



[www.itcold.it](http://www.itcold.it)  
[itcold@iol.it](mailto:itcold@iol.it)



# OPEN DAY ON DAMS

## 2023

Giuseppe Lanzo  
Sapienza Università di Roma  
[giuseppe.lanzo@uniroma1.it](mailto:giuseppe.lanzo@uniroma1.it)

21 aprile 2023  
Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale  
Sapienza Università di Roma

# Alcune recenti esperienze relative alla verifica sismica di dighe di terra

## Necessità di una rivalutazione della sicurezza sismica

- ✓ Da oltre due decenni si è considerevolmente ridotto il numero delle nuove realizzazioni in Italia
- ✓ Opere in esercizio da più anni (la maggior parte ha età superiore a 50 anni e molte hanno età superiore a 80 anni), eseguite in tempi e contesti diversi dall'attuale
- ✓ Molte dighe costruite in mancanza di una specifica normativa antisismica o con metodi semplificati
- ✓ Accresciute conoscenze sulla pericolosità sismica
- ✓ Elevata esposizione generalmente associata a tali opere

## Normativa Tecnica sulle Dighe (NTD, 2014) & Istruzioni per l'Applicazione delle NTD (2018)

### ✓ Analisi storico-critica

- costruzione, invasi sperimentali, esercizio, eventi sismici, etc.

### ✓ Monitoraggio

- spostamenti, pressioni interstiziali, pressioni totali, portate filtranti, dati accelerometrici, etc.

### ✓ Caratterizzazione geotecnica

- caratterizzazione geotecnica dei terreni (statica e dinamica)

### ✓ Modellazione del comportamento della diga

- in condizioni statiche e sismiche

#### gerarchia di metodi di analisi

- pseudo-statica
- dinamica semplificata (Newmark)
- dinamica avanzata

## Normativa Tecnica sulle Dighe (NTD, 2014) & Istruzioni per l'Applicazione delle NTD (2018)

### ✓ Analisi storico-critica

- costruzione, invasi sperimentali, esercizio, eventi sismici, etc.

### ✓ Monitoraggio

- spostamenti, pressioni interstiziali, pressioni totali, portate filtranti, dati accelerometrici, etc.

### ✓ Caratterizzazione geotecnica

- caratterizzazione geotecnica dei terreni (statica e dinamica)

### ✓ Modellazione del comportamento della diga

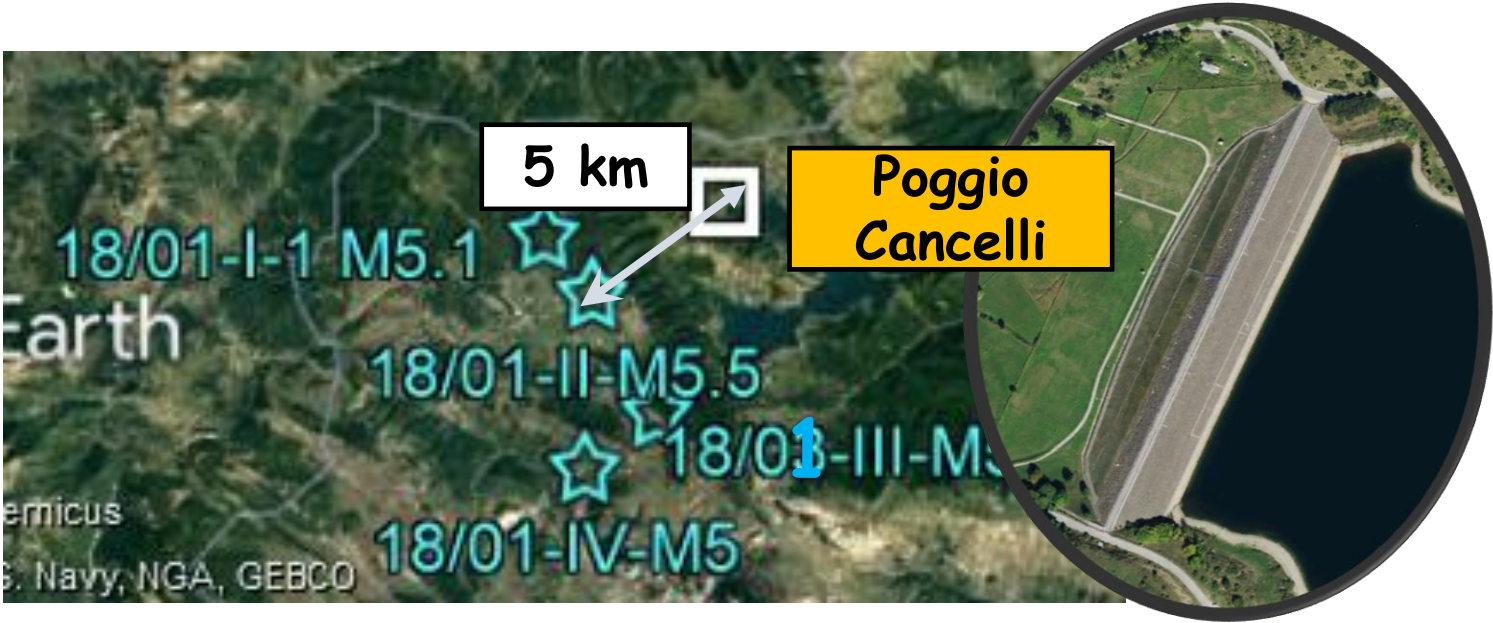
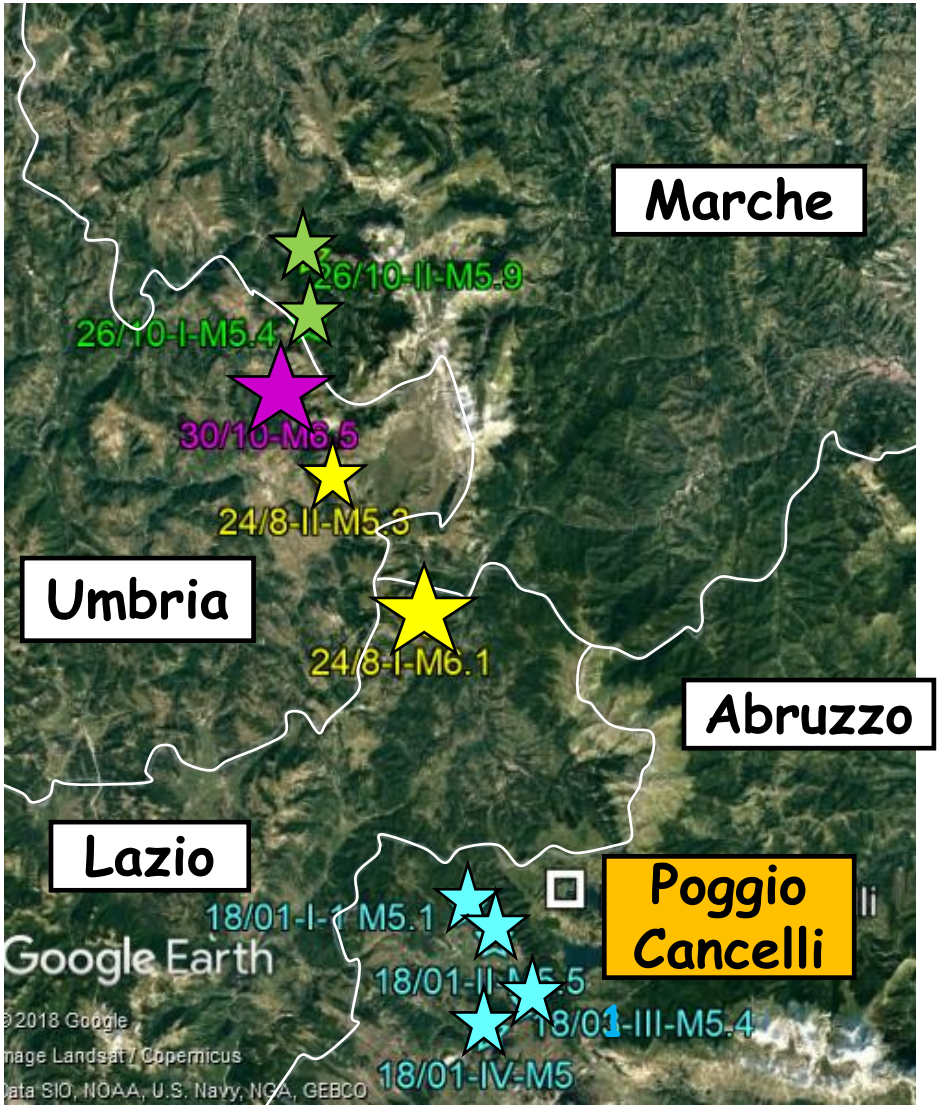
- in condizioni statiche e sismiche

gerarchia di metodi di analisi

- pseudo-statica
- **dinamica semplificata (Newmark)**
- dinamica avanzata



# Sequenza sismica del 2016-17: la diga di Poggio Cancelli (Enel Green Power)

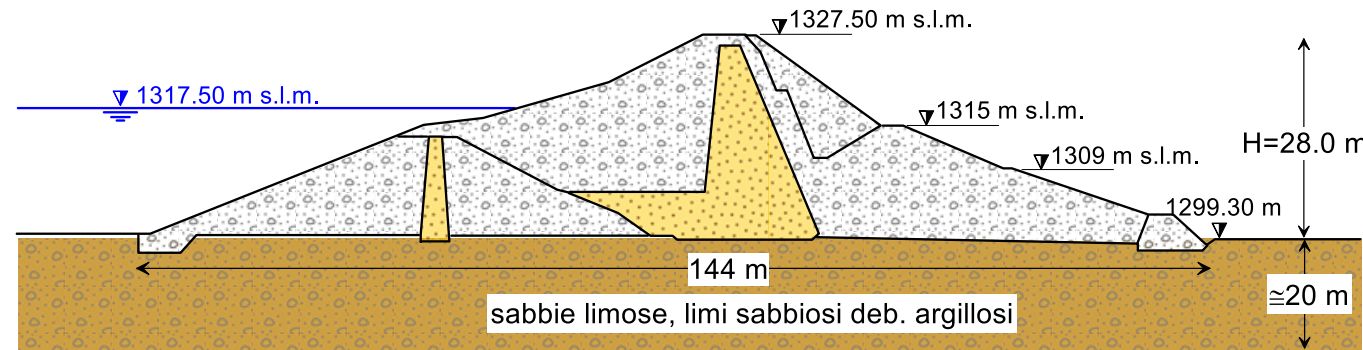




# La diga di Poggio Cancelli (AQ)

## Caratteristiche della diga

- ✓ diga di terra con nucleo centrale
- ✓ preesistente diga di terra (1941-1951)
- ✓ allargamento e sovralzato (1965-1971)
- ✓ altezza massima  $H_{\max}=28$  m



## Strumentazione installata

- ✓ piezometri, assestimetri, etc.
- ✓ *stazione accelerometrica RAN: PCB*

## Effetti osservati sismi 2016-2017

- ✓ spostamenti verticali cresta  $\approx 20$  mm
- ✓ spostamenti verticali valle  $\approx 5$  mm
- ✓ variazioni non apprezzabili dei livelli piezometrici



# La diga di Poggio Cancelli (AQ)

## Campagne di indagine per la caratterizzazione geotecnica

✓ 1997 } statica  
✓ 2009 }

✓ 2017 } dinamica  
✓ 2020 }

Liquefazione dei terreni di fondazione

## Approccio metodologico per la verifica a liquefazione

Suscettibilità

Triggering

Effetti

- ✓ I terreni sono potenzialmente liquefacibili??
- ✓ I terreni saranno soggetti a liquefazione durante il terremoto di scenario??
- ✓ Gli effetti della liquefazione saranno rilevanti??

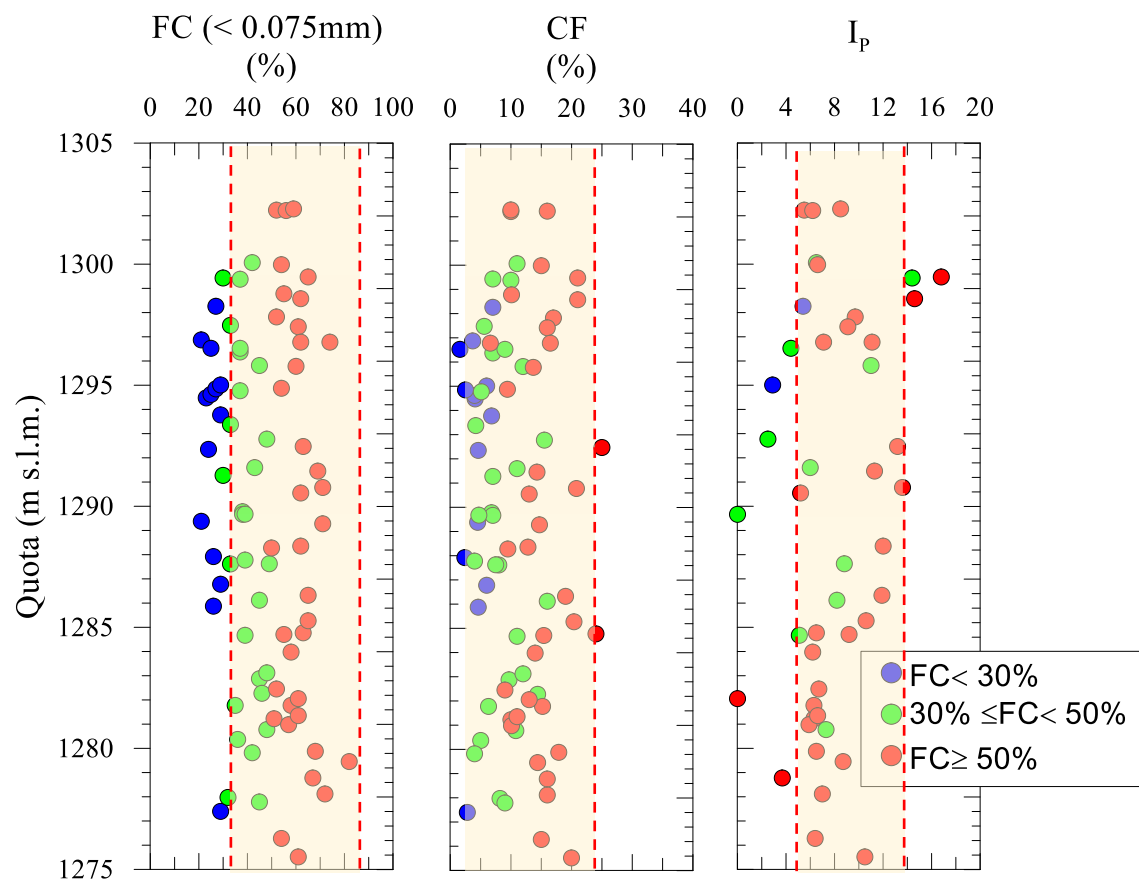
### Principale limitazione

procedura semplificata  
sviluppata per sabbie pulite o  
con modesto contenuto di fine  
( $FC < 30-35\%$ )

Applicabilità ad altri  
terreni discutibile  
(e.g. terreni "intermedi"  
 $FC > 30-35\%$   $I_p \cong 0-12$ )

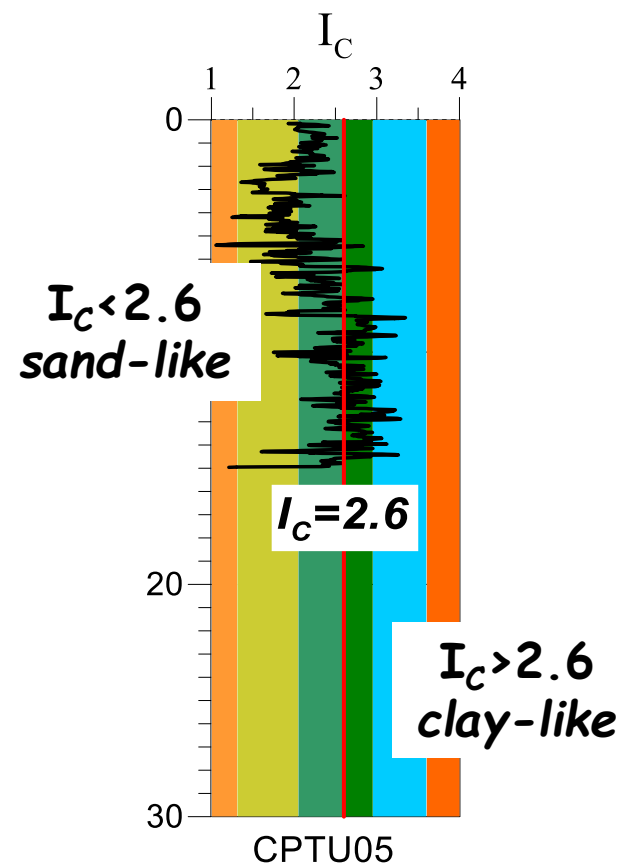
## Risultati di prove in lab e in sito dei terreni di fondazione della diga

### Caratteristiche fisiche



### Prove CPT

Indice di comportamento  $I_c$  vs  $z$



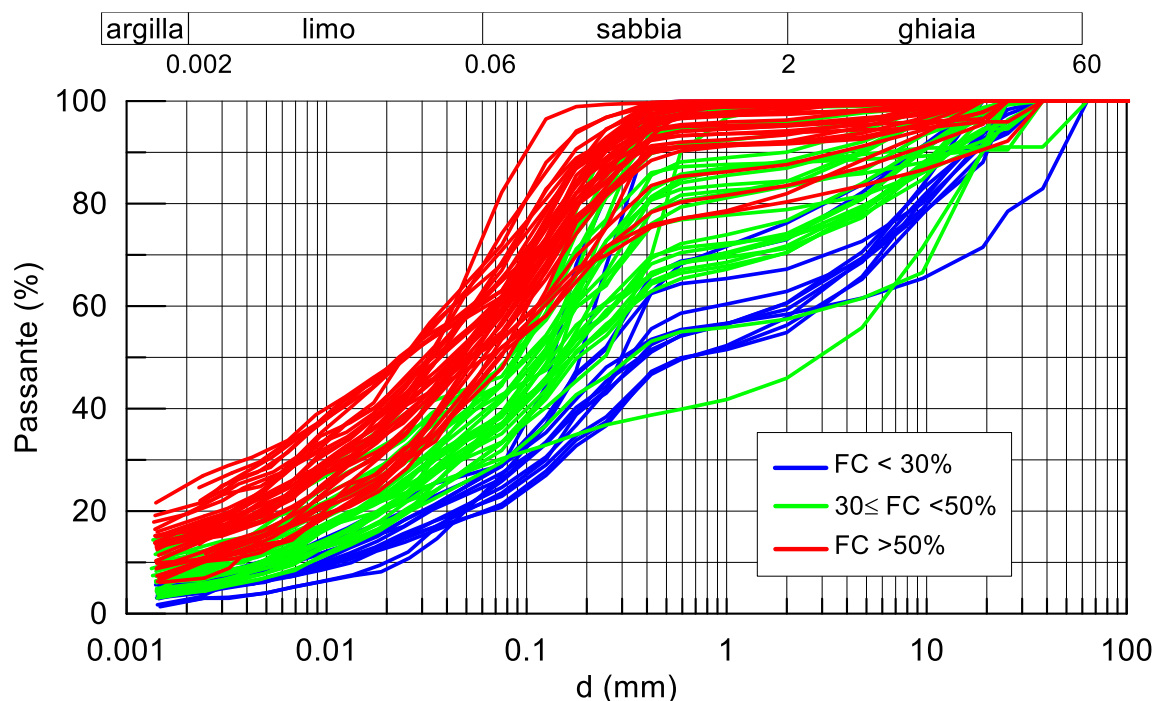
Terreni intermedi  
o di  
"transizione"



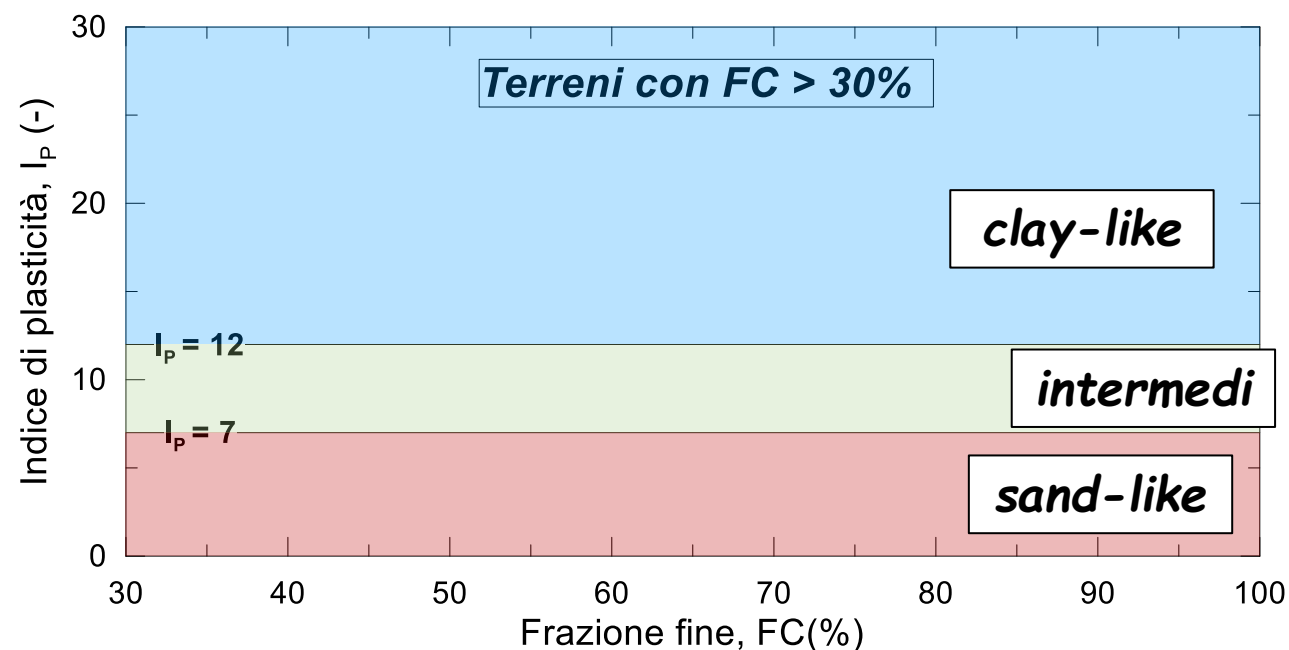
## Verifica a liquefazione

suscettibilità

*distribuzione granulometrica*



- ✓  $I_p < 7$  sand-like
- ✓  $I_p > 12$  clay-like
- ✓  $7 \leq I_p \leq 12$  intermedi

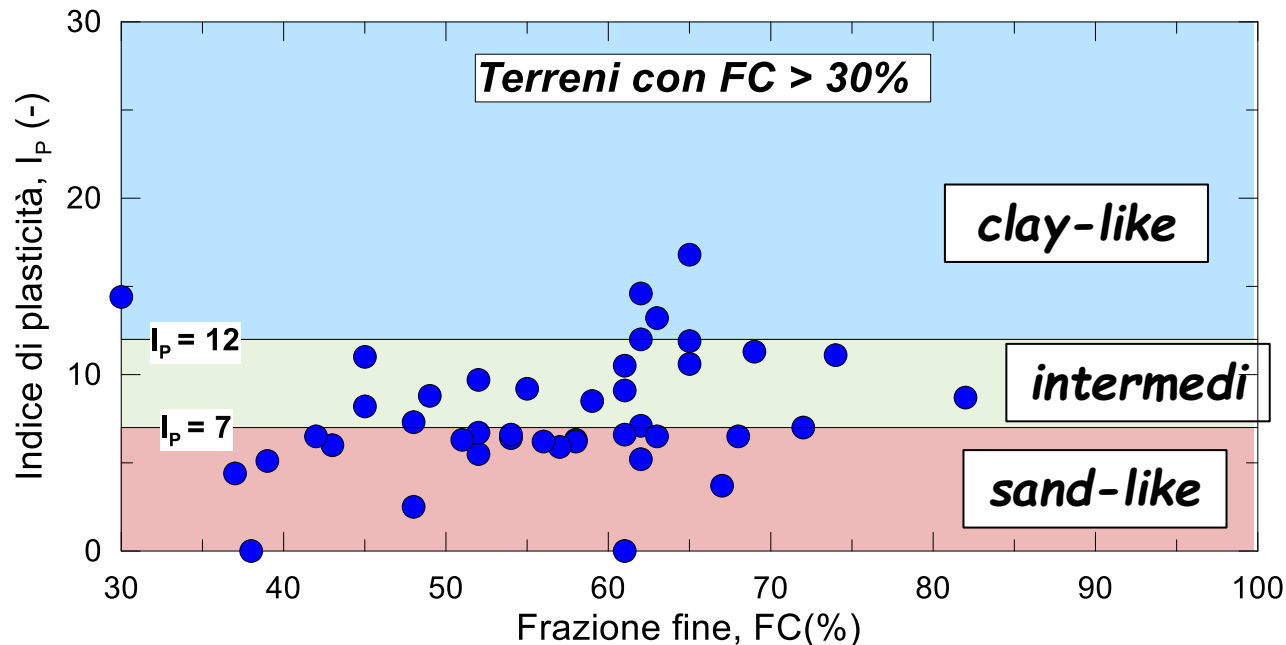


## Verifica a liquefazione

suscettibilità

✓  $7 \leq I_p \leq 12$  *intermedi*

potenzialmente suscettibile di liquefazione  
(raccomandati studi sito-specifici e prove di laboratorio)



triggering

## Back-analysis dell'evento del 18-01-2017

✓ procedura semplificata : Moss (2006), Robertson (2009), Boulanger & Idriss (2014) - prove CPT e analisi di RSL

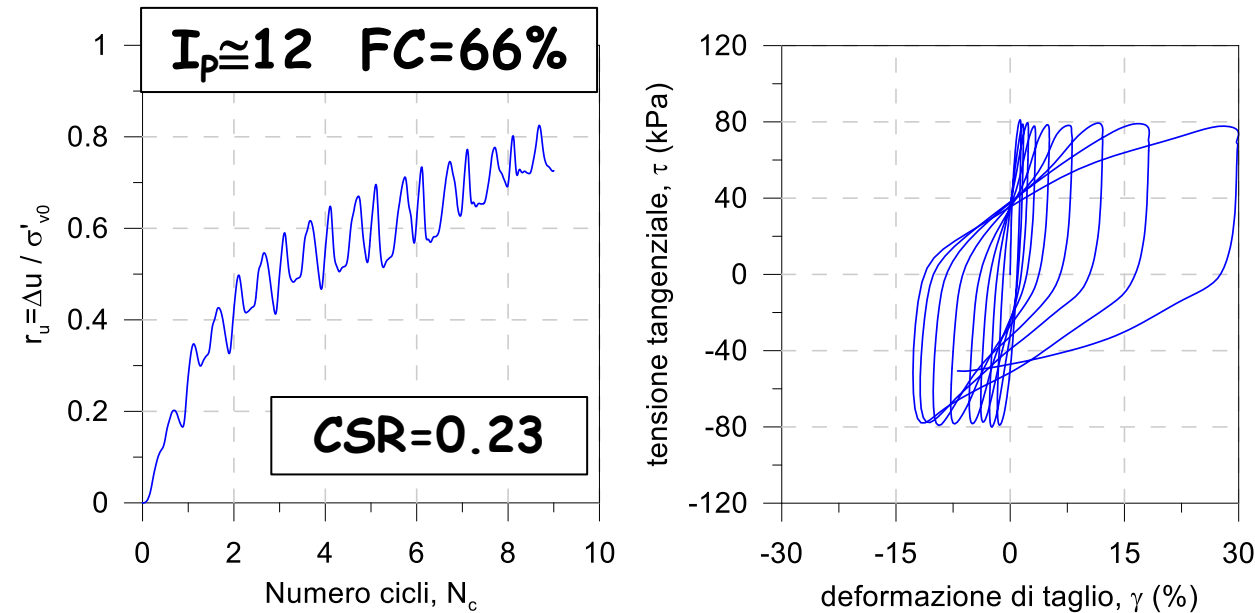
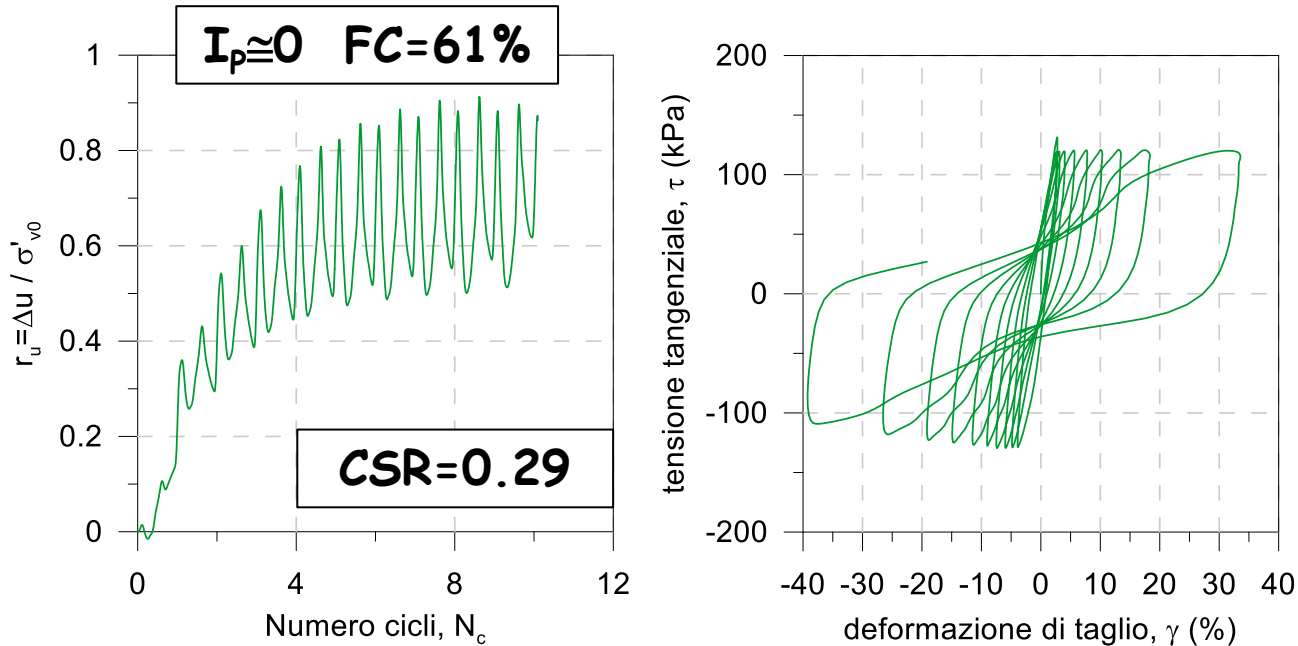
- con correlazione empirica per FC di default
- con correlazione empirica per FC sviluppata ad hoc



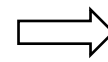
**Sovrastima del pericolo di liquefazione**

## Prove integrative di laboratorio

### Prove di taglio semplice ciclico a sforzo controllato



- ✓ rapporto di sovrappressione interstiziale  $r_u$  vs numero dei cicli  $N$
- ✓ forma dei cicli di isteresi



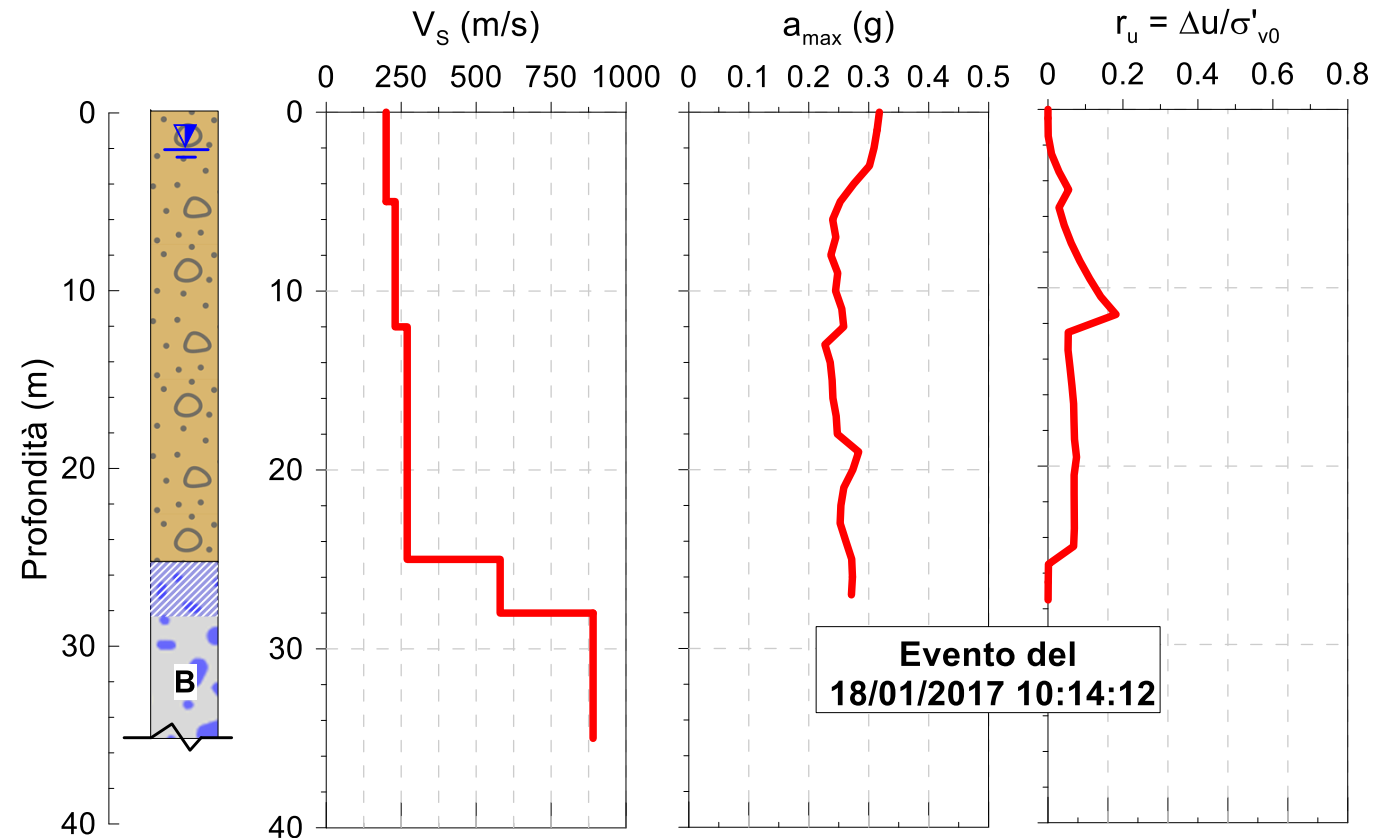
**comportamento prevalentemente clay-like**



## Verifica a liquefazione: *back-analysis* dell'evento del 18-01-2017

### ✓ Analisi dinamica avanzata (metodo disaccoppiato)

Modesti valori massimi del rapporto di sovrappressione interstiziale  $r_u$  generati dal sisma



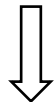
## Verifica a liquefazione: *back-analysis* dell'evento del 18-01-2017

### ✓ Analisi dinamica avanzata (metodo disaccoppiato)

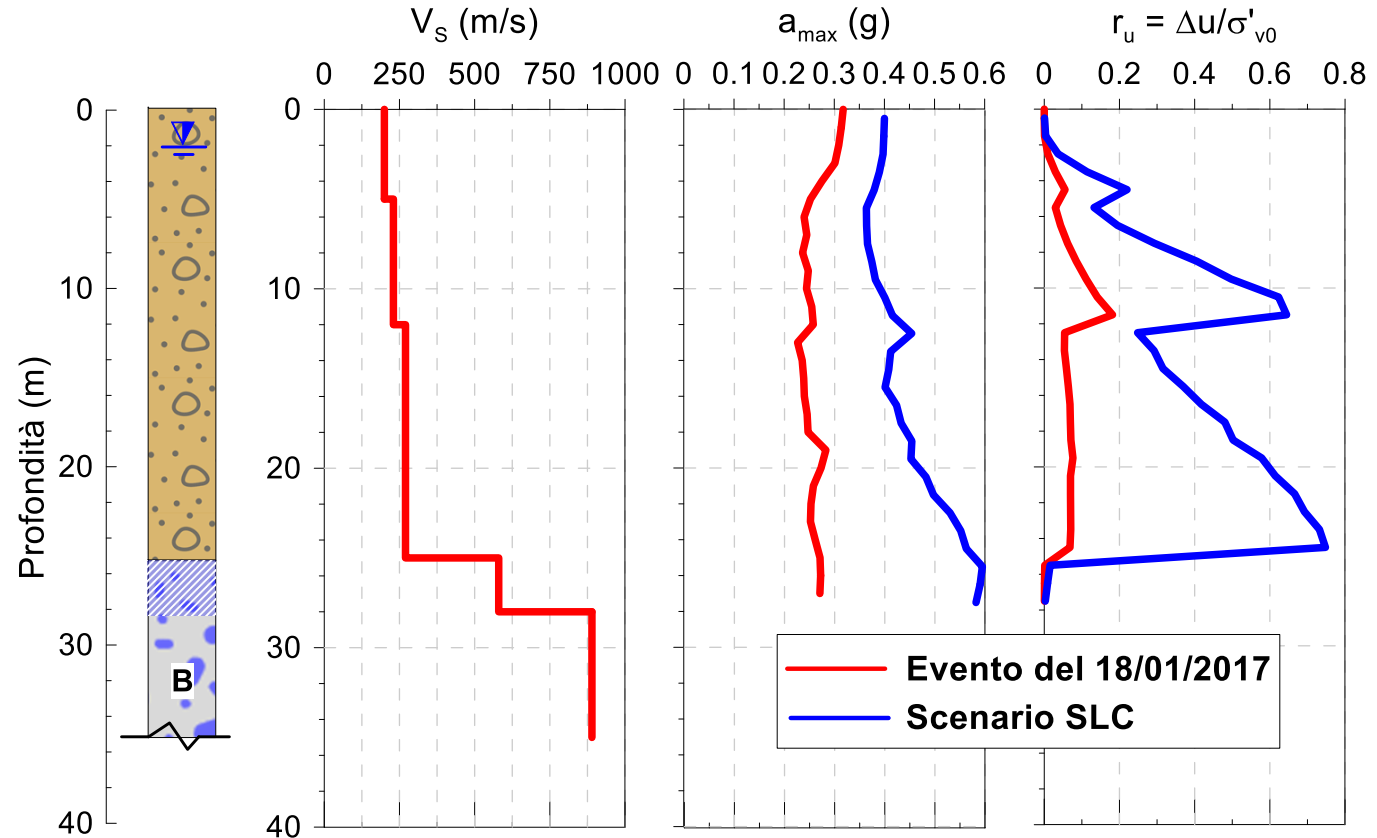
Modesti valori massimi del rapporto di sovrappressione interstiziale  $r_u$  generati dal sisma

### Verifica a liquefazione: evento di scenario SLC

### ✓ Analisi dinamica avanzata (metodo disaccoppiato)



**Valori massimi di  $r_u=0.6$**



## Considerazioni conclusive

---

L'Ingegneria Geotecnica può svolgere un ruolo fondamentale per lo studio del comportamento di dighe di terra soggette ad azioni sismiche

La *case-history* presentata è focalizzata sulla rilevanza di prove di laboratorio "avanzate":

- ✓ diga di Poggio Cancelli: discriminare tra comportamento *sand-like* e *clay-like* di terreni "intermedi" di fondazione della diga ai fini della verifica a liquefazione;

La scelta del tipo di prova e dei materiali interessati è stata effettuata per successivi livelli di approfondimento

I risultati sperimentali rappresentano la base per calibrare i modelli numerici per l'interpretazione e la previsione del comportamento dinamico delle dighe

Questo caso di studio, per la sua specificità, può rappresentare un istruttivo esempio su un tema in cui il campo delle conoscenze non è ancora consolidato, al fine di ridurre il divario tra *state-of-practice* e ricerca





[www.itcold.it](http://www.itcold.it)  
[itcold@iol.it](mailto:itcold@iol.it)



# OPEN DAY ON DAMS

## 2023

Giuseppe Lanzo  
Sapienza Università di Roma  
[giuseppe.lanzo@uniroma1.it](mailto:giuseppe.lanzo@uniroma1.it)

21 aprile 2023  
Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale  
Sapienza Università di Roma

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE