

Progetto Triennale

Dipartimento Protezione Civile – Consorzio RELUIS



Linea di ricerca 6

Metodi innovativi per
la progettazione di opere di sostegno
e la valutazione della stabilità dei pendii

Linea di ricerca 6.1 - Attività I anno

**Scavi profondi a cielo aperto in ambiente urbano
e gallerie metropolitane**

Coordinatore: Stefano Aversa

Udine – 23 novembre 2006

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Unità operative

- Università della Calabria *Conte, Silvestri*
- Università del Molise (+ Federico II) *Santucci, Russo, Bilotta*
- Università di Napoli Parthenope *Aversa, Maiorano*
- Università di Padova *Carrubba*
- Università di Perugia *Tamagnini*
- Università di Roma "La Sapienza" *Callisto, Soccodato*
- Università di Roma Tor Vergata *Giulia Viggiani*

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Obiettivo principale

Definizione (e calibrazione) di metodologie di diversa complessità:

- metodi empirici o pseudostatici;
- metodi dinamici semplificati;
- metodi dinamici completi;

per l'analisi di strutture interrato:

- paratie (libere, ancorate, puntonate, ecc.)
- gallerie (sezione circolare segmentate, accoppiate, ecc.)

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Programma

- Ricerca bibliografica

- Modellazione fisica in centrifuga

- Modellazione numerica di riferimento

**Target di
riferimento**

- Modellazione dinamica completa e semplificata

- Metodi pseudostatici

Calibrazione

Cronoprogramma iniziale

Trimestri												
Modellazione fisica												
Sperimentazione in laboratorio												
Modellazione numerica avanzata												
Metodi dinamici												
Metodi pseudostatici												
Redazione rapporto conclusivo												

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Attività previste nel I anno di attività

- Ricerca bibliografica
- Modellazione fisica in centrifuga
- Caratterizzazione del terreno utilizzato in centrifuga
- Modellazione numerica avanzata

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Attività svolte nel I anno di attività

- ✓ Ricerca bibliografica
- Organizzazione della sperimentazione in centrifuga
- Messa a punto degli strumenti per la modellazione numerica avanzata

- Analisi pseudostatiche e dinamiche su:
 - Gallerie
 - Paratie

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Modellazione numerica avanzata (Unità operativa di Perugia)

- 1) Formulazione agli Elementi Finiti del flusso dinamico accoppiato e delle condizioni di equilibrio per un mezzo bi-fase
- 2) Modellazione costitutiva del comportamento di terreni soggetti ad azioni sismiche

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Formulazione agli Elementi Finiti del flusso dinamico accoppiato e delle condizioni di equilibrio per un mezzo bi-fase

- Valutazione delle differenti strategie computazionali (interazione dinamica tra la fase solida e quella liquida)
- **Analisi critica delle potenzialità dei codici di calcolo esistenti**
- Valutazione delle modifiche da apportare a tali codici di calcolo al fine di soddisfare le specifiche esigenze del progetto di ricerca

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Modellazione costitutiva

Peculiarità del comportamento dei terreni da considerare:

- non linearità;
- irreversibilità e la non linearità incrementale;
- comportamento isteretico;
- memoria della precedente storia tensionale

Modelli scelti

modello BSRM di Tamagnini & D'Elia (1999) – Bounding surface plasticity;

modello BSKH di Rouainia & Wood (2000) – plastico con incrudimento cinematico

modello HP di Masin (2005) con concetto di deformazione intergranulare (Niemunis & Herle 1997) - ipoplastico

condividono principi CSSM

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Attività del primo anno

Implementati in Abaqus i tre modelli costitutivi considerati

Test delle implementazioni con simulazioni numeriche, che includono:

- **Prove su elementi con spostamenti imposti al contorno**
- **Elementi con condizioni miste al contorno**
- **Simulazione preliminare di problemi al contorno**

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Gallerie

(Unità operative Calabria e Molise con Federico II)

- **Messa a punto di metodi di analisi pseudo-statica e dinamica semplificata (sezione trasversale e longitudinale)**
- **Metodi di analisi dinamica completa, per lo studio dell'interazione cinematica tra sezione trasversale della galleria e terreno circostante**

Premessa

Modellazione
 numerica
 avanzata

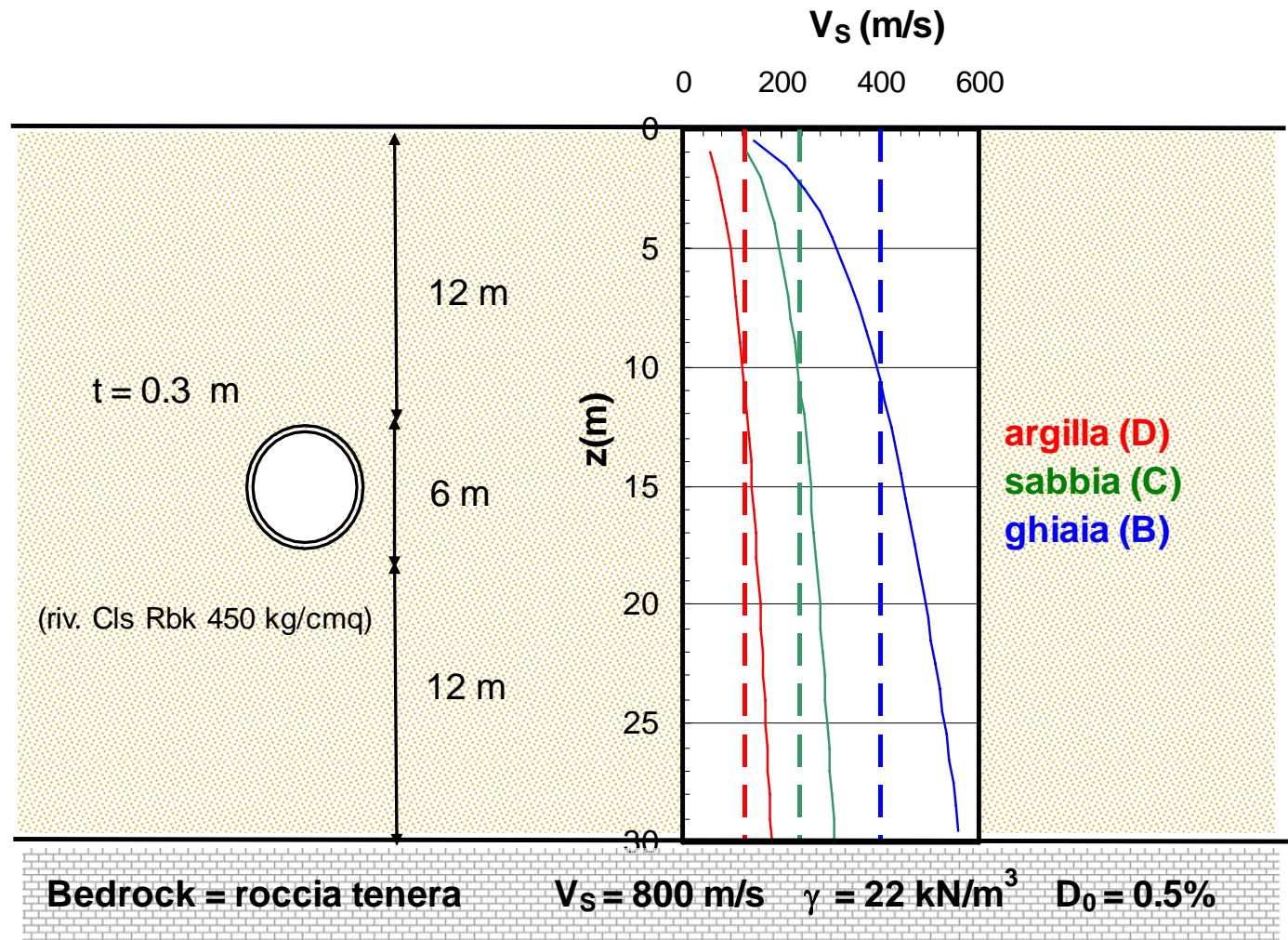
Gallerie

Paratie

Modellazione
 fisica

Conclusioni

Caso di studio



Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

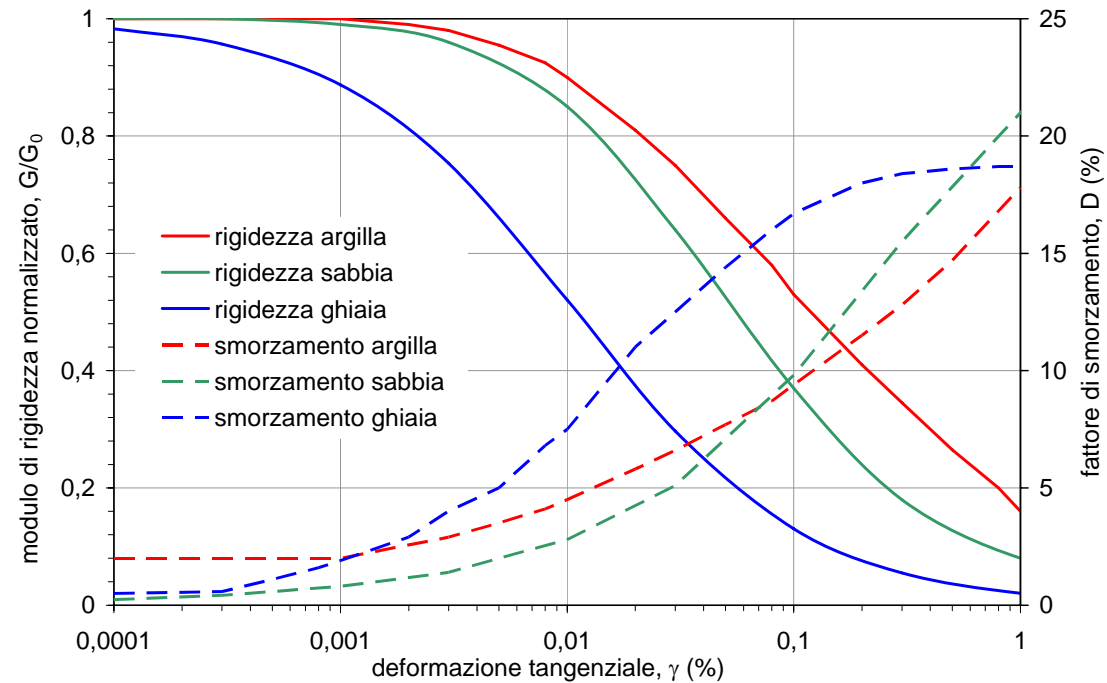
Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Caso di studio

Terreno	ϕ' (°)	I_p (%)	γ_s (kN/m ³)	D_0 (%)	$V_{s,30}$	Classe (OPCM 3274)	S
Argilla	25	30	18	2.5	124	D	1.35
Sabbia	35	-	20	1	239	C	1.25
Ghiaia	44	-	21	1	401	B	1.25



Input sismici da banca dati di terremoti italiani

Analisi della sezione trasversale

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

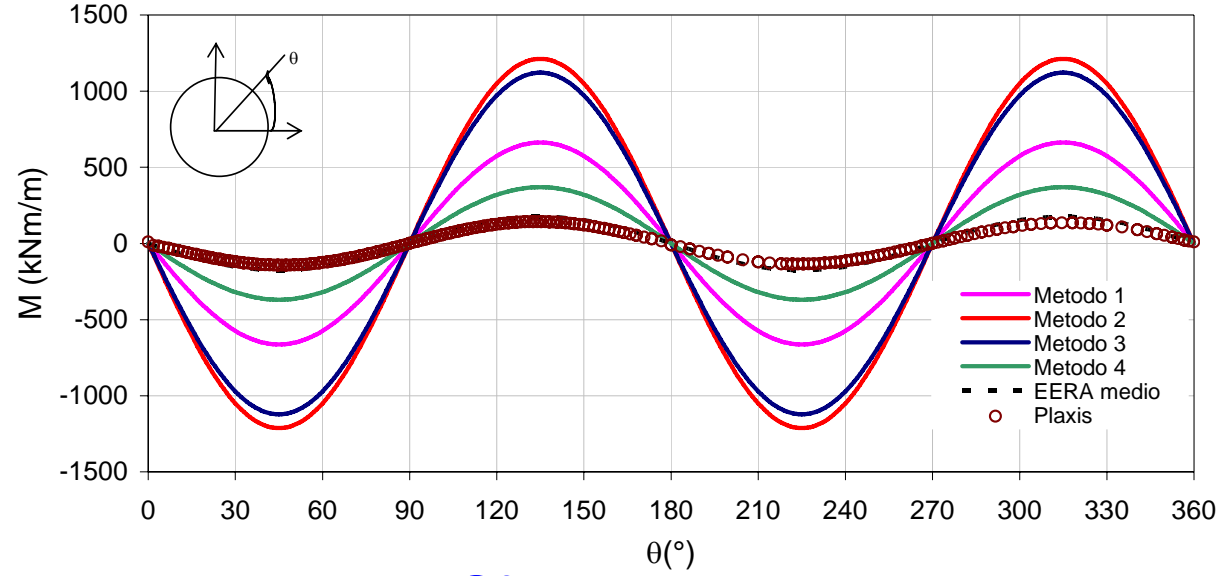
Paratie

Modellazione
fisica

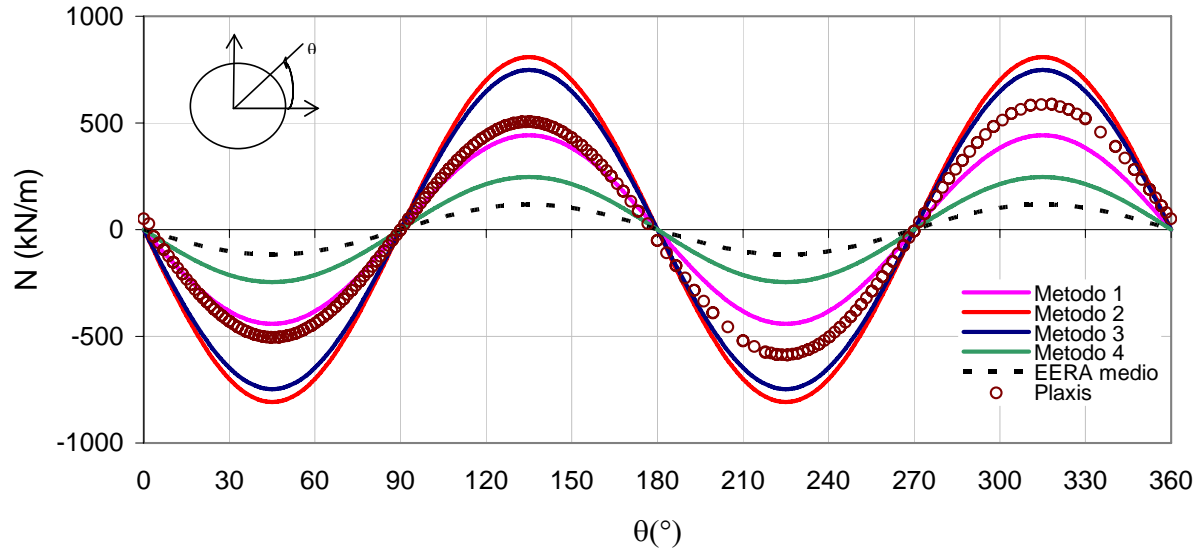
Conclusioni

					γ_{\max}	
					Analisi lineari	Analisi non lineari
Analisi	Metodo	$a_{\max,r}$	$a_{\max,s}$	τ_{\max}		
Pseudo-statica	metodo 1	(-)	$S \cdot a_g$	Eq. (6), (5)	τ_{\max}/G_0	Eq. (4)
	metodo 2	a_g		Eq. (9)		
	metodo 3	a_g				
	metodo 4	(-)		Eq. (6), (10)		
Dinamica semplificata	EERA	a_g	da analisi RSL <i>free-field</i>			
Dinamica completa	Plaxis	a_g	da analisi RSL + interazione s.s.			

Momento flettente



Sforzo normale



Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Paratie

(Unità operative Parthenope, Roma I e II, Padova e Perugia)

- **Applicazione di “metodi dinamici semplificati” per ricavare coefficienti sismici (Uniroma1 e 2)**
- **Metodi di analisi dinamica completa, con diversa modellazione costitutiva e diversi programmi numerici, di paratie libere e vincolate**

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

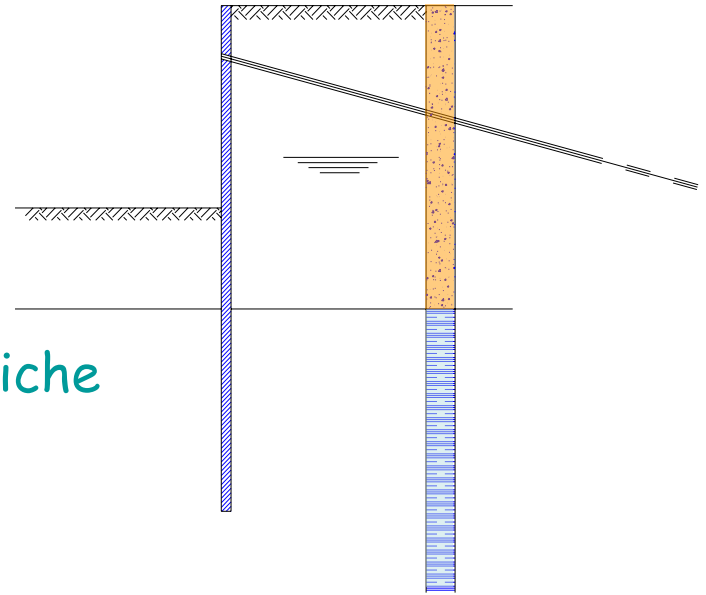
Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Difficoltà nell'applicazione della teoria M-O

- spinta passiva in condizioni sismiche
- terreno stratificato
- effetto delle pressioni neutre
- condizioni non drenate
- ❖ deformabilità
- ❖ ammissibilità di spostamenti



Definizione di coefficiente sismico $k_h = \alpha \beta k_{hmax}$

Applicazione di “metodi dinamici semplificati” per ricavare coefficienti sismici (Uniroma1)

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

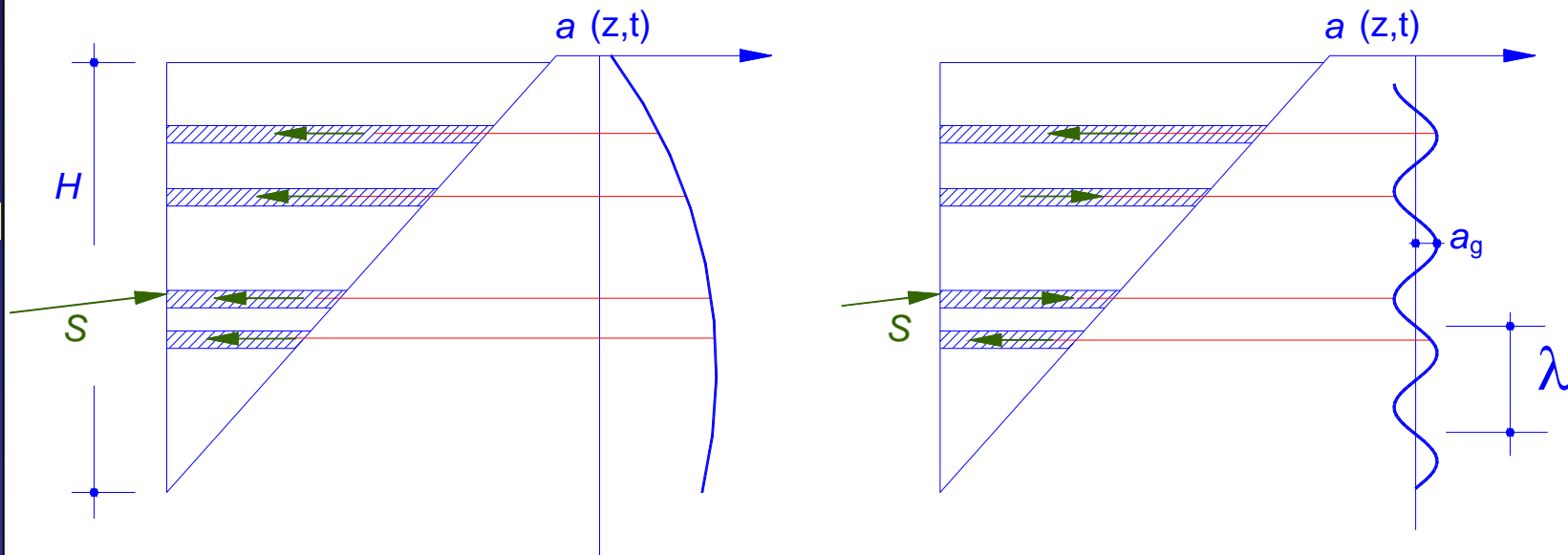
Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Invarianza spaziale di a_g



all'aumentare della deformabilità → aumenta la differenza di fase fra gli strati → il coefficiente di spinta K_{ae} diminuisce

Applicazione di “metodi dinamici semplificati” per ricavare coefficienti sismici (Uniroma1)

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

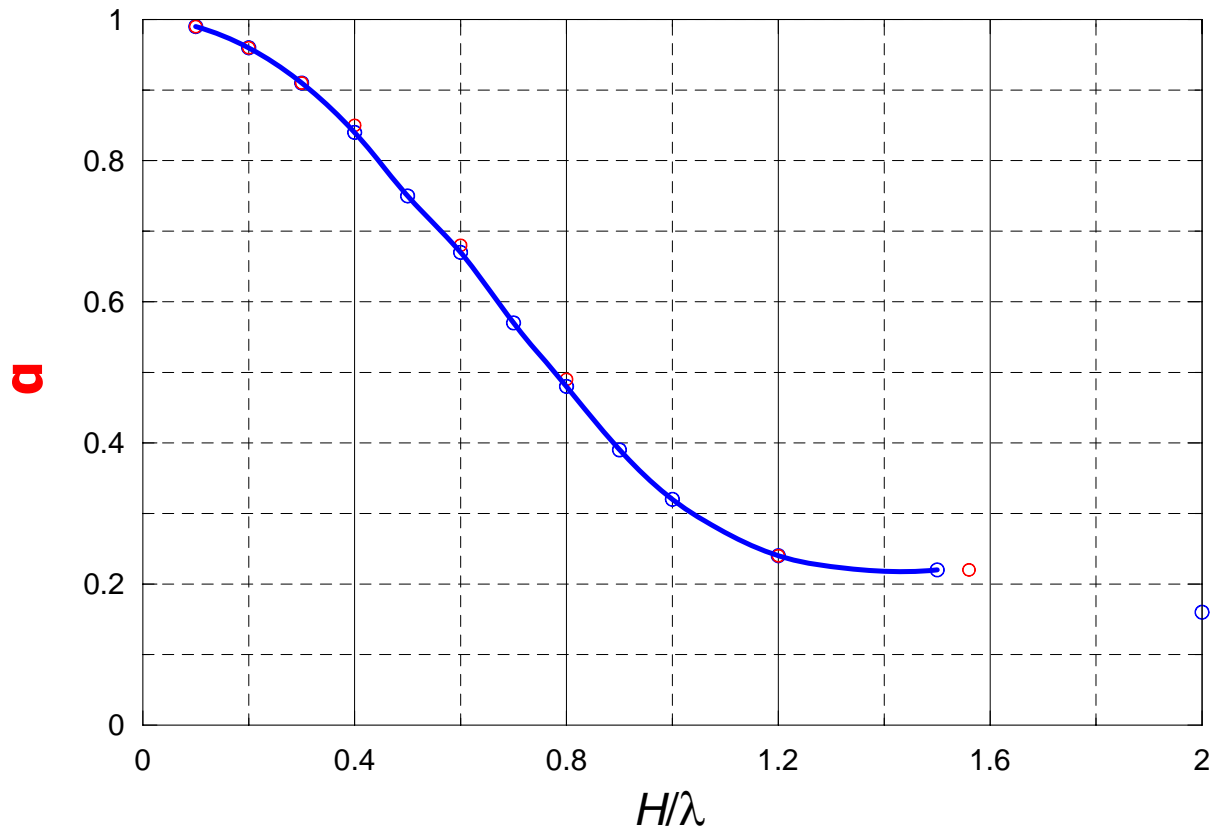
Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Variazione di α con rapporto H/λ



Applicazione di “metodi dinamici semplificati” per ricavare coefficienti sismici (Uniroma1 e 2)

Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

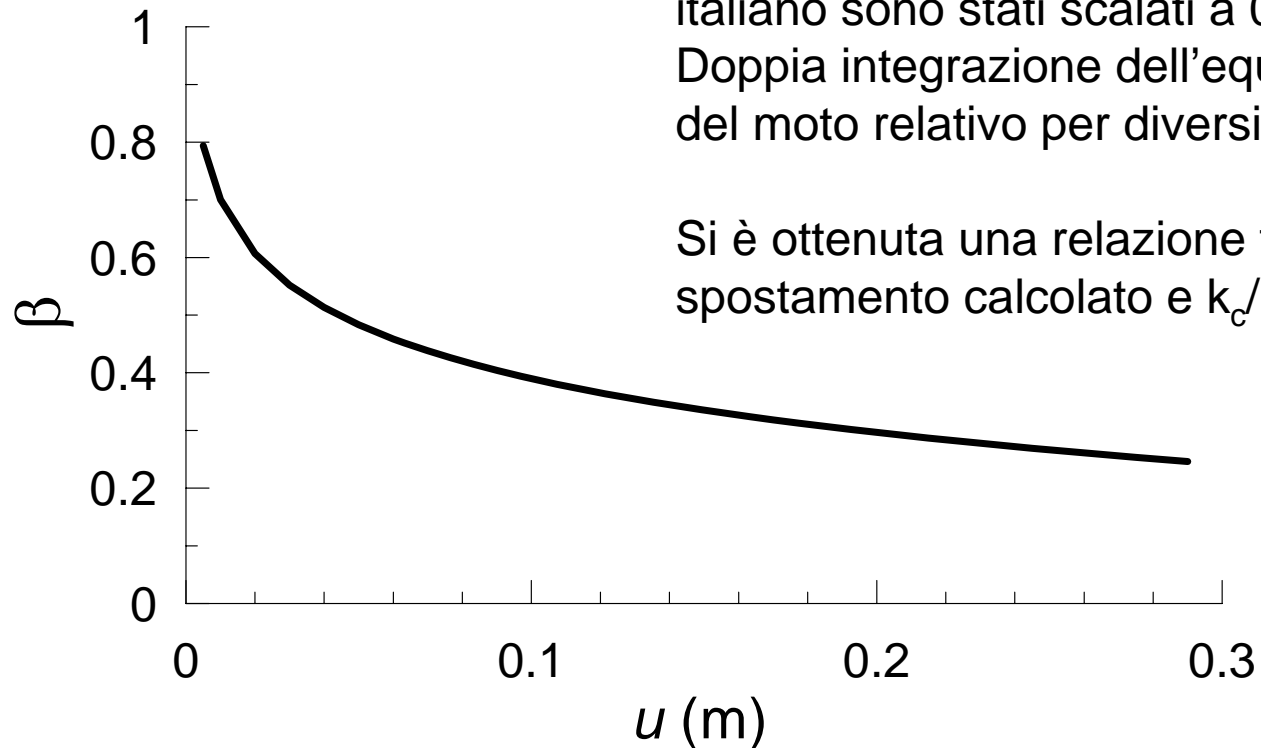
Modellazione
fisica

Conclusioni

Ammissibilità degli spostamenti

Tutti gli accelerogrammi del database italiano sono stati scalati a 0.35g
Doppia integrazione dell'equazione del moto relativo per diversi (k_c/k_{max})

Si è ottenuta una relazione fra lo spostamento calcolato e k_c/k_{max}



Applicazione di “metodi dinamici completi”

Unità operative di Parthenope, Padova, Perugia, Roma I e II

Premessa

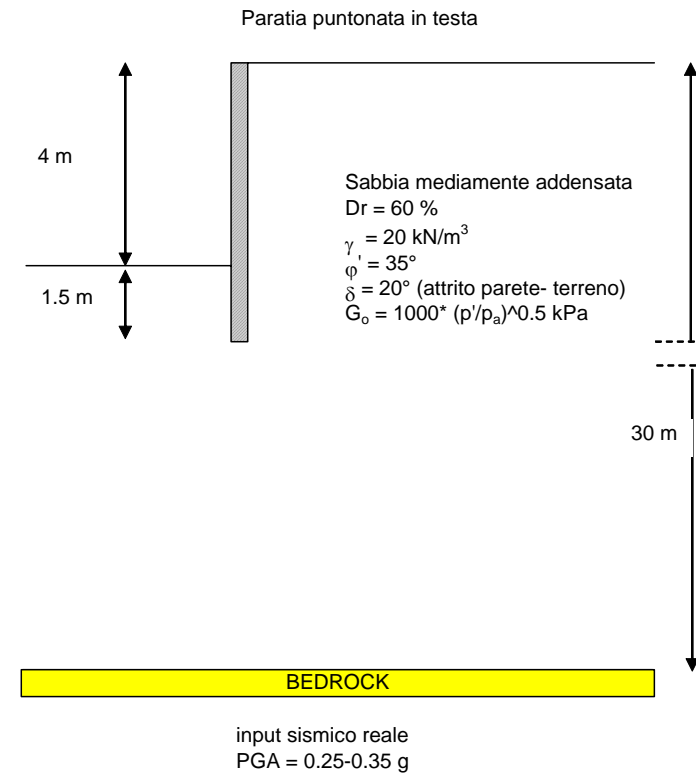
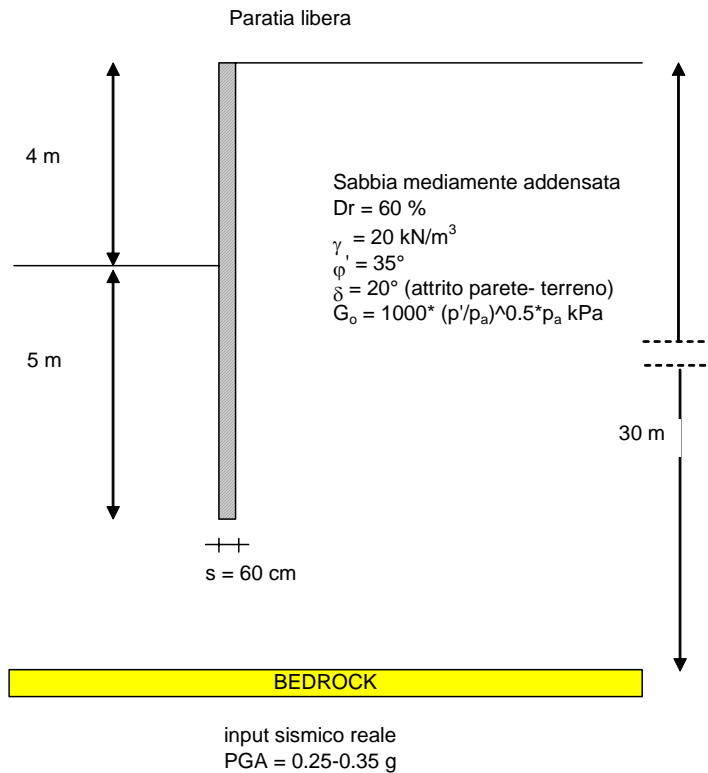
Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

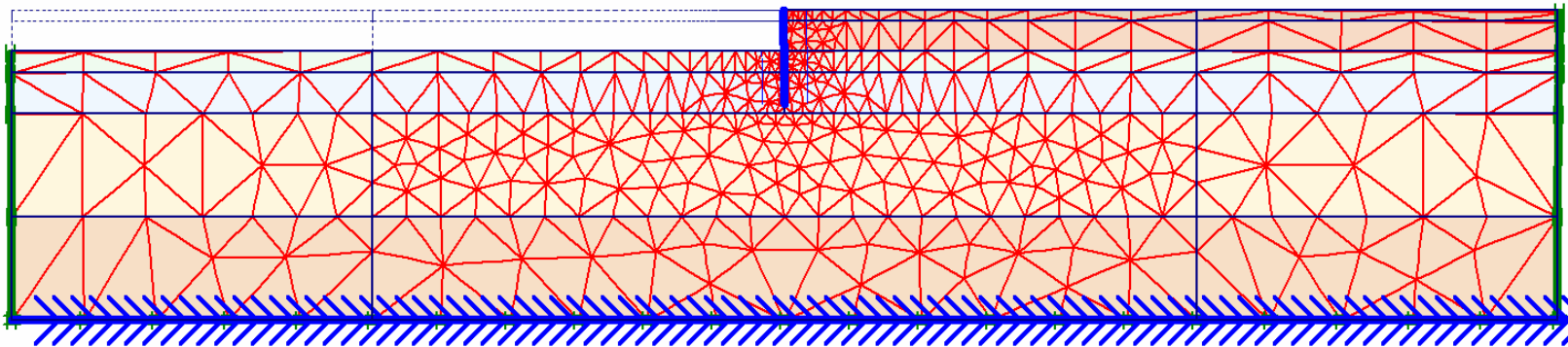
Modellazione
fisica

Conclusioni



Applicazione di “metodi dinamici completi” Unità operativa Parthenope

- Mesh adottata
- Legge elastoplastica non incrudente (Mohr-Coulomb)
- Contorni assorbenti
- accelerogrammi di Tolmezzo e Sturno (1 zona)



Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Applicazione di “metodi dinamici completi” Unità operativa Parthenope

Smorzamento introdotto tramite Rayleigh $[C] = \alpha[M] + \beta[K]$

Tre ipotesi differenti:

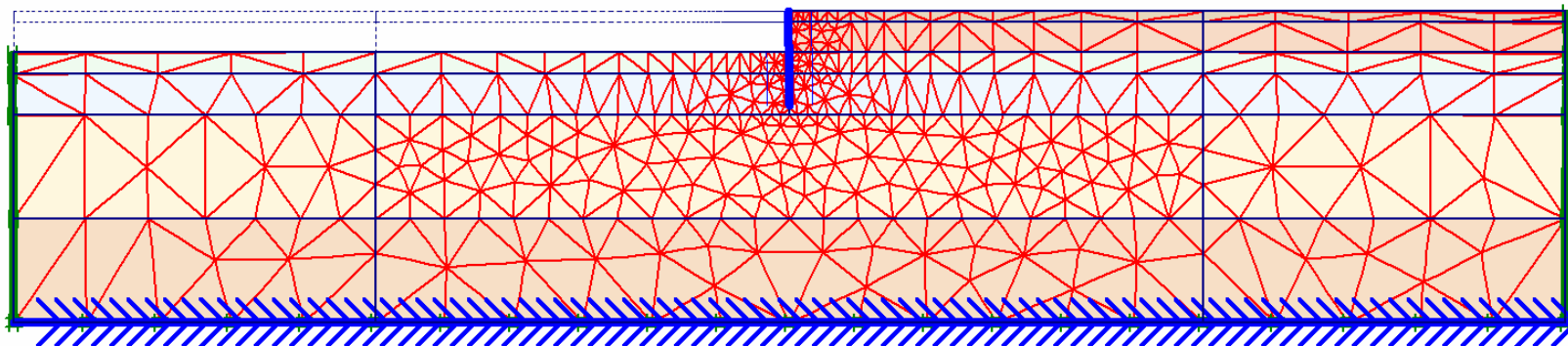
- $\alpha = \beta = 0$

- fattore di smorzamento pari a 1%

- Preanalisi free-field con EERA

$$G = G_0$$

G e ξ determinati da
EERA non lineare



Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Applicazione di “metodi dinamici completi” Confronto tra momenti con $\xi=0$ e $\xi=1\%$

Premessa

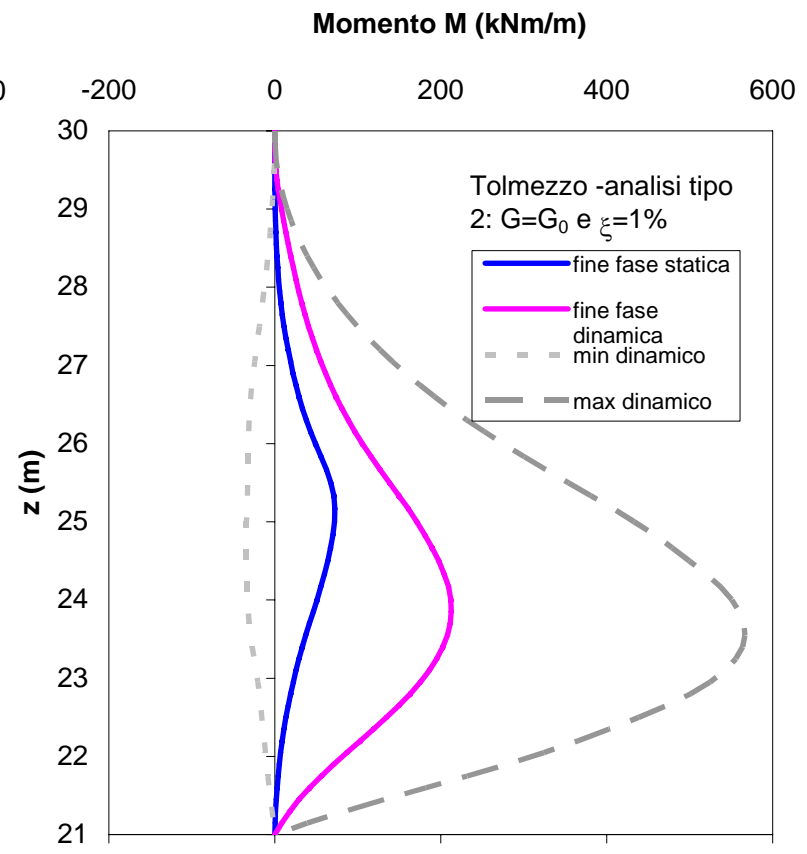
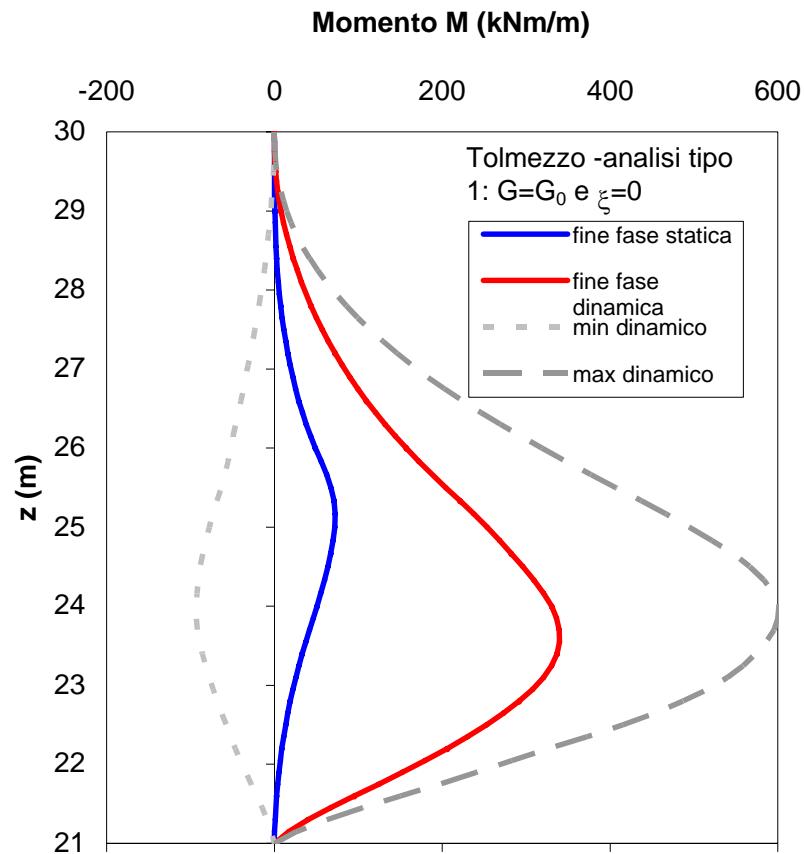
Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni



Applicazione di “metodi dinamici completi”

Confronto tra momenti con $\xi=1\%$ e preanalisi con EERA

Premessa

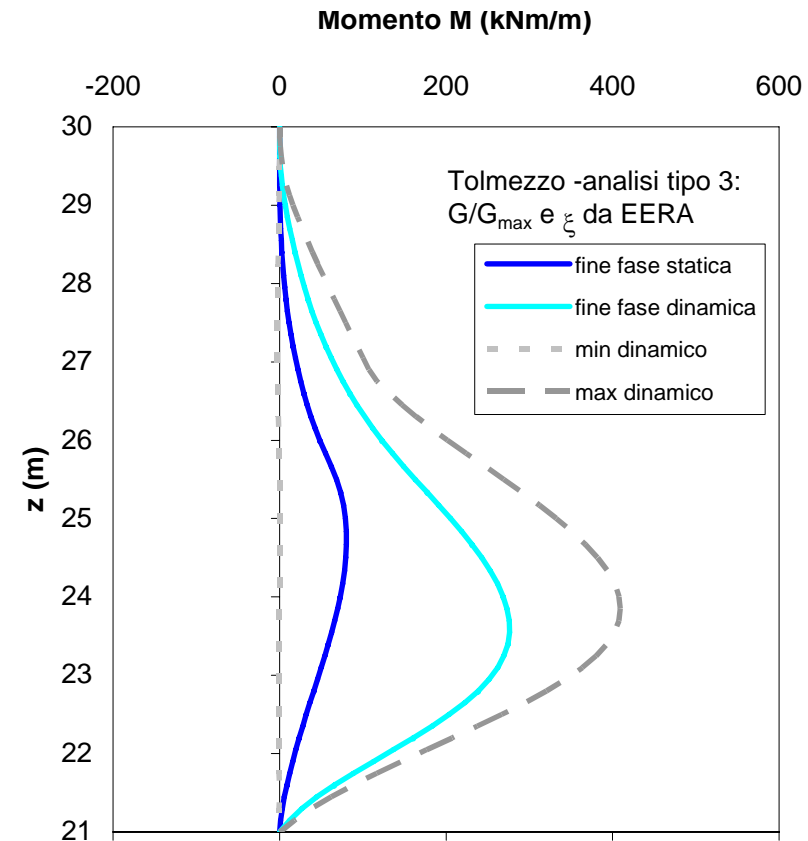
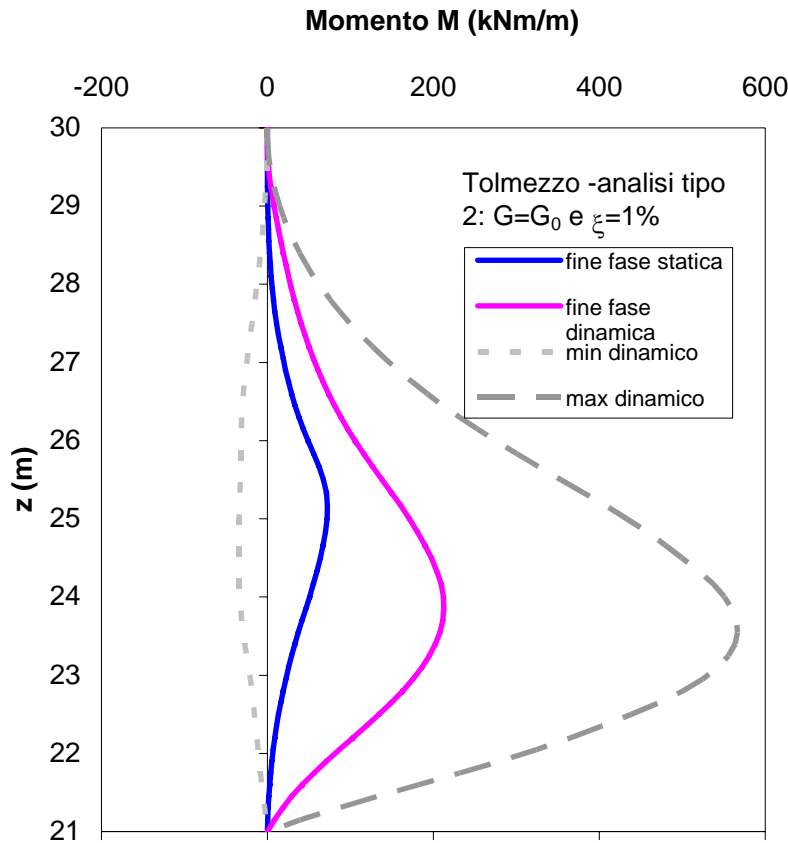
Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni



Premessa

Modellazione
numerica
avanzata

Gallerie

Paratie

Modellazione
fisica

Conclusioni

Programma sperimentazione centrifuga

- **Centrifuga dell'Università di Cambridge**
- **Accelerazione 80 g**
- **terreno: sabbia (non satura o satura)**
- **Armoniche**
- **Sperimentazione multipla**
- **Numero modelli sottoposti a prova = 12-13**
- **Inizio attività dicembre 2006**