



6° Edizione Premio ITCOLD – Tesi di Laurea su temi attinenti le Dighe



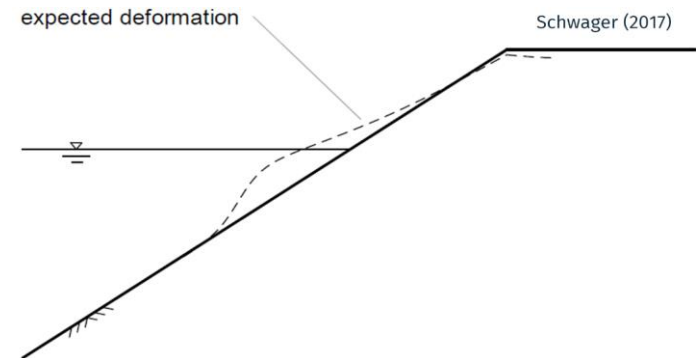
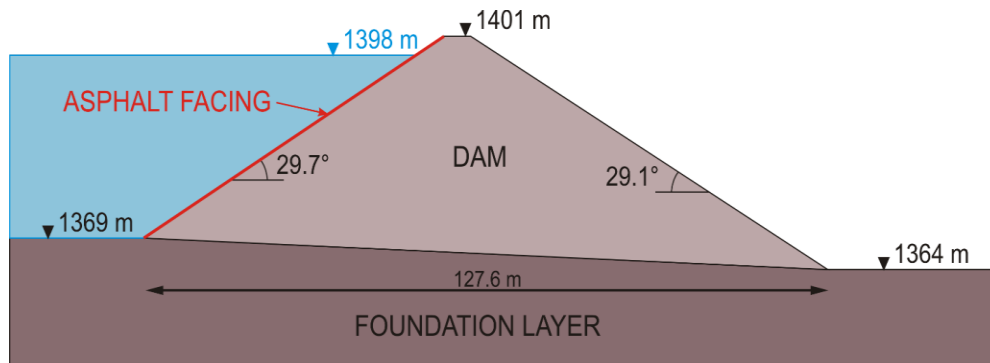
MODELLAZIONE NUMERICA DEL COMPORTAMENTO SISMICO DI DIGHE IN TERRA

Mattia Dall'Acqua

24 Febbraio 2021

OBIETTIVO

Stima della deformazione del **manto impermeabilizzante** della diga a seguito di eventi sismici



Modellazione agli elementi finiti del caso studio – Diga di Godey



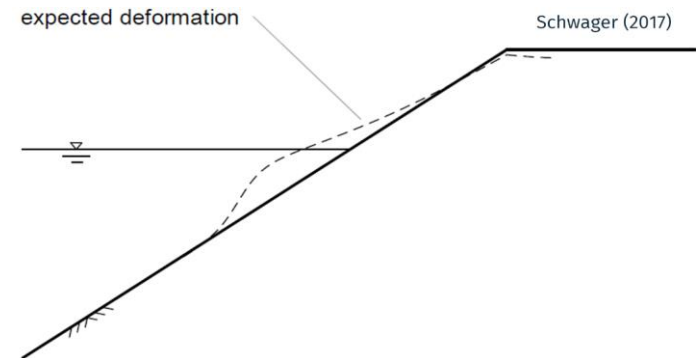
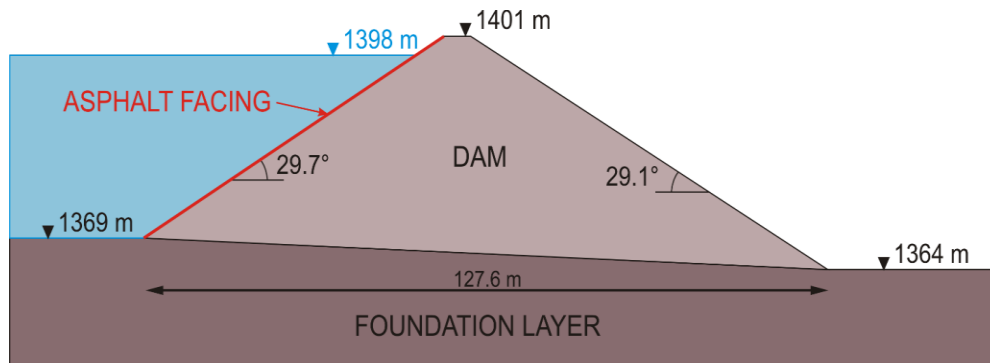
Analisi dinamiche non lineari



Stima delle **deformazioni finali** del rivestimento

OBIETTIVO

Stima della deformazione del **manto impermeabilizzante** della diga a seguito di eventi sismici



**MODELLAZIONE DEL TERRENO
DELLA DIGA**

Modello costitutivo **elasto-perfettamente plastico** con criterio di rottura alla Mohr-Coulomb

Modello costitutivo **elasto-plastico incrudente** di Gajo-Wood

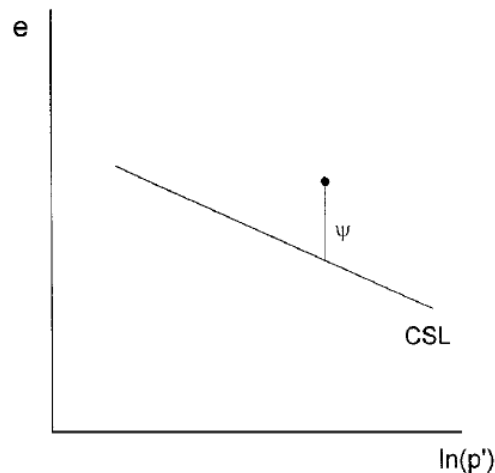
Modello costitutivo Gajo-Wood

- Dipendenza del comportamento del terreno da **pressione media** e **densità relativa**
- Graduale **variazione di rigidezza** prima del raggiungimento della rottura del terreno
- **Comportamento ciclico** del terreno

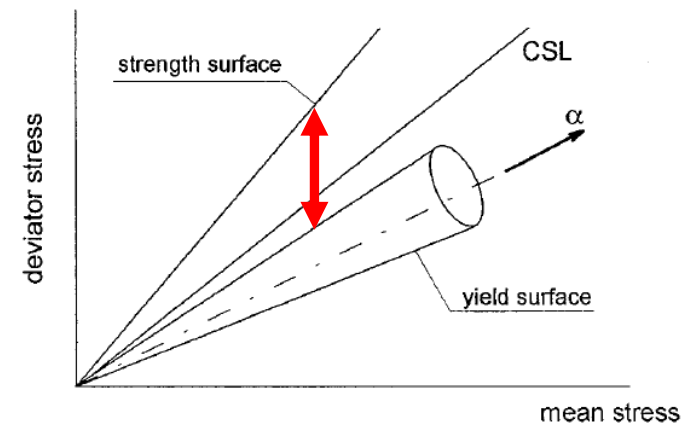
Parametro di stato ψ



Determina le **dimensioni** della superficie di resistenza e della superficie di snervamento



ψ tiene in considerazione la dipendenza della resistenza del materiale da p e v



La perdita di **rigidezza** del materiale all'avvicinarsi della rottura è funzione della **distanza** fra le due superfici

La calibrazione dei parametri per la definizione dei modelli costitutivi del terreno della diga è stata condotta mediante i risultati di prove triassiali drenate (ETH, 1973).

- **MODELLO COSTITUTIVO ELASTO-PERFETTAMENTE PLASTICO**

(5 parametri)

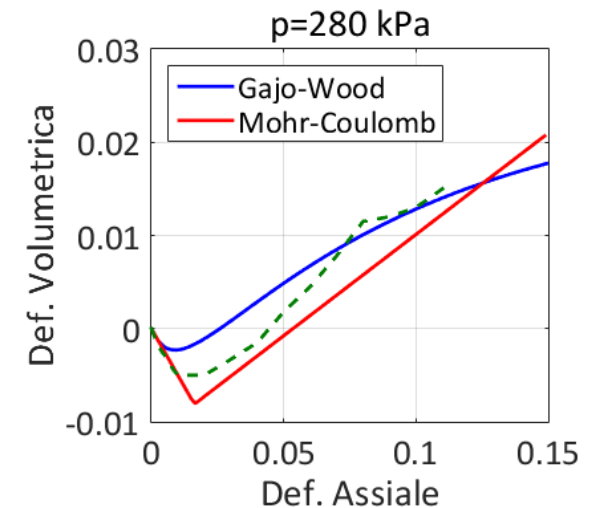
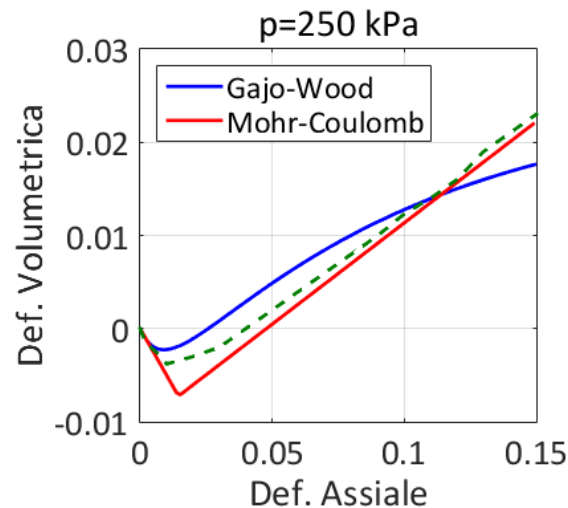
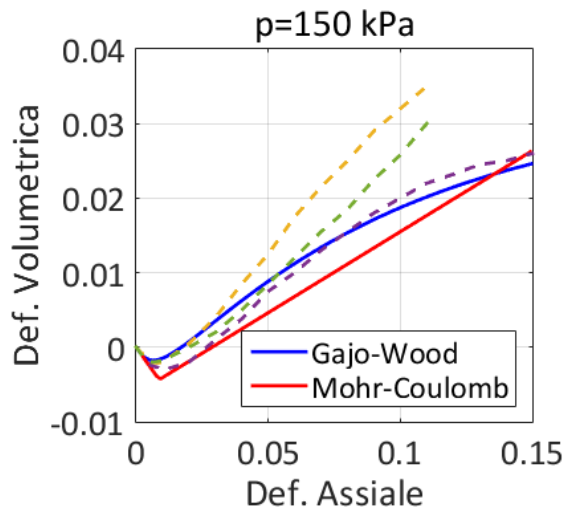
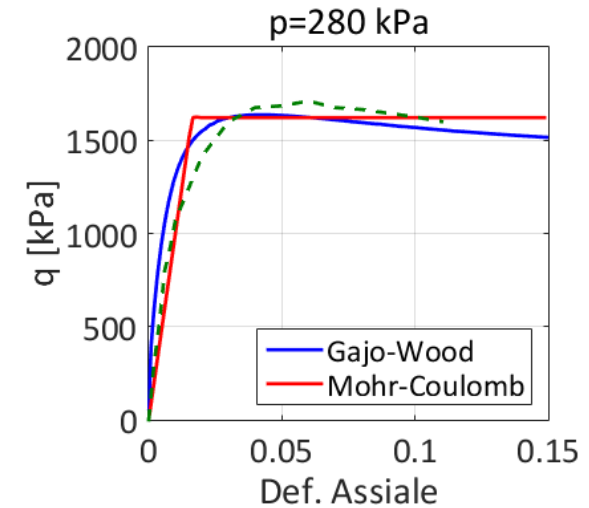
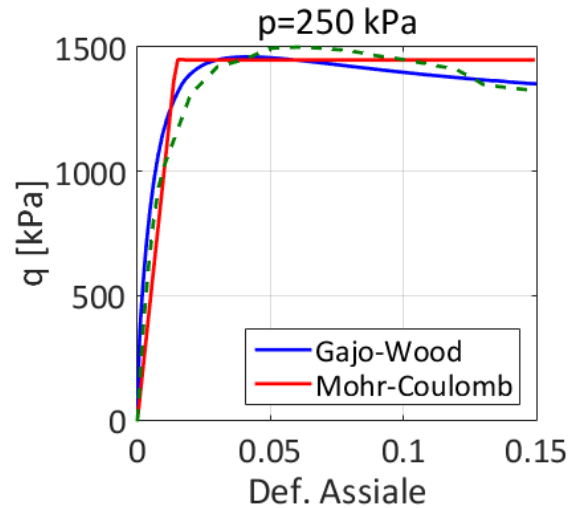
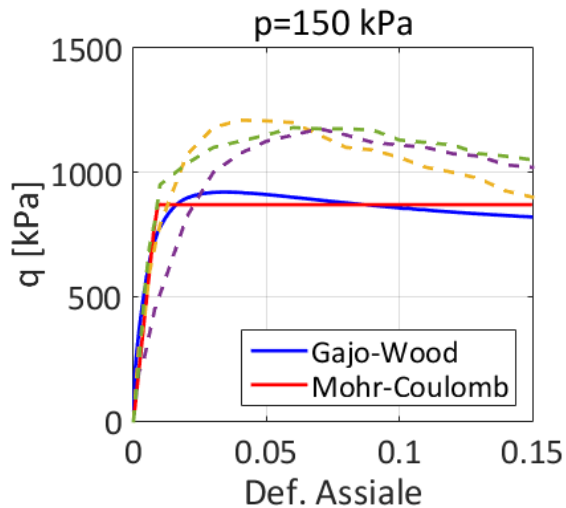
- **MODELLO COSTITUTIVO ELASTO-PLASTICO INCRUDENTE GW**

(10 parametri)

- Angolo di attrito $\varphi' = 48^\circ$
- Coesione $c = 5 \text{ kPa}$
- Angolo di dilatanza $\psi = 6.5^\circ$
- Modulo elastico $E = 100 \text{ MPa}$
- Coefficiente di Poisson $\nu = 0.25$

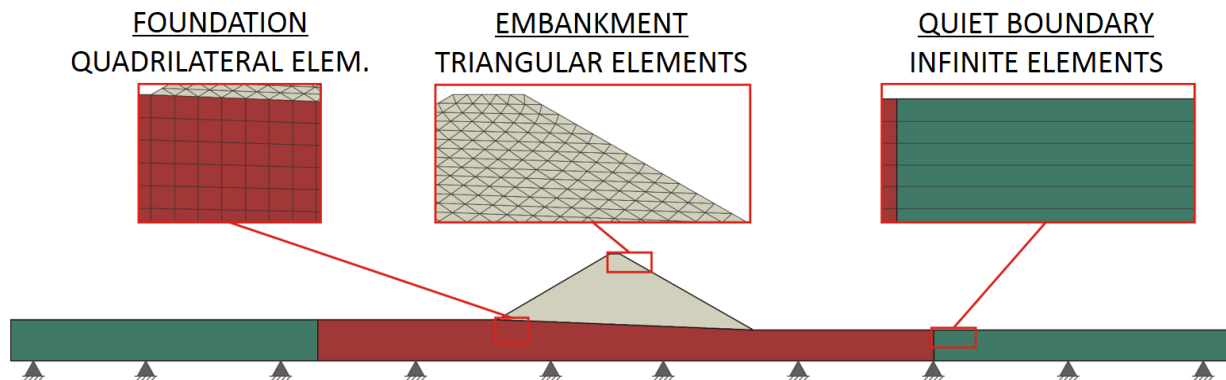
- Comportamento elastico
- Posizione della retta di stato critico
- Angolo di stato critico
- Superfici di snervamento e rottura
- Legge di flusso
- Decadimento della rigidezza

Prove triassiali drenate

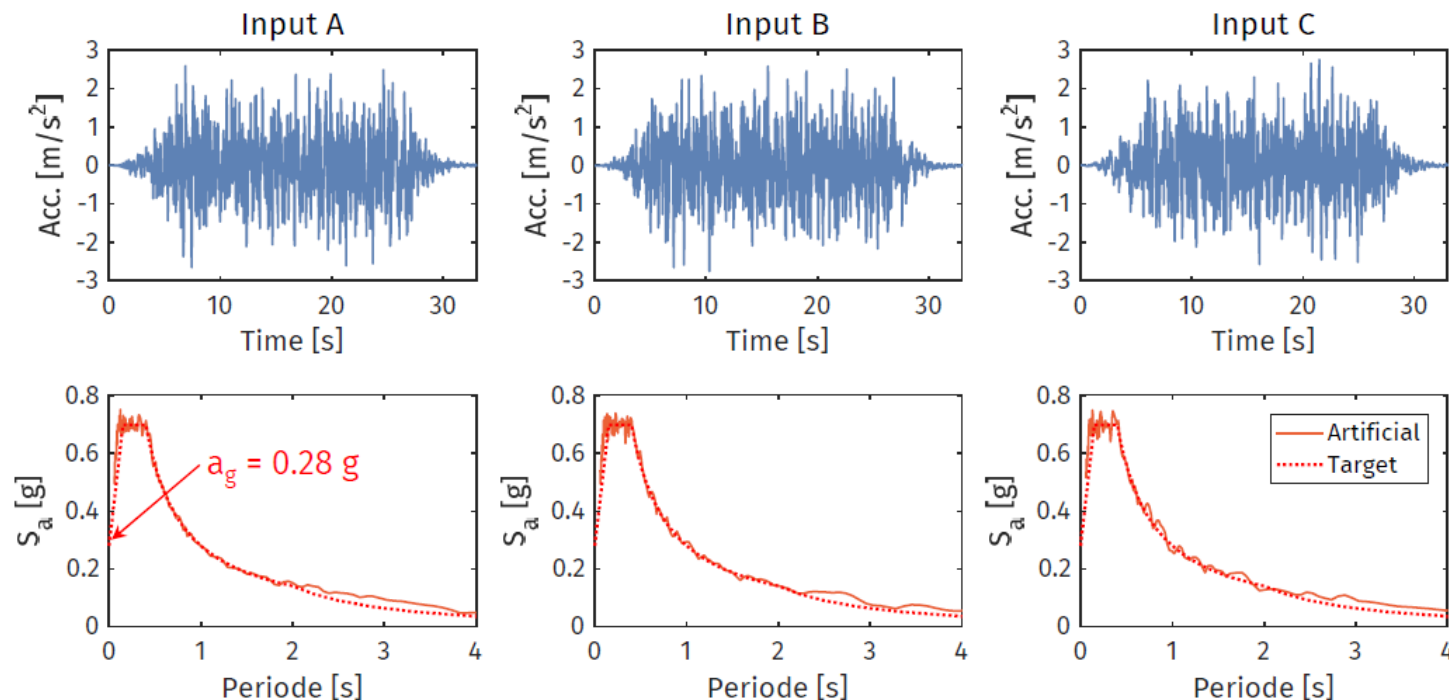


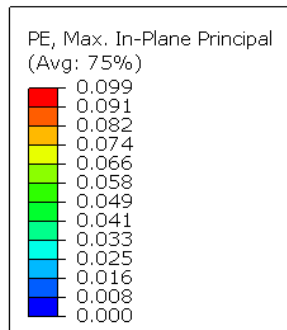
Nella modellazione si sono adottate le seguenti ipotesi:

- Terreno della diga **omogeneo** per le analisi con modello elasto-perf. plastico
- Terreno di fondazione omogeneo e modellato con comportamento **elasto-perfettamente plastico**
- Si trascurano gli **effetti dinamici** dovuti all'acqua presente nel bacino
- Materiale del rivestimento omogeneo con comportamento **elastico-lineare** ($E=10\text{-}100\text{ MPa}$)
- **Scorrimenti relativi nulli** fra la diga ed il rivestimento
- Si trascura la **componente verticale** del sisma



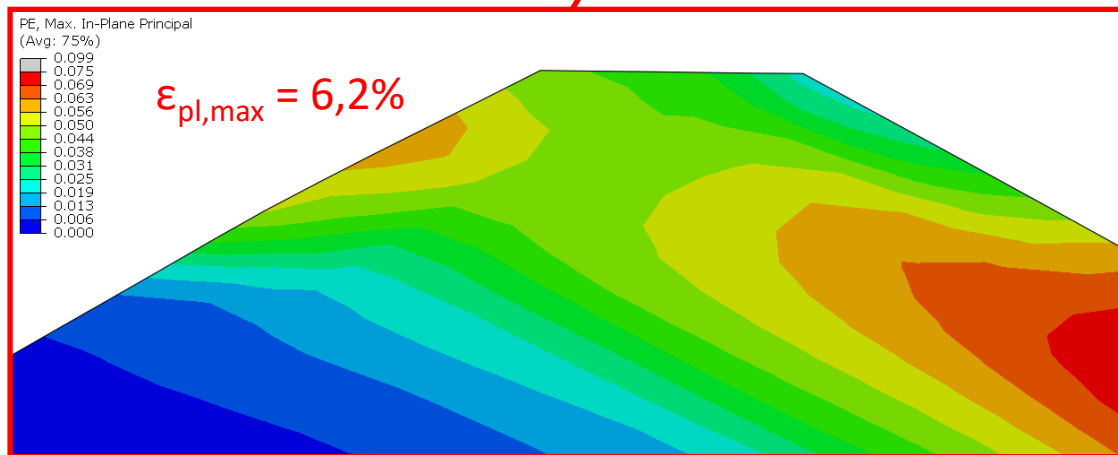
1. **STEP GEOSTATICO** si applicano i carichi verticali dell'intero modello per ricavare le condizioni iniziali
2. **STEP RIVESTIMENTO** si applica il rivestimento nel fronte a monte della diga
3. **STEP CARICO IDROSTATICO** si applica la pressione idrostatica dovuta alla presenza dell'acqua nel bacino
4. **STEP EVENTO SISMICO** si applica la storia di accelerazioni ai nodi di base della fondazione



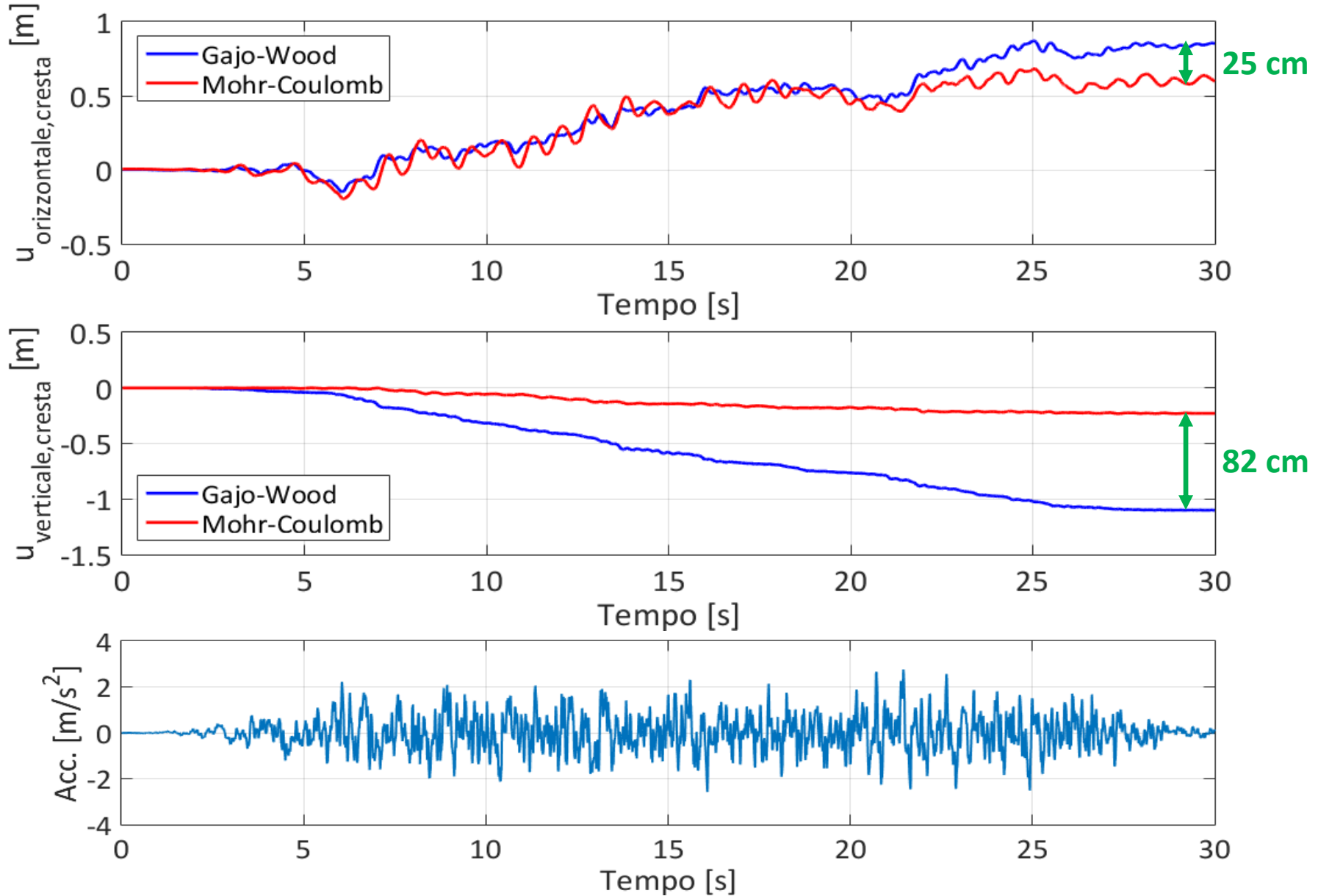


Deformazioni plastiche finali MC

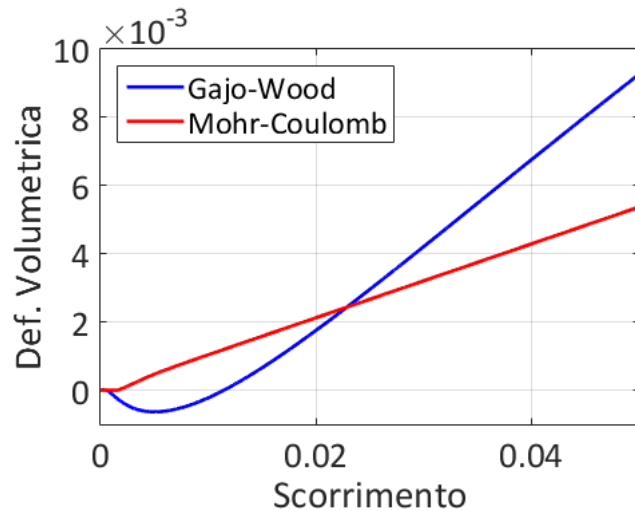
$\epsilon_{pl,max} = 10\%$



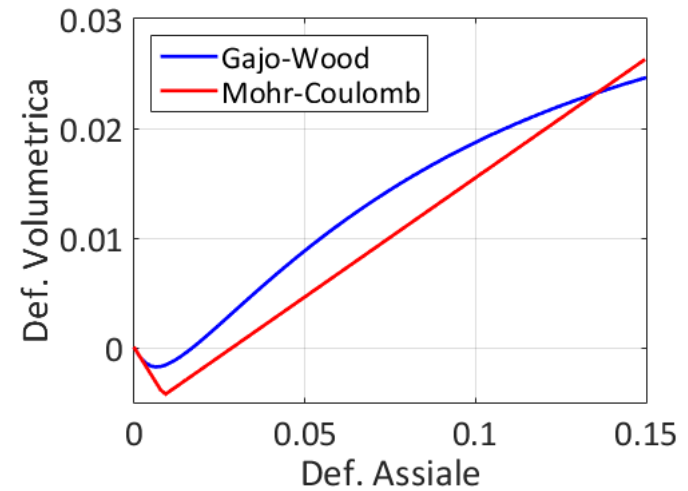
Le deformazioni plastiche maggiori nel versante a monte si rilevano in **prossimità della cresta**



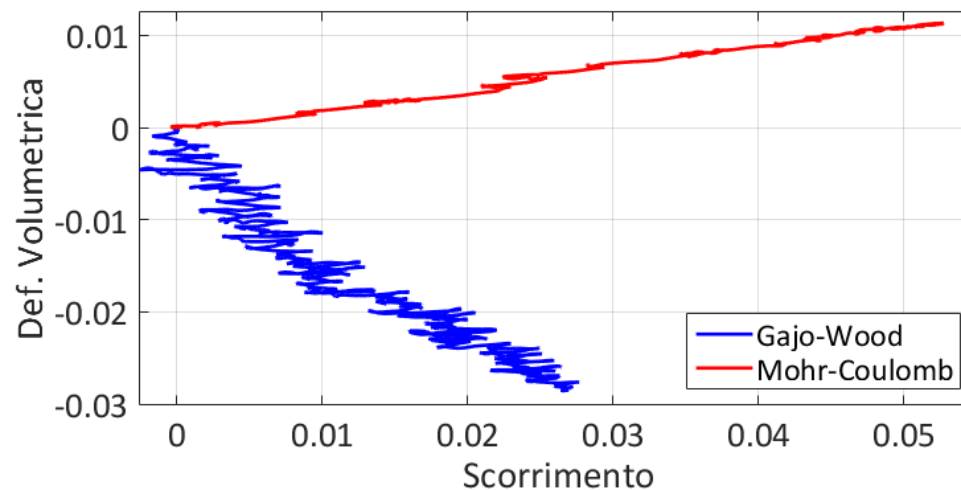
Prova di taglio semplice

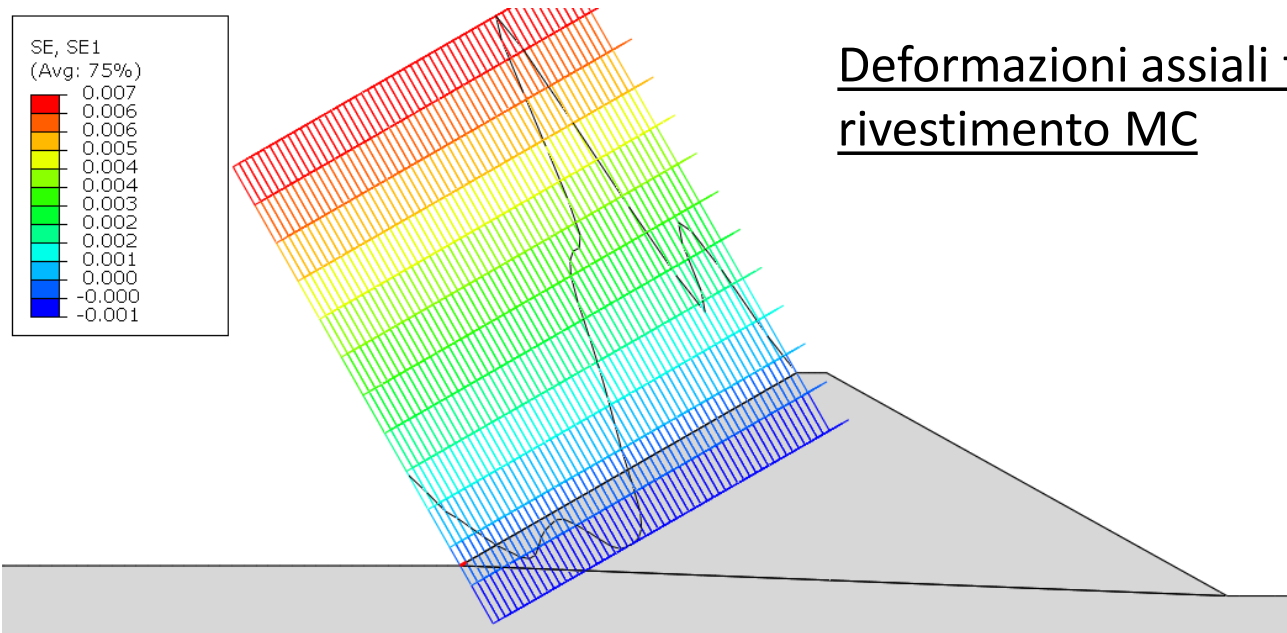


Prova triassiale drenata



Deformazione volumetrica durante l'evento sismico





Deformazioni assiali finali nel rivestimento MC

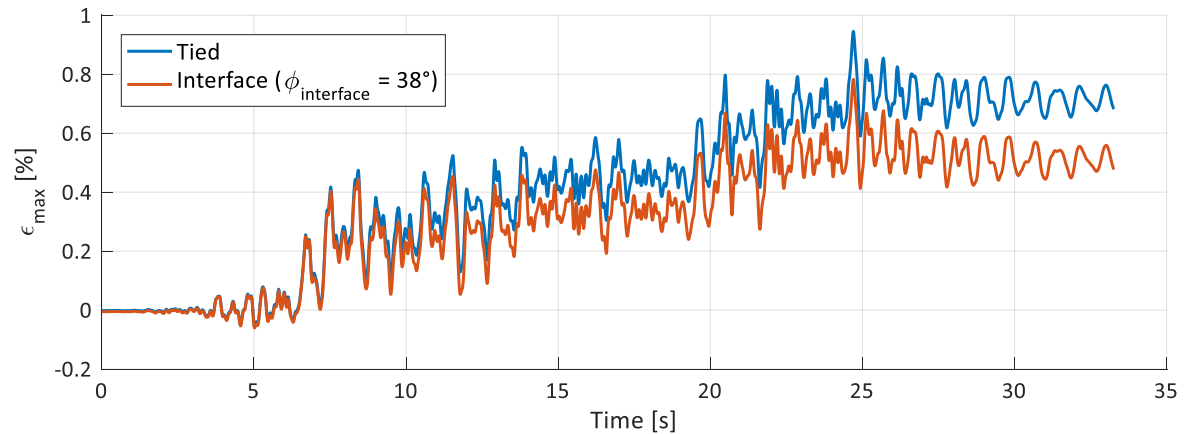
Deformazione	MC	GW
$\epsilon_{\text{tot,max}}$	0,9 %	0,41 %
$\epsilon_{\text{tot,residua}}$	0,75 %	0,39 %
$\epsilon_{\text{critica}}$	≈1 %	≈1 %

Le **problematiche** maggiori si riscontrano:

- in **prossimità della cresta** dove si rilevano le maggiori estensioni del rivestimento
- in **prossimità della base** dove un'eventuale infiltrazione d'acqua metterebbe a rischio il funzionamento degli impianti accessori alla diga oltre alla stabilità stessa del rilevato

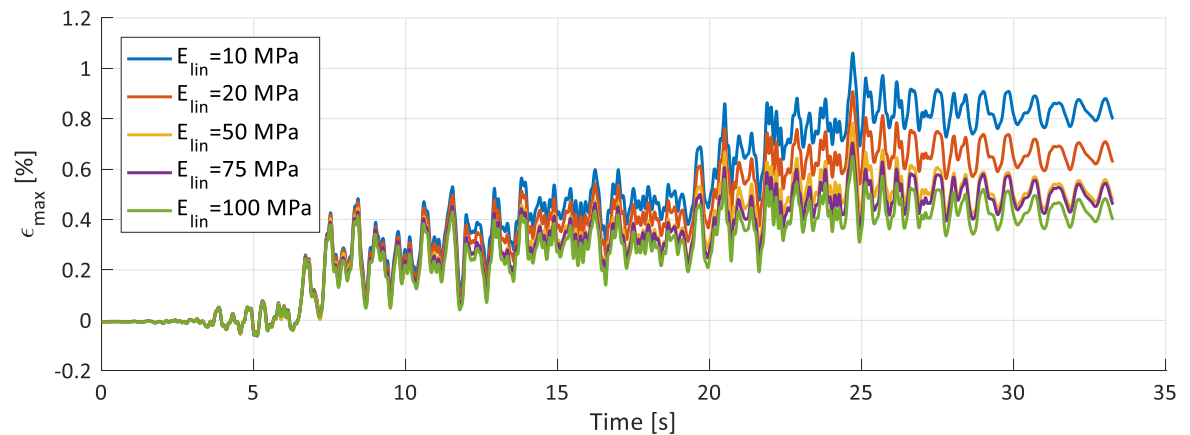
ATTRITO FRA DIGA E RIVESTIMENTO

Analisi	$\epsilon_{\text{tot,max}}$
Scorrimento nullo	0,95 %
$\phi = 38^\circ$	0,8 %
$\phi = 30^\circ$	0,8 %



RIGIDEZZA DEL RIVESTIMENTO

Analisi	$\epsilon_{\text{tot,max}}$
$E_{\text{lining}} = 10 \text{ MPa}$	1,1 %
$E_{\text{lining}} = 50 \text{ MPa}$	0,8 %
$E_{\text{lining}} = 100 \text{ MPa}$	0,68 %



IN CONCLUSIONE..

- Il rivestimento in conglomerato bituminoso ha proprietà meccaniche sufficienti a garantire la **sicurezza** della diga per eventi sismici di intensità pari a quella di nuovo progetto per la diga di Godey
- In generale il **modello MC** è affidabile per la stima degli **spostamenti orizzontali** della diga ma non è sufficientemente accurato nella stima degli spostamenti verticali
- Il **modello GW** stima correttamente il **comportamento del corpo diga** ma richiede un onere computazionale e di calibrazione dei parametri molto maggiore rispetto al modello MC

