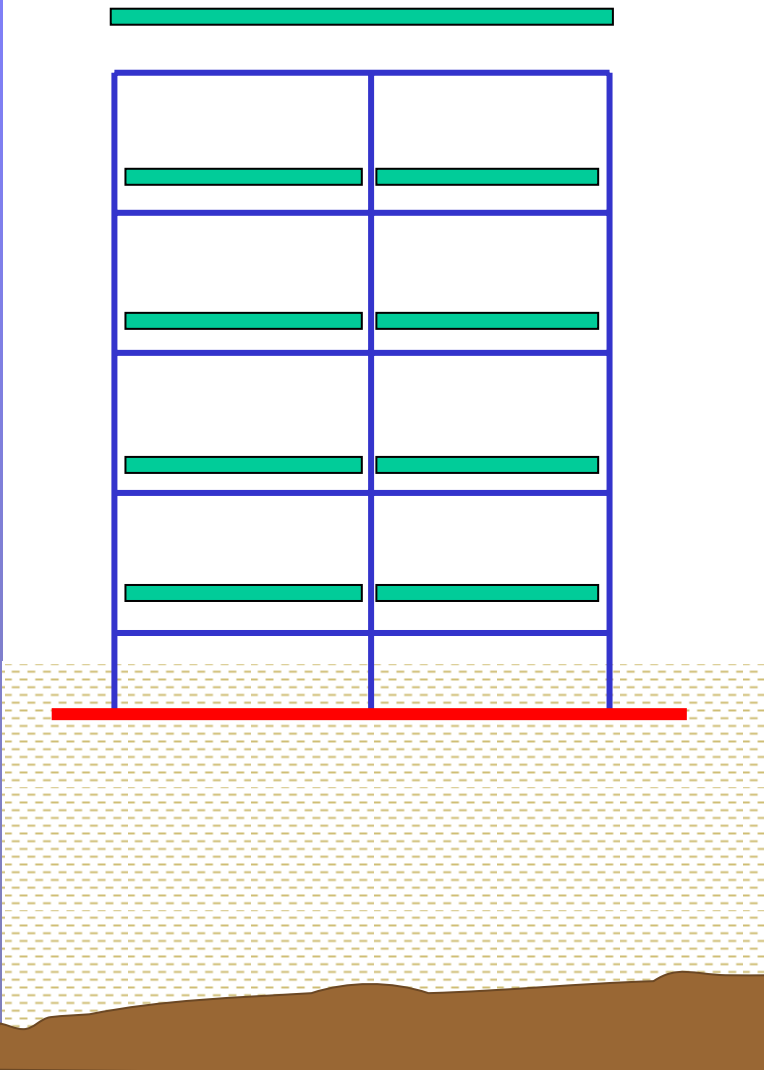
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Nelle verifiche sismiche SLU:

- sono pari a 1.00 tutti i coefficienti sulle azioni
- si utilizzano opportuni coefficienti di combinazione
- non si modificano i coefficienti parziali sulle resistenze rispetto a quelli del caso statico



Comportamento della struttura

Le costruzioni soggette alle azioni sismiche devono essere progettate secondo due comportamenti:

- comportamento non dissipativo (per Stati Limite di Esercizio)
 - linearità di comportamento di materiale e geometrica
 - modellazione lineare statica o dinamica
- comportamento dissipativo (per Stati Limite Ultimi):
 - non linearità di comportamento (di materiale e, eventualmente, geometrica)
 - modellazione dinamica o statica, non lineare o lineare (con coefficiente q)

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

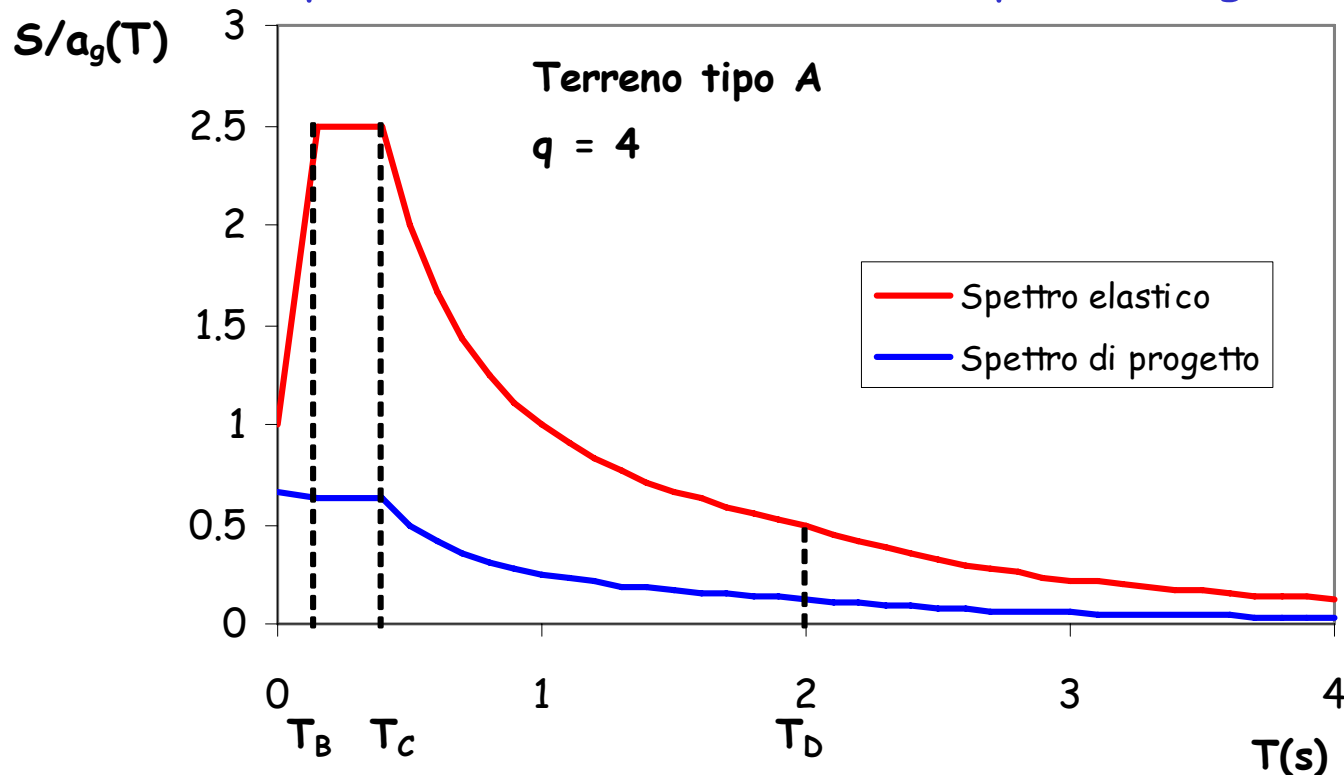
Paratie



Analisi lineare con spettro di progetto

Nelle verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLV o SLC) delle strutture si procede generalmente:

- con analisi lineare
- spettro di progetto ridotto per mezzo di un fattore q , che tiene conto della capacità della struttura di dissipare energia





Comportamento dissipativo

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Nell'ambito del comportamento dissipativo le strutture si dividono in base alla loro capacità di dissipazione ed all'entità delle plasticizzazioni cui si riconduce in fase di progettazione:

- CD "A": classe di duttilità alta
- CD "B": classe di duttilità bassa

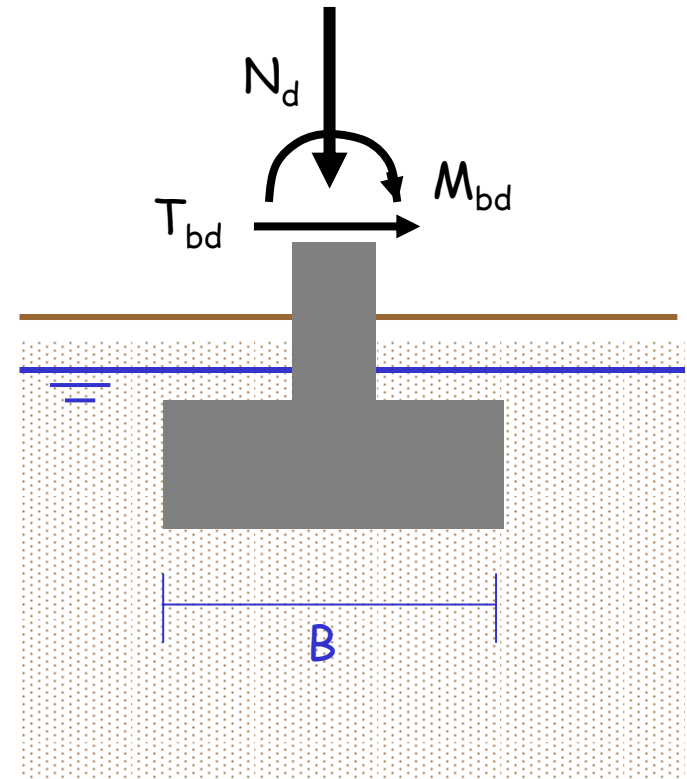
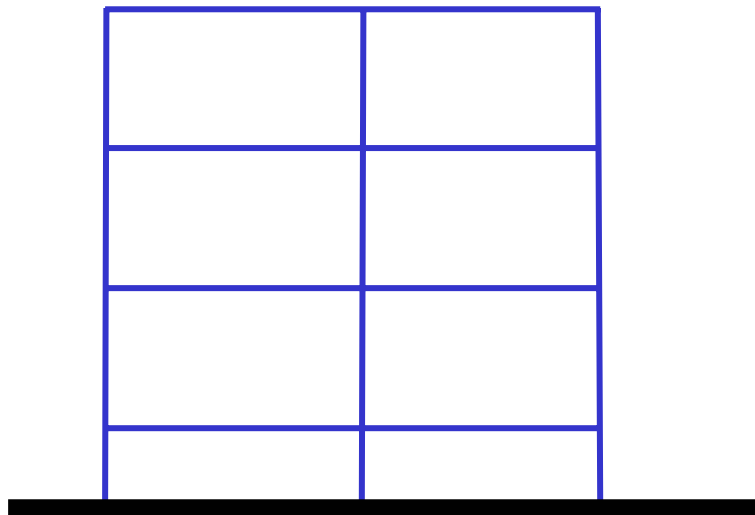
Le strutture di classe di duttilità alta saranno caratterizzate dalla presenza di dettagli costruttivi, elementi di regolarità strutturale e saranno progettate nel rispetto rigoroso della gerarchia delle resistenze



Azioni di progetto sulle fondazioni

Comportamento non dissipativo

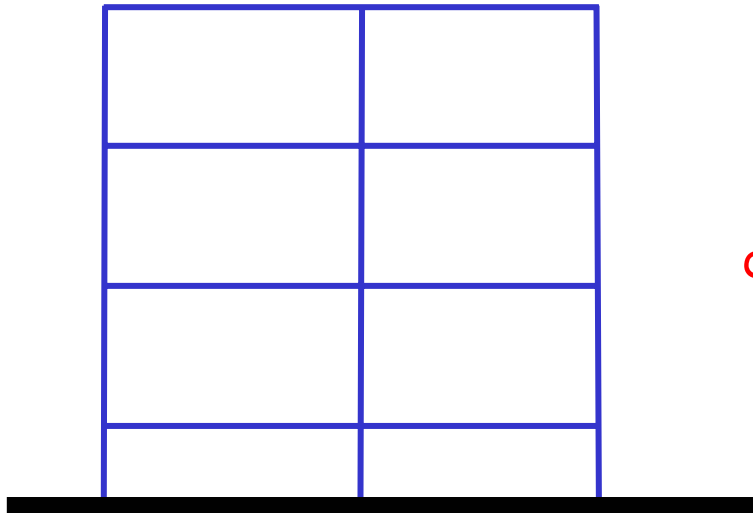
Nell'ambito del comportamento non dissipativo le strutture (quindi, anche per le verifiche allo Stato Limite di Esercizio) le azioni di progetto ($N_{b,p}$; $M_{b,p}$; $T_{b,p}$) derivano direttamente dall'analisi della struttura in elevazione effettuata con modelli lineari





Azioni di progetto sulle fondazioni

Comportamento dissipativo (I)



Si valutano le sollecitazioni di progetto ($N_{c,d}$; $M_{c,d}$; $T_{c,d}$) alla base degli elementi verticali (pilastri, setti)

Si valutano i momenti ($M_{c,rd}$) e gli sforzi di taglio ($T_{c,rd}$) di plasticizzazione degli elementi verticali in corrispondenza degli sforzi normali $N_{c,d}$

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Azioni di progetto sulle fondazioni

Comportamento dissipativo (II)

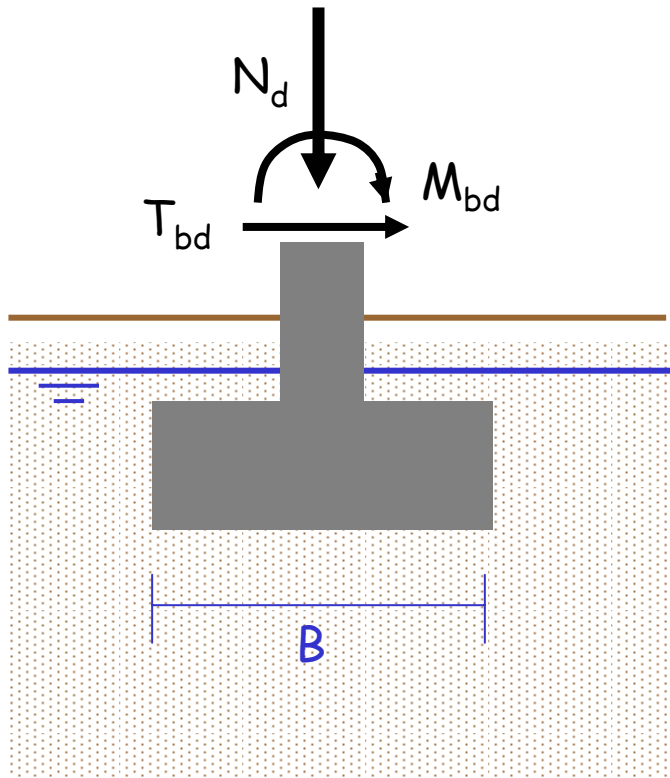
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Si verifica la fondazione sotto gli sforzi normali $N_{c,d}$ ed i momenti flettenti e gli sforzi di taglio di progetto pari a:

$$M_{b,d} = \text{Min} \{ M_{c,rd} ; \gamma_{R,d} M_{c,d} ; M_{c,d(q=1)} \}$$

$$T_{b,d} = \text{Min} \{ T_{c,rd} ; \gamma_{R,d} T_{c,d} ; T_{c,d(q=1)} \}$$

con

$$\gamma_{R,d} = 1,1 \text{ per CD "B" e } \gamma_{R,d} = 1,3 \text{ per CD "A"}$$



Verifica SLU

Ricordiamo che, per ogni SLU si deve verificare che l'Effetto delle azioni di progetto (E_d) sia non superiore alle Resistenze di progetto (R_d):

$$E_d \leq R_d$$

$$E_d = E \left\{ F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left\{ F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}$$

Non vi sono coefficienti di sicurezza sulle azioni, ma solo sulle resistenze



Verifica SLU

Nella verifica:

$$E_d \leq R_d$$

Abbiamo visto come ricavare le combinazioni degli effetti delle azioni in fondazione E_d .

Vediamo come si calcolano le Resistenze di Progetto

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Verifica SLU

Nella verifica:

$$E_d \leq R_d$$

Abbiamo visto come ricavare le combinazioni degli effetti delle azioni in fondazione E_d .

Vediamo come si calcolano le Resistenze di Progetto

Dipendono dagli stati limite considerati

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Verifica SLU per fondazioni superficiali

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Stati limite ultimi:

- Rottura per scorrimento sul piano di posa
- Rottura per carico limite del complesso terreno fondazione
- Rottura combinata nel terreno e nella struttura
- Rottura strutturale dovuta a spostamenti eccessivi della fondazione



Verifica SLU per fondazioni superficiali

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Stati limite ultimi:

- Rottura per scorrimento sul piano di posa
- Rottura per carico limite del complesso terreno fondazione

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left\{ F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}$$



Coefficienti parziali di sicurezza per verifiche SLU

NTC e Eurocodici (Appendici Nazionali)

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Parametro	Approccio 1 (Design Approach 1)		Approccio 2 (Design Approach 2)
	Combinazione 1	Combinazione 2	
c'_k	1.00	1.25 (1.40)	1.00
$\tan(\varphi'_k)$	1.00	1.25	1.00
c_{uk}	1.00	1.40	1.00
γ_R , Scorrimento	1.00	1.10	1.10
γ_R , Carico limite	1.00	1.80	2.30

I coefficienti nella parte campita in giallo valgono per tutte le opere con l'eccezione dei pali e degli ancoraggi per i quali sono tutti unitari



Verifica SLU per scorrimento

Introduzione

La verifica consiste in:

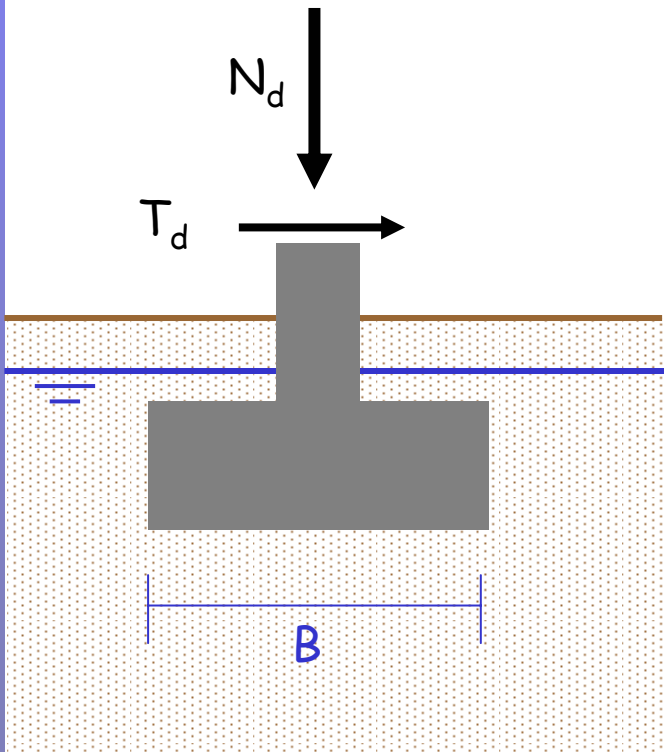
Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

$$T_d \leq T_{d \lim} = \frac{1}{\gamma_R} T_{\lim} \left\{ N_d; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}$$





Verifica SLU per scorrimento

Introduzione

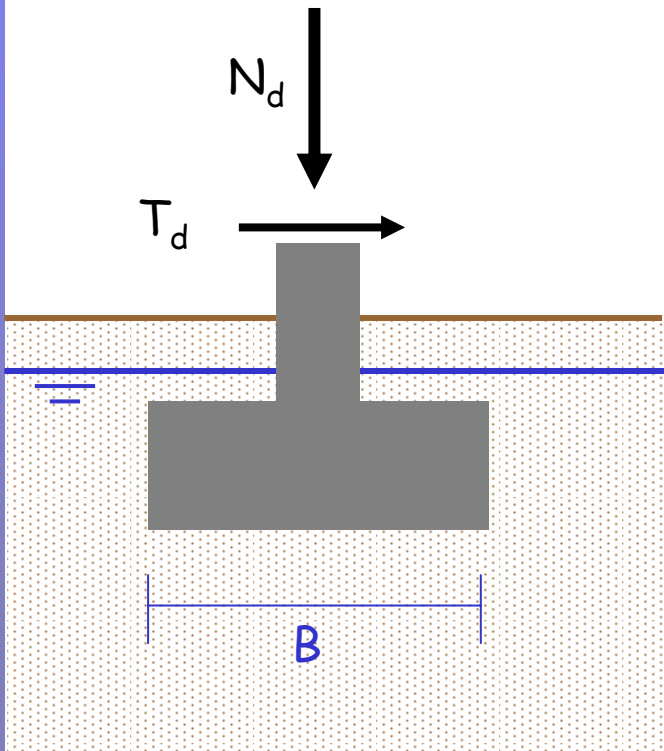
La verifica consiste in:

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



$$T_d \leq T_{d \text{ lim}} = \frac{1}{\gamma_R} T_{\text{lim}} \left\{ N_d; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}$$

In condizioni drenate:

$$T_d \leq \frac{1}{\gamma_R} \left[\frac{c'_k}{\gamma_c} \cdot B + N'_d \cdot \frac{\tan(\varphi_k)}{\gamma_\varphi} \right]$$

In condizioni non drenate:

$$T_d \leq \frac{1}{\gamma_R} \left[\frac{c_{uk}}{\gamma_c} \cdot B \right]$$



Sicurezza nella verifica SLU per scorrimento

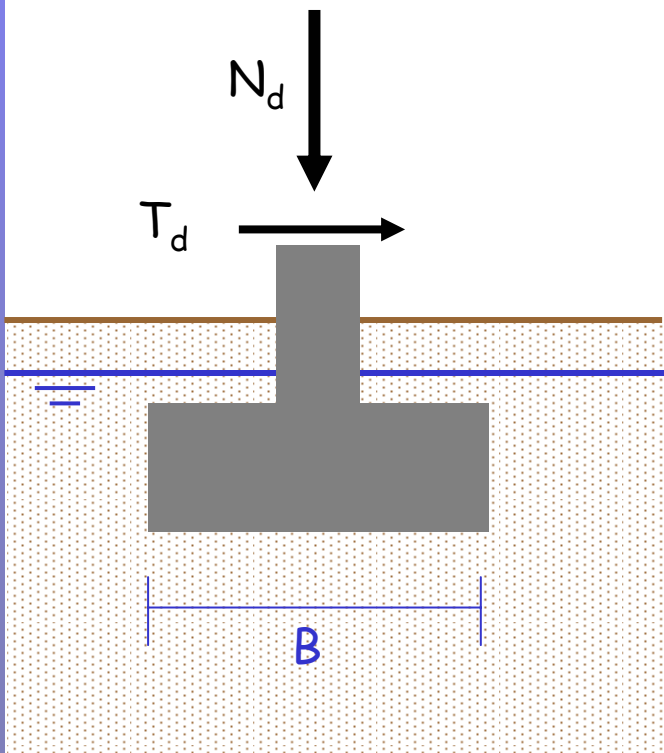
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



In condizioni drenate:

$$T_d \leq \frac{1}{\gamma_R} \left[\frac{c'_k}{\gamma_c} \cdot B + N'_d \cdot \frac{\tan(\varphi'_k)}{\gamma_\phi} \right]$$

La sicurezza è nel T_d (maggiorato in campo statico), nei parametri di resistenza di progetto (ridotti), nel γ_R e nella quota del livello di falda che incide su N'_d



Verifica SLU per carico limite

Introduzione

La verifica consiste in:

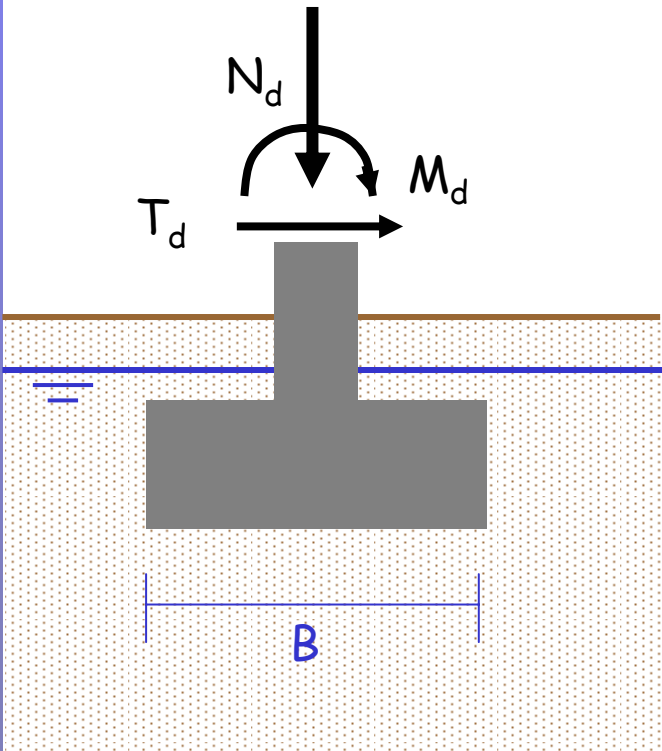
Fondazioni superficiali

$$N_d \leq N_{d \text{ lim}} = \frac{1}{\gamma_R} N_{\text{lim}} \left\{ N_d; T_d; M_d; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}$$

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

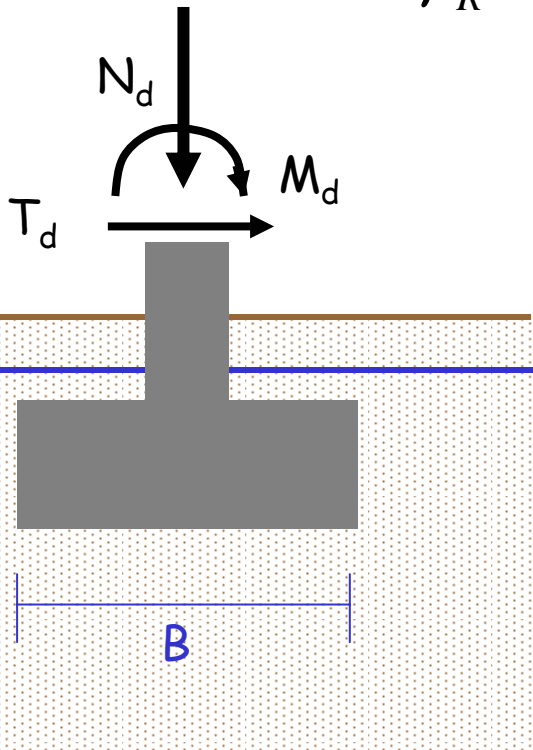




Verifica SLU per carico limite

La verifica in condizioni drenate consiste in:

$$N'_d \leq N'_{d \text{ lim}} = \frac{1}{\gamma_R} N'_{\text{lim}} \left\{ N_d; T_d; M_d; \frac{c'_k}{\gamma_c}; \frac{\tan(\varphi'_k)}{\gamma_\varphi}; a_d \right\}$$



In condizioni non drenate:

$$N_d \leq \frac{1}{\gamma_R} N_{\text{lim}} \left\{ N_d; T_d; M_d; \frac{c_{uk}}{\gamma_{cu}}; a_d \right\}$$

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

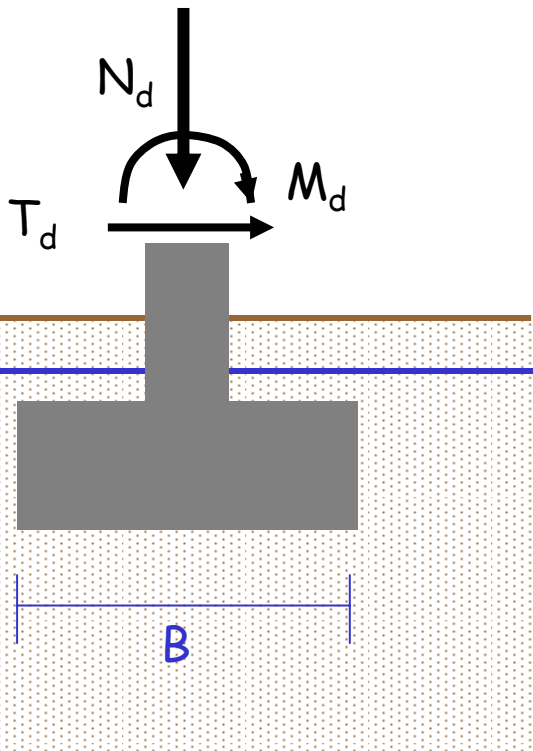
Muri di sostegno

Paratie



Verifica SLU per carico limite

$$N_d \leq N_{d\text{lim}} = \frac{1}{\gamma_R} N_{\text{lim}} \left\{ N_d; T_d; M_d; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}$$



Anche in questo caso la sicurezza è in:

- azioni di progetto (maggiorate in campo statico)
- parametri di resistenza di progetto (ridotti);
- **coefficiente γ_R** ;
- quota del livello di falda che incide su N'_d e $N'_{d\text{lim}}$ per le verifiche drenate

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Coefficienti parziali di sicurezza per verifiche SLU

NTC e Eurocodici (Appendici Nazionali)

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Parametro	Approccio 1 (Design Approach 1)		Approccio 2 (Design Approach 2)
	Combinazione 1	Combinazione 2	
c'_k	1.00	1.25 (1.40)	1.00
$\tan(\varphi'_k)$	1.00	1.25	1.00
c_{uk}	1.00	1.40	1.00
γ_R , Scorrimento	1.00	1.10	1.10
γ_R , Carico limite	1.00	1.80	2.30

I coefficienti nella parte campita in giallo valgono per tutte le opere con l'eccezione dei pali e degli ancoraggi per i quali sono tutti unitari



Metodi per le verifiche SLU sotto azioni sismiche

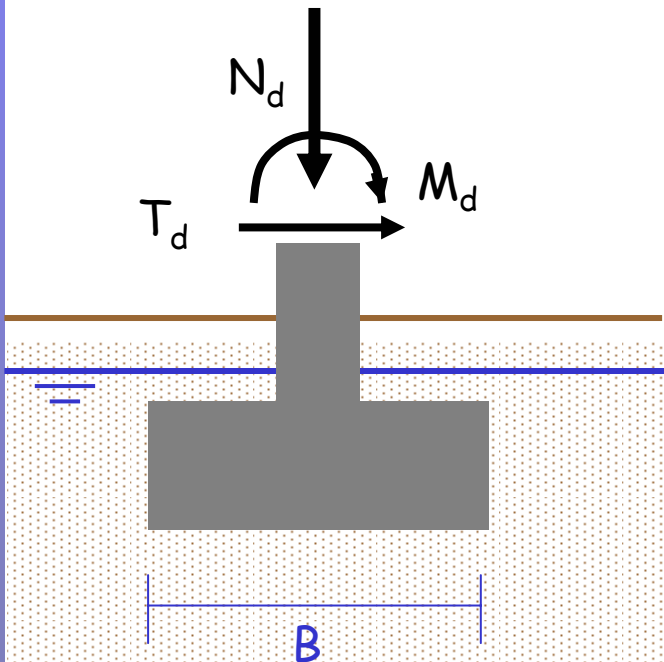
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Coerenza con analisi della struttura in elevazione

quindi:

generalmente, metodo pseudostatico

Verifiche:

- scorrimento (non si modifica)
- carico limite (si dovrebbe modificare)



Verifica a carico limite sotto azioni sismiche

Introduzione

Fondazioni superficiali

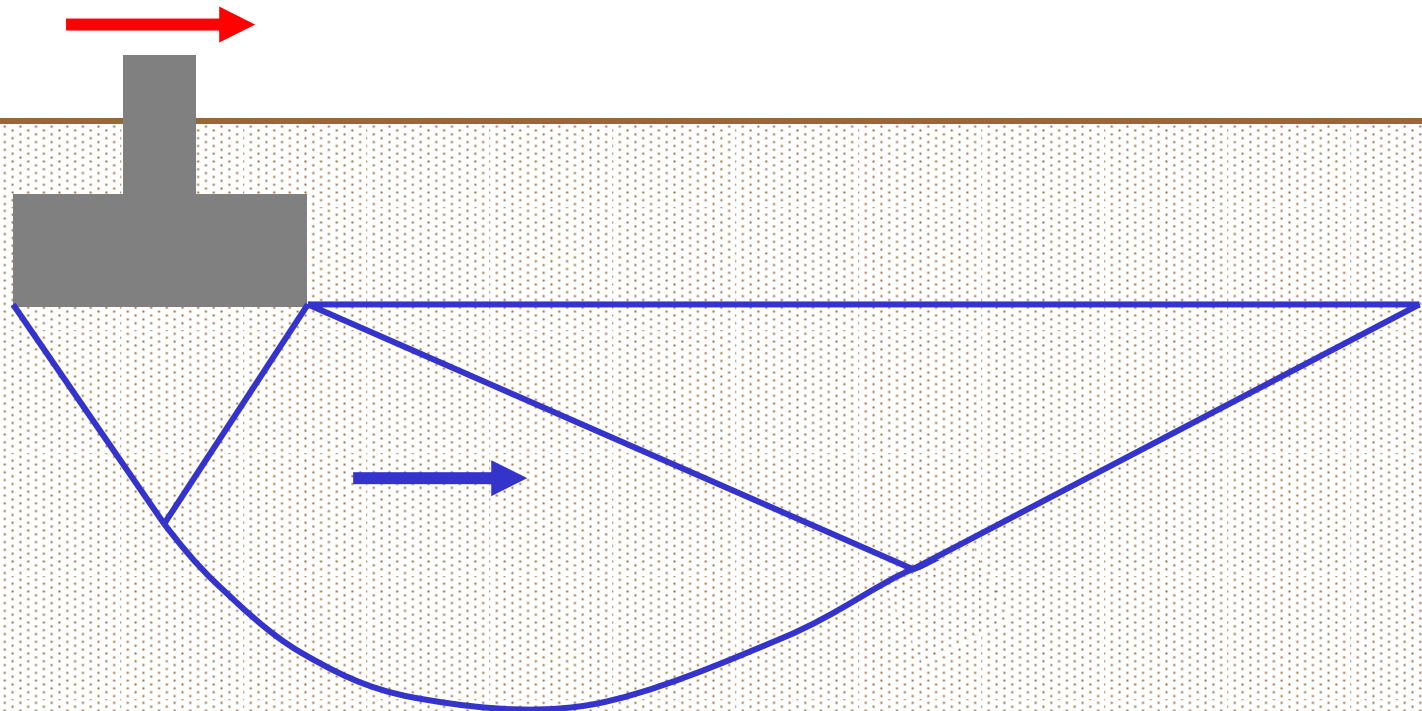
Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Differenza con le condizioni statiche:

- azioni di inerzia trasmesse dalla sovrastruttura (coeff. inclinazione)
- azioni di inerzia sul volume di terreno potenzialmente interessato dalla rottura per carico limite





Verifica a carico limite sotto azioni sismiche

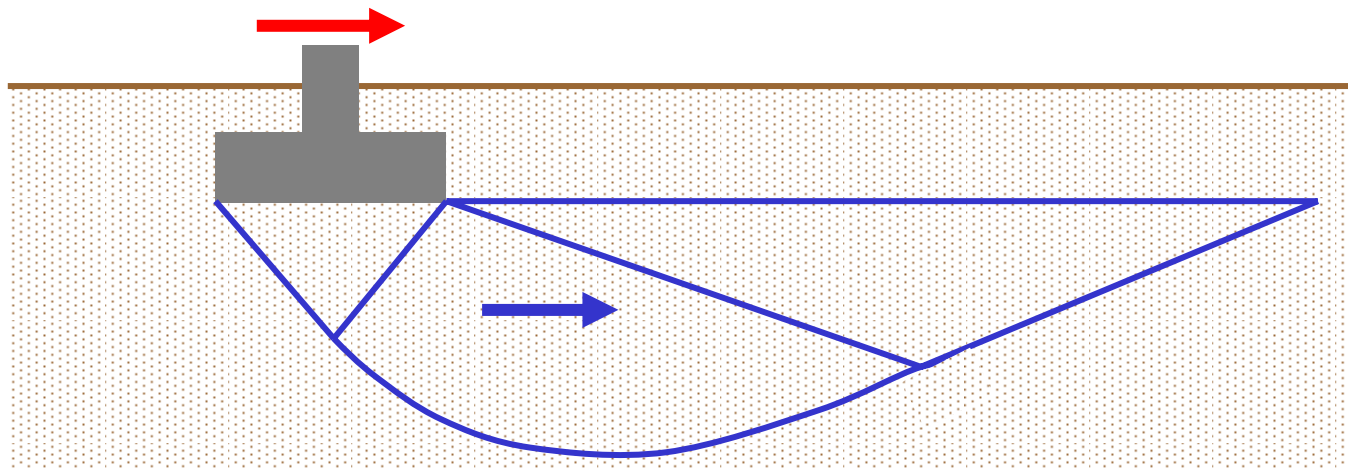
Generalmente si trascurano le azioni di inerzia sul volume di terreno potenzialmente interessato dalla rottura per carico limite

oppure metodi di:

- Richards, Elms e Budhu (1993)
- Maugeri e Novità (2004)
- metodo di Eurocodice 8-5

non obbligatori, ma utilizzabili

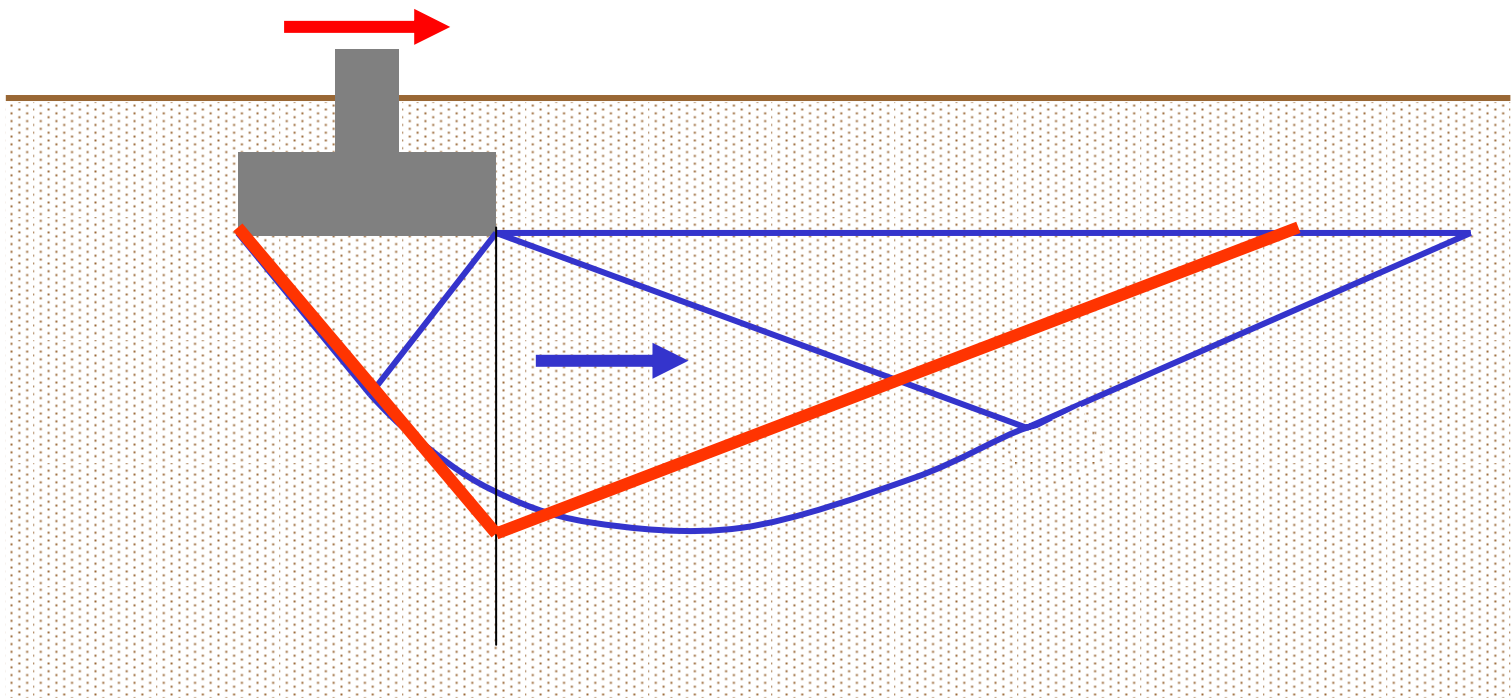
(escluso da Appendici Nazionali)





Metodo di Richards et al. (1993)

- superficie semplificata in quella bilineare rossa composta da:
 - cuneo spinta attiva
 - cuneo spinta passiva
- Applicazione formule di Mononobe-Okabe



Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

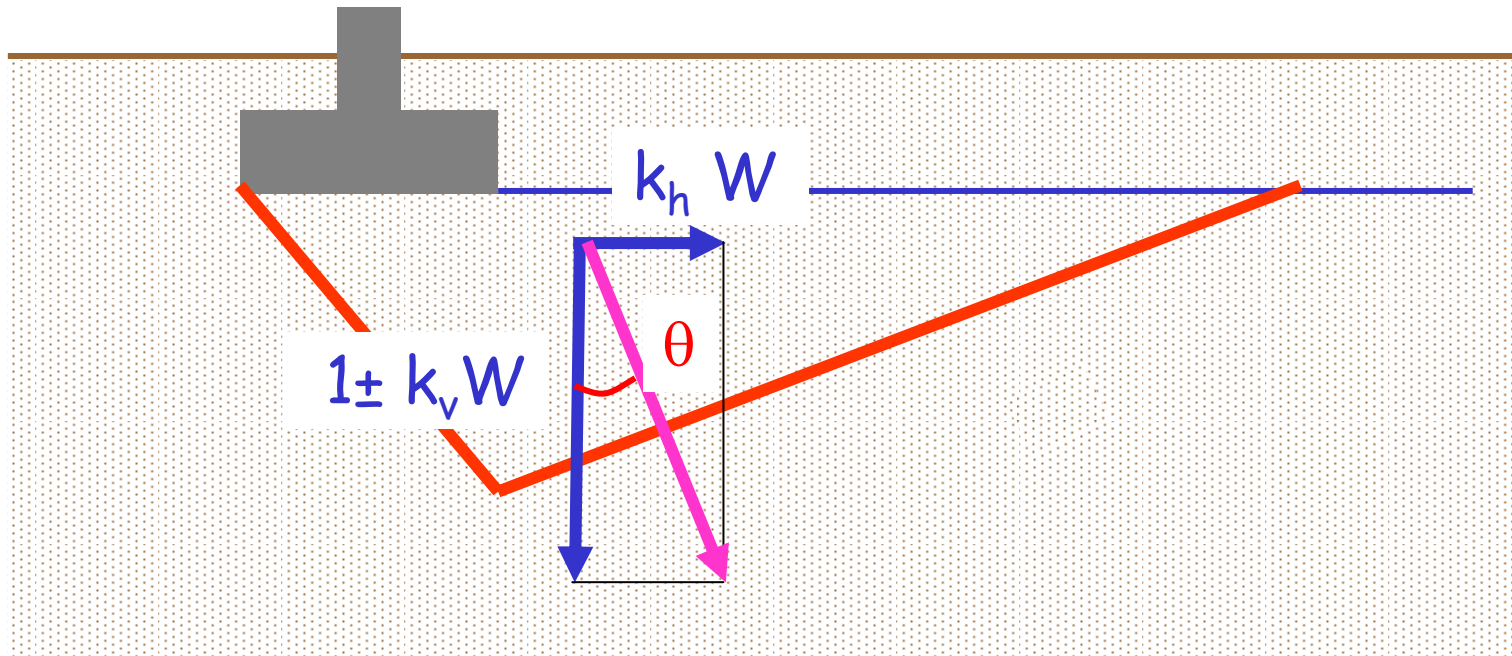


Metodo di Richards et al. (1993)

Si ricavano:

- Coefficienti carico limite, α :
- Coefficienti riduttori del carico limite

in funzione di: φ' e θ

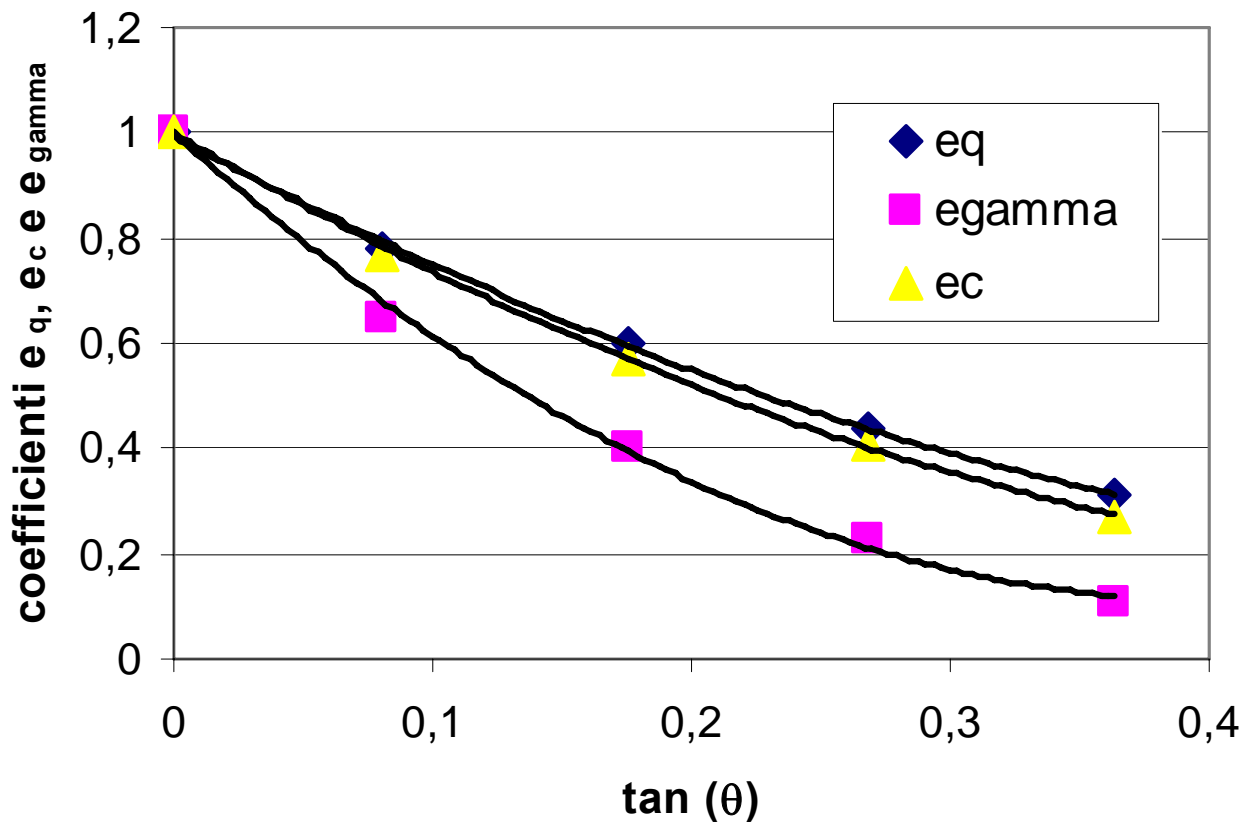




Metodo di Richards et al. (1993)

Coefficienti riduttori del carico limite ($\varphi = 30^\circ$)

$$q_{\text{lim}} = e_q \cdot N_q \cdot q + e_c \cdot N_c \cdot c + e_\gamma \cdot N_\gamma \cdot \gamma \cdot B/2$$



Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Metodo di Richards et al. (1993)

Limiti del metodo

- Valido solo in condizioni drenate
- Valore del coefficiente k_h ; dovrebbe essere minore di (a_g/g) per:
 - possibilità di spostamenti
 - non sincronia con azioni inerziali sovrastruttura

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Verifiche allo SLD geotecniche?

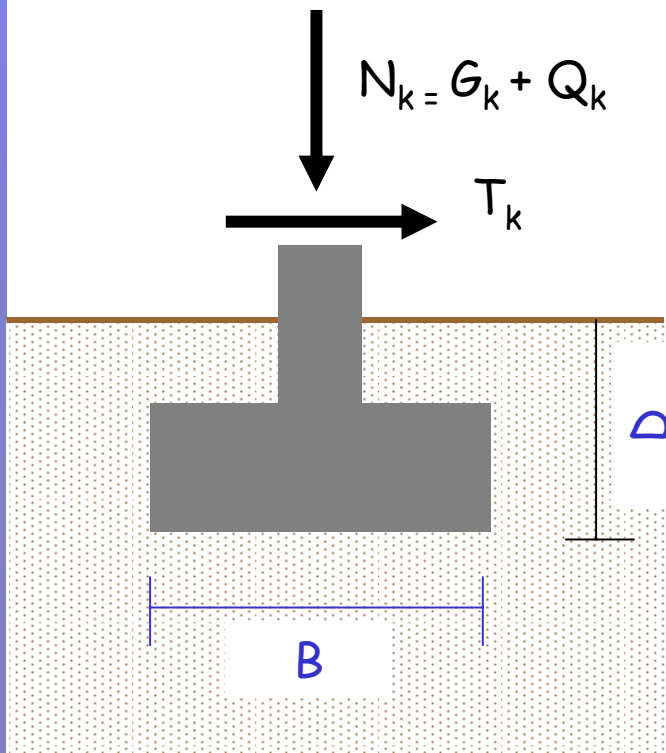
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Valutazione di spostamenti indotti dal sisma

Utilizzazione di metodi degli spostamenti (alla Newmark)

Servirebbero accelerogrammi!

Sotto azioni pseudostatiche
calcolo degli spostamenti e rotazioni con metodi elastici (forse!)



Introduzione

Fondazioni
superficiali

Fondazioni su
pali

Muri di
sostegno

Paratie

Fondazioni su pali



Prescrizioni delle NTC per le fondazioni su pali

I pali devono essere progettati per resistere a:

- le forze di inerzia derivanti dalla sovrastruttura
- le forze cinematiche derivanti dall'interazione palo-terreno

Interazione cinematica se:

- il profilo di terreno è di tipo D, S1 o S2 e contiene strati consecutivi di terreno con contrasti di rigidezza elevati
- la zona è di media o alta sismicità ($a_g > 0.25g$) e la sovrastruttura è di classe III o IV

I pali dovrebbero rimanere in campo elastico anche allo SLU
Si può accettare la formazione di cerniere plastiche purché
il palo sia armato in modo da assicurare comportamento
duatile



Interazione terreno-fondazione-sovrastuttura sotto azioni sismiche

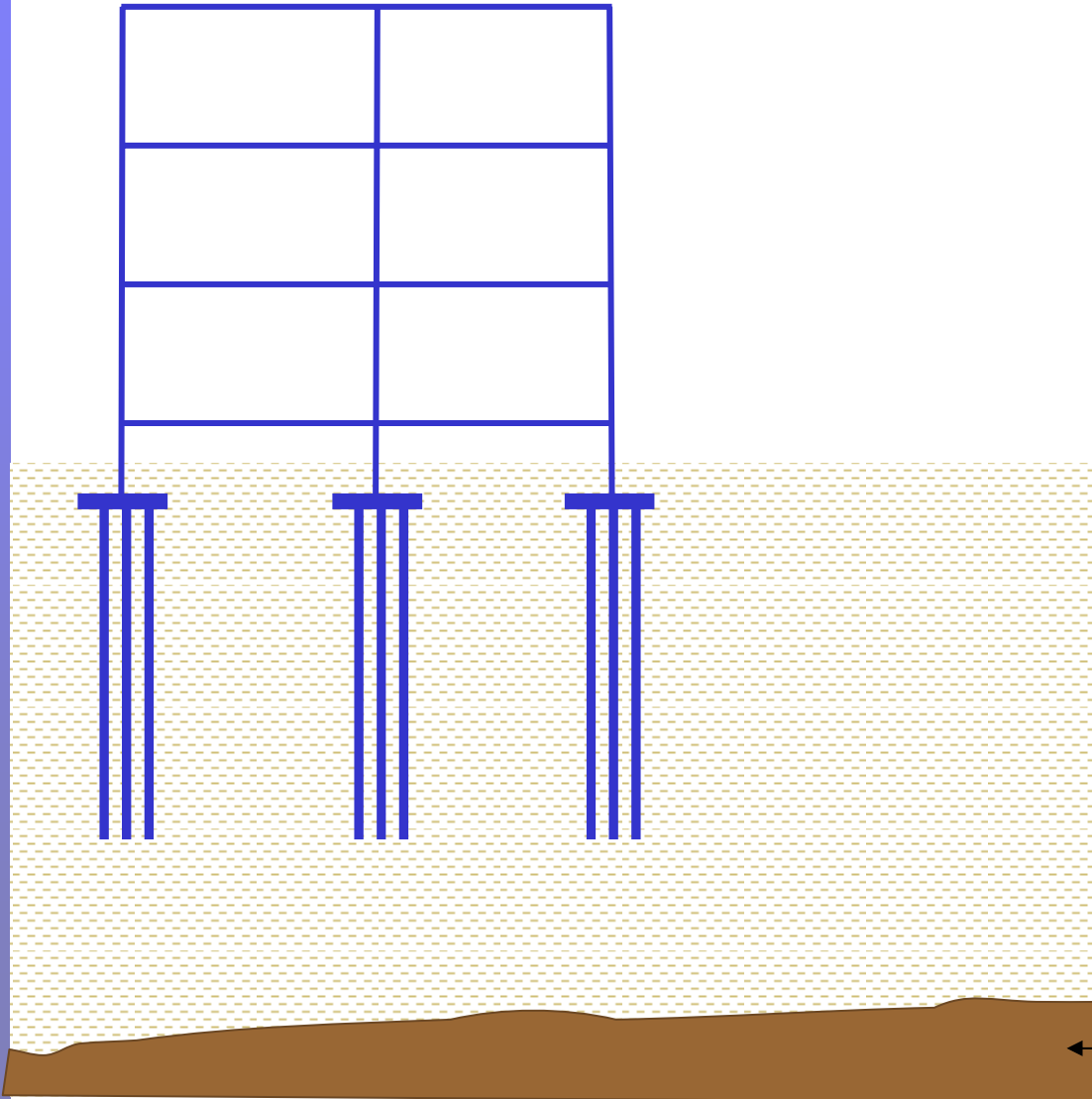
Introduzione

Fondazioni superficiali

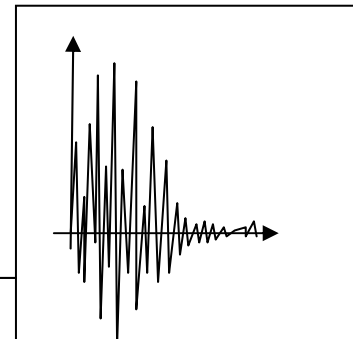
Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Bedrock





Interazione terreno-fondazione-sovrastuttura sotto azioni sismiche

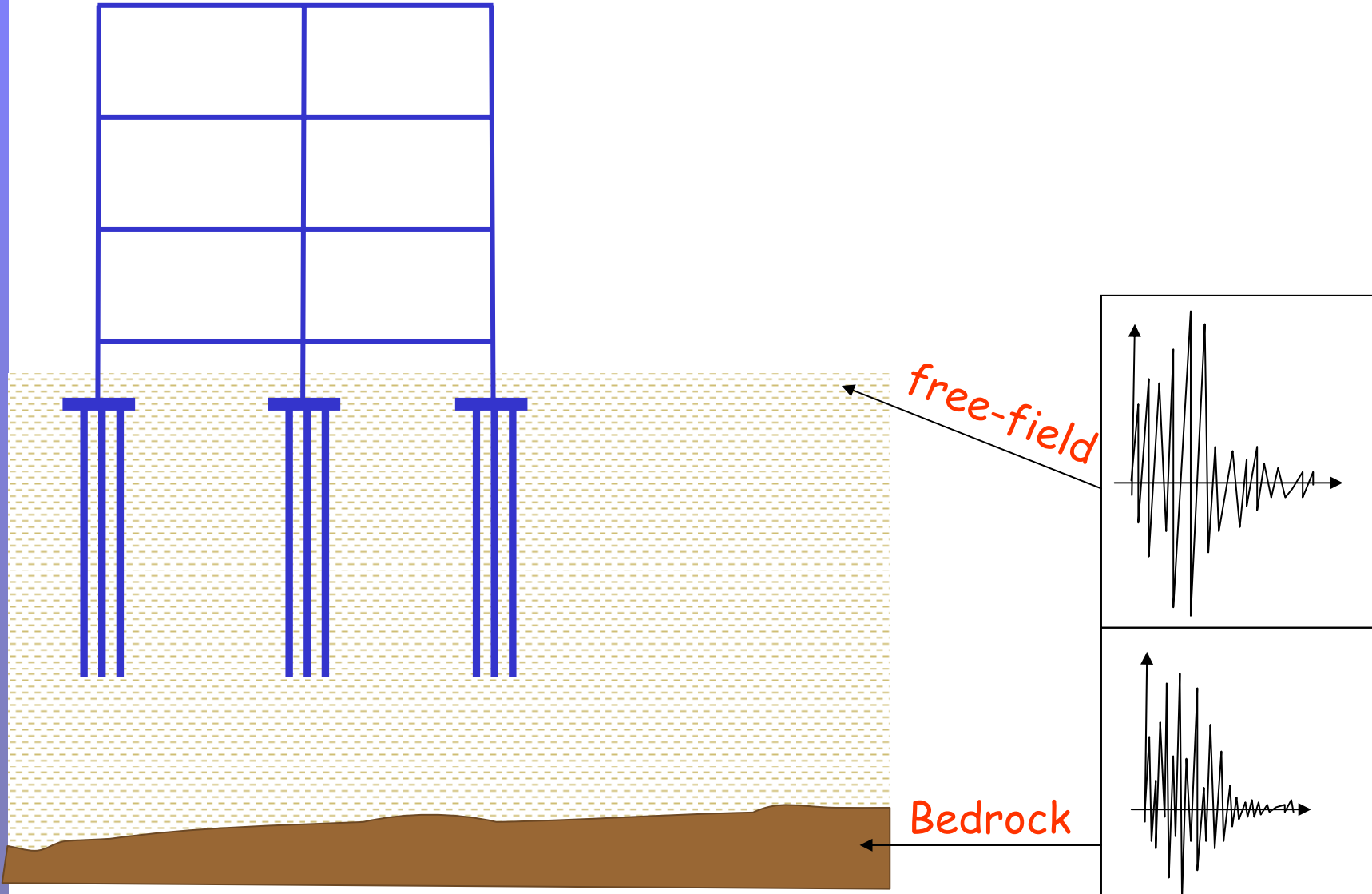
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

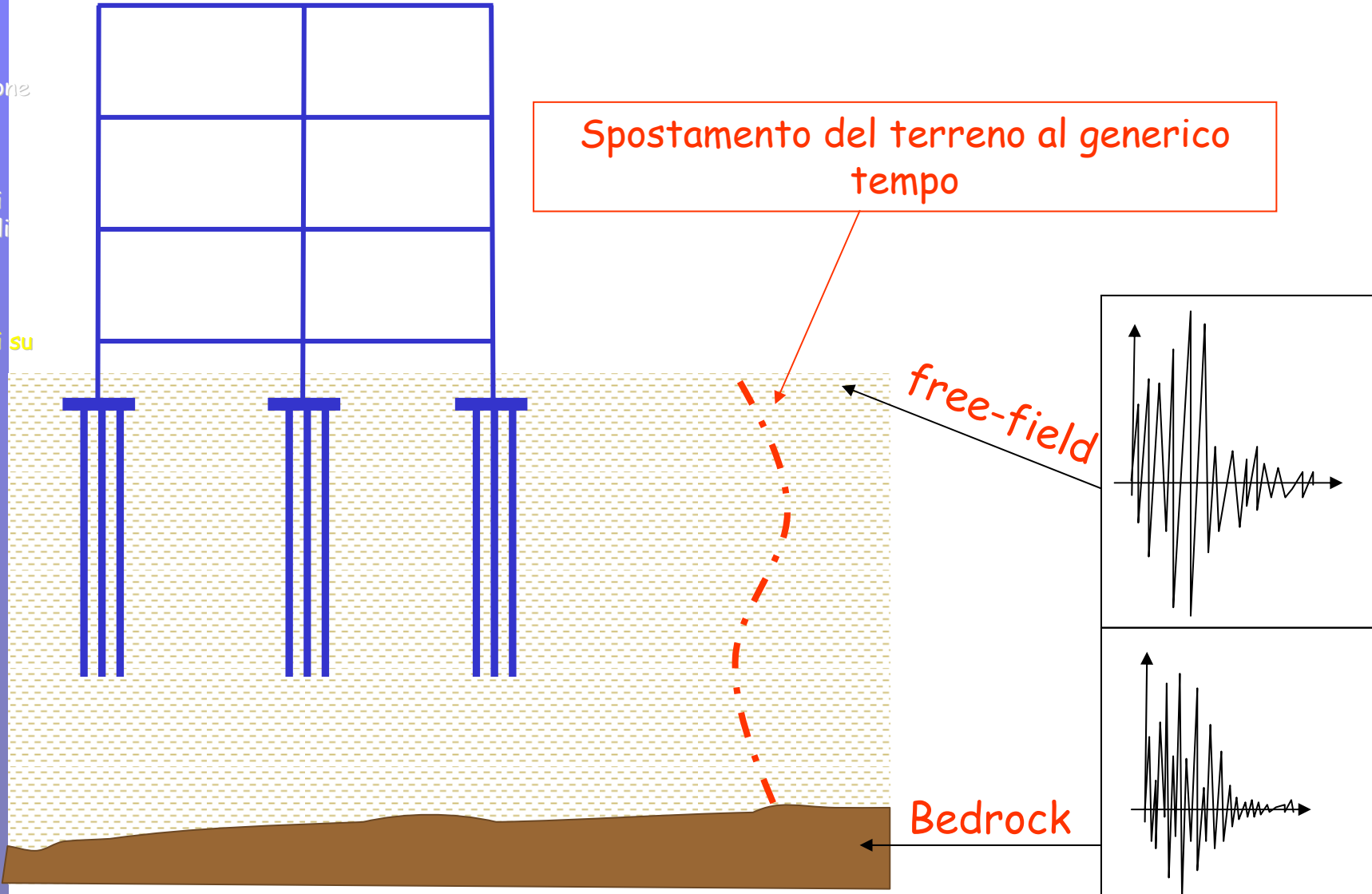
Paratie





Interazione terreno-fondazione-sovrastuttura sotto azioni sismiche

- Introduzione
- Introduzion
- Fondazioni superficiali
- Fondazioni superficiali
- Fondazioni su pali
- Fondazioni su pali
- Muri di sostegno
- Muri di sostegno
- Paratie
- Paratie





Interazione terreno-fondazione-sovrastuttura sotto azioni sismiche

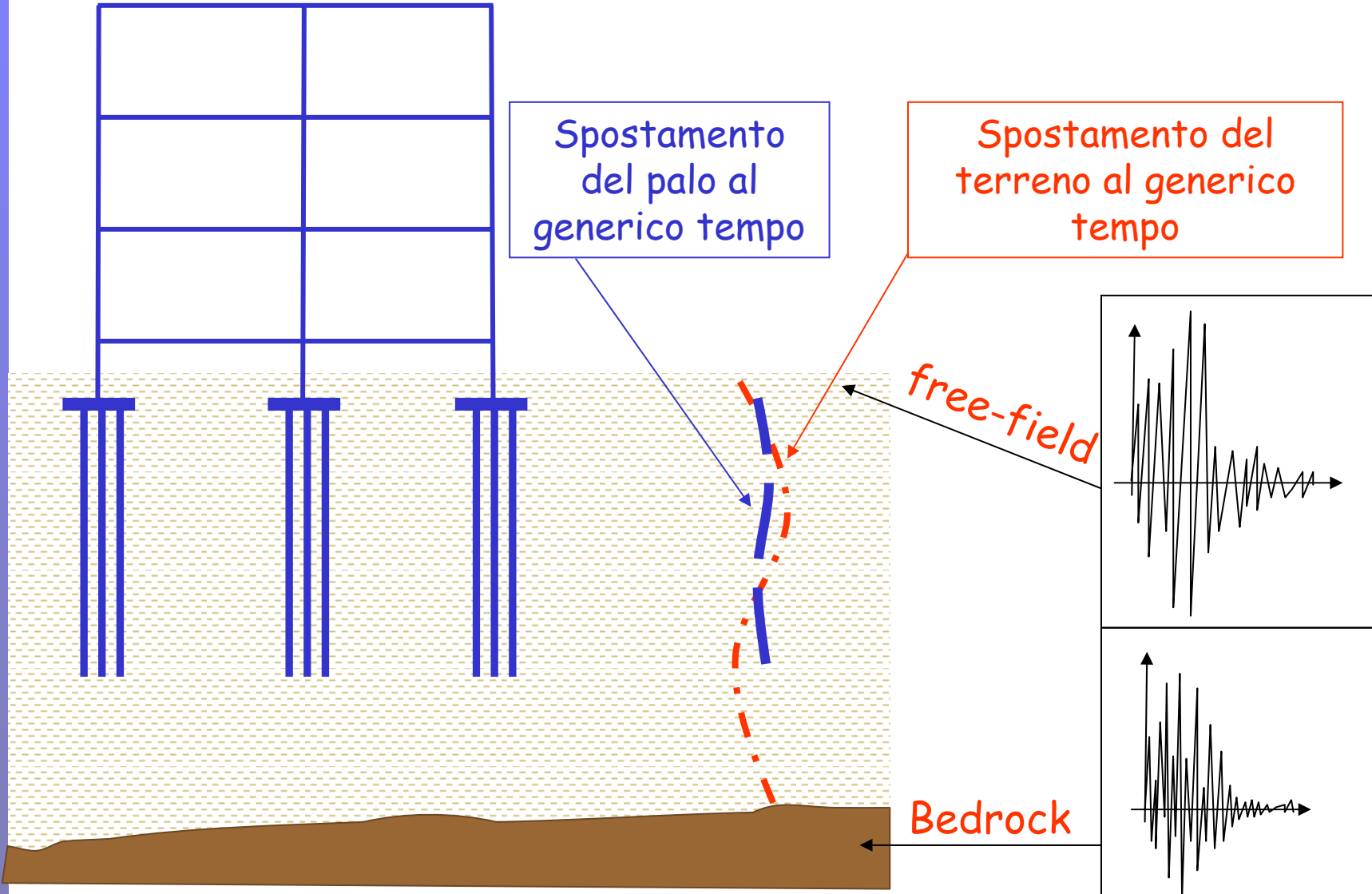
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie





Interazione terreno-fondazione-sovrastuttura sotto azioni sismiche

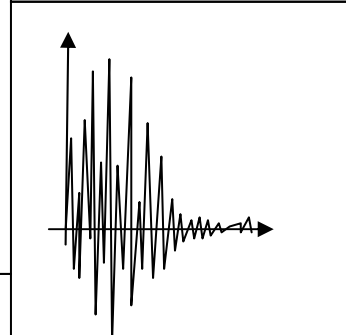
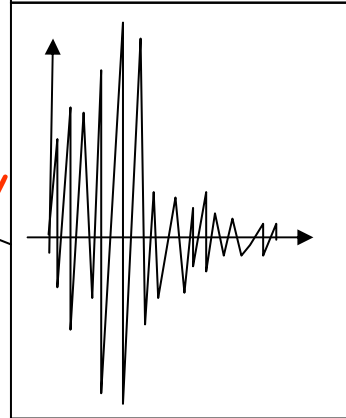
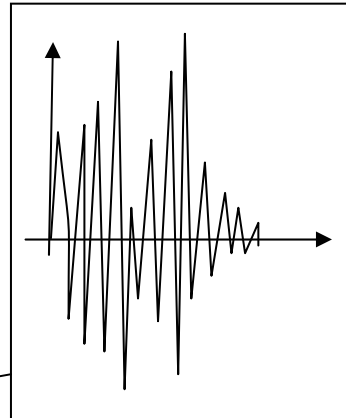
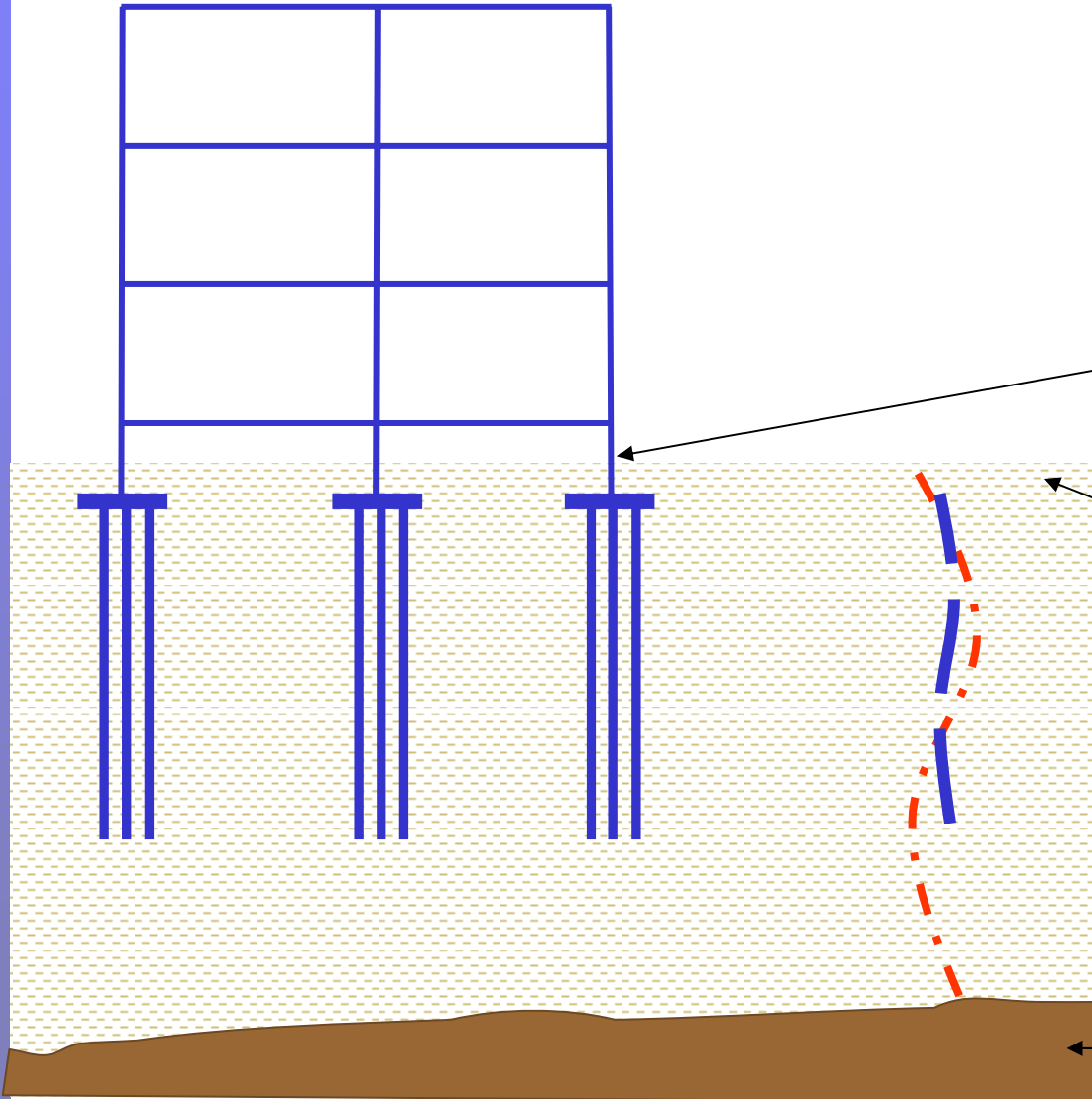
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie





Interazione terreno-fondazione-sovrastuttura sotto azioni sismiche

Introduzione

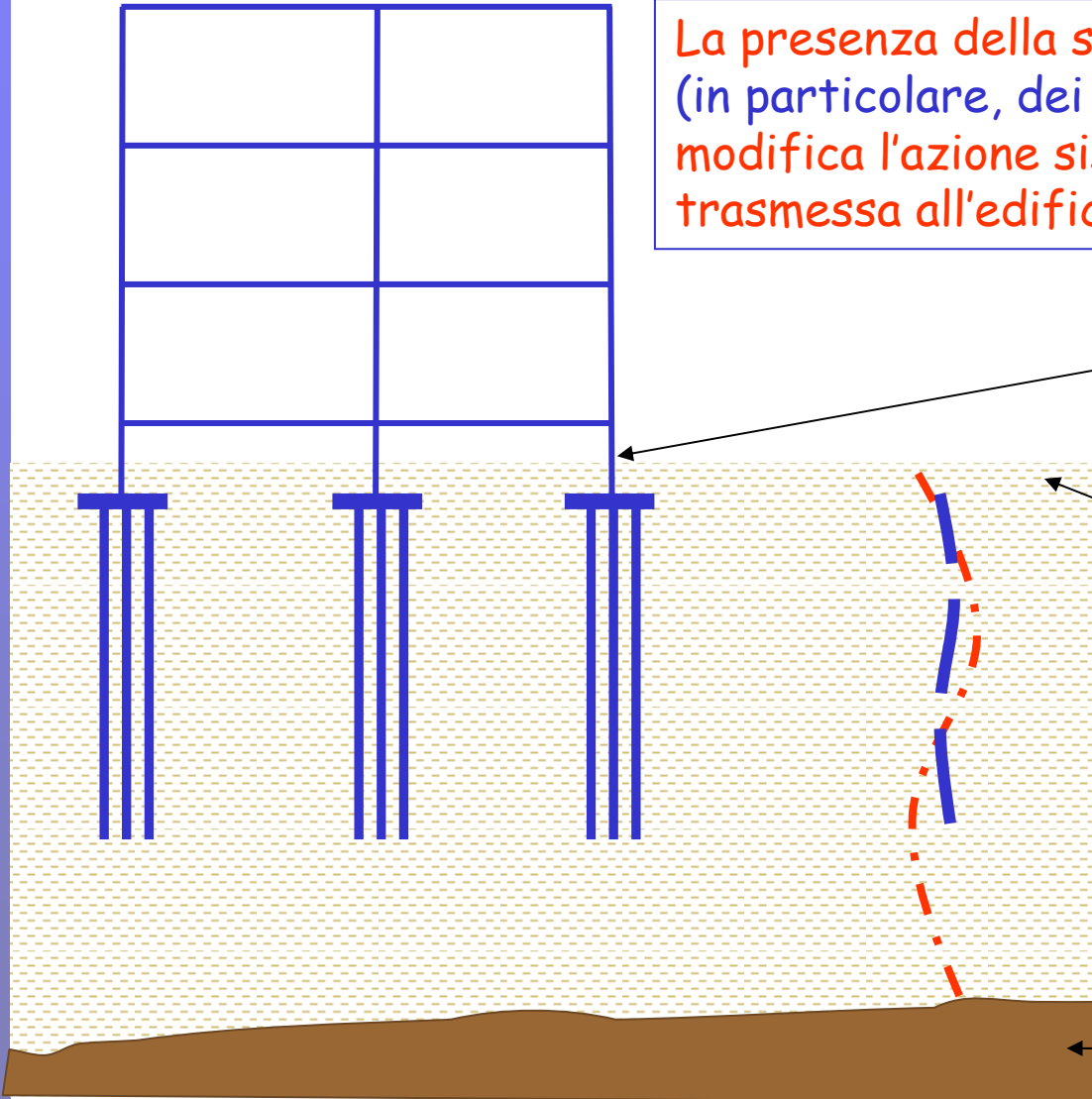
Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

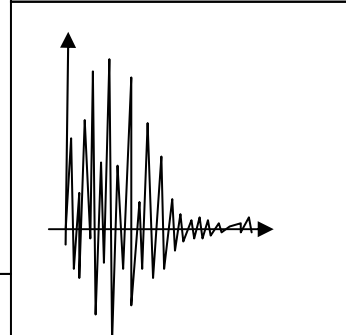
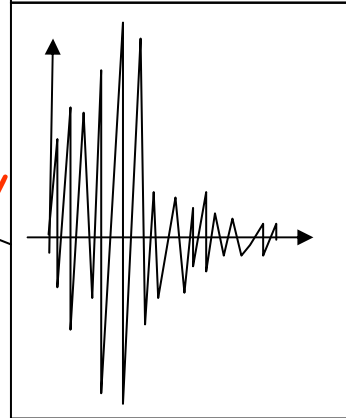
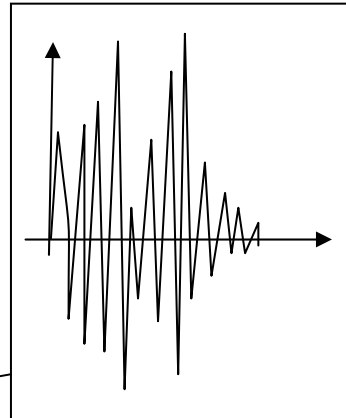
Paratie

La presenza della struttura
(in particolare, dei pali)
modifica l'azione sismica
trasmessa all'edificio



free-field

Bedrock





Interazione terreno-fondazione-sovrastuttura sotto azioni sismiche

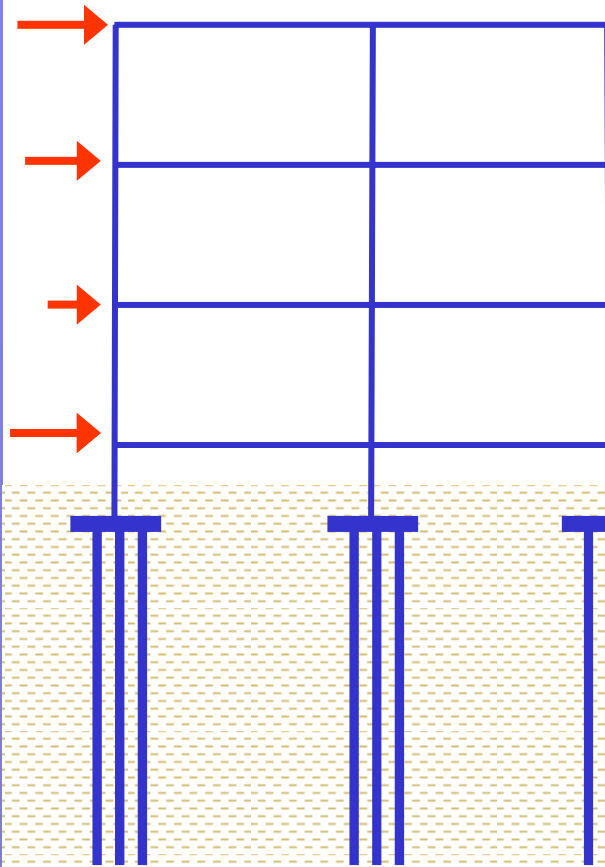
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

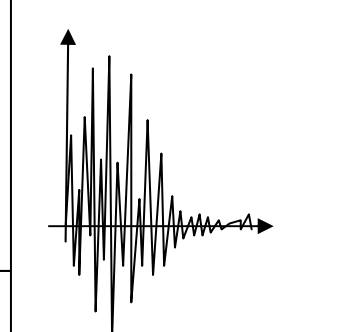
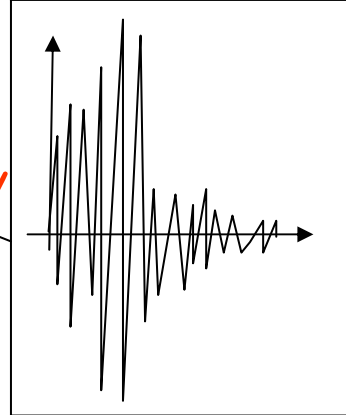
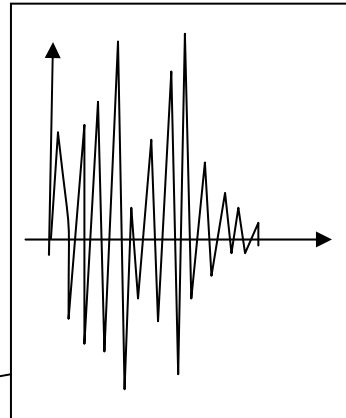
Paratie



Nella struttura si generano forze inerziali che sollecitano le fondazioni

free-field

Bedrock



Schematizzazione del problema

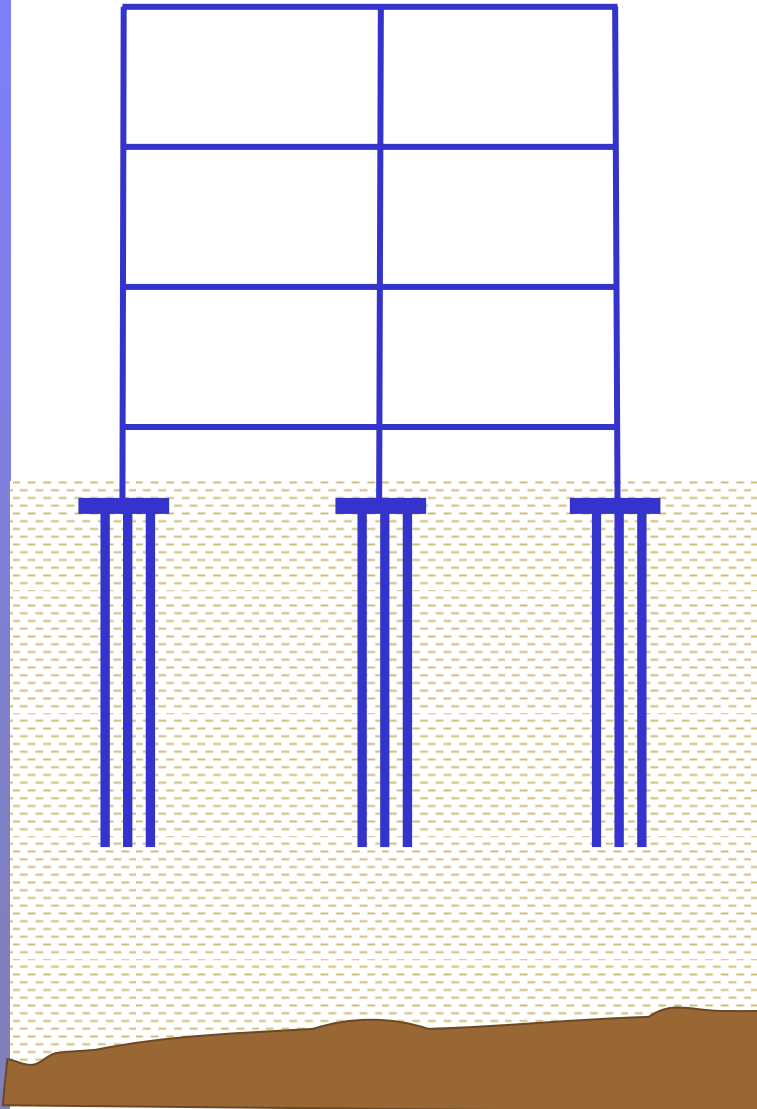
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Fase A0

Definizione dell'azione sismica sulla struttura e di una parte delle sollecitazioni nei pali



Fase A1

Analisi della struttura in elevazione



Fase A2

Analisi della fondazione sotto le azioni inerziali trasmesse dalla struttura in elevazione

Metodo delle sottostrutture

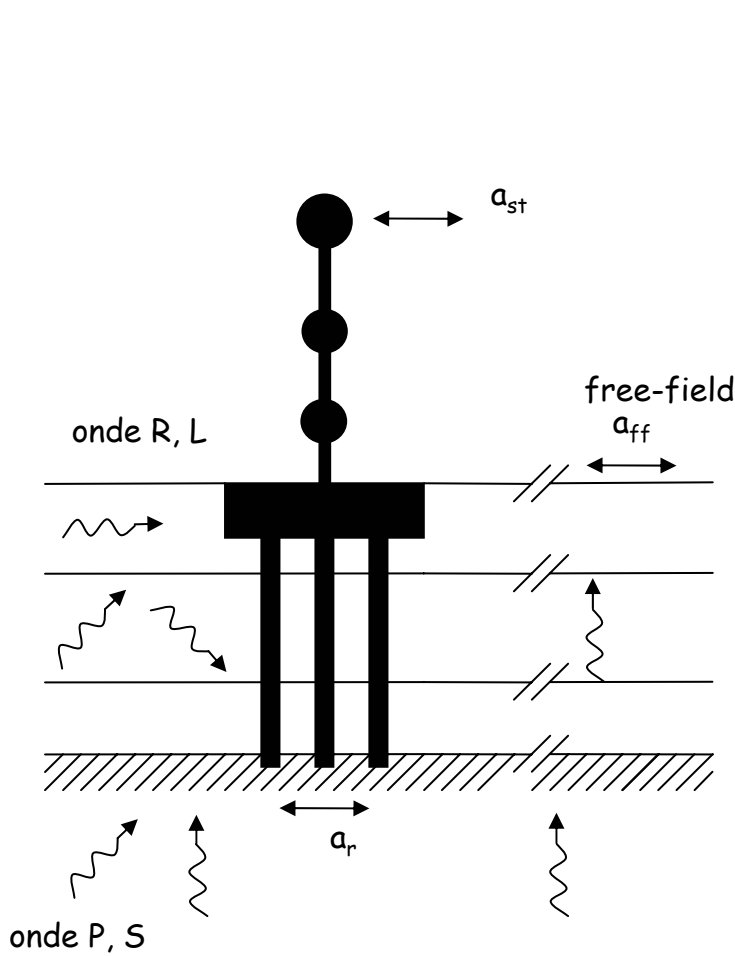
Introduzione

Fondazioni superficiali

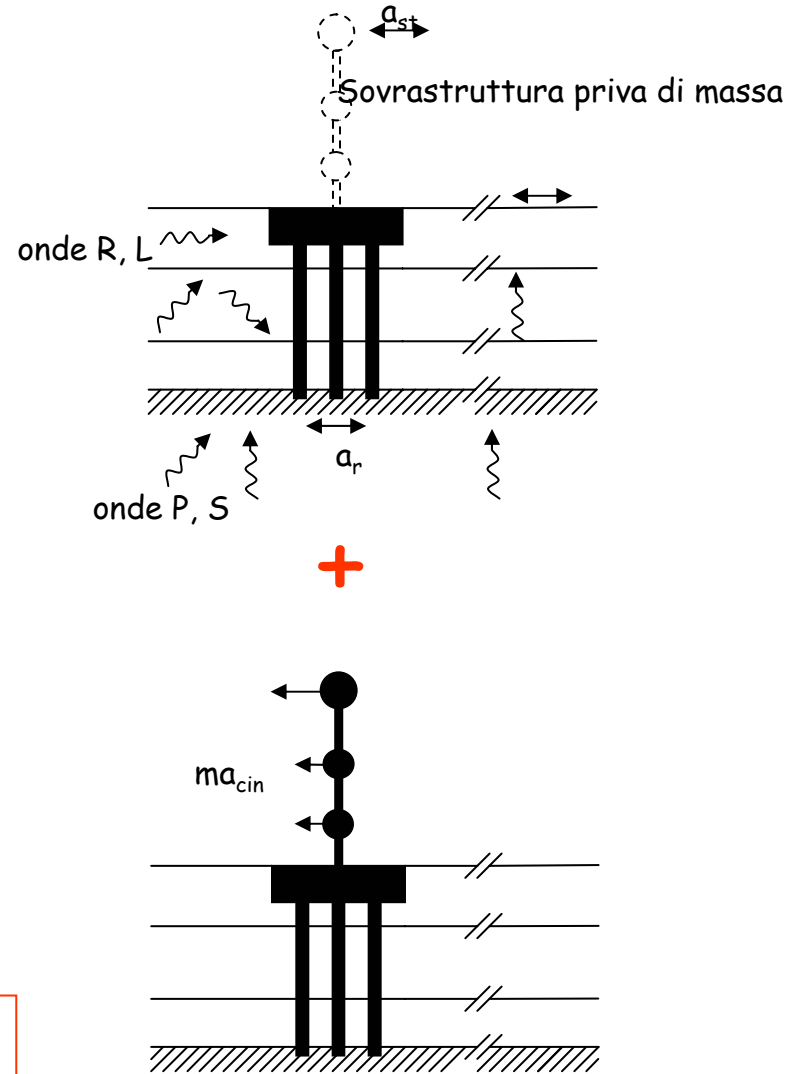
Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



=

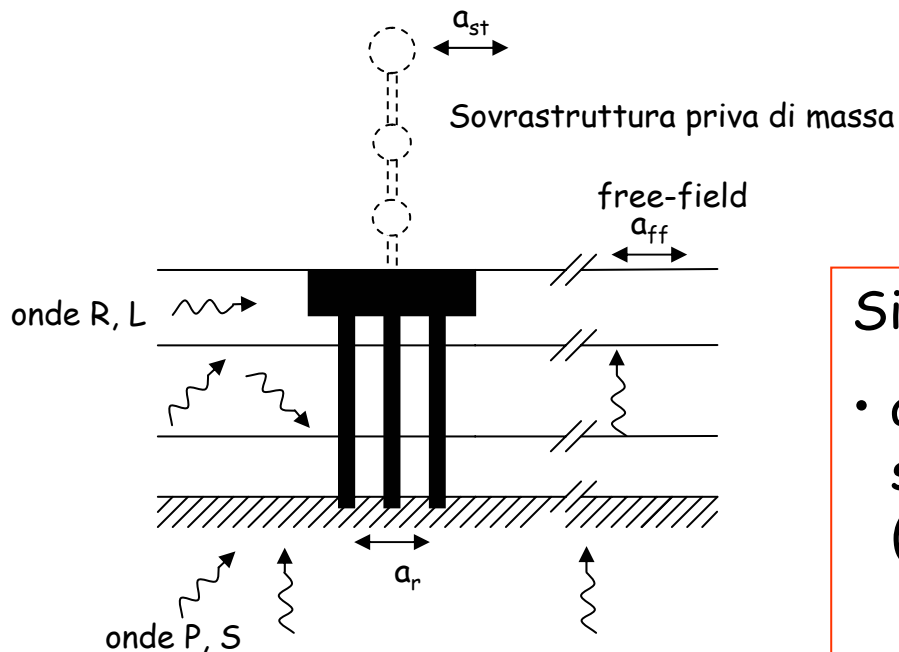


Sovrapposizione degli effetti



Metodo delle sottostrutture

Interazione cinematica



Si determinano:

- alterazione dell'azione sismica al piano fondazione (input fase successiva)
- aliquota delle sollecitazioni nei pali

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

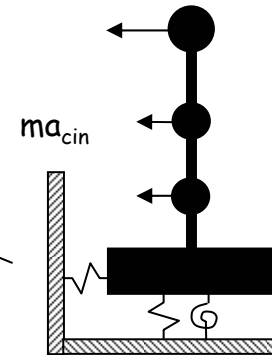
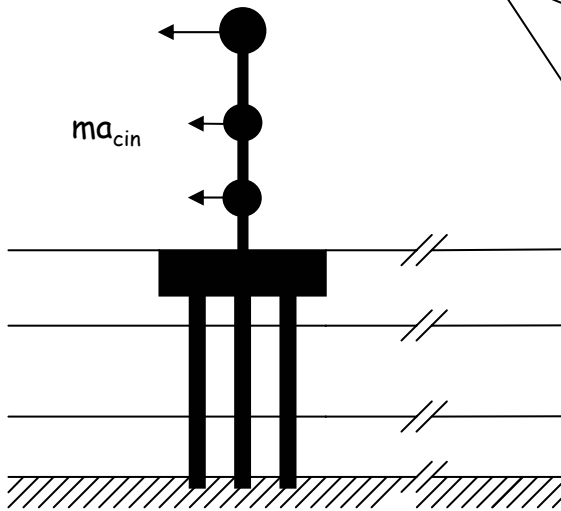
Muri di sostegno

Paratie



Metodo delle sottostrutture

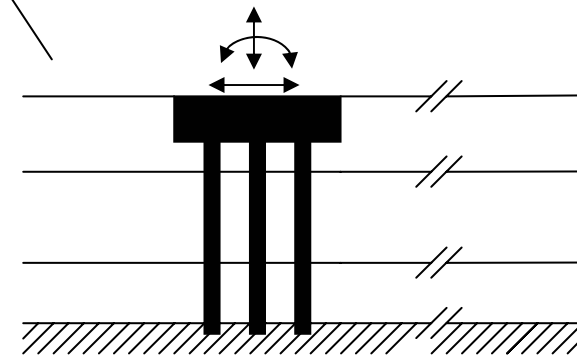
Interazione inerziale



risposta inerziale della sovrastruttura

Si determinano:

- impedenza della fondazione su pali
- caratteristiche delle sollecitazioni inerziali



impedenza dinamica della fondazione

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Quando e come calcolare l'interazione cinematica?

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

- NTC: sottosuoli D o peggiori con contrasti di rigidezza
- Nessuna indicazione su metodi di calcolo!
- Si possono considerare tre tipi di metodi:
 - Semplificati
 - Disaccoppiati
 - Completi



Metodi semplificati

Metodo	Terreno	Palo	Input	Output	Limitazioni
NEHRP-97	Omogeneo elastico lineare	Assente	a_{\max} free-field	M_{\max}	Molto cautelativo
Dobry e O'Rourke (1983)	2 strati semi-infiniti elastici lineari	Elastico lineare di lunghezza infinita	Analisi free-field o a_{\max} free-field	M_{\max}	Molto cautelativo
Formule di Nikolaou et al (2001)	2 strati elastici lineari	Palo di lunghezza finita elastico lineare	a_{\max} al bed-rock o a_{\max} free-field in superficie	M_{\max}	Non sempre cautelativo
Formula di Mylonakis (2001)	2 strati "spessi" elastici lineari	Palo di lunghezza finita elastico lineare	$a_{\max} =$ free field in superficie o γ_1 free-field all'intefaccia	M_{\max}	Non sempre cautelativo

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Metodo NEHRP-97

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

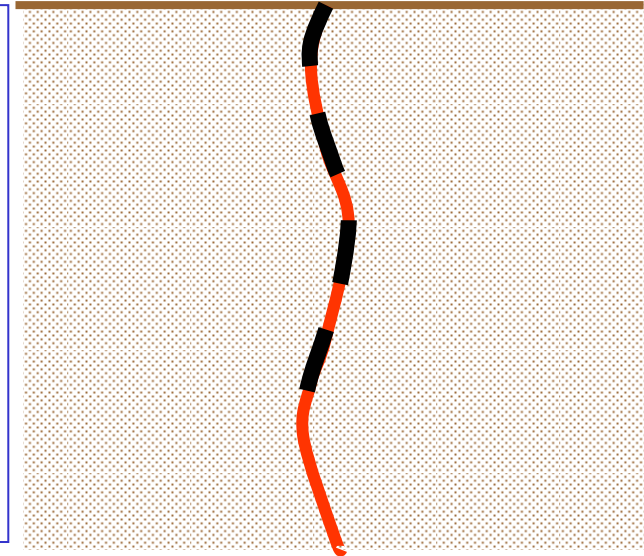
Paratie

Ipotesi:

- terreno omogeneo
- elasticità lineare
- il palo segue il moto di free-field

Prodotti:

- Momento massimo



Conseguenze:

- inapplicabili in terreni stratificati
- nessun momento all'incastro
- nessuna modifica del moto sismico
- si trascura l'interazione cinematica
- molto cautelativo

Input sismico

- accelerazione massima di free field

Caratterizzazione:

- Velocità V_s



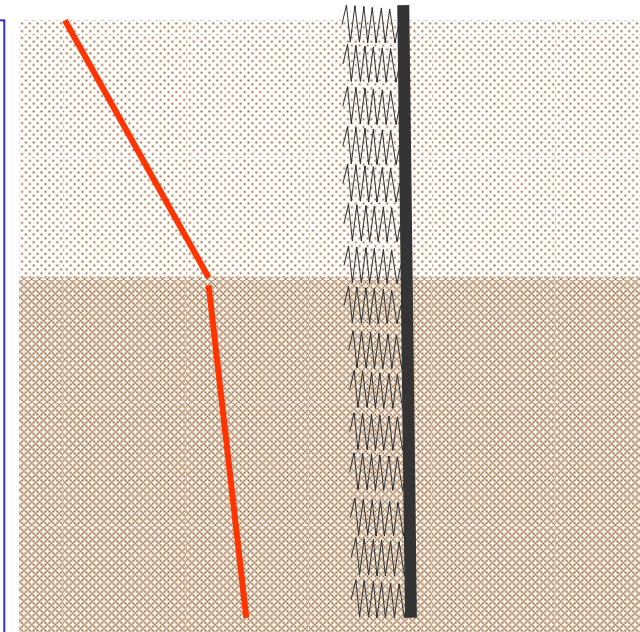
Metodo di Dobry e O'Rourke (1983)

Ipotesi:

- elasticità lineare
- palo di lunghezza infinita in 2 strati
- tensioni tangenziali cost. nel terreno
- soluzione esplicita di trave alla Winkler

•Prodotti:

- Momento massimo all'interfaccia



Conseguenze:

- inapplicabile per strati sottili
- non fornisce momento di incastro
- non fornisce informazioni sull'alterazione del moto sismico
- cautelativo

Input sismico

- analisi free-field
- σ_0 , accelerazione massima di free field
- Caratterizzazione:
 - Moduli G



Formule di Nikolaou et al. (2001)

Ipotesi:

- elasticità lineare
- sollecitazione armonica
- trave alla Winkler
- assenza di vincolo in testa

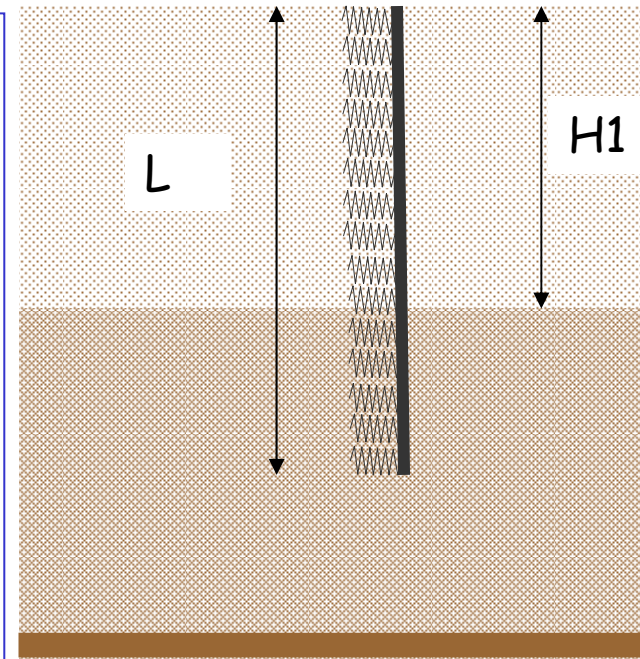
Determinazione:

- Interpolazioni dei risultati di numerose simulazioni numeriche

Prodotto:

- 2 formule interpolanti che forniscono il momento massimo

$$M_{\max} = M_{\max} \left(\frac{a_r}{g}; d; \frac{L}{d}; \frac{H_1}{L}; E_p; \frac{E_p}{E_1}; \frac{V_{s2}}{V_{s1}} \right)$$



Input sismico

- accelerazione massima al bedrock

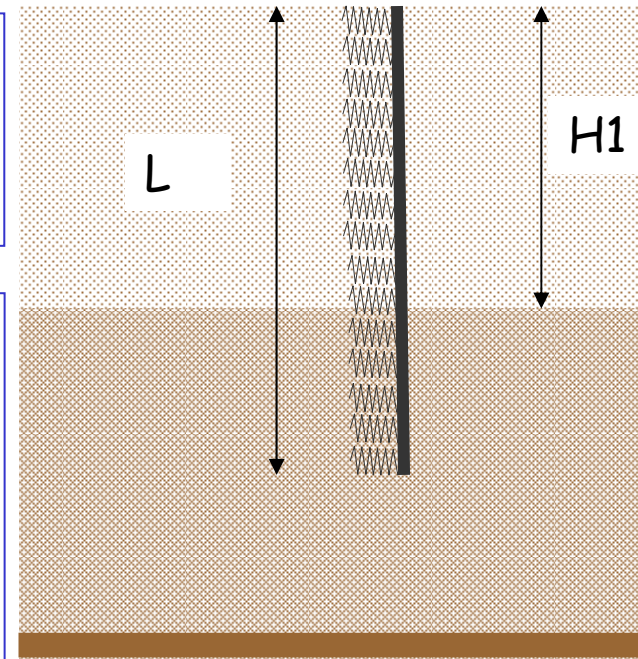
• Caratterizzazione:

- Moduli elastici



Formule di Gazetas et al. (1997)

$$M_{\max} = M_{\max} \left(\frac{a_r}{g}; d; \frac{L}{d}; \frac{H_1}{L}; E_p; \frac{E_p}{E_1}; \frac{V_{s2}}{V_{s1}} \right)$$



Conseguenze:

- inapplicabile per più di 2 strati
- non fornisce momento di incastro
- non fornisce informazioni sull'alterazione del moto sismico
- formule cautelative (sollecitazione armonica)

Possibilità di riduzione (per sismi reali)

$$M_{\max, \text{sisma}} = \eta \cdot M_{\max}$$

η può essere ricavato in funzione del numero di cicli significativo con formule del tipo:

$$\eta = 0.04 \cdot N_c + 0.23$$



Interazione cinematica

Sintesi dei risultati dei metodi semplificati

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Richiedono:

- parametri facilmente disponibili
- calcoli semplici

Forniscono:

- momenti massimi spesso cautelativi

Non forniscono:

- momenti all'incastro
- modifica dell'azione sismica



Interazione cinematica

Azione sismica con i metodi semplificati

Che azione sismica si considera?

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Interazione cinematica

Azione sismica con i metodi semplificati

Che azione sismica si considera?

Lo spettro relativo al sottosuolo interessato dalla
fondazione!

Introduzione

Fondazioni
superficiali

Fondazioni su
pali

Muri di
sostegno

Paratie



Interazione cinematica

Azione sismica con i metodi semplificati

Che azione sismica si considera?

Lo spettro relativo al sottosuolo interessato dalla
fondazione!

Nella definizione dello spettro, si considerano i
terreni attraversati dai pali?

Introduzione

Fondazioni
superficiali

Fondazioni su
pali

Muri di
sostegno

Paratie



Interazione cinematica

Azione sismica con i metodi semplificati

Che azione sismica si considera?

L'accelerazione di ancoraggio dello spettro relativo al sottosuolo interessato dalla fondazione!

Nella definizione dello spettro, si considerano i terreni attraversati dai pali?

!?

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Interazione cinematica

Metodi disaccoppiati (Winkler dinamico)

Ipotesi:

- elasticità lineare

Procedura:

- studio della risposta sismica (*free-field*)
- applicazione degli spostamenti alle molle

Input:

- accelerogrammi (quali ?)

Risultati:

- inviluppo dei momenti massimi
- modifica dell'azione sismica al piano fondazioni

Introduzione

Fondazioni
superficiali

Fondazioni su
pali

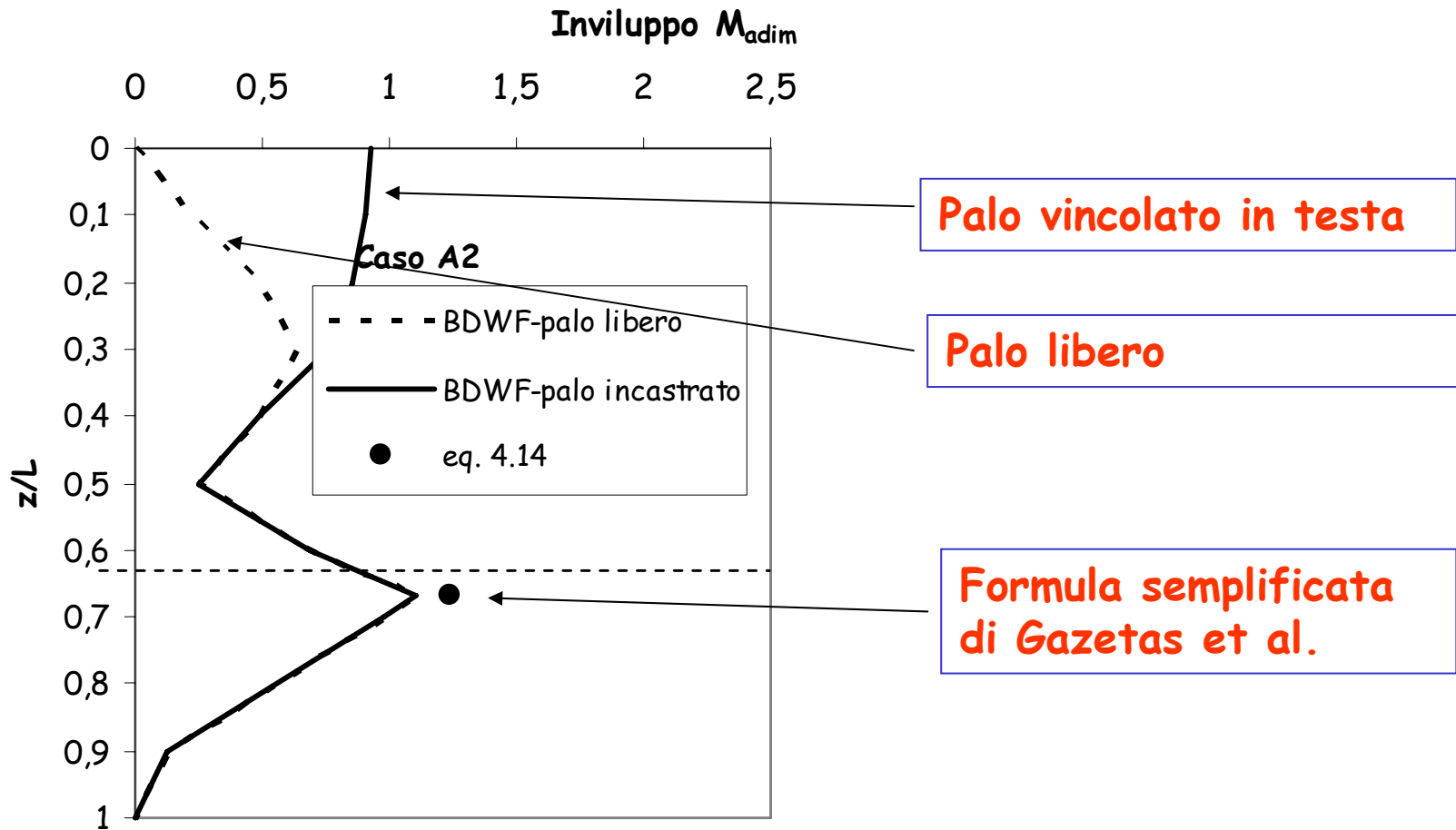
Muri di
sostegno

Paratie



Interazione cinematica

Risultati di metodi disaccoppiati





Interazione cinematica

Metodi accoppiati con modellazione del continuo

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Ipotesi:

- non solo elasticità lineare

Procedura:

- simulazione numerica del continuo con modellazione numerica 3D

Input:

- accelerogrammi (quali ?)

Risultati:

- inviluppo dei momenti massimi
- modifica dell'azione sismica al piano fondazioni



Interazione cinematica

Introduzione

Fondazioni
superficiali

Fondazioni su
pali

Muri di
sostegno

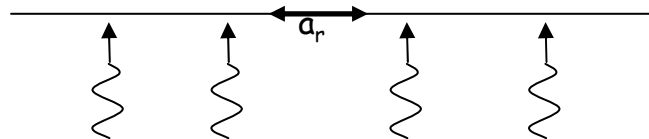
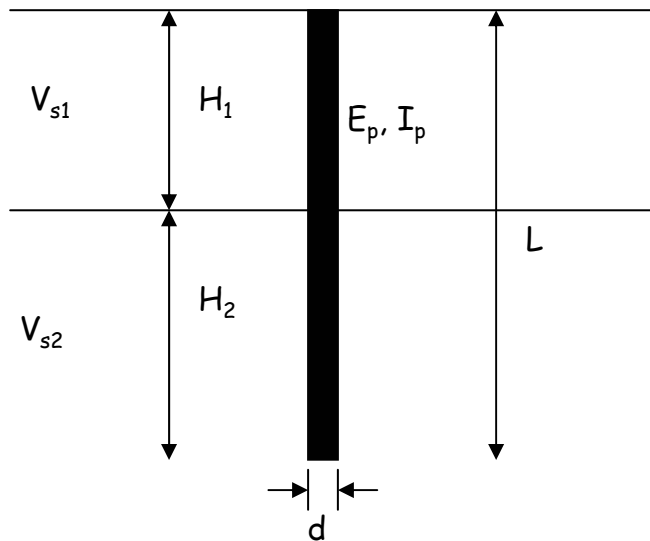
Paratie

Problemi di caratterizzazione geotecnica



Interazione cinematica (Gazetas et al., 1997) Studio parametrico

$$M_{\max} = 2.7 \cdot 10^{-7} E_p d^3 \left(\frac{a_r}{g} \right) \left(\frac{L}{d} \right)^{1.30} \left(\frac{E_p}{E_1} \right)^{0.7} \left(\frac{V_{s2}}{V_{s1}} \right)^{0.3} \left(\frac{H_1}{L} \right)^{1.25}$$



Si è studiato l'effetto dei vari parametri:

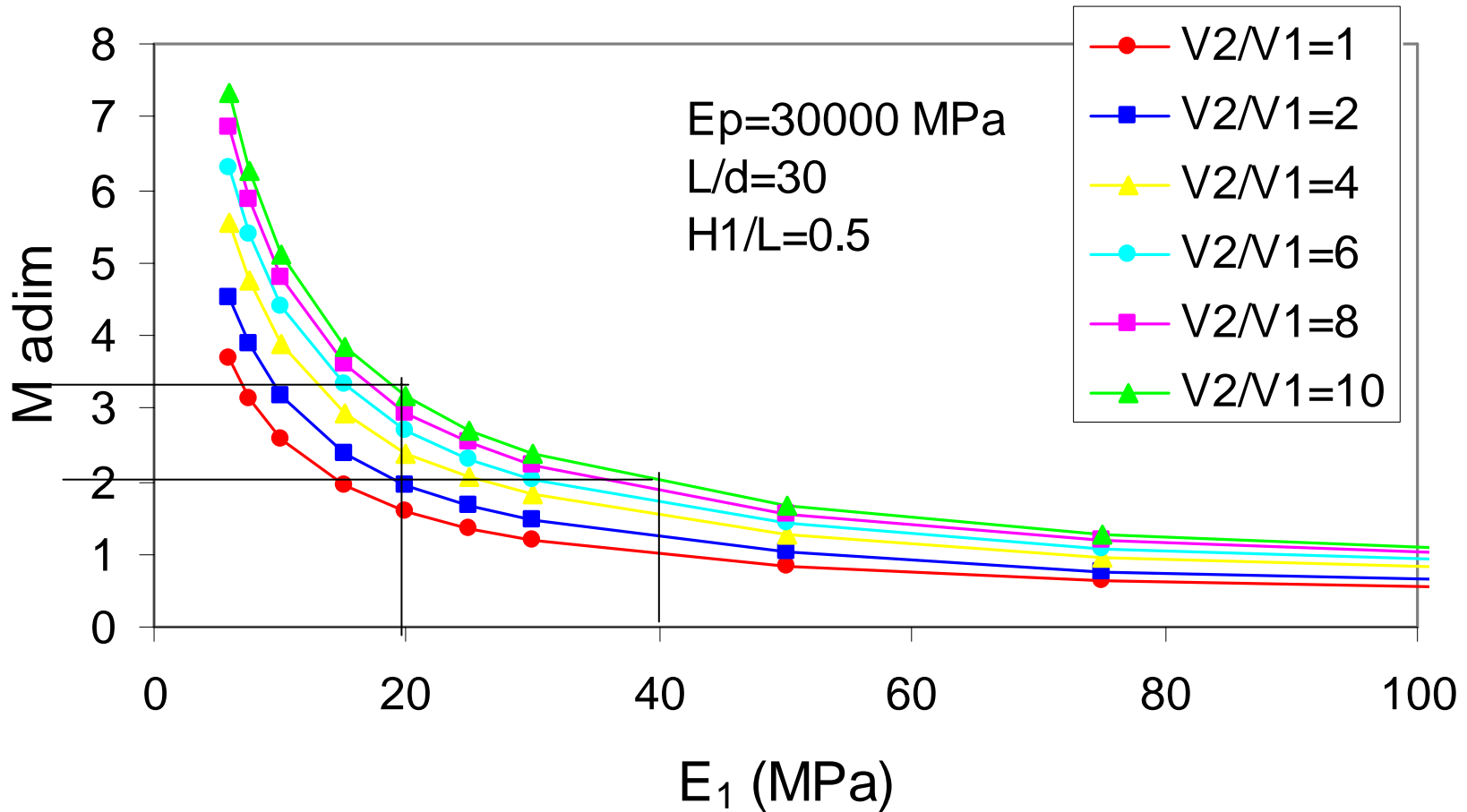
- H_1/L
- L/d
- E_1
- E_p/E_1

$$M_{a \text{ dim}} = M / \left(E_p \cdot d^3 \cdot \frac{a_r}{g} \right)$$



Interazione cinematica (Gazetas et al., 1997) Studio parametrico

- Introduzione
- Fondazioni superficiali
- Fondazioni su pali
- Muri di sostegno
- Paratie



Importanza di interazione cinematica per terreni deformabili



Introduzione

Fondazioni
superficiali

Fondazioni su
pali

Muri di
sostegno

Paratie

Interazione cinematica

Importanza dell'input sismico



S. Aversa - Opere e sistemi geotecnici in condizioni sismiche

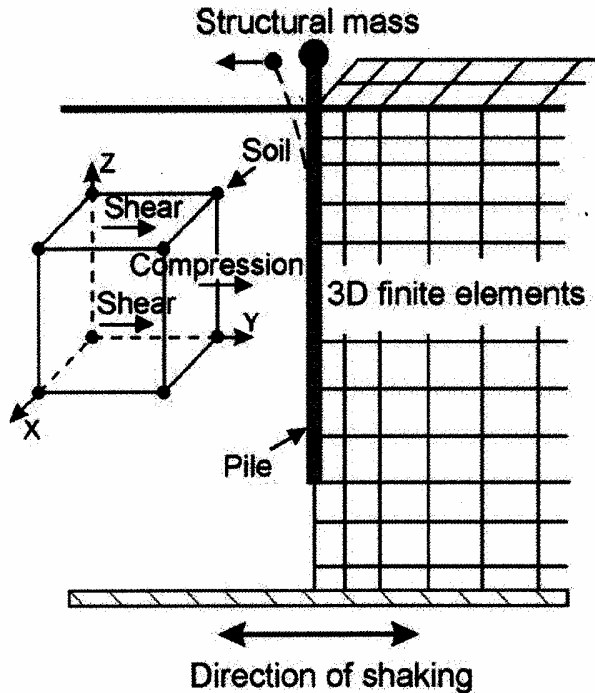
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Modello quasi-3D utilizzato dal programma Versat-P3D (Wu e Finn, 1994)

E' stato effettuato uno studio parametrico con sismi dell'Irpinia e del Friuli utilizzando gli schemi di Gazetas et al. (1996)

	E_p (Mpa)	E_p/E_1	V_{s2}/V_{s1}	ρ_1/ρ_2	d (m)	L/d	a_r (m/s ²)	h_1/L	$v_1=v_2$
caso A1	30000	1000	1	0.8	0.6	20	1	0.67	0.4
caso A2	30000	1000	2	0.8	0.6	20	1	0.67	0.4
caso A3	30000	1000	4	0.7	0.6	20	1	0.67	0.4
caso B1	30000	5000	2	0.8	0.6	20	1	0.50	0.4
caso B2	30000	5000	2	0.8	0.6	20	1	0.50	0.4
caso B3	30000	5000	4	0.7	0.6	20	1	0.50	0.4



S. Aversa - Opere e sistemi geotecnici in condizioni sismiche

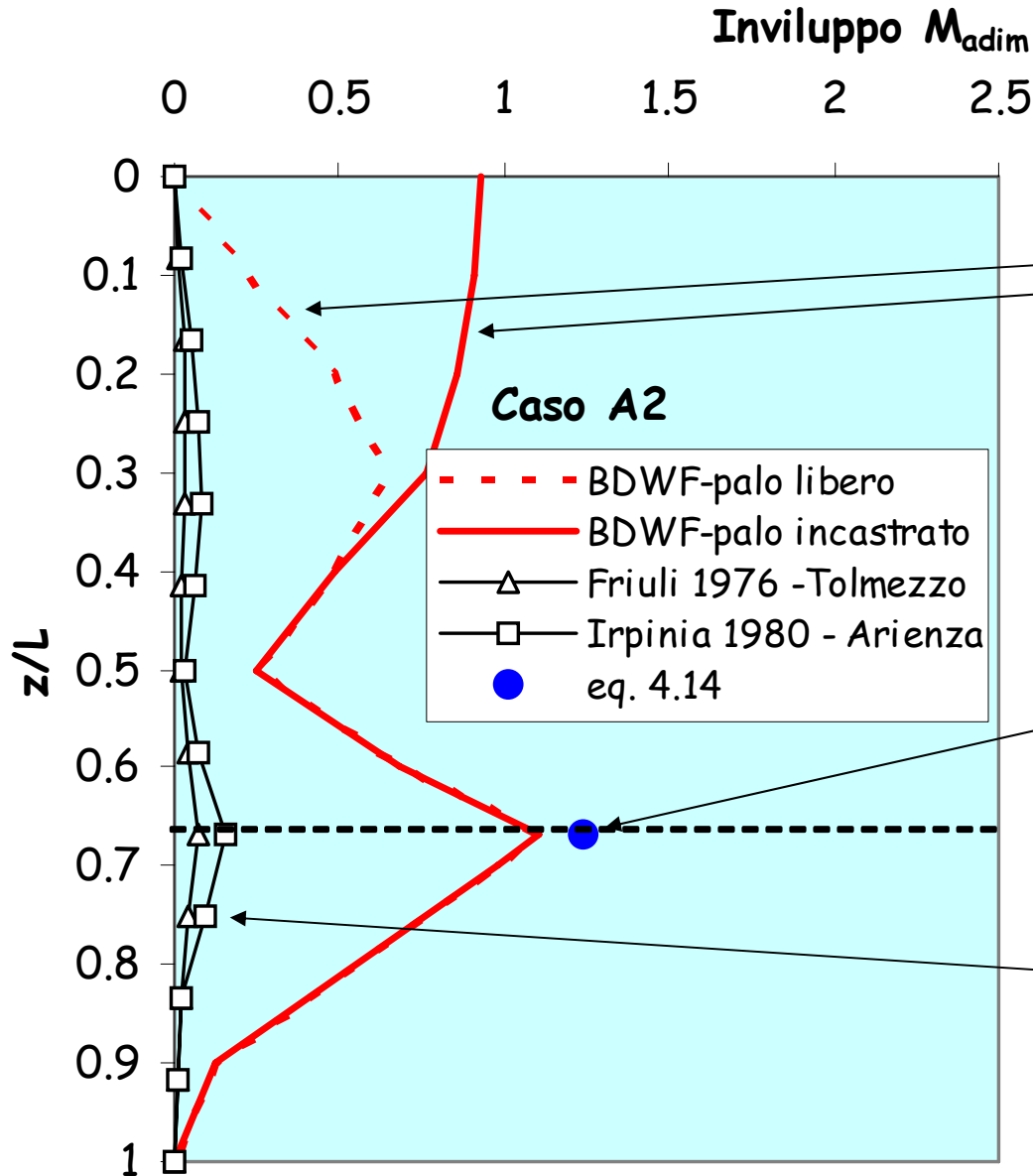
Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Inviluppo momenti con sollecitazione armonica

Formula semplificata di Gazetas et al.

Inviluppo momenti con accelerogrammi

Fattori η pari a circa 0.1-0.2



Studio dell'interazione inerziale

Introduzione

Fondazioni superficiali

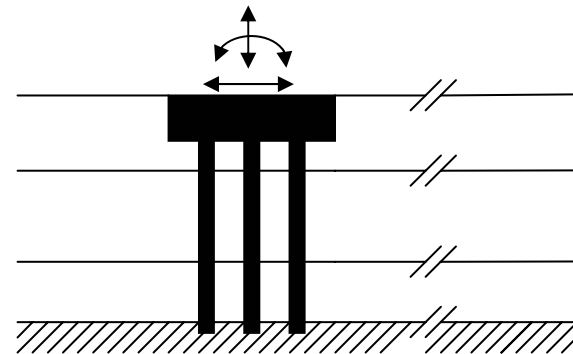
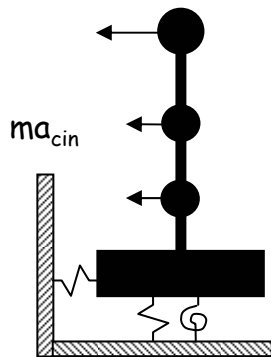
Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Può essere suddiviso in due fasi:

- analisi della struttura in elevazione
- analisi della fondazione:
 - determinazione dell'impedenza
 - caratteristiche della sollecitazione nei pali

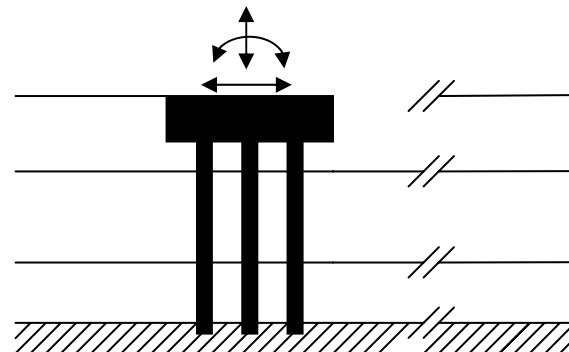
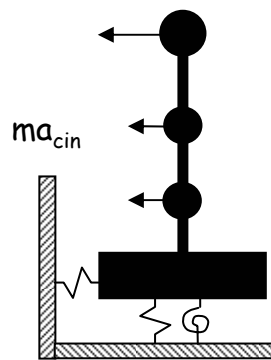




Studio dell'interazione inerziale

Solo tre considerazioni:

- All'impedenza delle fondazioni si può spesso sostituire la rigidezza, trascurando lo smorzamento
- Nell'analisi della sovrastruttura si può spesso considerare la fondazione incastrata
- Importanza del fattore q . E' necessario verificare che la sovrastruttura sia realmente in grado di dissipare energia sismica.





Alcune considerazioni sulle novità della normativa in campo sismico

- Effetto sottosuolo
- **Interazione sismica palificata-terreno**
- Effetti dell'interazione cinematica
- **Pali in campo elastico (in alcuni casi, accettate cerniere plastiche) anche in verifiche SLU**

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

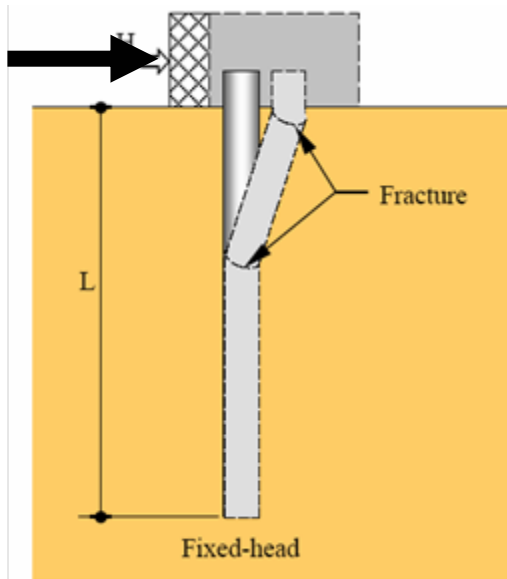
Paratie



Come si inserisce l'interazione cinematica nelle verifiche SLU?

- Non può comparire nelle verifiche SLU a carico limite trasversale (e ovviamente verticale)

I° motivo



L'interazione cinematica dà luogo ad una distribuzione di momenti nel palo, ma non ad una forza in testa

Non può entrare in una verifica in cui l'effetto delle azioni sia la forza in testa al palo

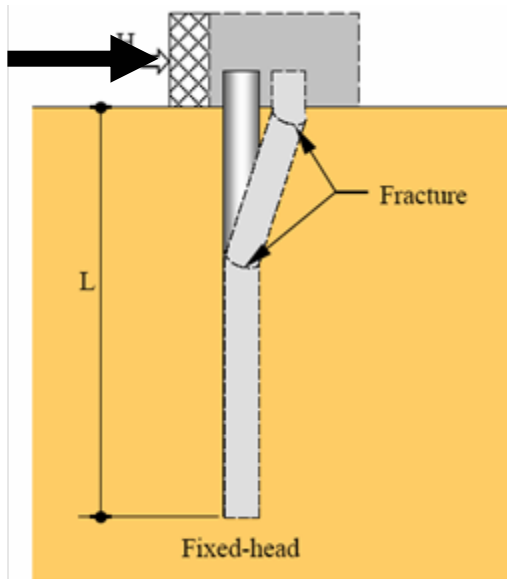


Come si inserisce l'interazione cinematica nelle verifiche SLU?

- Non può comparire nelle verifiche SLU a carico limite trasversale

II Motivo

Non è possibile considerare contemporaneamente Broms (rigido-plastico) e interazione cinematica (elastico o poco meglio)





Conduzione delle verifiche a carico limite verticale e trasversale

Introduzione

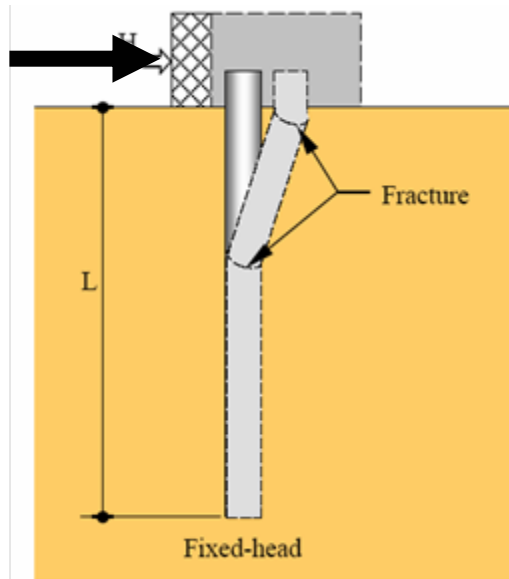
Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Le verifiche SLU (a carico limite verticale e trasversale) devono essere condotte sotto le sole forze statiche e quelle sismiche inerziali





La verifica sotto azioni trasversali andrebbe fatta con Winkler per i seguenti motivi:

- Con Broms si trascura l'interazione cinematica (con Winkler si possono sommare cautelativamente i due momenti)
- Le norme impongono di mantenere il palo in campo elastico (o quasi!)
- La forma circolare della sezione del palo dà luogo ad un rapporto elevato tra il momento di plasticizzazione e quello a cui corrispondono le prime plasticizzazioni
- Questo modo di procedere somiglia a quanto si fa normalmente in ambito strutturale (calcolo delle sollecitazioni in campo elastico e confronto con momenti di plasticizzazione)

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



fino ad oggi sia in campo statico sia in campo sismico

Introduzione

Fondazioni superficiali

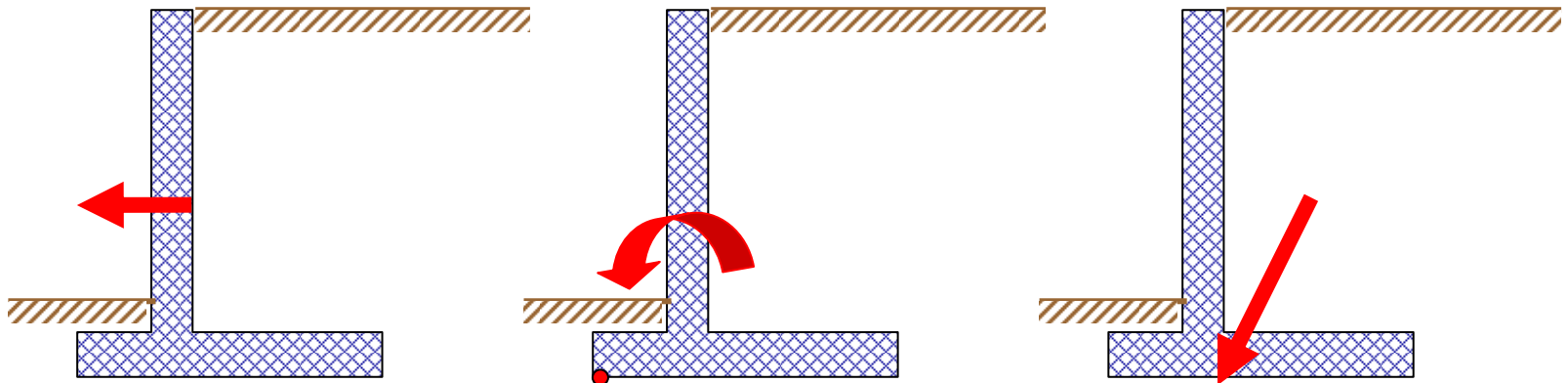
Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Muri di sostegno nel DM 11/03/88

Verifiche allo stato limite ultimo



Scorrimento FS = 1,3

Ribaltamento FS = 1,5

Carico limite FS = 2,0

Verifica globale del pendio FS = 1,3



Cap. 6 : Progettazione Geotecnica *(azioni statiche)*

Cap. 6.5 : Opere di sostegno

6.5.1 - Criteri generali di progetto

6.5.2 - Azioni

6.5.3 - Verifiche di sicurezza (condizioni di stato limite)

❖ *Condizioni di SLU*

*Approccio DA1 : $C1 \{A1 + M1\}$ e $C2 \{A2 + M2\}$
(in qualche caso DA2)*

❖ *SLE : Verifica di spostamenti dell'opera e del terreno*



Progettazione in presenza di azioni sismiche

Cap. 7.11.8 : Opere di sostegno

... 1 - Requisiti generali

- ❖ *ammissibilità spostamenti permanenti ... che siano compatibili ...*
- ❖ *estensione delle indagini*
- ❖ *elenco fattori essenziali nell'analisi sismica*

... 2 - Muri di sostegno

... 3 - Paratie

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Cap. 7.11.8.2 : Muri di sostegno

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Introduzione

- ❖ *prescrizioni su terreno di riempimento*
- ❖ *drenaggio, uso di geotessili, tollerabilità di spostamenti*
- ❖ *sicurezza nei confronti della liquefazione*

Metodi di analisi

- ❖ *metodi pseudostatici*
- ❖ *metodi dinamici*

Verifiche di sicurezza



Cap. 7.11.8.2 : Muri di sostegno

8.2.1 Metodi di analisi : approccio pseudostatico

Metodi dell'equilibrio limite

❖ *sisma* → forze statiche "equivalenti" F_h ed F_v , coeff. k_h e k_v

$$F_h = k_h W$$

$$k_h = \beta_m (a_{max}/g) \quad e \quad k_v = 0.5 k_h$$

D.M. 96 : coeff. C

EC8, NTC : $f(a_{max})$

❖ da analisi RSL

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

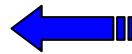
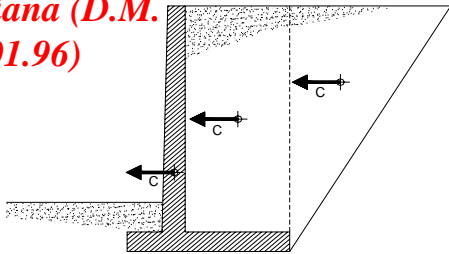


Cap. 7.11.8.2 : Muri di sostegno

8.2.1 Metodi di analisi : approccio pseudostatico

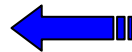
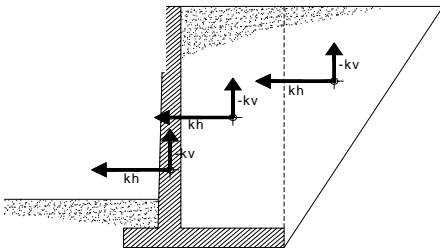
Introduzione
Fondazioni superficiali
Fondazioni su pali
Muri di sostegno
Paratie

Normativa Italiana (D.M. 16.01.96)

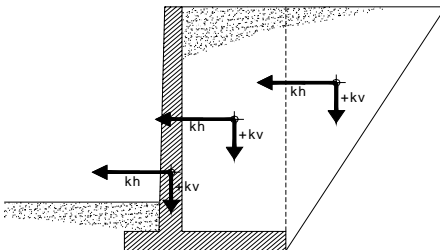


Normativa Italiana (D.M. 16.01.96)

EC8-Parte 5



Eurocodice 8, NTC



Schematizzazione delle forze d'inerzia secondo le NORMATIVE

(Simonelli, 2004)



Cap. 7.11.8.2 : Muri di sostegno

8.2.1 Metodi di analisi : approccio pseudostatico

Metodi dell'equilibrio limite

❖ *sisma* → forze statiche "equivalenti" F_h ed F_v , coeff. k_h e k_v

k_v

$$F_h = \textcircled{k_h} W$$

$$k_h = \textcircled{\beta_m} (a_{max}/g) \quad e \quad k_v = 0.5 k_h$$

EC8, OPCM 3274

$$k_h = 1 / r (a_{max}/g)$$

con $r = 2$

(se le opere ammettono spostamenti)

e quindi $b_m = 1/r = 0.5$

NTC : β_m ?



Cap. 7.11.8.2 : Muri di sostegno

8.2.1 Metodi di analisi : approccio pseudostatico

Valutazione di β_m

- ❖ Analisi dinamiche del comportamento di muri
- ❖ Input sismico : specifico database di terremoti, opportunamente elaborati

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Cap. 7.11.8.2 : Muri di sostegno

8.2.1 Metodi di analisi : approccio pseudostatico

Valutazione di β_m

database accelerogrammi

- ❖ 214 registrazioni accelerometriche in campo libero (NS - EO)
- ❖ 47 eventi di magnitudo $M \geq 4.0$ e distanza epicentrale < 100 km
- ❖ valori di $0.4g > PGA > 0.05g$; $I_a = 0.006 - 1.233$ m/s

tre categorie di sottosuolo:

sottosuoli rigidi (A)

$V_s > 800$ m/s

depositi molto consistenti / addensati (B)

$V_s = 360 - 800$

m/s

depositi med. consistenti / addensati (C ...)

$V_s < 360$ m/s

quattro insiemi di accelerogrammi per categoria:

$$a_{max} = 0.05 g - 0.1 g$$

$$a_{max} = 0.1 g - 0.2 g$$

$$a_{max} = 0.2 g - 0.3 g$$

$$a_{max} = 0.3 g - 0.4 g$$



Cap. 7.11.8.2 : Muri di sostegno

8.2.1 Metodi di analisi : approccio pseudostatico

Valutazione di β_m

- ❖ Analisi dinamiche del comportamento di muri
- ❖ Input sismico : specifico database di terremoti, opportunamente elaborati
- ❖ Prestazione valutata in termini di spostamenti permanenti
- ❖ Taratura di β_m sulla base di valori di spostamenti ammissibili

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Cap. 7.11.8.2 : Muri di sostegno

8.2.1 Metodi di analisi : approccio pseudostatico

Metodi dell'equilibrio limite

❖ *sisma* → forze statiche "equivalenti" F_h ed F_v , coeff. k_h e k_v

$$F_h = k_h W$$

$$k_h = \beta_m (a_{max}/g) \quad e \quad k_v = 0.5 k_h$$

EC8, OPCM 3274

$$k_h = 1 / r (a_{max}/g)$$

con $r = 2$

(se le opere ammettono spostamenti)

e quindi $\beta_m = 1/r = 0.5$

NTC	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_m	β_m
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.31	0.31
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.29	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.18



Cap. 7.11.8.2 : Muri di sostegno

8.2.1 Metodi di analisi : approccio pseudostatico

Altra novità : **Condizioni idrauliche del terrapieno**

D.M 1996: Spinta attiva per terrapieno asciutto

EC, NTC : spinta per terrapieno in falda

- ❖ Permeabilità bassa ($k < 5 \cdot 10^{-4}$ m/s) azione inerziale accoppiata
- ❖ Permeabilità elevata ($k > 5 \cdot 10^{-4}$ m/s) azione inerziale disaccoppiata

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Cap. 7.11.8.2 : Muri di sostegno

8.2.1 Metodi di analisi : approccio pseudostatico

Verifiche di sicurezza (SLU)

Condizione di stabilità globale (7.11.5)

Fondazione: q_{lim} e scorrimento (7.11.7)

Attenzione

Se si porta in conto il sisma, non si devono incrementare le altre azioni, per cui si deve considerare il valore di progetto dell' *Effetto delle azioni* (E_k)

Viceversa, si deve considerare sempre il valore della *Resistenza di progetto* (R_d), affetta dai coefficienti di sicurezza parziali

$$E_d \leq R_d$$



Cap. 7.11.8.3 : Paratie

8.3.1 Metodi pseudostatici

Determinazione del coefficiente sismico k_h

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

variabilità spaziale del moto sismico $a(x,y,z)$

α

→ asincronicità

- deformabilità

- contenuto in frequenza

variabilità temporale del moto sismico $a(t)$

β

→ duttilità del sistema

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

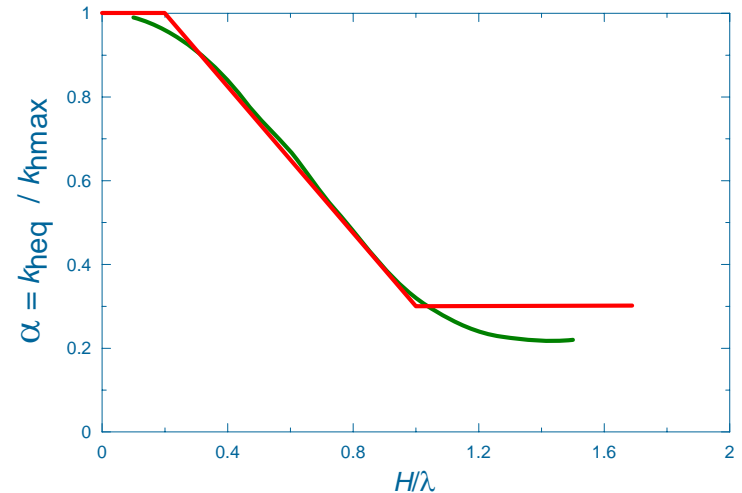
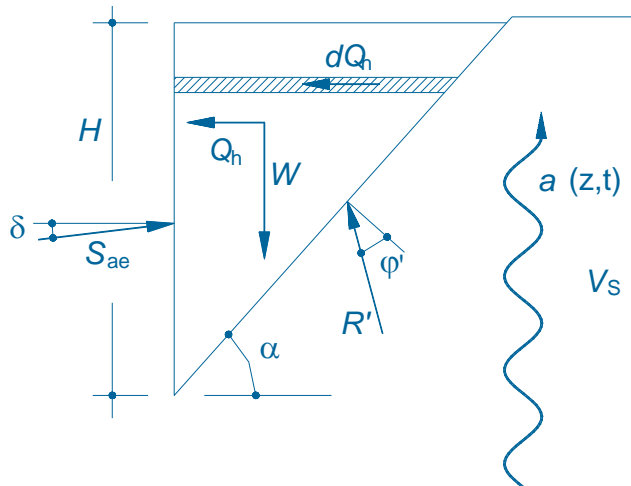
Cap. 7.11.8.3 : Paratie

8.3.1 Metodi pseudostatici

Determinazione del coefficiente α

asincronicità del moto rif.: Steedman & Zeng (1990)

definizione di un'accelerazione pseudostatica equivalente $k_{h\text{eq}} = \alpha \cdot k_{h\text{max}}$



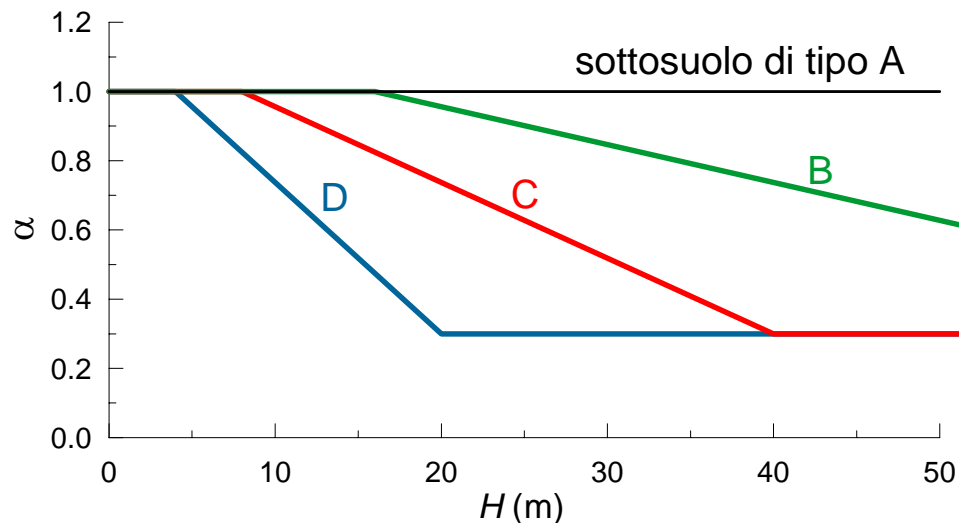


Cap. 7.11.8.3 : Paratie

8.3.1 Metodi pseudostatici

Applicazione alle categorie di sottosuolo $f_p \approx 2.5$ Hz

terreno	V_{s30} (m/s)	V_s (m/s)	V_{seq} (m/s)	$l = V_s/f_p$ (m)
B	360-800	360	200	80.0
C	180-360	180	100	40.0
D	<180	90	50	20.0



Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



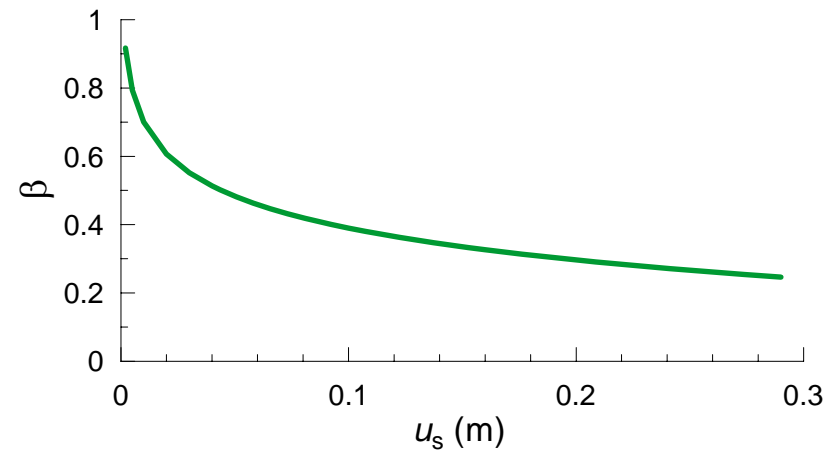
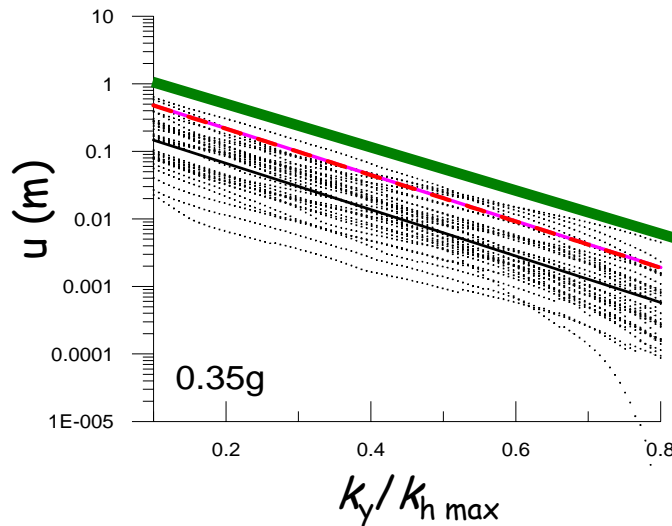
Cap. 7.11.8.3 : Paratie

8.3.1 Metodi pseudostatici

Determinazione del coefficiente β

paratie - integrazione del database accelerometrico

$$\beta = k_y / k_h \max$$



$$u_s < 0.005 H$$

spostamento, scelto dal progettista, tollerabile senza riduzioni di resistenza

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie



Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Cap. 7.11.8.3 : Paratie

8.3.1 Metodi pseudostatici

Determinazione del coefficiente sismico k_h

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

variabilità spaziale del moto sismico $a(x,y,z)$

α

→ asincronicità

- deformabilità

- contenuto in frequenza

variabilità temporale del moto sismico $a(t)$

β

→ duttilità del sistema



S. Aversa - Opere e sistemi geotecnici in condizioni sismiche

Introduzione

Fondazioni superficiali

Fondazioni su pali

Muri di sostegno

Paratie

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$