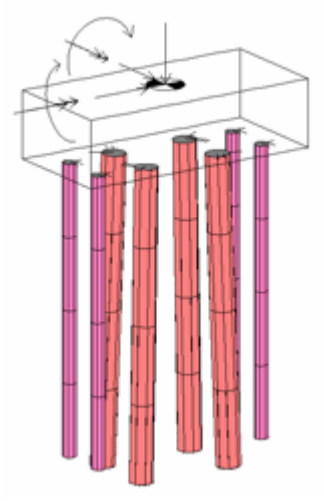
Fondazioni su pali



Fondazioni su pali

Verifiche agli stati limite ultimi (SLU)

La verifica della condizione (6.2.1) **Rd ≥ Ed** può essere effettuata per :

- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
- collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;

seguendo almeno uno dei due approcci:

Approccio1:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)

-Combinazione 2: (A2+M1+R2) ← ***notare che vi è solo M1***

Approccio 2:

(A1+M1+R3)

→ *Per verifiche di stabilità globali (A2+**M2**+R2)* ← ***M2 appare solo in questo caso***

Tabelle di riferimento (v. pag. seguenti)**:**

Per carichi assiali **Coefficienti A(6.2.I),M(6.2.II), R(6.4.II)**

Per carichi trasversali **Coefficienti A(6.2.I),M(6.2.II), R(6.4.VI,)**

Carichi assiali

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		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.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6.4.II – *Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.*

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	γ_R	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		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.

Carichi trasversali

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

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)
γ_T =1,0	γ_T =1,6	γ_T =1,3

Fondazioni su pali - Progettazione per azioni sismiche

Approccio 1:
- ***Combinazione 1: (A1+M1+R1)***
-***Combinazione 2: (A2+M1+R3) ****

⇑ (NTC 7.11.5.3.)

Approccio 2:
(A1+M1+R3).

Le azioni A non devono essere amplificate $\gamma F = 1$

*Nelle verifiche di **fondazioni su pali**, effettuate con l'**Approccio 1** ***Combinazione 2***, si deve fare riferimento ai coefficienti **R3** di cui alle Tabelle 6.4.II e 6.4.VI. ***(A2+M1+R3).***

La **verifica di stabilità globale** deve essere effettuata secondo l'***Approccio 1***- **Combinazione 2: (A2+M2+R2)**

ATTENZIONE

Nel calcolo dei pali, sia in condizioni statiche che sismiche, le caratteristiche del terreno M non vanno mai ridotte (errore nelle Norme). Per gli ancoraggi vale lo stesso principio.

$$M = M1 = \gamma_M = 1 \quad \textbf{sempre}$$

(eccetto che nelle verifiche di stabilità → M2)

Pertanto → ***Parametri di progetto = Parametri caratteristici***

In presenza di azioni sismiche A ed M sono = 1,0 e si deve tenere conto solo di R.

Per quanto riguarda il calcolo dei **pali in zona sismica**, le NTC 2008 riprendono, sostanzialmente, tutto quanto detto e introdotto dall'Ordinanza 3274/2003 su pali e fondazioni su pali, e ne chiariscono meglio alcuni aspetti

7.2.5. requisiti strutturali degli elementi di Fondazione	**modello**	**In genere le azioni in fondazione derivano dall'esame della sola struttura fuoriterra**
	interazione cinematica	**nei casi in cui gli effetti dell'interazione cinematica terreno-struttura siano considerati rilevanti, sui pali va assunta la condizione di sollecitazione più sfavorevole estesa a tutta la lunghezza del palo**
	Pali inclinati	**l'impiego dei pali inclinati è da evitare**

7.2.6. criteri di modellazione della struttura e azione sismica	**interazione**	**è possibile tener conto della modifica del moto sismico indotta dall'interazione terreno/fondazione**

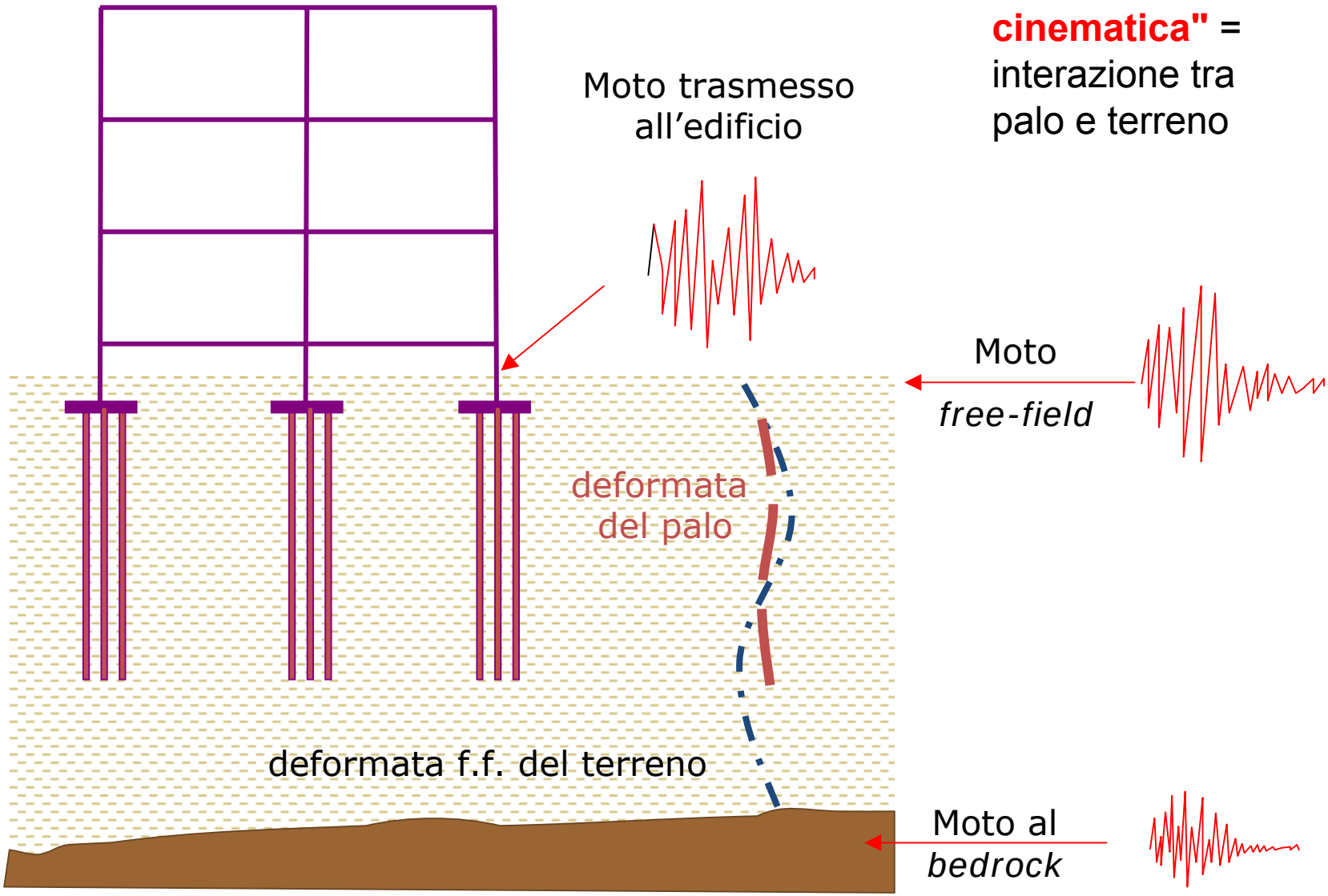
Nota : "interazione inerziale" = sollecitazione inerziale trasmessa dalla sovrastruttura

"interazione cinematica" = interazione tra palo e terreno

Interazione cinematica terreno-fondazione-struttura

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

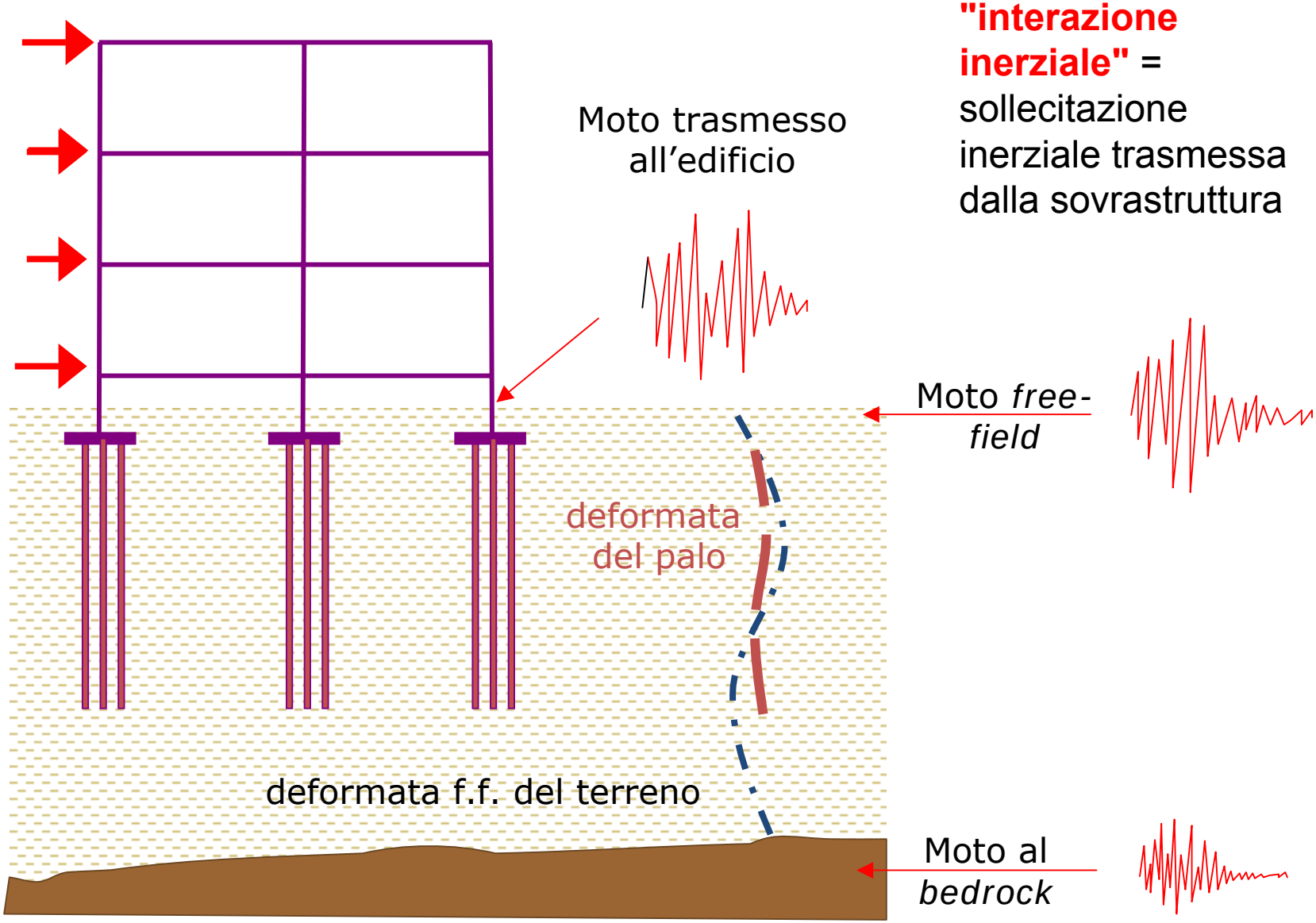
"interazione cinematica" = interazione tra palo e terreno

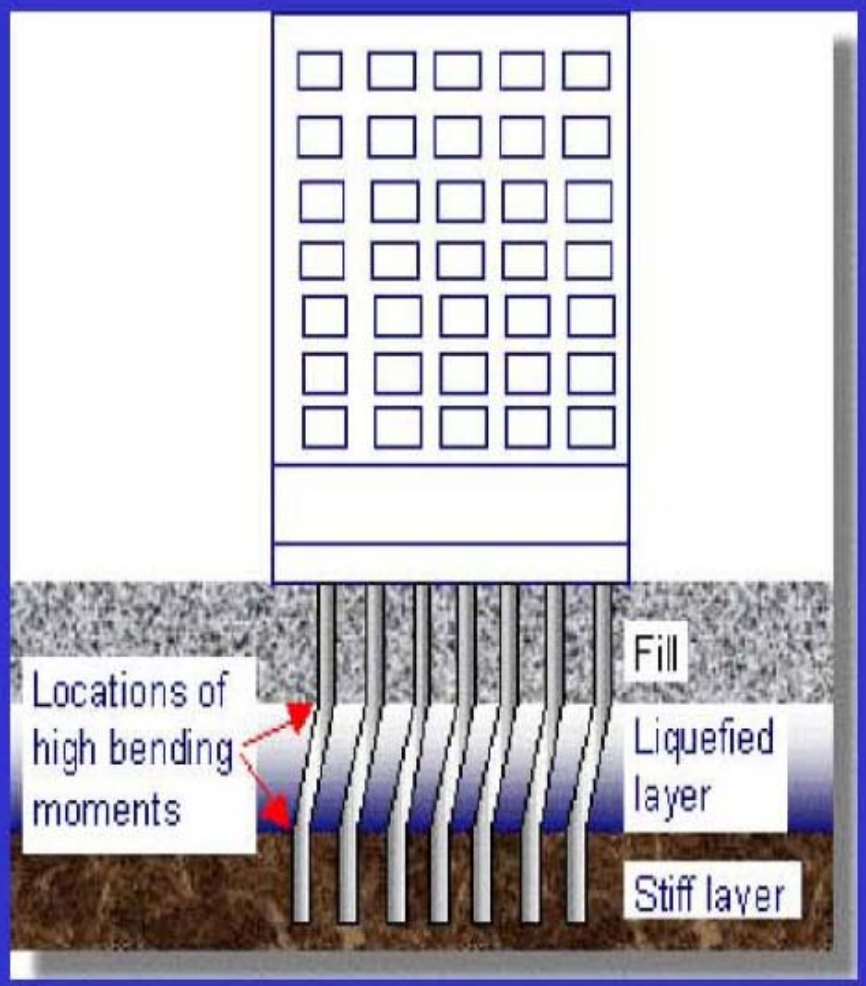


Interazione inerziale terreno-fondazione-struttura

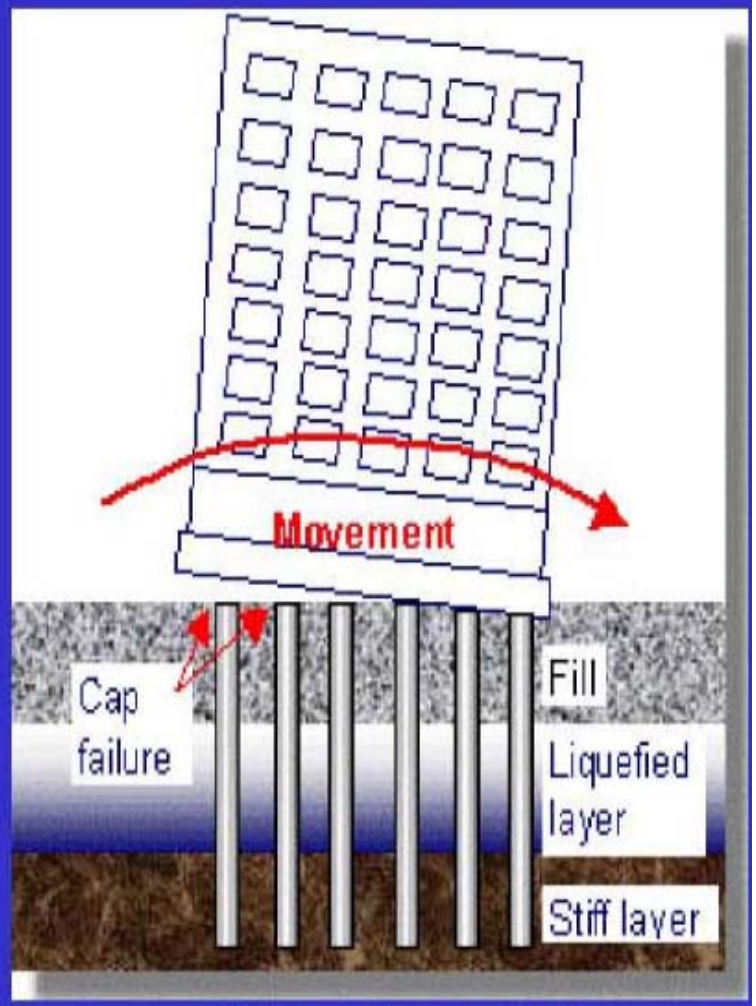
Nella struttura si generano azioni inerziali che sollecitano le fondazioni

"interazione inerziale" = sollecitazione inerziale trasmessa dalla sovrastruttura



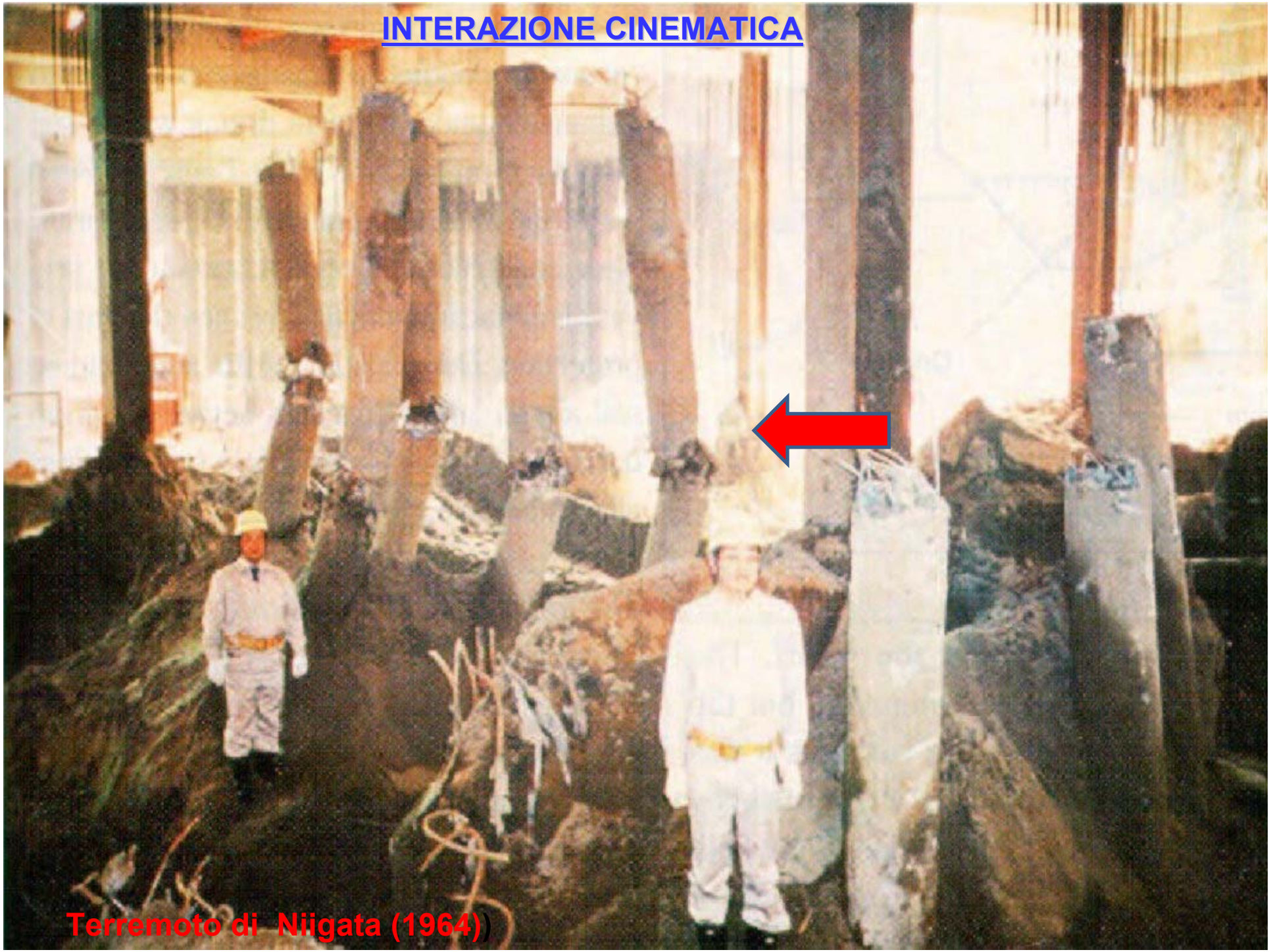


Azioni cinematiche



Azioni inerziali

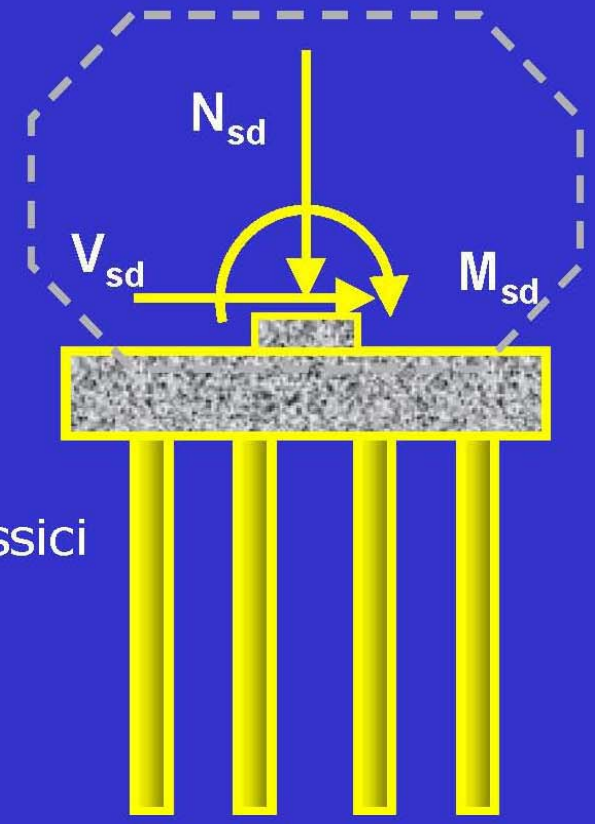
INTERAZIONE CINEMATICA



Terremoto di Niigata (1964)

AZIONI INERZIALI

Sono queste, le azioni trasmesse dalla sovrastruttura alla palificata



Il calcolo della palificata per l'insieme delle azioni verticali e orizzontali va fatto con i classici metodi ingegneristici (ormai diffusi)

Effetto inerziale

Effetto inerziale

Esempio di calcolo di un palo

ESEMPIO DI CALCOLO DI UN PALO:
dati di progetto

Carico assiale: Carico permanente sfavorevole G = 300 kN
Carico accidentale sfavorevole Q = 150 kN

Palo trivellato diametro D = 0,50 m
lunghezza L = 16,0 m
peso immerso W' = 44 kN

Stratigrafia del terreno (n. 1 sondaggio): *Falda a p.c*

0,0m – 10,0m limo sabbioso sciolto
- Peso di volume saturo γ_s = 18 kN/mc
- Coesione c' = 0
- Angolo d'attrito ϕ_k'= 26°

10,0m – 30,0m sabbia mediamente addensata
- Peso di volume saturo γ_s = 20 kN/mc
- Coesione c' = 0
- Angolo d'attrito ϕ_k'= 35°

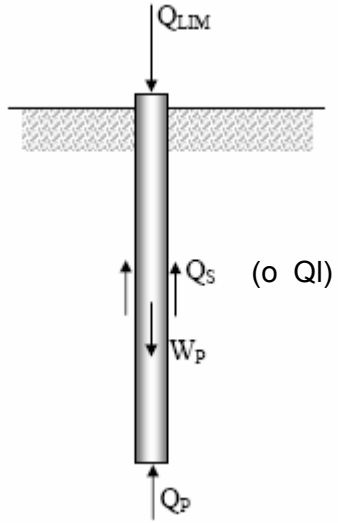
W' = 3.14 x 0.25²m x 16m x (24 -10)kN/mc
W' = 43.96 kN

24 kN/mc = peso di volume calcestruzzo
10 kN/mc= peso di volume acqua

Rivisto e modificato da R.Meriggi, (2008)

METODO TRADIZIONALE (D.M. 11/3/88)

Portata limite del palo → $Q_{lim} = Q_p + \sum Q_{li}$



Portata limite di punta

↓

$$Q_p = A_p \cdot N_q \cdot \sigma'_v = 1372 kN$$

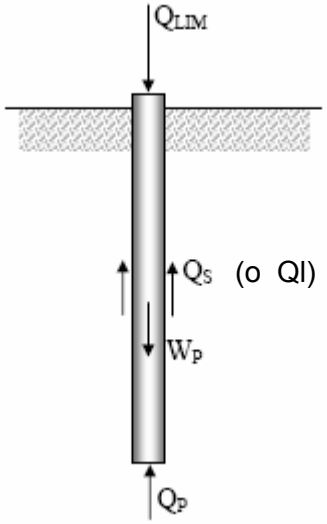
Ap = 0,196 mq	area di punta del palo
Nq = 50	coeff. di capacità portante per $\phi = 35°$
σ'_v = 140 kPa	pressione verticale ***efficace*** alla punta del palo

σ'v = (18 -10) kPa x 10m + (20-10) kPa x 6 m = 140 kPa

Portata limite laterale

$$Q_l = A_l \times \sum L_i' \times q_{li} \qquad q_{li} = k_i \times \tan\delta_i \times \sigma'_{v_i}$$

Al = 1,57 ml — circonferenza del palo
L'i= — Lunghezza del palo nello strato considerato
σ'_v = — pressione verticale ***efficace*** nella mezzeria di L'i



Strato	Al m	Li m	K	tan δ	σ'_v kPa	Q_l kN
1	1,57	9,0	0,56	0,30	44	104
2	1,57	6,0	0,42	0,43	105	149
					ΣQ_l =	253

K = 1- sin ϕ (coeff. di spinta a riposo)
δ = 2/3 ϕ

Portata limite $$Q_{\lim} = Q_p + \sum Q_{l\,i} = (1372 + 253)kN = 1625kN$$

Portata ammissibile $$\boxed{Q_{amm} = \frac{Q_{\lim}}{FS} - W' = \frac{1625kN}{2,5} - 44kN = 606kN}$$

Massimo carico di esercizio

$$N_{max} = G + Q = (300 + 150)kN = 450kN$$

$$\boxed{N_{max} < Q_{amm}}$$

Verifica soddisfatta !!!

NTC 2008 - Approccio 1 Combinazione 1 (STR) DA1.1

(A1+M1+R1)

Per il calcolo sono necessari 4 steps:

1-calcolo resistenza nominale → Formule classiche sempre usate, senza coefficienti di sicurezza

2- calcolo della Resistenza caratteristica → Resistenza nominale/ ξ= **Resistenza caratteristica**

3- calcolo della Resistenza di progetto→Resistenza caratteristica /R = Resistenza di progetto

4- Azione di progetto

1° step : Calcolo resistenza nominale R (= Portata limite) , come con Tens.Amm., ma senza Fs.

Resistenza Nominale R_{calc} = (1372+ 253) kN = 1625 kN

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con γm =1,0)

NTC 2008 - Approccio 1 Combinazione 1 (STR) DA1.1 (A1+M1+R1)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica Rc,k

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

n = numero delle verticali indagate	1	2	3	4	5	7	10
ζ_3	1,7	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ζ_4	1,7	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,\text{punta}} = \frac{Q_p}{1,7} = \frac{1372kN}{1,7} = 807kN$$

$$R_{c,k,\text{laterale}} = \frac{Q_l}{1,7} = \frac{253kN}{1,7} = 149kN$$

Approccio 1 Combinazione 1 (STR) DA1.1 (A1+M1+R1)

3° step : calcolo della resistenza di progetto (Rc,k /R1)

Rd = (807/1) +(149/1) = 956 kN

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_r} = 956kN$$

Resistenza	VALORE kN	Simbolo γ_r	Pali trivellati	Rd kN
Punta	807	γb	1,0	807
Laterale in compressione)	149	γs	1,0	149
PORTATA TOTALE DI PROGETTO				956

Approccio 1 Combinazione 1 (STR) DA1.1 (A1+M1+R1)

4° step : Azione di progetto Ed = Carichi x coefficienti (A1)

CARICHI	EFFETTO	Coeff. parziale γ_F o γ_E	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

$$E_d = \left(W' \cdot \gamma_g + G \cdot \gamma_g + Q \cdot \gamma_q\right) = \left(44 \cdot 1{,}3 + 300 \cdot 1{,}3 + 150 \cdot 1{,}5\right) kN = 672 kN$$

Ed = 672 kN < Rd = 956 kN

Ed $\leq$ Rd

Verifica soddisfatta

Approccio 1 combinazione 2 (GEO) DA1.2 (A2+M1+R2)

1° step Calcolo resistenza nominale $R_{c\ punta} = 1372kN$ $R_{c\ laterale} = 253\ kN$

2° step Portata caratteristica del palo

$$R_{c,k,punta} = \frac{Q_p}{1,7} = \frac{1372kN}{1,7} = 807kN \qquad R_{c,k,laterale} = \frac{Q_l}{1,7} = \frac{253kN}{1,7} = 149kN$$

3° step Portata di progetto del palo: $R_d = \frac{R_k}{\gamma_r} = 578kN$

Resistenza	VALORE kN	Simbolo γ_r	Pali trivellati	Rd
Punta	807	γb	**1,7**	475
Laterale (in compressione)	149	γs	**1,45**	103
PORTATA DI PROGETTO DEL PALO				578

Approccio 1 combinazione 2 (GEO) DA1.2 (A2+M1+R2)

4° step Azione di Progetto Ed

CARICHI	EFFETTO	Coeff. parziale γ_F o γ_E	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

$$E_d = \left(W' \cdot \gamma_g + G \cdot \gamma_g + Q \cdot \gamma_q\right) = \left(44 \cdot 1{,}0 + 300 \cdot 1{,}0 + 150 \cdot 1{,}3\right) kN = 539 kN$$

Ed = 539 kN < Rd = 578 kN

Ed ≤ Rd

Verifica soddisfatta

Approccio 2 combinazione 1 (GEO) DA2.1 (A1+M1+R3)

2° step Portata caratteristica del palo

$$R_{c,k,\text{punta}} = \frac{Q_p}{1,7} = \frac{1372kN}{1,7} = 807kN \qquad R_{c,k,\text{laterale}} = \frac{Q_l}{1,7} = \frac{253kN}{1,7} = 149kN$$

3° step Portata di progetto del palo

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_r} = 728kN$$

Resistenza	VALORE kN	Simbolo γ_r	Pali trivellati	Rd
Punta	807	γb	1,35	598
Laterale in compressione)	149	γs	1,15	130
				728

4° step L'azione di progetto Ed = carichi x coefficienti (A1)

$$E_d = \left(W' \cdot \gamma_g + G \cdot \gamma_g + Q \cdot \gamma_q\right) = \left(44 \cdot 1,3 + 300 \cdot 1,3 + 150 \cdot 1,5\right)kN = 672kN$$

Ed = 672kN Rd =728kN

Ed ≤ Rd

Verifica soddisfatta