



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale

Convegno ReLUIS



Kick off del Progetto DPC_ReLUIS 2024-2026

Napoli, 17-18 ottobre 2024

WP 16 – Geotecnica: contributi normativi e prodotti per gestione del rischio sismico

Stefano Aversa

Brevissima sintesi dei risultati ottenuti nel progetto 2022-24

WP 16 – Contributi normativi – Geotecnica

Stefano Aversa

ORGANIZZAZIONE DEL WP 16 (2022-24)

- **Task 16.1 – Risposta Sismica Locale e Liquefazione**
coordinato da Sebastiano FOTI del Politecnico di Torino
- **Task 16.2 – Stabilità dei pendii**
coordinato da Sebastiano RAMPELLO di «Sapienza» Università di Roma
- **Task 16.3 - Interazione terreno-fondazione-struttura**
coordinato da Francesco SILVESTRI dell'Università di Napoli Federico II

Referente DPC: Giuseppe NASO

- **Partecipazione geotecnica al WP 3 – Affidabilità sismica delle strutture**
coordinato da Iunio Iervolino dell'Università di Napoli Federico II

Risultati ottenuti dal TASK 16.1

- **Ridefinizione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica (in particolare, per effetti di non linearità di risposta dei terreni - sismi medio-elevati)**
- **Formulazione di procedure per valutazione dell'aggravio atteso per effetti di bordo valle e per la combinazione di amplificazione stratigrafica e topografica**
- **Costruzione di un database integrato di prove cicliche di laboratorio, integrando e omogeneizzando i dati raccolti nelle precedenti annualità**
- **Miglioramento dei modelli empirici per la previsione della resistenza ciclica dei terreni per le verifiche di innesco della liquefazione**

Risultati ottenuti dal TASK 16.2

- **Relazioni semi-empiriche per valutazione spostamenti attesi in funzione di parametri sintetici del moto sismico (per eventi sismici italiani e caratteristiche di resistenza dei pendii/versanti)**
- Ridefinizione dei coefficienti sismici da utilizzare con metodi pseudostatici: per meccanismi di scorrimento, in funzione di valori limite di spostamento; per meccanismi di ribaltamento
- **Valutazione della prestazione sismica dei pendii mediante approcci probabilistici**
- Definizione, in relazione alla fase di propagazione, di strategie facilmente implementabili per stimare evoluzione della velocità del fronte e della massima distanza percorsa dalla massa in frana

Risultati ottenuti dal TASK 16.3

Definizione in maniera più stringente indicazioni pre-normative per:

- **Fondazioni dirette di edifici in muratura: ruolo di profondità di interramento e di rigidità (a volte confrontabile con quella del terreno circostante)**
- **Pozzi di fondazione dei viadotti stradali e ferroviari, classificabili come fondazioni intermedie, soggette a meccanismi di interazione sia cinematica sia inerziale**
- **Comportamento d'insieme di sistemi di fondazioni distribuite lungo edifici e viadotti:**
 - **effetti di mutua interazione e di azione di collegamento sviluppata dalla struttura in elevazione;**
 - **effetto combinato delle variazioni morfologico-stratigrafiche e del non-sincronismo dell'azione sismica**

Obiettivi per il progetto 2024-26

WP 16 – Geotecnica: contributi normativi e prodotti per gestione del rischio sismico

Stefano Aversa

ORGANIZZAZIONE DEL WP 16 (2024-26)

- **Task 16.1 – Stabilità del sito**
coordinato da Sebastiano RAMPELLO di «Sapienza» Università di Roma
- **Task 16.2 - Interazione terreno-fondazione-struttura**
coordinato da Francesco SILVESTRI dell'Università di Napoli Federico II

Referente DPC: Giuseppe NASO

Partecipazione geotecnica a:

- **WP 3 – Modelli di vulnerabilità strutturale per pericoli naturali ed effetti industriali a cascata**, coordinato da I. Iervolino (C. di Prisco, Polimi e L. Callisto, Uniroma1)
- **WP 4 - Mappe di Rischio e Scenari di danno sismico (MARS-CARTIS)**, coordinato da S. Lagomarsino, A. Masi e G. Zuccaro (A. d'Onofrio, Unina)
- **WP 15 - Dispositivi e Sistemi di Isolamento e Dissipazione**, coordinato da G. Serino e F.C. Ponso (M.R. Massimino, UniCt)
- **WP 18 - Input sismico, normativa e microzonazione**, coordinato da R. Paolucci e S. Foti (S. Foti, Polito; A. Pagliaroli, UniCh; C. Lai, UniPv; g. Lanzo, Uniroma1)

Obiettivi per il progetto 2024-26

WP 16 – Geotecnica: contributi normativi e prodotti per gestione del rischio sismico

Task 16.1 – Stabilità del sito

Sebastiano Rampello

Articolazione generale del Task 16.1 2024-26 - contributi delle UR

SubTask	Tema	UR Coordinatore (referente)
16.1.1 <u>Liquefazione</u>	<i>1a. Innesco del fenomeno della liquefazione. Analisi comparativa di diverse metodologie. Metodi semplificati basati su risultati di DMT</i>	UniMol Santucci de Magistris UnivAQ Monaco
	<i>1b. Mitigazione del Rischio liquefazione. Uso di trattamenti con silice colloidale. Uso di trattamento con parziale desaturazione del terreno</i>	UniFi Facciorusso UniNa Silvestri (Flora)
16.1.2 <u>Stabilità dei pendii</u>	<i>2a. Pendii in roccia. Sposamenti sismo-indotti per meccanismi tipo scorrimento. Ribaltamento di blocchi sotto azioni sismiche. Analisi di frane da crollo (innesco e propagazione) con riferimento a siti campione.</i>	UniCa Tropeano UniParthenope Maiorano UniNa (2) Santo
	<i>2b. Pendii in terreni. Modelli multiblocco per valutazione degli spostamenti permanenti sismo-indotti. Aggiornamento dei coefficienti di riduzione accelerazione massima al sito secondo le NTC2018. Analisi multi-hazard dei pendii : pioggia e sisma</i>	UniMe Cascone e Biondi UniRoma1 Rampello

Liquefazione

INNESCO DEL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE A LIVELLI DIVERSI DI ANALISI

- Analisi di modelli di verticali free-field di sabbia satura ben caratterizzata con diversi livelli di input

Analisi semplificata

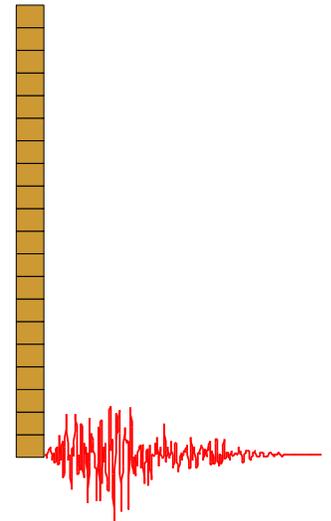
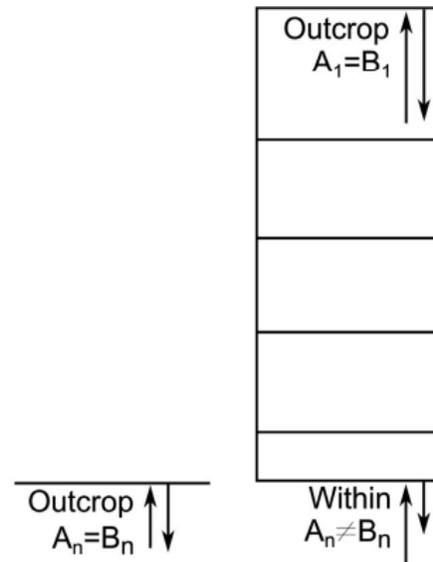
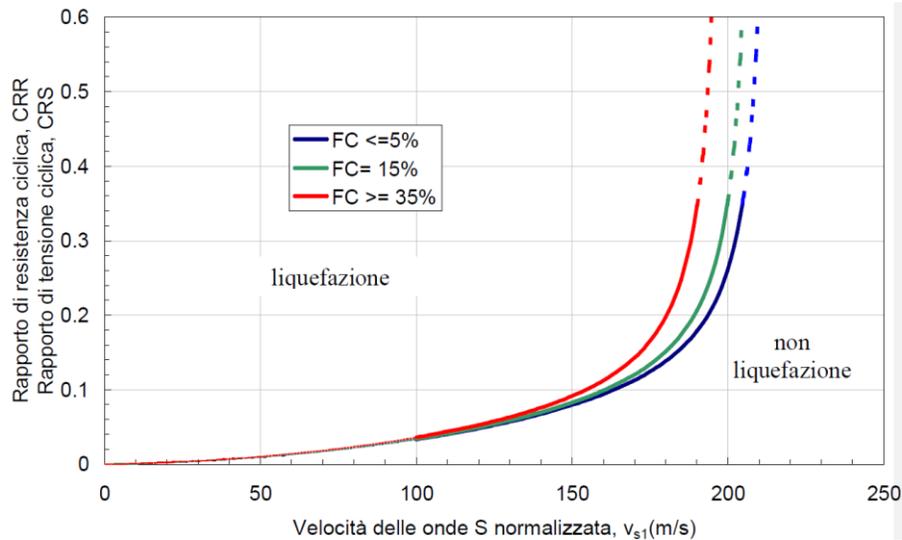
- Metodi semi-empirici:
 - Andrus e Stokoe (2000)
 - Kayen et al. (2013)

Analisi dinamica semplificata

- Analisi con metodo lineare equivalente
- Utilizzo del codice Strata (Kottke et al., 2013)
- Utilizzo di curve MRD da letteratura

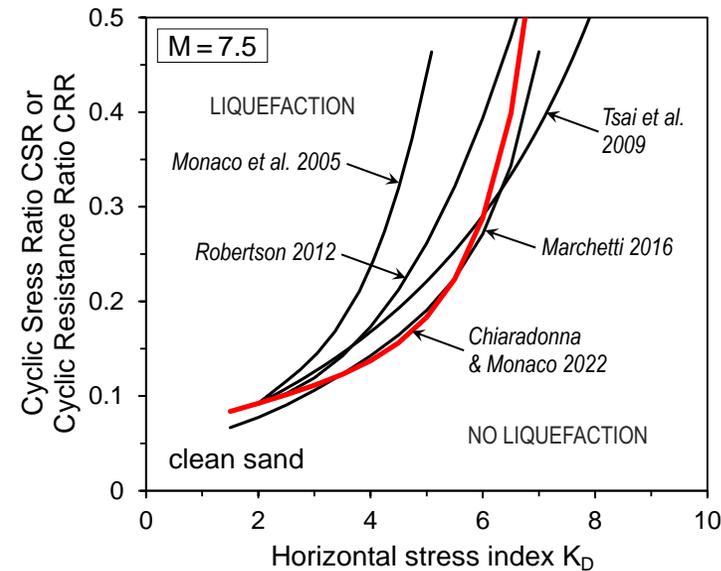
Analisi dinamica avanzata

- Analisi non-lineari con OpenSees (McKenna et al., 2010)
- Utilizzo di modelli costitutivi avanzati:
 - PM4SAND (Boulanger e Ziotopoulou, 2017)
 - SANISAND (Dafalias e Manzari, 2004)
 - NTUASand02 (Papadimitriou e Bouckovalas, 2002)
- Utilizzo di risorse HPC



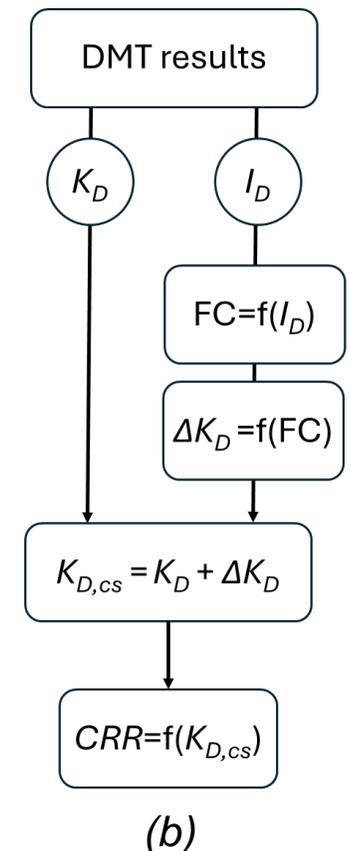
METODI SEMPLIFICATI PER VERIFICHE DI INNESCO DELLA LIQUEFAZIONE BASATI SUI RISULTATI DI PROVE DILATOMETRICHE (DMT)

- OBIETTIVI:** Sviluppo/validazione di metodi semplificati per valutare il rapporto di resistenza ciclica CRR dall'indice di spinta orizzontale K_D della prova DMT sulla base di un robusto *dataset* sperimentale per siti / eventi sismici ben documentati
- METODOLOGIA E ATTIVITÀ:** (1) Implementazione di un *database* aggiornato con catalogazione sistematica / rivalutazione critica di *case histories* di liquefazione con dati DMT disponibili impostato negli anni precedenti. (2) Calibrazione di un nuovo approccio metodologico per l'implementazione di un fattore correttivo per il contenuto di fine (FC) nelle curve CRR- K_D in base a casi di studio documentati.
- PRODOTTI PREVISTI:** Contributo al miglioramento dei modelli empirici per la previsione della resistenza ciclica dei terreni per le verifiche di innesco della liquefazione mediante formulazione di una correlazione CRR- K_D basata su prove DMT di applicabilità generale



(a)

(a) Correlazioni CRR- K_D per sabbie pulite.
 (b) Approccio proposto per l'implementazione di un fattore correttivo per FC nelle curve CRR- K_D .



(b)

MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE: TECNICHE DI TRATTAMENTO CON SILICE COLLOIDALE (CS)

OBIETTIVO: verifica di efficienza e applicabilità delle tecniche di mitigazione del rischio di liquefazione basate sull'impiego di iniezioni con silice colloidale (CS)

METODOLOGIA:

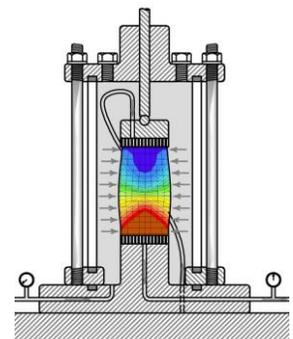
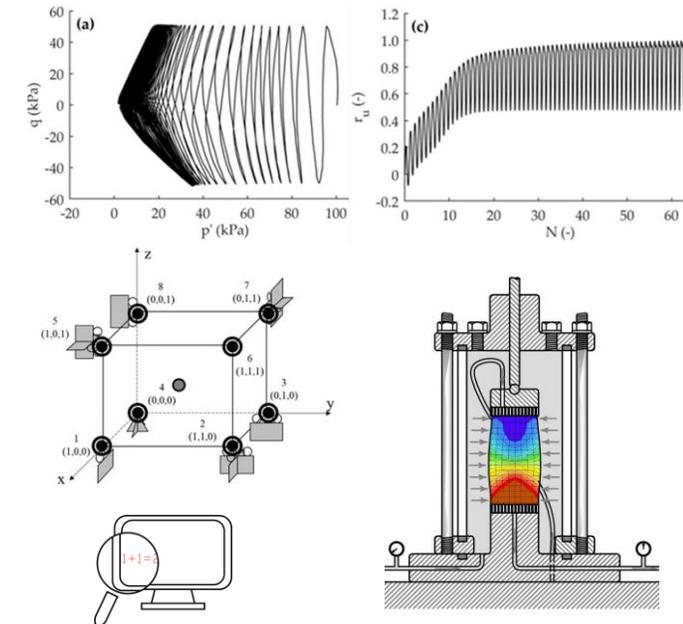
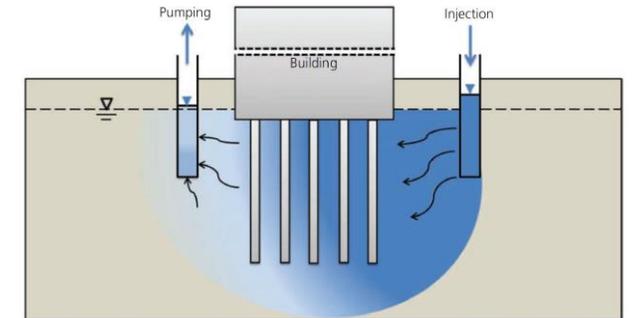
1. *Sperimentazione in laboratorio*

esecuzione di prove triassiali cicliche per:

- analizzare e confrontare il comportamento a liquefazione di sabbie pulite e con differente contenuto di fine
- valutare gli effetti del trattamento con CS in funzione dello stato di addensamento della sabbia e della concentrazione di CS

2. *Modellazione numerica*

esecuzione di analisi numeriche per la calibrazione di modelli di comportamento di sabbia naturale e sabbia trattata con CS

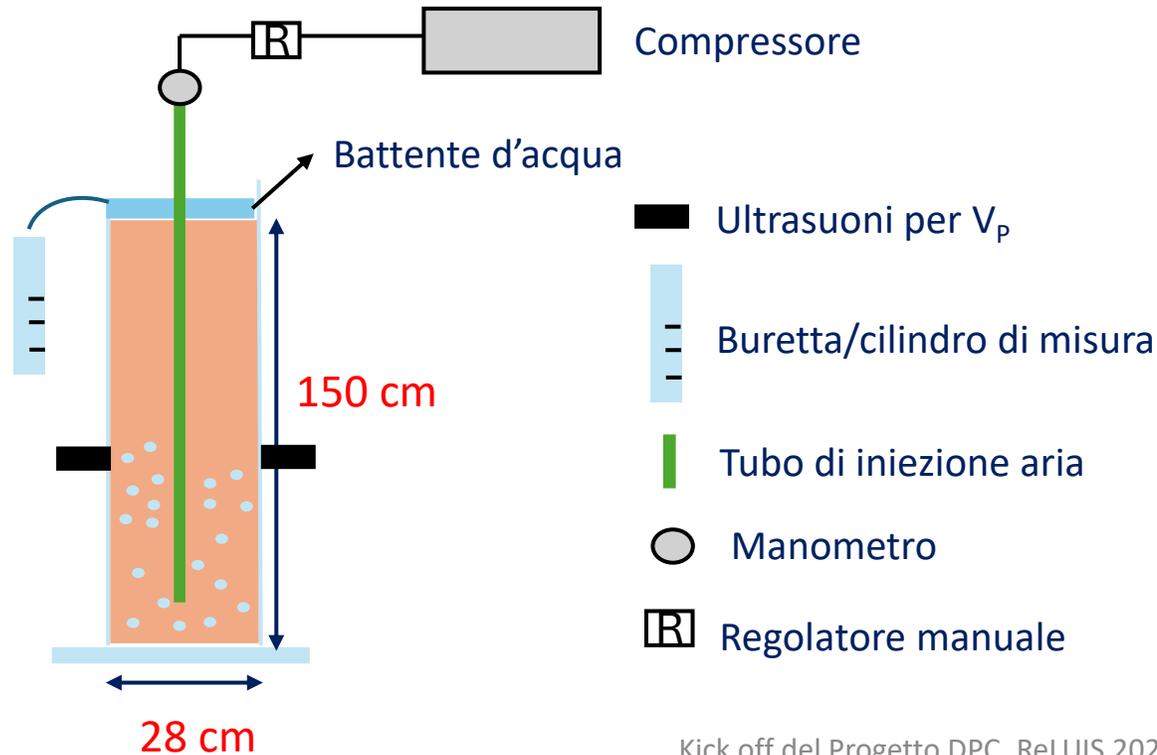


MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE: EFFICIENZA DI PARZIALE SATURAZIONE INDOTTA

- **effetto della stratigrafia sull'insorgere delle sovrappressioni interstiziali:** verificare l'effetto dell'interazione tra strati adiacenti a permeabilità e suscettibilità alla liquefazione diversa sulla redistribuzione cosismica delle sovrappressioni interstiziali accumulate nel corso di prove cicliche non drenate (*"effetto sistema"*). Sperimentazione in laboratorio su provini multistrato utilizzando un'apparecchiatura triassiale di grandi dimensioni ($d = 20 \text{ cm}$, $h = 40 \text{ cm}$);
- **gli effetti indotti dalla liquefazione:** messa a punto di un metodo originale per la stima dei cedimenti indotti dalla liquefazione, anche parziale, dei terreni sottostanti. Il metodo sarà validato utilizzando i dati relativi a effetti misurabili a seguito di eventi sismici (es.: terremoto Turchia 6-2-2023).
- **parziale saturazione indotta (IPS) come tecnica per mitigare il rischio a liquefazione:** l'efficacia della tecnica sarà valutata attraverso prove di laboratorio (triassiali cicliche non drenate) su provini liquefacibili saturi e non saturi (sabbie e limi non plastici). L'approccio energetico per la previsione della resistenza a liquefazione dei terreni quasi-saturi, già validato su un numero elevato di dati di letteratura relativi a terreni sabbiosi, sarà verificato ed eventualmente modificato per i terreni limosi non plastici. La durabilità di questa tecnica in sito sarà approfondita attraverso un modello appositamente realizzato

MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE: EFFICIENZA DI PARZIALE SATURAZIONE INDOTTA

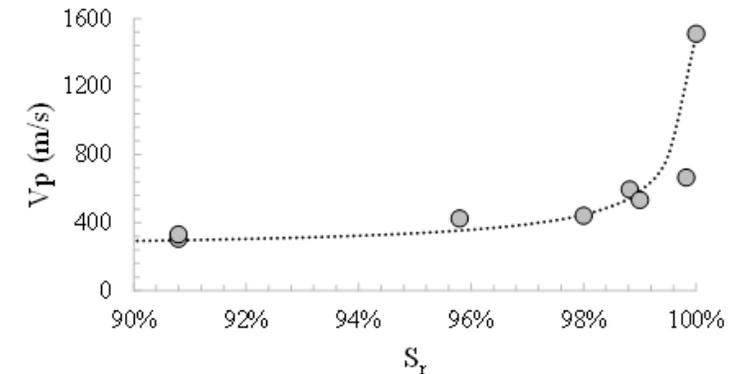
- La parziale saturazione indotta (IPS) consiste nell'iniettare all'interno del terreno aria in pressione sottoforma di bolle ($S_r > 90\%$)
- La maggiore compressibilità della fase fluida (acqua + bolle d'aria) riduce l'insorgere delle sovrappressioni interstiziali e quindi aumenta la resistenza a liquefazione
- **per quanto tempo le bolle restano intrappolate all'interno del terreno?**



Realizzazione di apparecchiatura di laboratorio per valutare la durabilità dell'IPS

L'aria sarà iniettata attraverso un tubo microforato nel terreno saturo per un periodo di tempo prestabilito

La permanenza delle bolle all'interno del terreno sarà valutata attraverso la misura di velocità delle onde P (tramite ultrasuoni), fortemente influenzata da S_r



Stabilità dei pendii

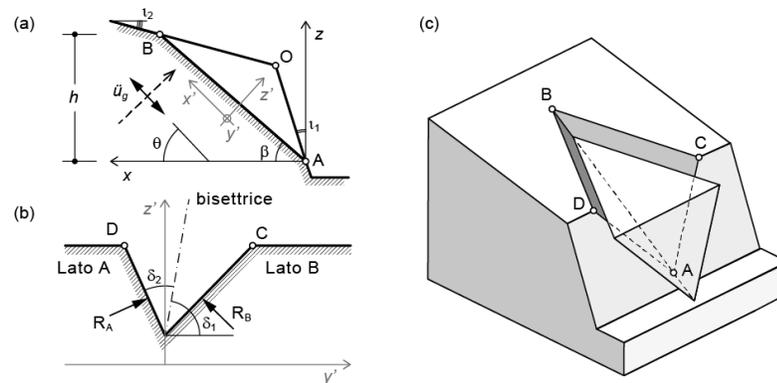
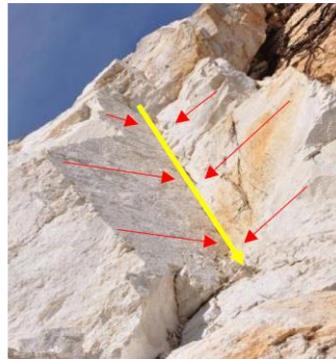
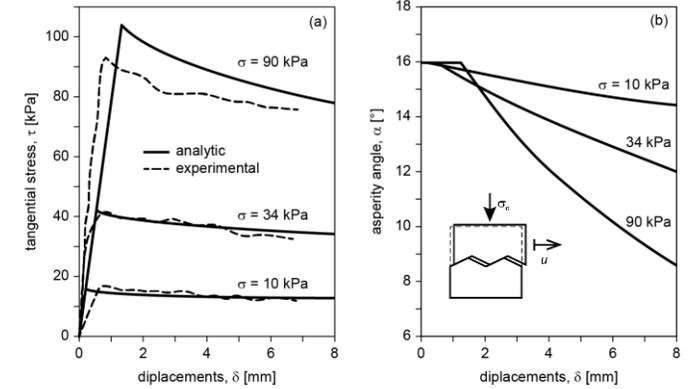
PENDII IN ROCCIA: SPOSTAMENTI SIMO-INDOTTI DI BLOCCHI DI ROCCIA

OBIETTIVO: sviluppo e aggiornamento del un modello numerico per la valutazione degli spostamenti permanenti indotti dal moto sismico di blocchi di roccia inclusivi di modelli costitutivi dell'interfaccia che tengano conto della dilatanza e della degradazione delle asperità delle superfici di scorrimento

METODO: aggiornamento del codice di calcolo Block-TRPX e messa a punto di analisi parametriche per differenti schemi di blocco e ampio dataset di accelerogrammi finalizzate all'individuazione dei parametri rilevanti ai fini previsionali

RISULTATI ATTESI: Definizione di coefficienti correttivi delle relazioni semi-empiriche per la previsione dell'entità degli spostamenti permanenti che tengano conto della degradazione della resistenza disponibile lungo le superfici di scorrimento.

esempio di legame $\tau - \delta$ e $\alpha - \delta$ dell'interfaccia



The screenshot shows the Block-TRPX software interface. The top part is a table of results for various analyses. The bottom part shows two plots: the top one is acceleration $a(t)$ [g] vs time t [s], and the bottom one is displacement $u(t)$ [cm] vs time t [s].

ID_acc	Accelerogramma	PGA [g]	PGA_S [g]	D_5-95 [s]	T_m [s]	I_A [m/s]	SI [cm]
A1	IT SRT_HINE D.19901213.002426 C.ACC.ASC	0.107	1.288	9.367	0.460	7.939	258.55
A2	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2	0.139	0.327	7.338	0.376	1.762	111.94
A2	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2	0.139	0.567	7.338	0.376	5.294	194.05
A2	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2	0.139	0.845	7.338	0.376	11.870	290.55
A3	IRCN1091_NORTHR_VAS090.AT2	0.139	1.201	7.338	0.376	13.761	411.05

PENDII IN ROCCIA: RIBALTAMENTO DI BLOCCHI DI ROCCIA SOTTO AZIONI SISMICHE

Obiettivo:

Valutare le condizioni di stabilità al ribaltamento di blocchi di roccia sotto azioni sismiche

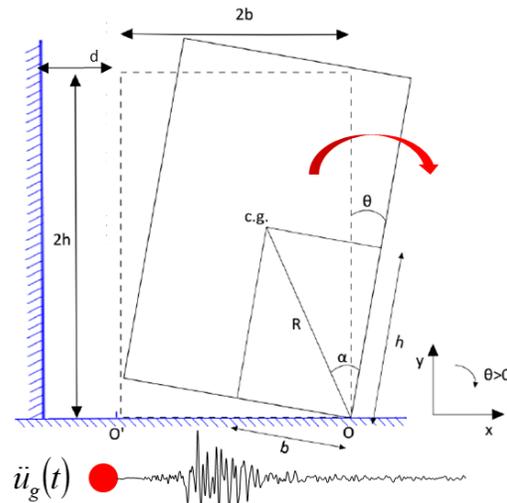
Metodo:

Analisi di ribaltamento di blocchi di roccia completamente isolati o adiacenti alla parete rocciosa al variare di:

- PGA, PGV
- snellezza e dimensione del blocco

Risultati attesi:

Definizione di abachi per la stima del coefficiente sismico per blocchi di roccia soggetti a ribaltamento in funzione di parametri sintetici del moto sismico e della geometria del blocco



Condizione di sollevamento:

$$\left| \frac{\ddot{u}_g}{g} \right| \geq a$$

Coefficiente di restituzione:

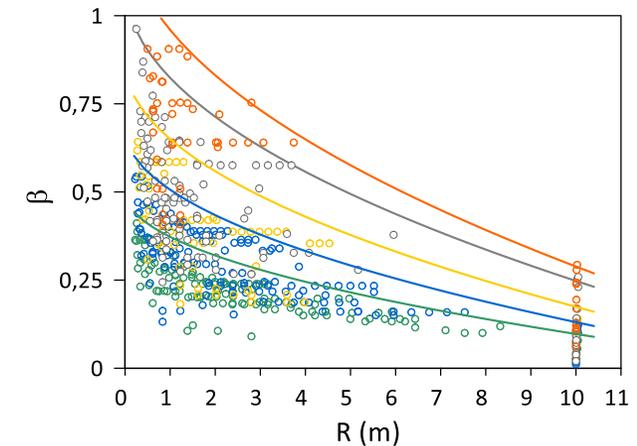
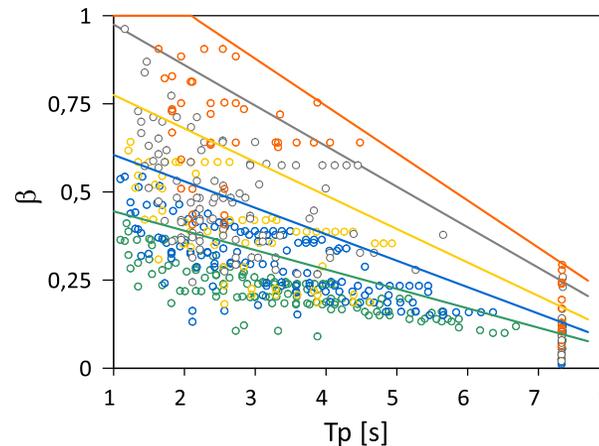
$$r = \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 \alpha \right)$$

Equazione del moto (forma compatta):

$$\ddot{\theta}(t) = -p^2 \left\{ \sin[\alpha \cdot \text{sgn}(\theta(t)) - \theta(t)] + \frac{\ddot{u}_g}{g} \cdot \cos[\alpha \cdot \text{sgn}(\theta(t)) - \theta(t)] \right\}$$

Abachi di ribaltamento:

$$\beta = \frac{b_{dyn}}{b_{ps}} \quad b_{ps} = \text{PGA} / g \cdot h \quad T_p = \frac{2\pi}{p} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{4R}{3g}}$$

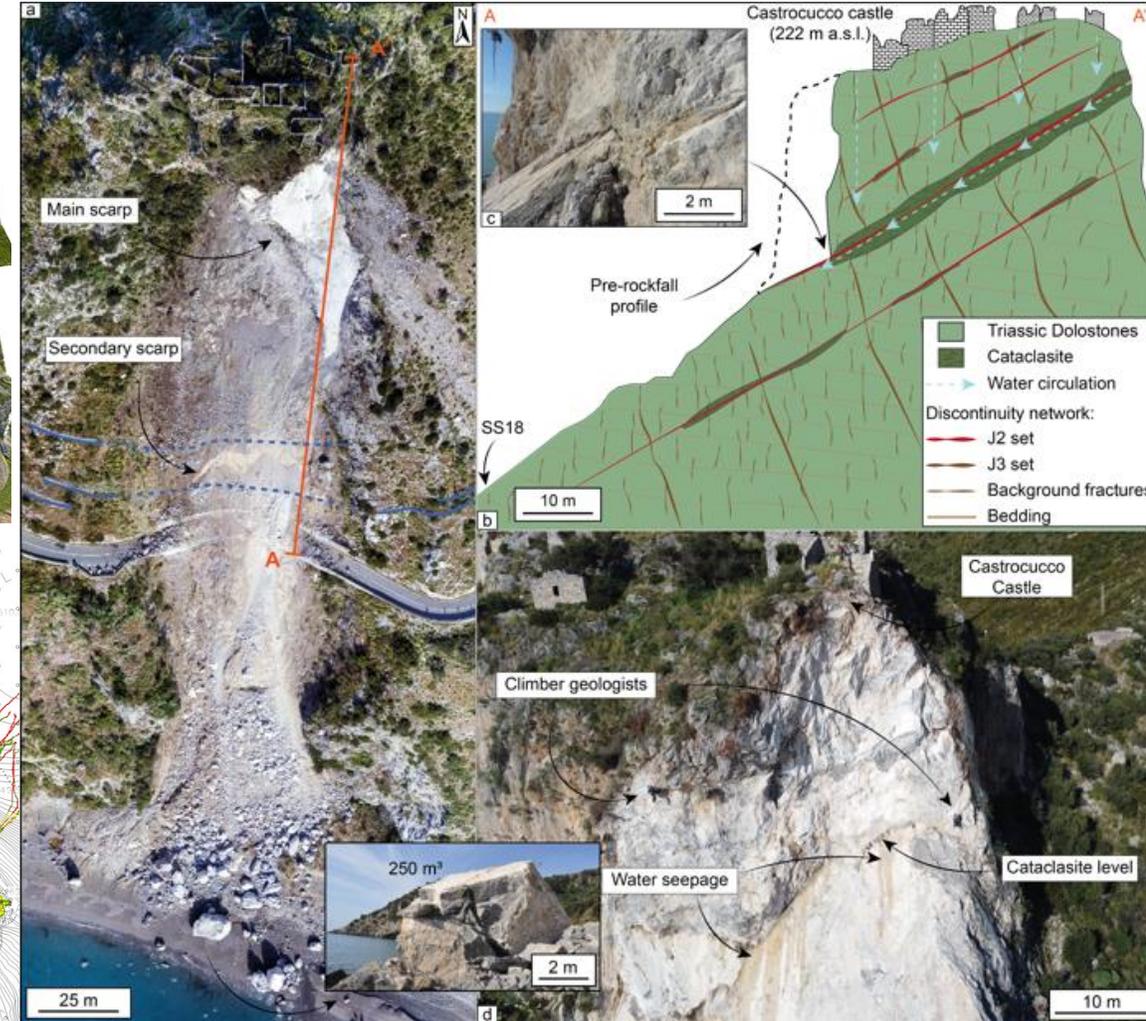
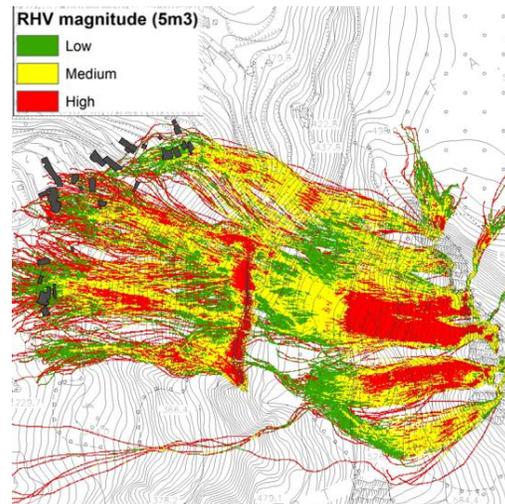


PENDII IN ROCCIA: ANALISI DELLE AREE DI DISTACCO E DELLA PROPAGAZIONE DEI BLOCCHI

OBIETTIVO: Proposta di un workflow metodologico per lo studio della suscettibilità a crollo in aree sismicamente attive (sia vulcaniche sia in contesti carbonatici), e modellazione numerica delle traiettorie per la definizione delle energie di impatto nelle aree di invasione.

METODO: Analisi geostrutturale dell'affioramento, raccolta dati multi scala con analisi fotogrammetrica mediante drone e LiDAR, definizione della risposta sismica e dell'accelerazione critica del blocco, modelli numerici della propagazione dei blocchi tramite l'applicazione e il confronto di diversi software specializzati.

RISULTATI ATTESI: Elaborazione di mappe di dettaglio della suscettibilità al crollo in aree urbanizzate e lungo le reti stradali finalizzate al dimensionamento delle opere di mitigazione e dei sistemi di early warning.

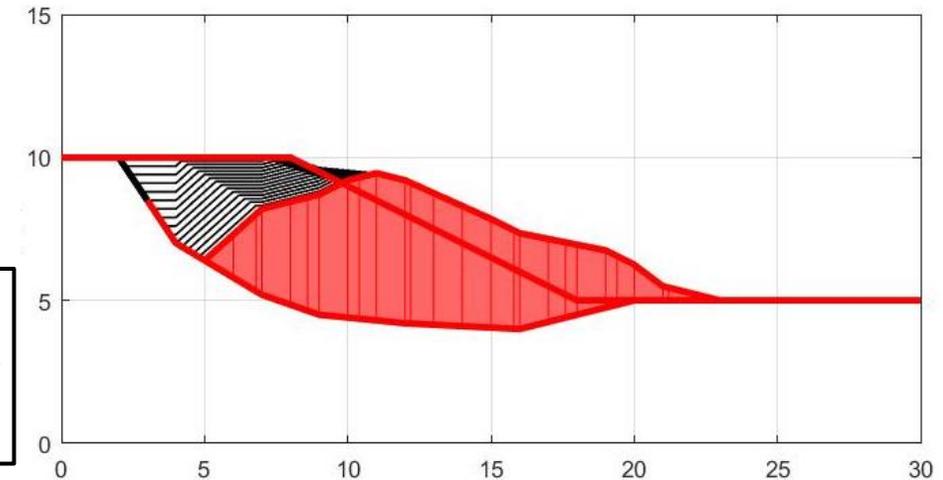
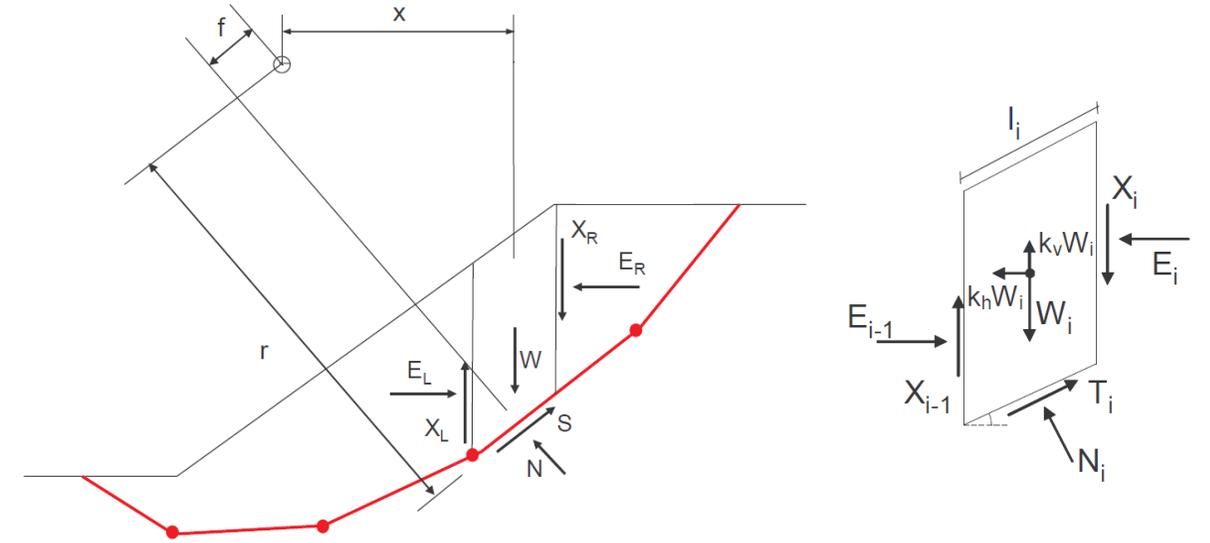


PENDII IN TERRENI: MODELLO MULTIBLOCCO PER L'ANALISI DEGLI SPOSTAMENTI SISMO-INDOTTI

OBIETTIVO: Sviluppo di un modello numerico per la valutazione degli spostamenti permanenti indotti dal moto sismico in pendii naturali caratterizzati da superfici di scorrimento mistilinee

METODO: Metodo GLE e approccio multi-blocco con introduzione degli effetti del cambio di geometria della massa in frana e della variazione di resistenza a taglio dei terreni dovuta alle sovrappressioni interstiziali indotte dal moto sismico. Analisi parametriche per differenti schemi di pendio e ampi insiemi di accelerogrammi e individuazione dei parametri rilevanti ai fini previsionali

RISULTATI ATTESI: Definizione di espressioni per la previsione dell'entità degli spostamenti permanenti e della loro variazione rispetto ad analisi tradizionali che trascurano gli effetti del cambio di geometria e della variazione di resistenza al taglio del terreno

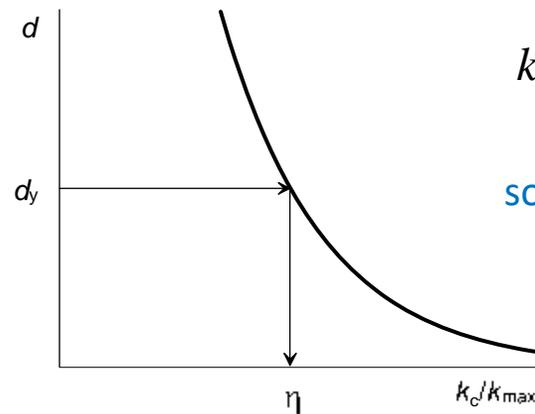


$$F_f = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{strisce}}} (c'_i l_i + N'_i \tan \phi'_i) \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^{N_{\text{strisce}}} (N'_i + U_{b,i}) \sin \alpha_i + \sum_{i=1}^{N_{\text{strisce}}} k_h W_i}$$

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{strisce}}} (c'_i l_i + N'_i \tan \phi'_i) r_i}{\sum_{i=1}^{N_{\text{strisce}}} W_i (1 - k_v) x_i - \sum_{i=1}^{N_{\text{strisce}}} (N'_i + U_{b,i}) f_i + \sum_{i=1}^{N_{\text{strisce}}} k_h W_i y_i}$$

PENDII IN TERRENI

Aggiornamento dei coefficienti di riduzione accelerazione massima al sito secondo le NTC2018



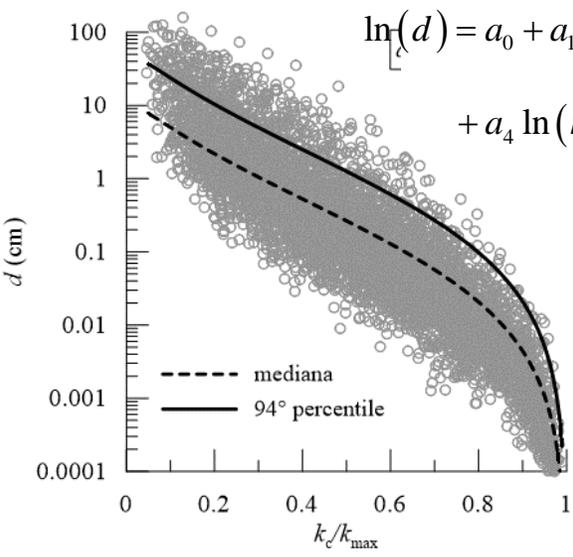
$$k = \eta \cdot k_{\max} \quad k_{\max} = \frac{a_{\max}}{g}$$

soglie di spostamento $d_y = 2, 5, 15 \text{ cm}$

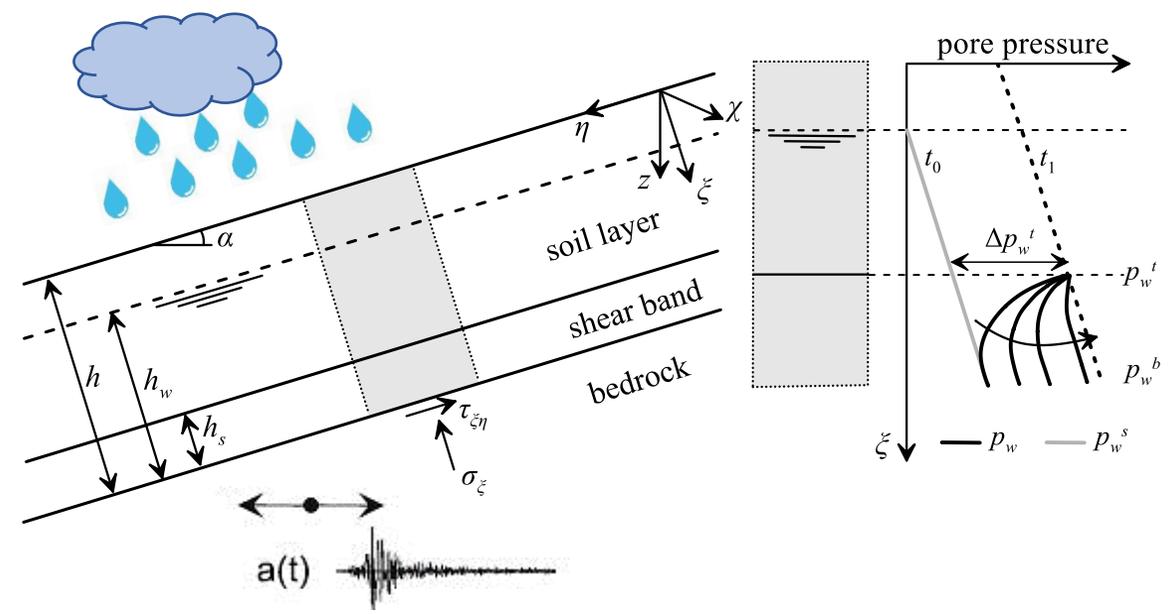
$$\ln(d) = a_0 + a_1 \ln\left(1 - \frac{k_c}{k_{\max}}\right) + a_2 \ln\left(\frac{k_c}{k_{\max}}\right) + a_3 \left[\ln\left(\frac{k_c}{k_{\max}}\right)\right]^2 + a_4 \ln(k_{\max})$$

Rollo e Rampello (2023)

- suddivisione per categorie di sottosuolo
- soluzioni per diversi livelli di a_{\max}



Analisi multi-hazard dei pendii : pioggia e sisma



- variazione del regime idraulico dovuto alle piogge come processo preparatorio all'instabilità durante il sisma
- approccio semi-analitico per portare in conto i processi idromeccanici che regolano lo sviluppo di sovrappressioni interstiziali e l'accumulo di spostamenti permanenti

Obiettivi per il progetto 2024-26

WP 16 – Geotecnica: contributi normativi e prodotti per gestione del rischio sismico

Task 16.2 – Interazione terreno-fondazione-struttura

Francesco Silvestri

Articolazione generale del Task 16.2 2024-26 - contributi delle UR

SubTask	Tema	UR <i>Coordinatore (referente)</i>
16.2.1 <u>Fondazioni di edifici</u>	<i>1a. Messa a punto di relazioni analitiche per la previsione dell'incidenza della SFSI sulla risposta dinamica dell'edificio, portando in conto l'effetto del sistema di fondazioni (graticci di travi in c.a. o cordoli di murature portanti), con particolare riguardo alle strutture tozze, in cui anche ridotte variazioni di periodo possono condurre a forti incrementi di accelerazione spettrale.</i>	UniNa Silvestri (de Silva) UniParthenope Maiorano (de Sanctis)
	<i>1b. Individuazione dei principali fattori di influenza sugli effetti dell'interazione edificio-terreno-edificio (SSSI) e valutazione di interventi di mitigazione attraverso studi parametrici e sperimentali su edifici in vera grandezza o modelli fisici.</i>	UniSannio Sica UniMe Di Filippo (Biondi)
16.2.2 <u>Fondazioni di ponti</u>	<i>2a. Espressioni di curve di fragilità sismica dei sistemi pozzo-pila-impalcato più ricorrenti nel patrimonio infrastrutturale nazionale al variare di caratteristiche geometriche della struttura e del sottosuolo.</i>	UniRoma2 Conti (ex Unicusano) UniPG Tamagnini
	<i>2b. Studio del comportamento d'insieme del sistema pozzo-pila-impalcato dal punto di vista della gerarchia di resistenze, al fine di definire un percorso integrato di progettazione/verifica che ottimizzi la risposta strutturale e quella della fondazione, incrementando la resilienza del manufatto.</i>	UniCampania Di Laora UniRoma1 Rampello (Gaudio)
	<i>2c. Valutazione dell'efficacia di possibili interventi di adeguamento sismico delle fondazioni di pile da ponte (p.es. estensione del plinto, sottofondazione con micropali o installazione di pali aggiuntivi).</i>	UniRoma1 Rampello (Gaudio) UniRoma2 Conti
	<i>2d. Definizione di strumenti analitici aggiornati per tener conto dell'asincronismo dell'azione sismica lungo un viadotto, ai fini dell'aggiornamento dei criteri semplificati attualmente previsti dalla Normativa e dell'applicazione combinata di funzioni di fragilità del sistema pozzo-pila-impalcato per analisi predittive alla scala dell'infrastruttura.</i>	UniCal Ausilio / Zimmaro (Durante) (NB sono 2 diversi Dip.)

Fondazioni di edifici

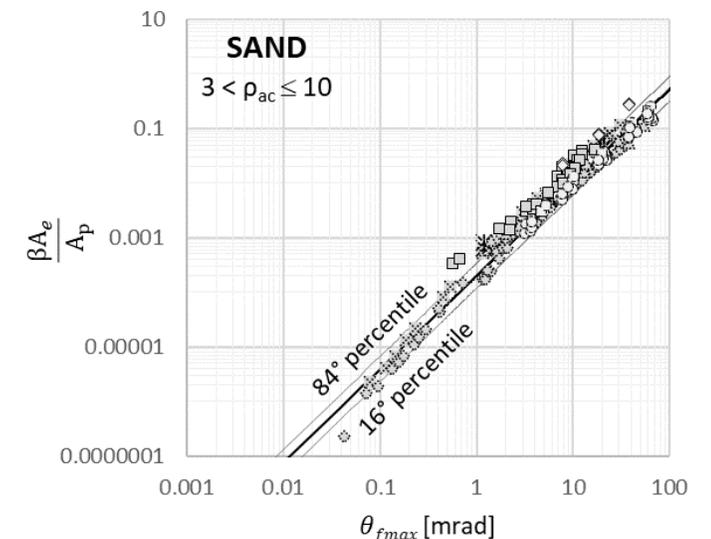
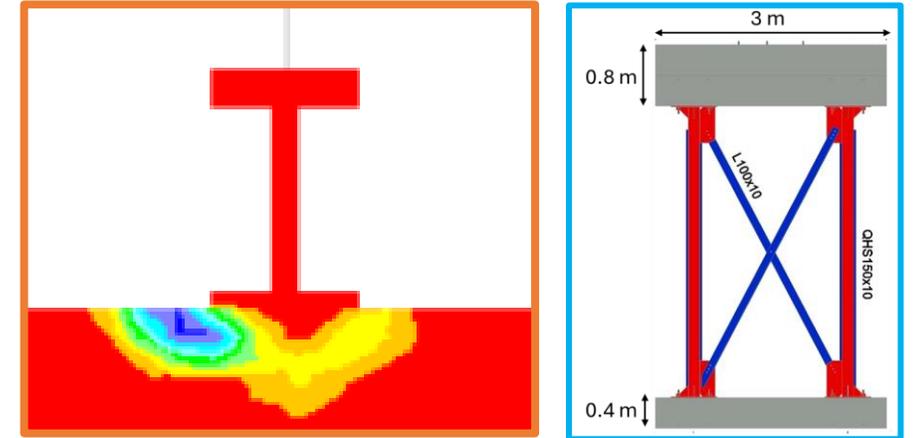
FONDAZIONI SUPERFICIALI: Capacità dissipativa (UniNa)

Obiettivo: Quantificare effetti di non linearità e capacità dissipativa delle fondazioni

Metodo: **Analisi numeriche** e **dati sperimentali** di prove su prototipi in scala

Risultati attesi:

- Leggi di regressione che consentano di stimare la capacità dissipativa in funzione di parametri adimensionali
- Estensione della *Web-app OD-In* <https://dynatools.it/odin> per quantificare la capacità dissipativa delle fondazioni
- Verifica dei risultati numerici attraverso prove su prototipo e/o in centrifuga



FONDAZIONI SUPERFICIALI: Interazione inerziale per edifici in muratura (UniParthenope)

Obiettivi:

- Implementazione in TREMURI di modelli visco-elasto-plastici e visco-elasto-ipoplastici con la teoria del MACROELEMENTO
- Confronto con modelli LPM; effetto di non linearità, accoppiamento fra le componenti di carico, influenza della storia di carico, etc. su curva di Push-over e tasso di fallimento
- Validazione sperimentale con i risultati di prove in centrifuga su modelli di edifici in muratura

Risultati attesi:

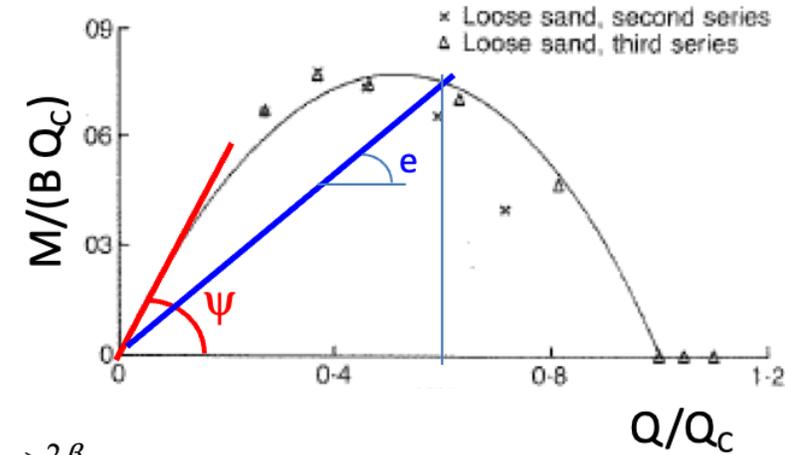
- Indicazioni pre-normative sulle strategie di modellazione dell'interazione dinamica per edifici in muratura

Formulazione matematica

$$V = \begin{Bmatrix} q \\ h \\ m \end{Bmatrix} = \frac{1}{Q_c} \begin{Bmatrix} Q \\ H/\mu \\ M/(\psi B) \end{Bmatrix}$$

$$m^2 + h^2 - q^2(1 - q)^{2\beta} = 0$$

$$\left(\frac{M}{\psi B Q_c}\right)^2 + \left(\frac{H}{\mu Q_c}\right)^2 - \left(\frac{Q}{Q_c}\right)^2 \left(1 - \frac{Q}{Q_c}\right)^{2\beta} = 0$$



Prove in centrifuga - Schofield Centre Cambridge (sett 2024)



FONDAZIONI SUPERFICIALI: Interazione fondazione-terreno-fondazione (UniSannio)

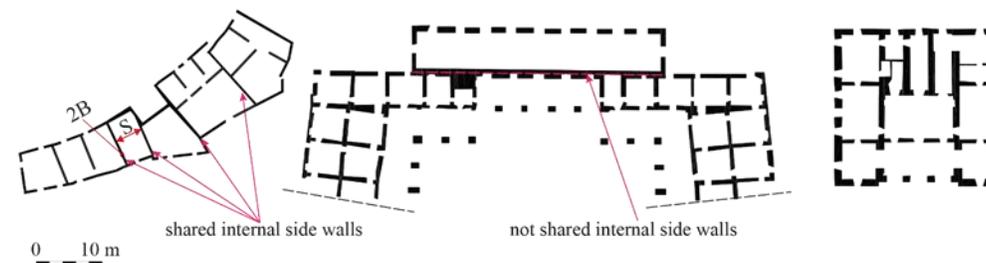
Obiettivi:

- Applicazione dei coefficienti di interazione ottenuti a casi reali di edifici in muratura costruiti in aggregato. Valutazione di curve di fragilità dell'aggregato portando in conto la SSSI (*Brunelli et al. 2024*)
- Studio dell'effetto di interazione cinematica tra fondazioni superficiali (anche in presenza di piani interrati) al variare della distanza
- Analisi degli effetti di non linearità del terreno sulla SSSI

Risultati attesi:

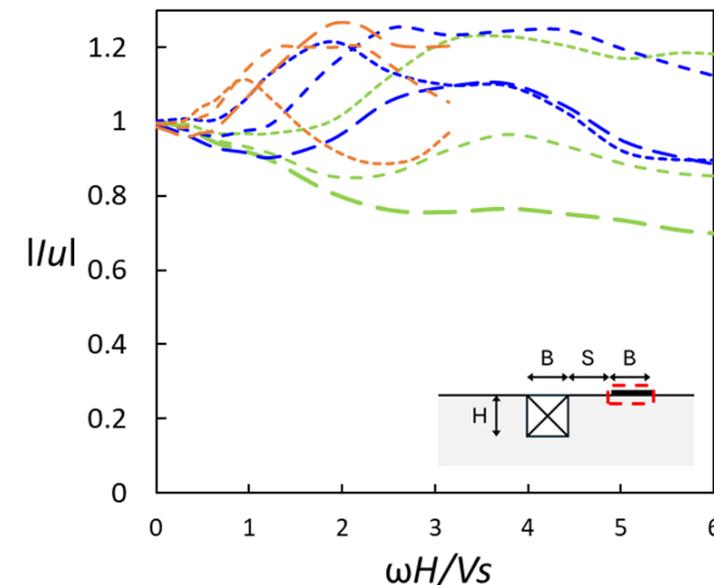
- Indicazioni pre-normative sulle modalità di analisi dell'interazione mutua tra edifici vicini in contesti storici e/o densamente urbanizzati

Brunelli A., Zeolla E., de Silva F., Cattari S., Sica S. (2024) *SFS interaction with and without cross-interaction between the foundations for URM aggregates*. 18th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE2024), Milan



$$I_u = u_{FIM} / u_{FF0}$$

Modifica del moto della
fondazione superficiale
in presenza di piani
interrati



FONDAZIONI SUPERFICIALI: Interazione fondazione-terreno-fondazione (UniMe)

Obiettivi

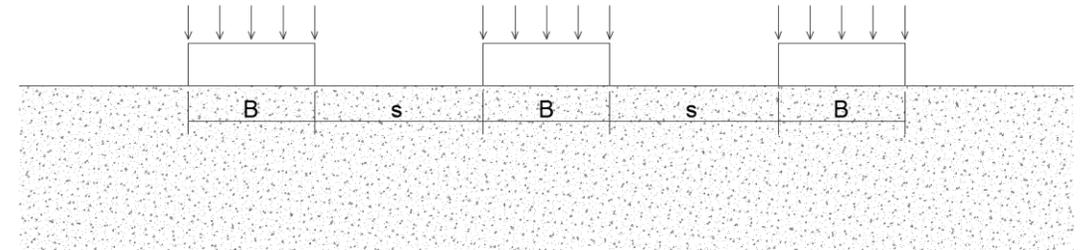
Valutazione degli effetti dell'interferenza tra fondazioni adiacenti sul carico limite del sistema terreno-fondazione

Metodo:

Metodo delle caratteristiche e analisi FEM: condizioni statiche, condizioni sismiche (con approccio pseudo-statico)

Risultati attesi:

Sviluppo di una formulazione analitica dei domini di interazione per il sistema di fondazioni e/o per la fondazione isolata equivalente

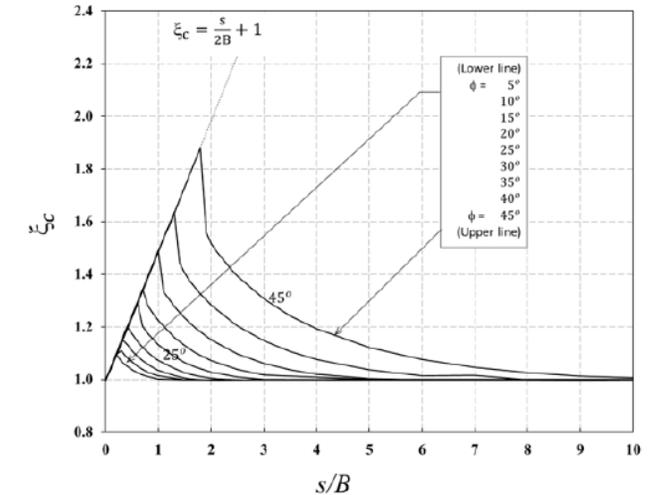
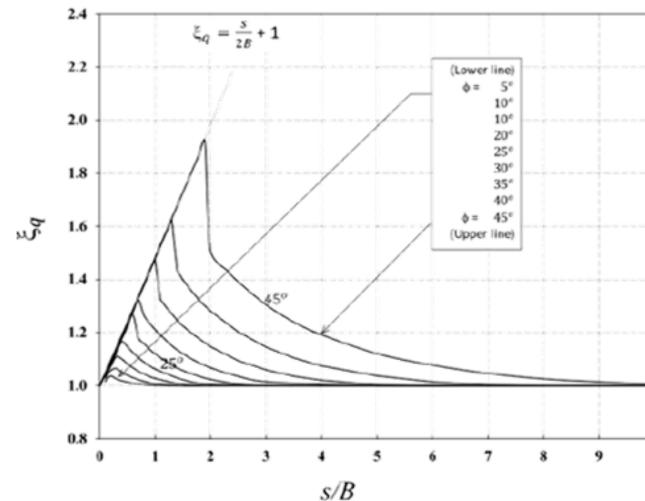
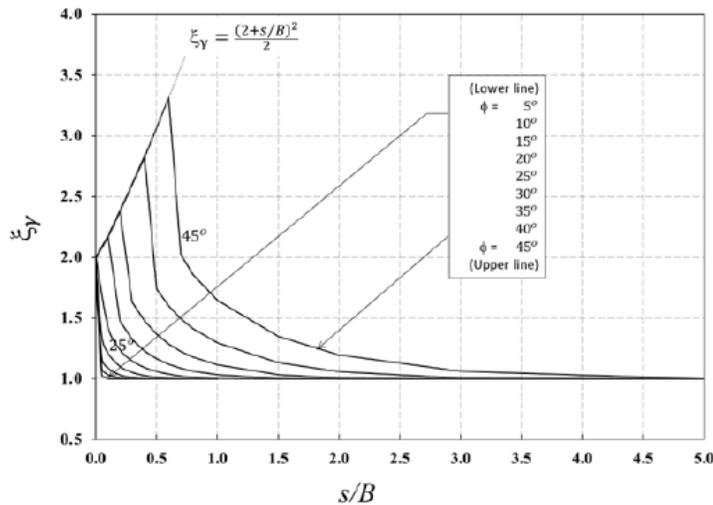


$$q_{lim,m} = \frac{1}{2} \gamma B \xi_{\gamma} N_{\gamma} + q \xi_q N_q + c \xi_c N_c$$

$$\xi_{\gamma} = \frac{q_{lim,\gamma,m}}{q_{lim,\gamma}}$$

$$\xi_q = \frac{q_{lim,q,m}}{q_{lim,q}}$$

$$\xi_c = \frac{q_{lim,c,m}}{q_{lim,c}}$$



Fondazioni di ponti

FONDAZIONI A POZZO: Interazione terreno-struttura (UniCampania)

Obiettivo:

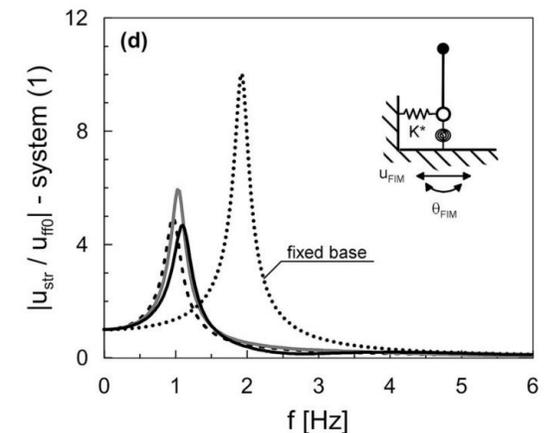
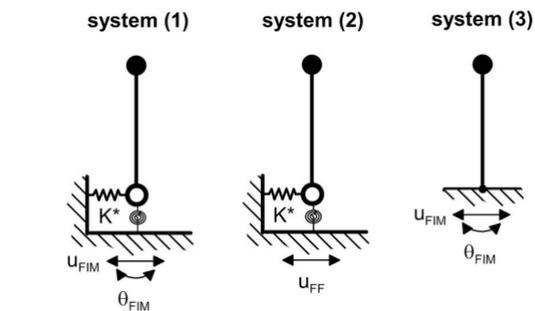
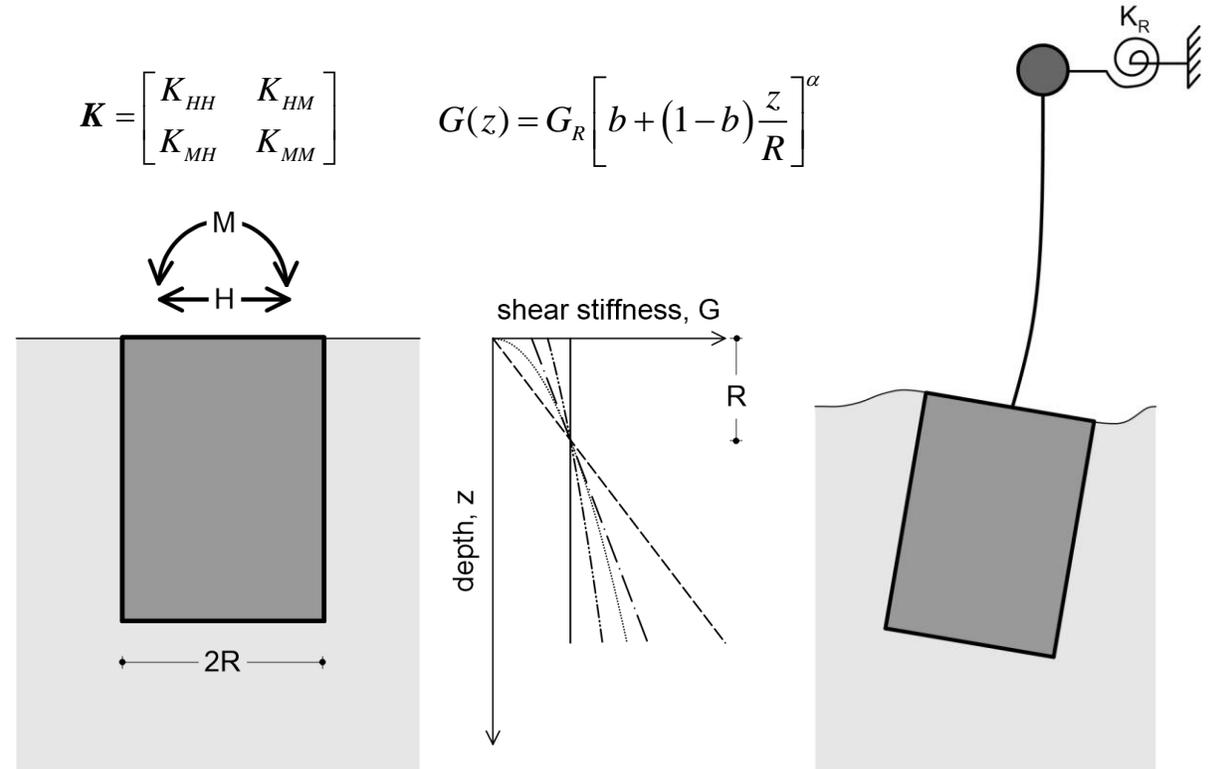
Valutazione del comportamento complessivo del sistema pila-pozzo-terreno soggetto a input sismici

Metodo:

- Analisi numeriche tipo FEM
- Studio parametrico tramite un modello semplificato da implementare in codice *MATLAB*

Risultati attesi:

- Definizione di formule semi-empiriche per la stima delle rigidzze statiche di pozzi di fondazione
- Sviluppo di una soluzione analitica per la valutazione dei momenti cinematici prodotti lungo il fusto della pila per effetto del vincolo rotazionale dell'impalcato
- Sviluppo di un modello semplificato per il sistema pila-pozzo-terreno da implementare in codice *MATLAB*



FONDAZIONI A POZZO: Domini di interazione in condizioni sismiche (UniRoma1)

Obiettivo:

Valutare la modifica della capacità portante di pozzi per effetti cinematici

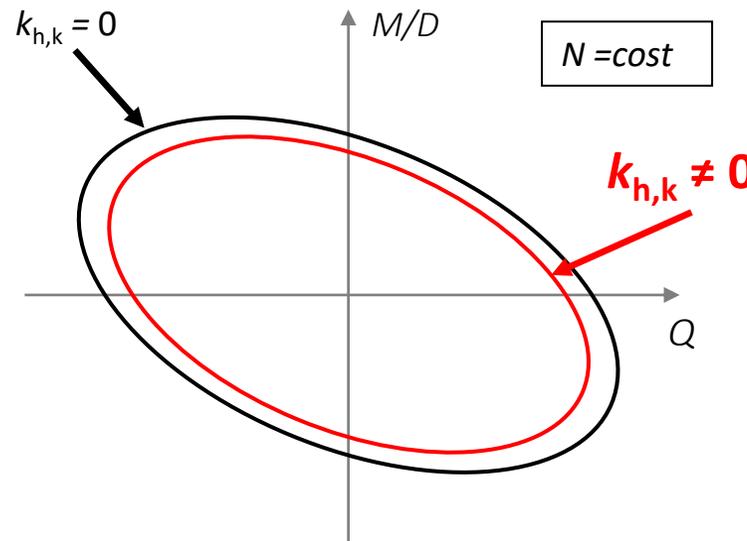
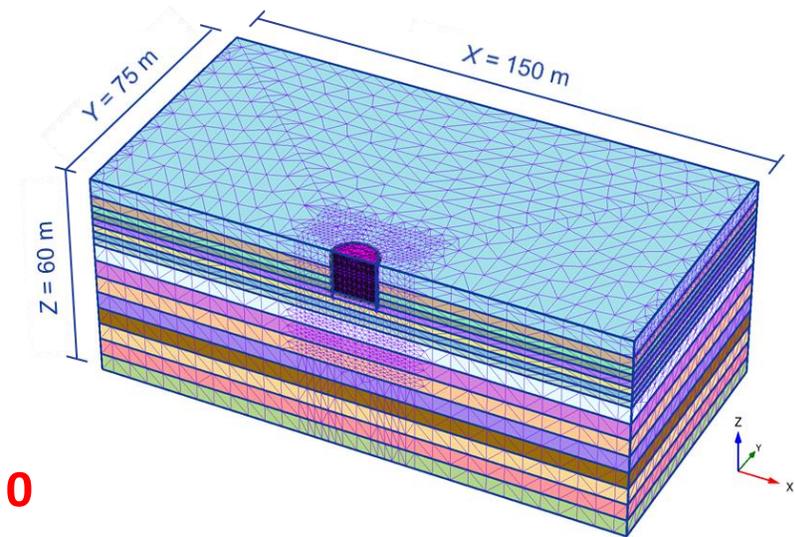
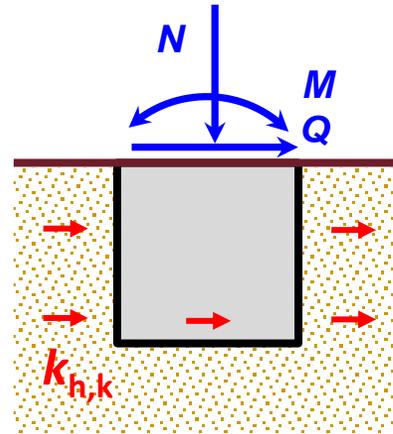
Metodo:

Analisi di *pushover* 3D agli elementi finiti del sistema pozzo – terreno al variare di:

- coefficiente sismico orizzontale
- snellezza del pozzo
- condizioni di drenaggio

Risultati attesi:

Relazioni analitiche dei domini di interazione in condizioni sismiche



FONDAZIONI SU PALI IN GRUPPO: Domini di interazione per fondazioni miste (UniRoma2)

Obiettivo:

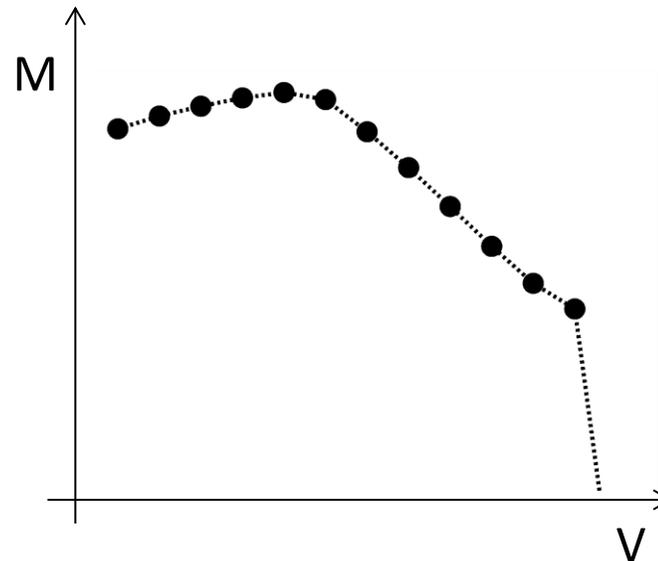
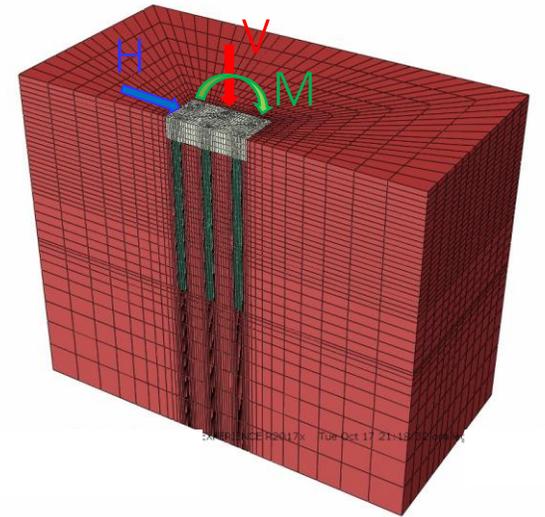
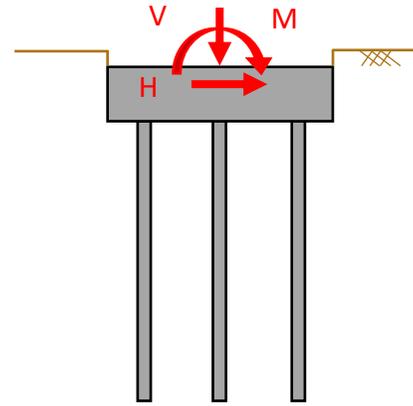
Valutare la capacità portante di fondazioni miste (platea + pali) sotto carichi generalizzati

Metodo:

Analisi di *pushover* 3D agli elementi finiti del sistema platea-pali-terreno

Risultati attesi:

Sviluppo di un metodo semplificato per il calcolo del dominio di interazione di fondazioni miste

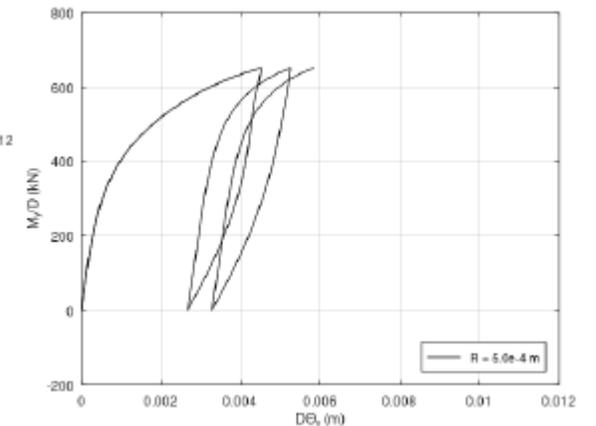
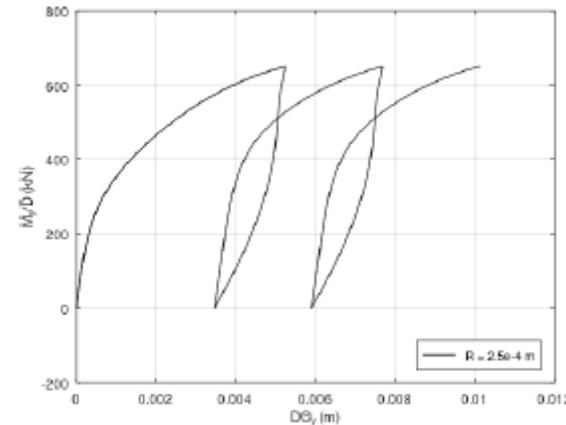


FONDAZIONI SU PALI IN GRUPPO: estensione macroelemento ipoplastico a stati di sollecitazione generali (5d) (UniPG)

Metodo: Estensione del macroelemento ipoplastico con variabili interne per fondazioni su pali in gruppo a stati di sollecitazione generali (V, H_x, M_y/B, H_y, M_x/B)

Risultati: Implementazione numerica dell'elemento in codici di calcolo strutturale (ABAQUS) mediante algoritmo di integrazione esplicito adattivo, con linearizzazione consistente ottenuta per differenziazione numerica

$$\begin{aligned}
 F(t) = & \frac{1}{R^2} \left\{ \left[\left(\frac{H_x}{H_x^{max}} \right)^2 + \left(\frac{H_y}{H_y^{max}} \right)^2 \right] \right\} \times \\
 & \left\{ R \sqrt{1 - \sqrt{\left(\frac{M_x}{M_x^{max}} \right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_y^{max}} \right)^2}} - (2\bar{\beta} - 1)(V - B)^2 \right\} + \\
 & 4\bar{\beta}(\bar{\beta} - 1) \left\{ R^2 \left(1 - \sqrt{\left(\frac{M_x}{M_x^{max}} \right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_y^{max}} \right)^2} \right) - (V - B)^2 \right\} \times \\
 & \left\{ 1 + \frac{\bar{\xi}R}{\bar{H}_{max}} \left(1 - \sqrt{1 - \sqrt{\left(\frac{M_x}{M_x^{max}} \right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_y^{max}} \right)^2}} \right)^2 \right\} = 0
 \end{aligned}$$



FONDAZIONI DI VIADOTTI: Variabilità spaziale del moto sismico (UniCal)

Obiettivo:

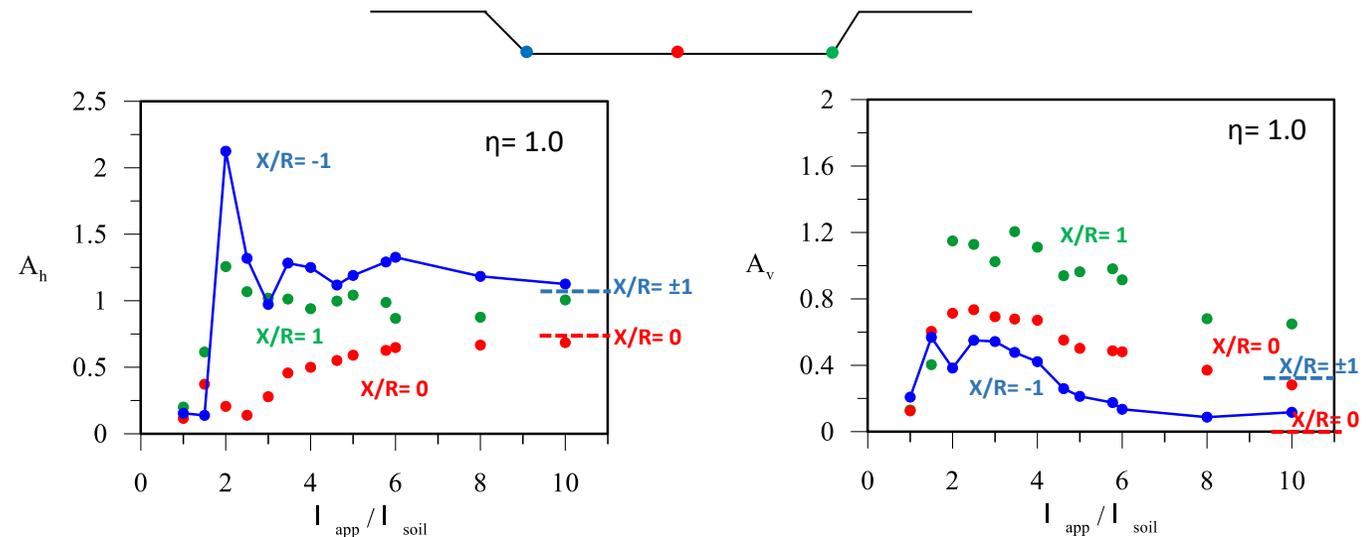
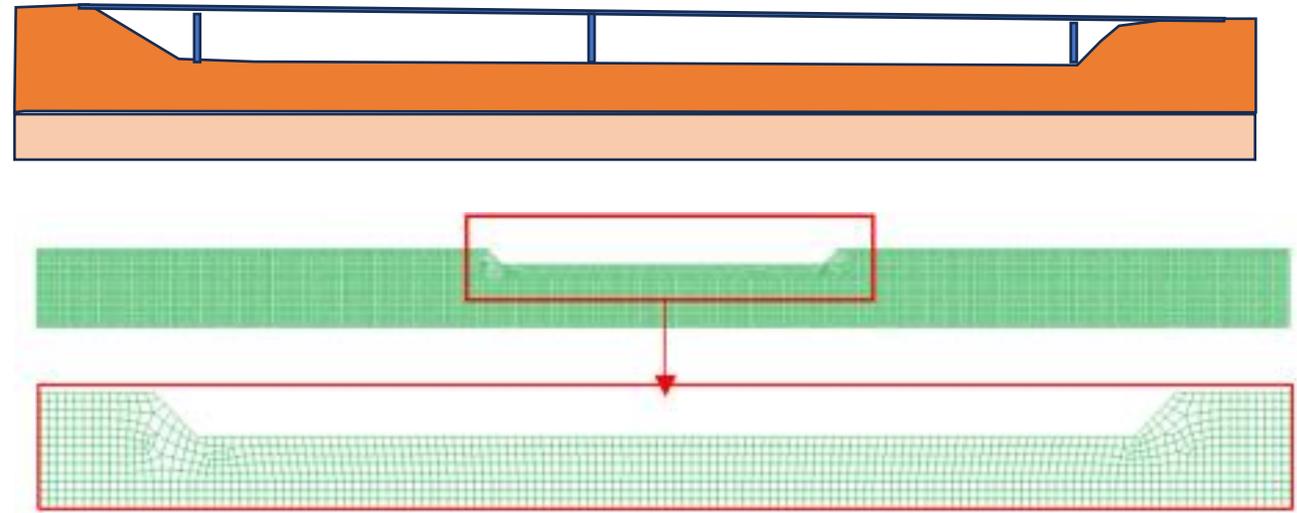
Valutare la variabilità spaziale della componente verticale del moto sismico per le strutture con significativa estensione in presenza di irregolarità topografiche

Metodo:

Analisi numeriche agli elementi finiti con *OpenSees* di varie irregolarità topografiche interagenti con strutture distribuite sul territorio

Risultati attesi:

Funzioni di coerenza verticali da confrontare con quelle orizzontali al fine di poter fornire indicazioni pre-normative sulla differenziazione tra le due (attualmente non contemplata)



Grazie a:

Coordinatori Task

Coordinatori UR

Tutti i tanti ricercatori impegnati nel WP Geotecnico

Tutti voi per l'attenzione