



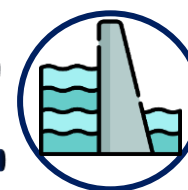
www.itcold.it
itcold@iol.it



ITCOLD - 2° Concorso fotografico

OPEN DAY ON DAMS

2022



Ing. Federico Bisci
Ing. Edoardo Costantini

www.studiosperi.it

fbisci@studiosperi.it
ecostantini@studiosperi.it

ASPETTI SISMICI

INDICE

1. VULNERABILITÀ SISMICA DELLE DIGHE
2. MECCANISMI DI COLLASSO
3. CASE HISTORIES
4. VERIFICA SISMICA
5. CONCLUSIONI
6. BIBLIOGRAFIA

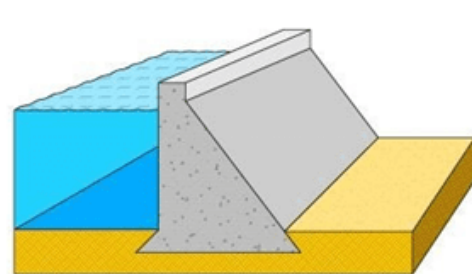


*Diga del Vajont (BL) (luglio 2021).
In alto la vista da monte.
In basso la «M di Müller».*

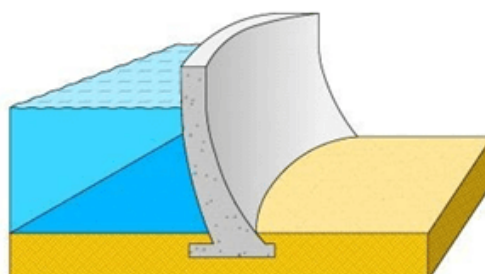
“(…) Tipicamente **le dighe hanno buone prestazioni in condizioni sismiche** a causa della loro natura. Anche se le dighe sono più resistenti, **questo non le rende immuni agli effetti dei carichi sismici**. I progettisti devono considerare l’impatto potenziale che i terremoti hanno su queste strutture.” (E.W. Taylor, Dam Safety Engineer, USACE).

“(…) Le **dighe non sono immuni ai danni provocati dagli eventi sismici** come comunemente è supposto.” (Chopra 1973).

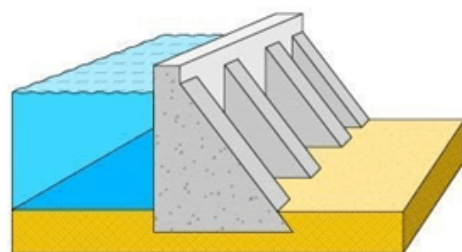
L’ICOLD nel 1983 ha analizzato circa **14’700 dighe**. E’ stato rilevato che 1’105 di queste dighe (**7.5%**) hanno subito **incidenti e ammaloramenti** di uno o più tipologie e 107 (**0.7%**) sono **collassate**. In alcuni casi la diga è stata completamente abbandonata e in altri riparata (Fell et al. 2014 Par. 20.2.2; ICOLD 1983)



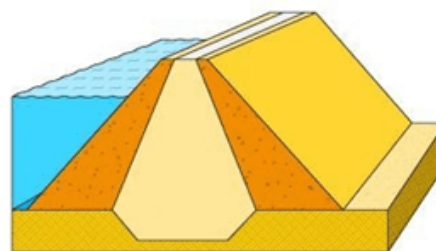
Gravity Dam



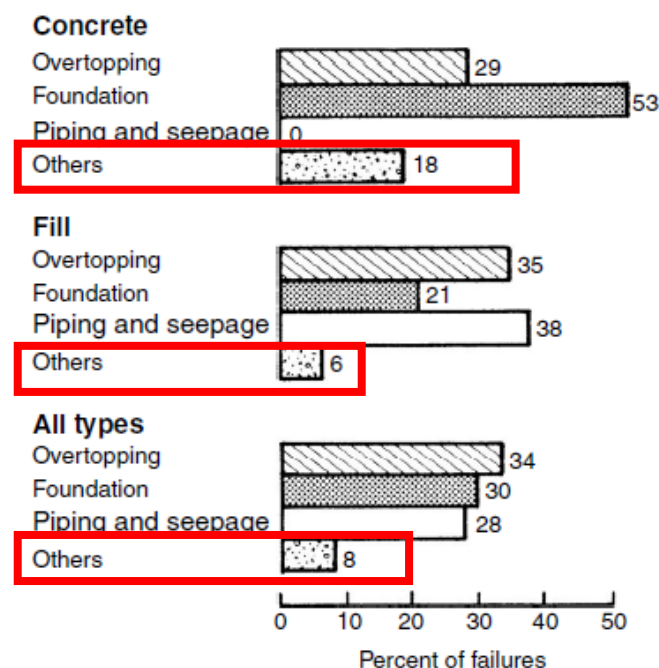
Arch Dam



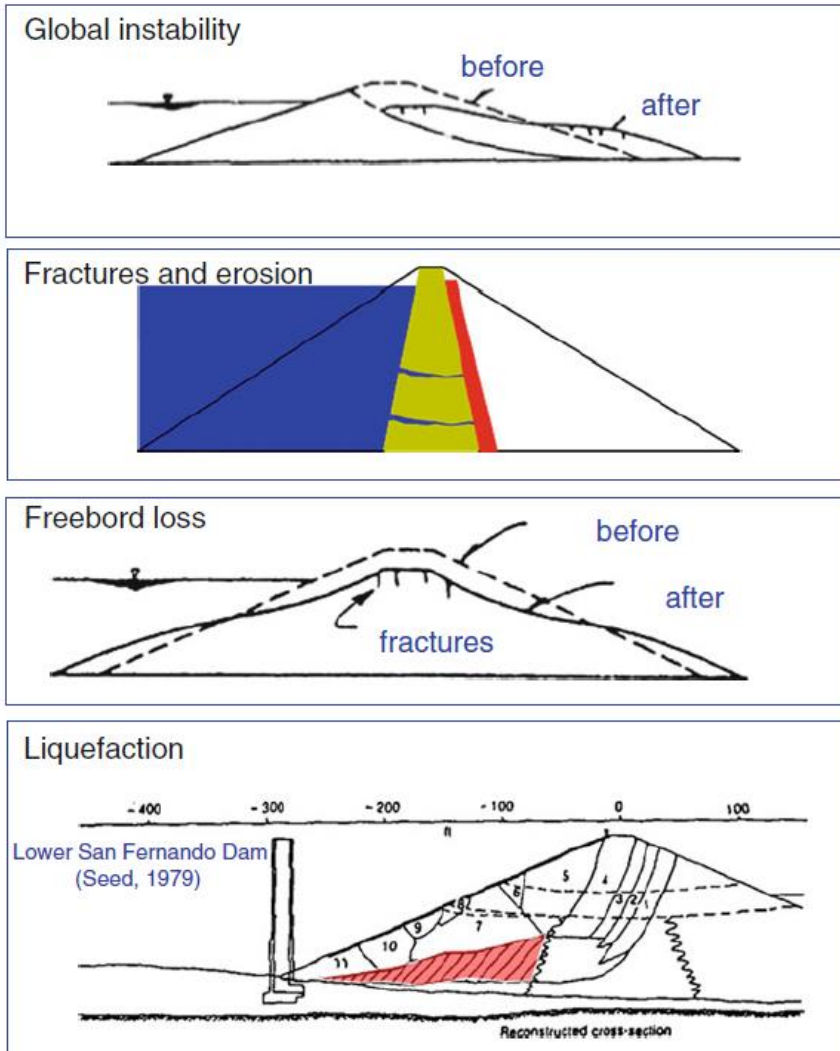
Buttress Dam



Earth Dam



DIGHE IN MATERIALI SCIOLTI



Pagano et al. 2012

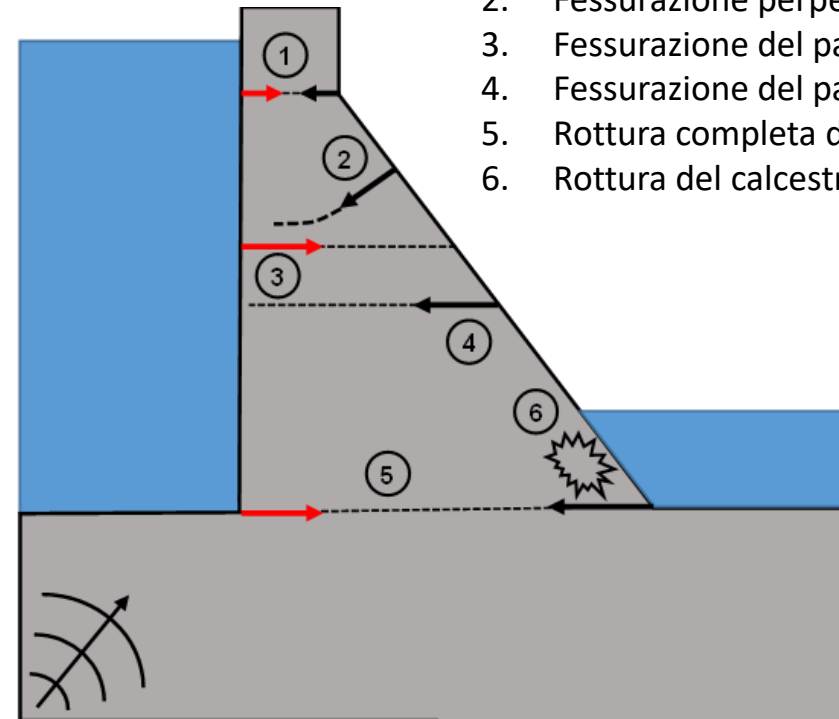
DIGHE A GRAVITA'

Meccanismi di collasso:

- Ribaltamento
- Scorrimento

Fenomeni d'innescio:

1. Fessurazione completa di un giunto;
2. Fessurazione perpendicolare al paramento di valle;
3. Fessurazione del paramento di monte (giunto);
4. Fessurazione del paramento di valle (giunto);
5. Rottura completa del giunto di base;
6. Rottura del calcestruzzo per compressione.

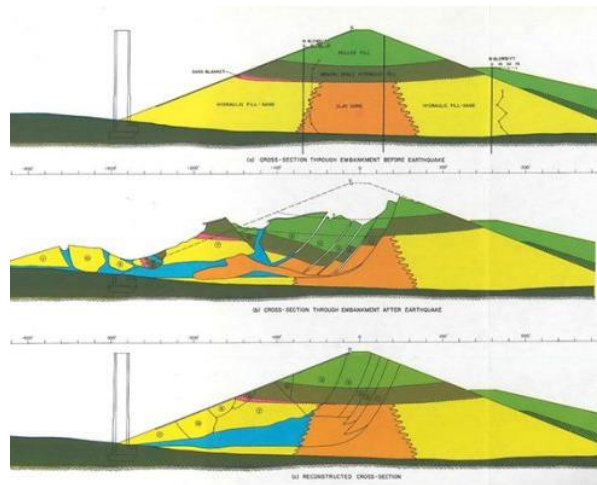


Leger et al. 2003

DIGHE IN MATERIALI SCIOLTI



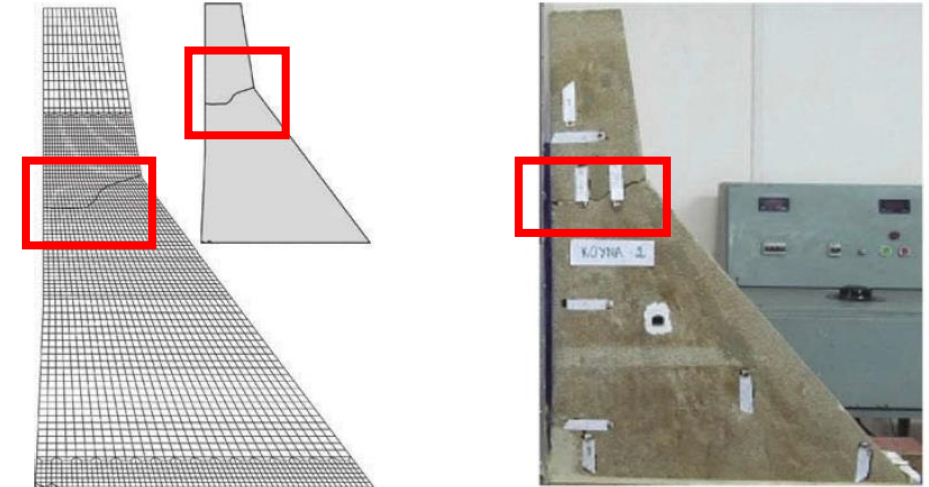
*Collasso della diga di Fujinuma (JP) per instabilità globale
(Tatsuoka et al. 2018)*



*Collasso della diga di Lower San Fernando (USA) per liquefazione
(Seed et. al 1989)*



DIGHE A GRAVITA'



*Danneggiamento della diga di Koyuna (IN) per fessure da trazione
(Chopra et al. 1973; Mridha et al. 2014)*



*Collasso della diga di Shi-Kang (TW) per ribaltamento
(Central Region Water Resources Office Taiwan)*

ATTIVITA' FONDAMENTALI:

1. **STORIA E STATO DELL'OPERA**
2. ANALISI DEL COMPORTAMENTO
3. PERICOLOSITA' SISMICA
4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI
5. MODELLAZIONE
6. GIUDIZIO DI AMMISSIBILITA'



Diga di Pescegallo (BG) (luglio 2021)



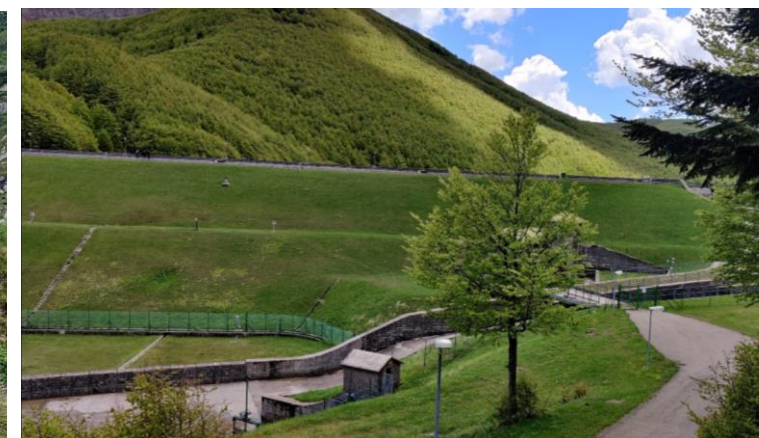
Diga di Roccasparvera (CN) (giugno 2021)



Diga di Monte Cotugno (PZ) (dicembre 2021)



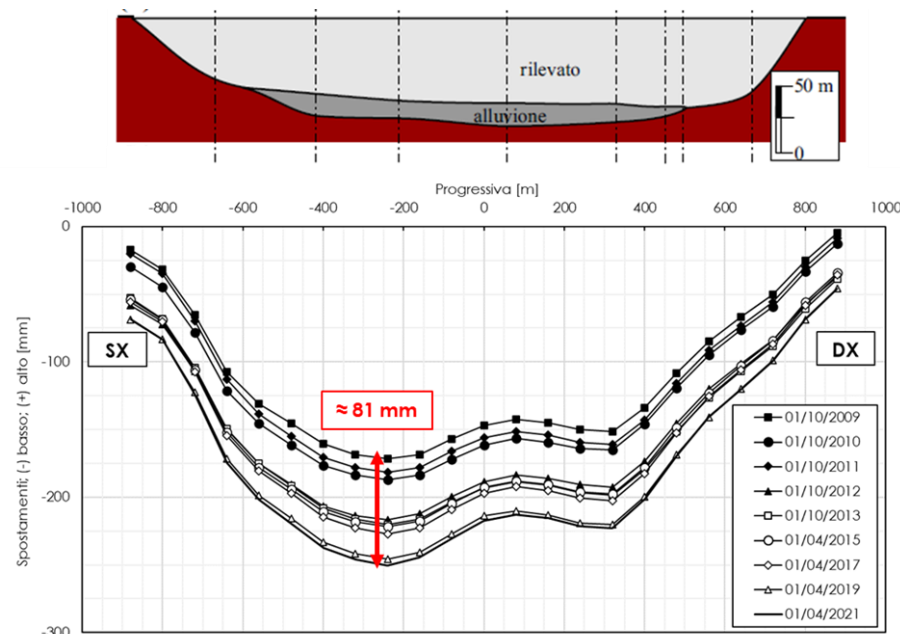
Diga di Sucotto (BG) (luglio 2021)



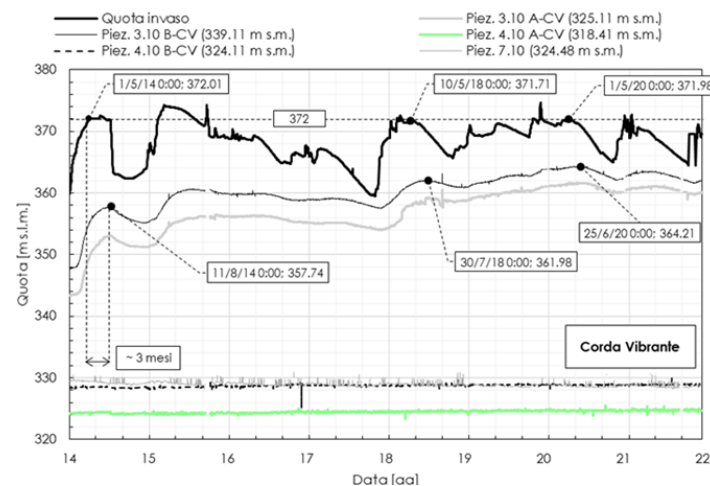
Diga di Paduli (PR) (giugno 2021)

ATTIVITA' FONDAMENTALI:

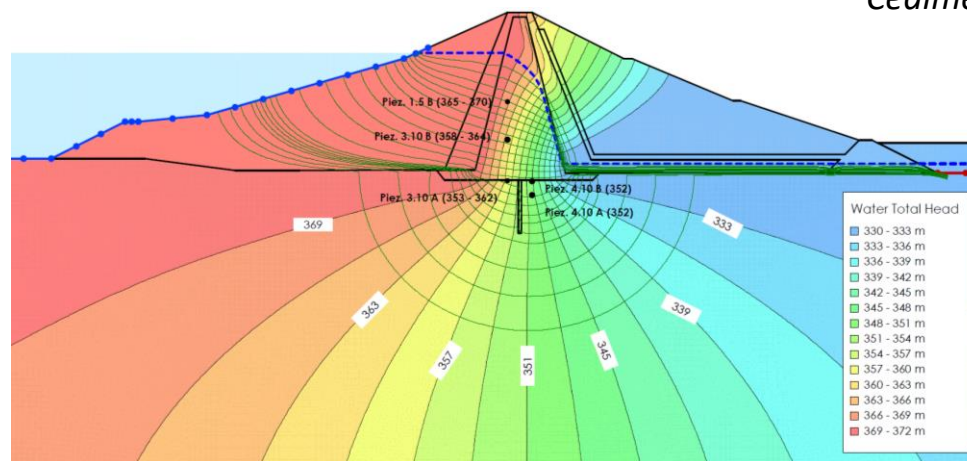
1. STORIA E STATO DELL'OPERA
2. ANALISI DEL COMPORTAMENTO
3. PERICOLOSITA' SISMICA
4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI
5. MODELLAZIONE
6. GIUDIZIO DI AMMISSIBILITA'



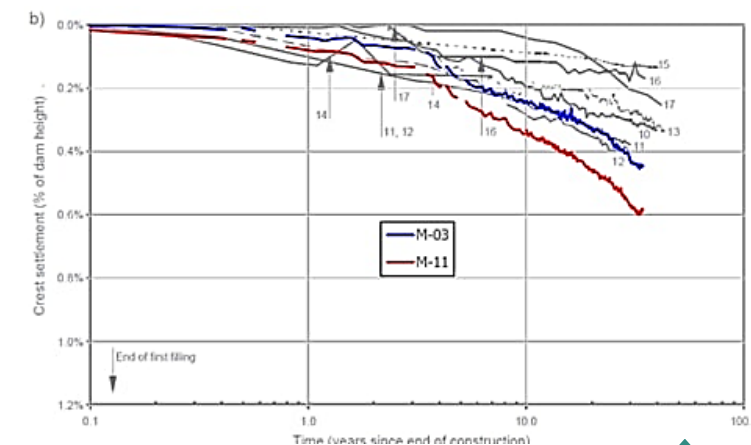
*Spostamenti verticali del coronamento della diga nel tempo.
(Diga di Monte Cotugno, PZ)*



Analisi delle letture piezometriche per ricostruzione del moto di filtrazione (Diga di Campolattaro, BN)

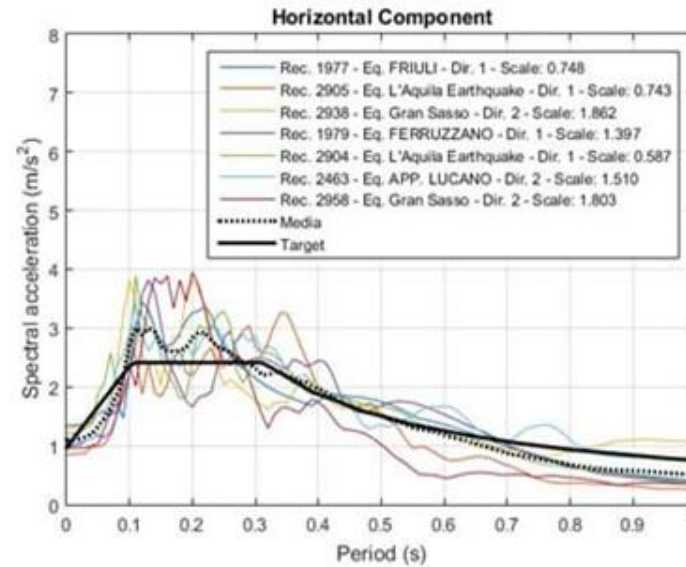


*Cedimento relativo del coronamento della diga nel tempo.
(Diga di Paduli, PR)*

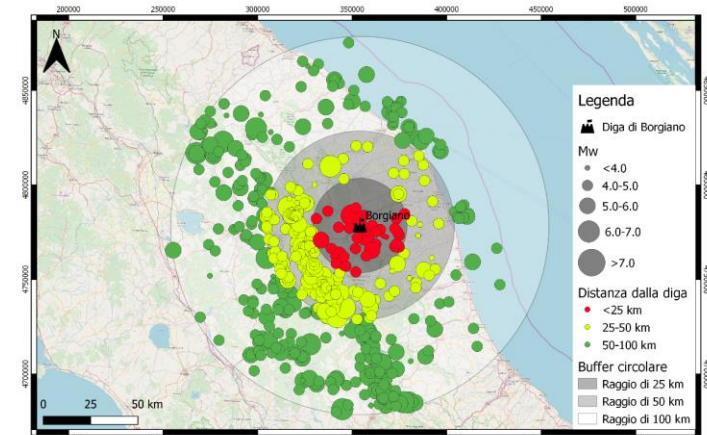


ATTIVITA' FONDAMENTALI:

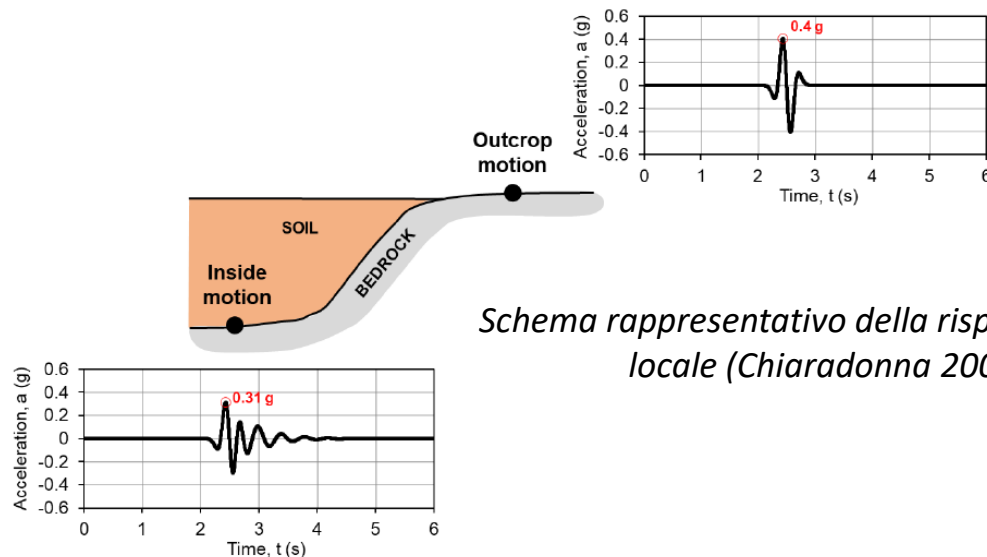
1. STORIA E STATO DELL'OPERA
2. ANALISI DEL COMPORTAMENTO
3. **PERICOLOSITA' SISMICA**
4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI
5. MODELLAZIONE
6. GIUDIZIO DI AMMISSIBILITA'



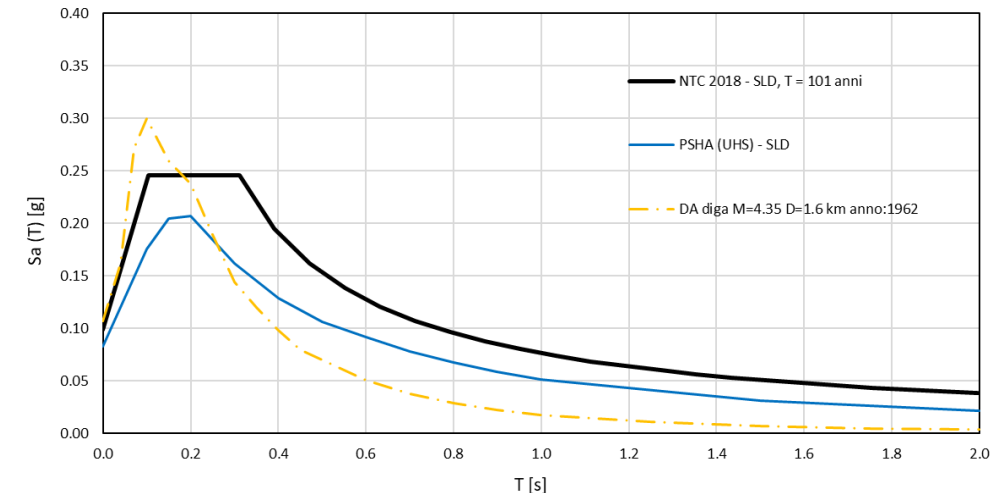
Selezione dell'input sismico
(diga di Borgiano, MC)



Mapa di pericolosità sismica
(diga di Borgiano, MC)



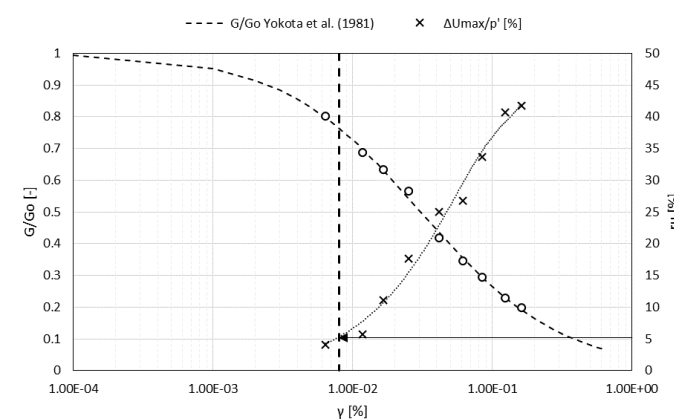
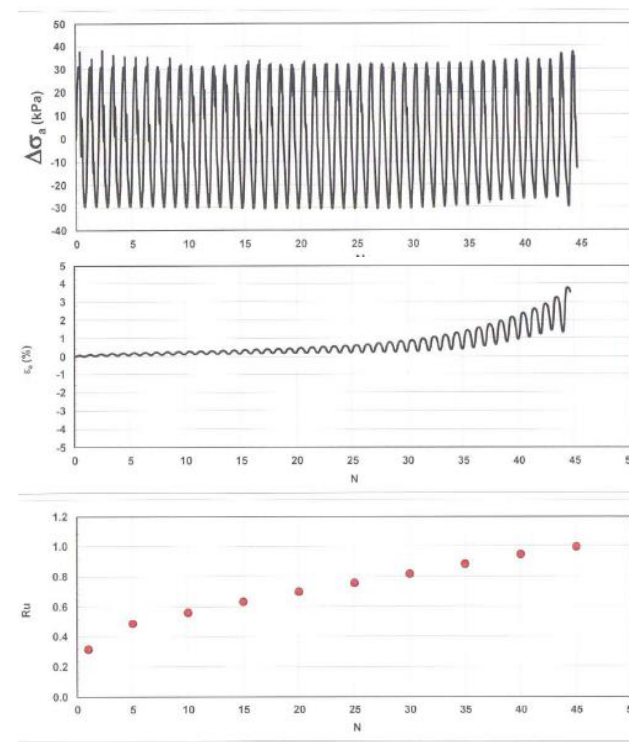
Schema rappresentativo della risposta sismica
locale (Chiaradonna 2002)



Definizione dell'azione sismica di base (diga di Borgiano, MC)

ATTIVITA' FONDAMENTALI:

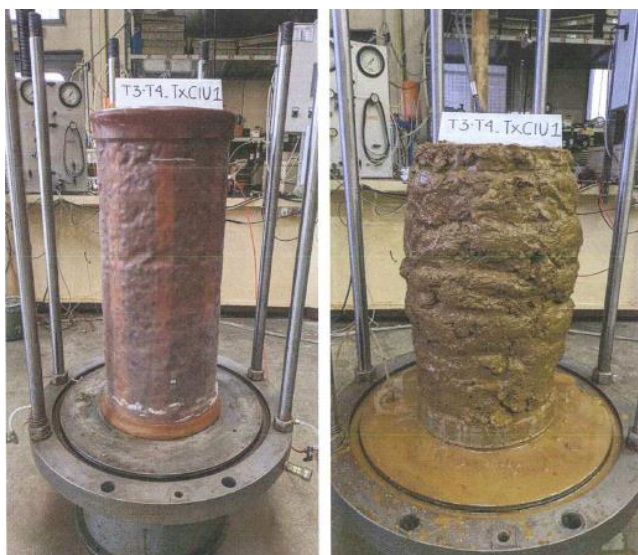
1. STORIA E STATO DELL'OPERA
2. ANALISI DEL COMPORTAMENTO
3. PERICOLOSITA' SISMICA
4. **CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI**
5. MODELLAZIONE
6. GIUDIZIO DI AMMISSIBILITA'



Risultati prove CTx (Diga di Selva, FR)



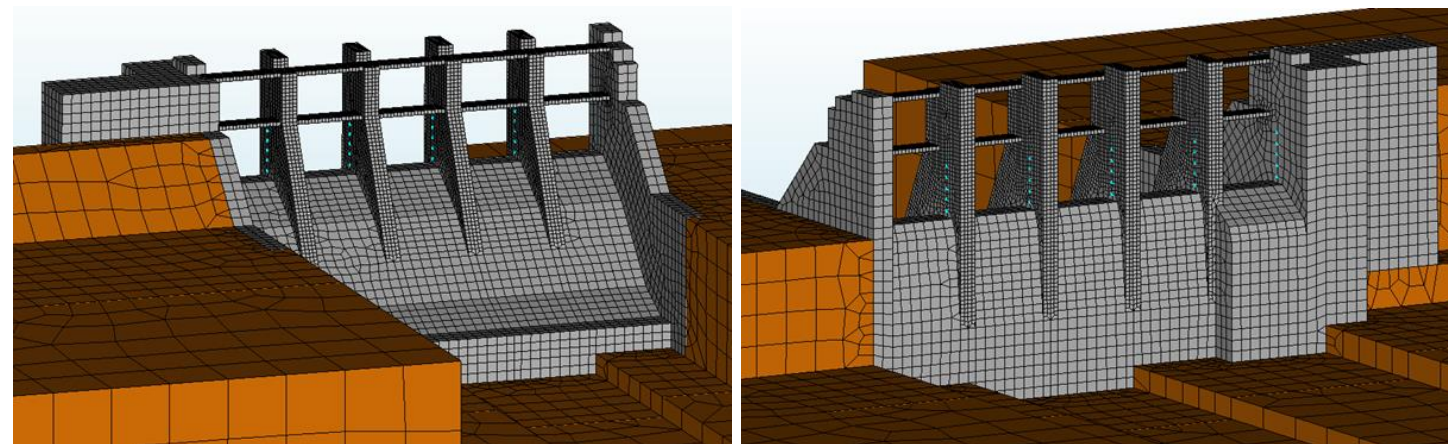
Risultati prova sonica (Diga di Cavia, BL)



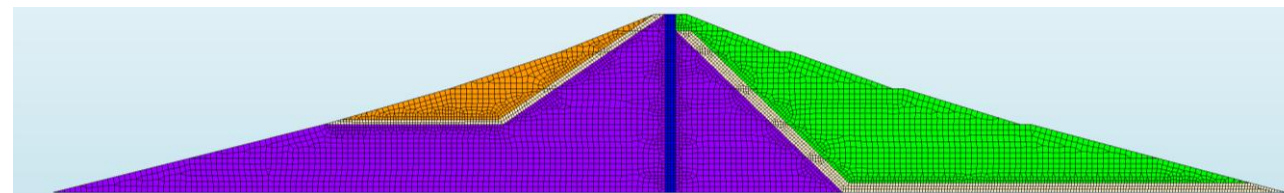
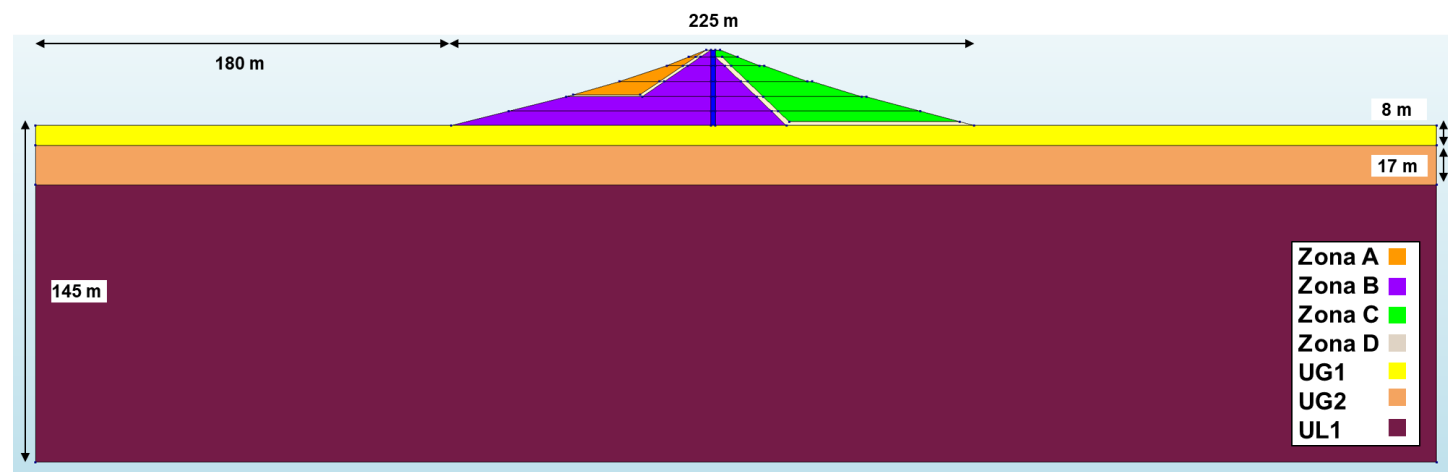
Tx CIU - Foto provino
pre e post rottura
(Diga di Selva, FR)

ATTIVITA' FONDAMENTALI:

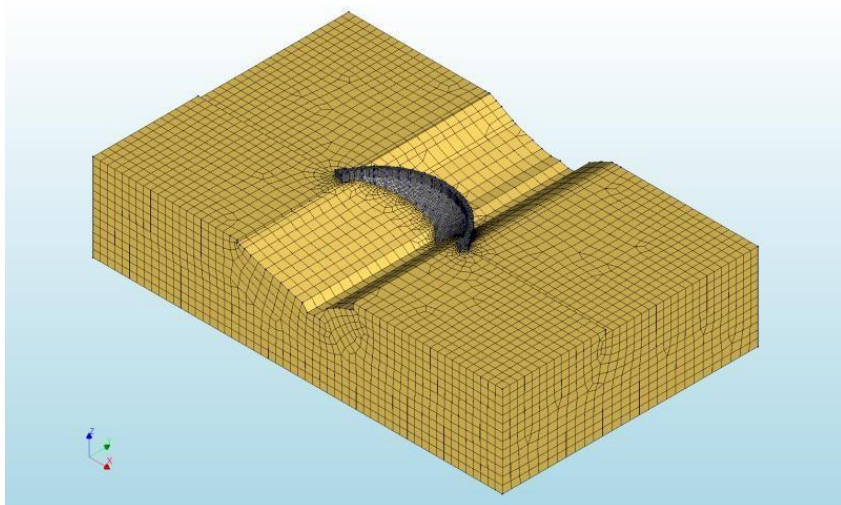
1. STORIA E STATO DELL'OPERA
2. ANALISI DEL COMPORTAMENTO
3. PERICOLOSITA' SISMICA
4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI
- 5. MODELLAZIONE**
6. GIUDIZIO DI AMMISSIBILITA'



Modello FEM3D per analisi dinamica lineare. Diga di Pontefiume (FR)



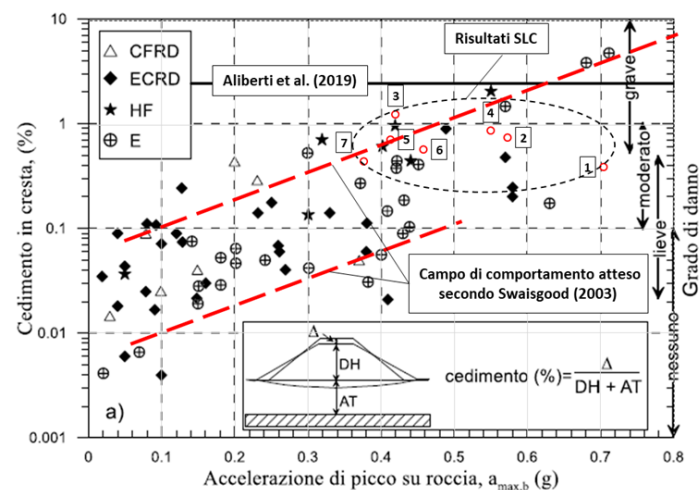
Modello FEM2D per analisi dinamica non lineare. Diga di Selva (FR)



Modello FEM3D per analisi dinamica lineare. Diga di Scalere (BO)

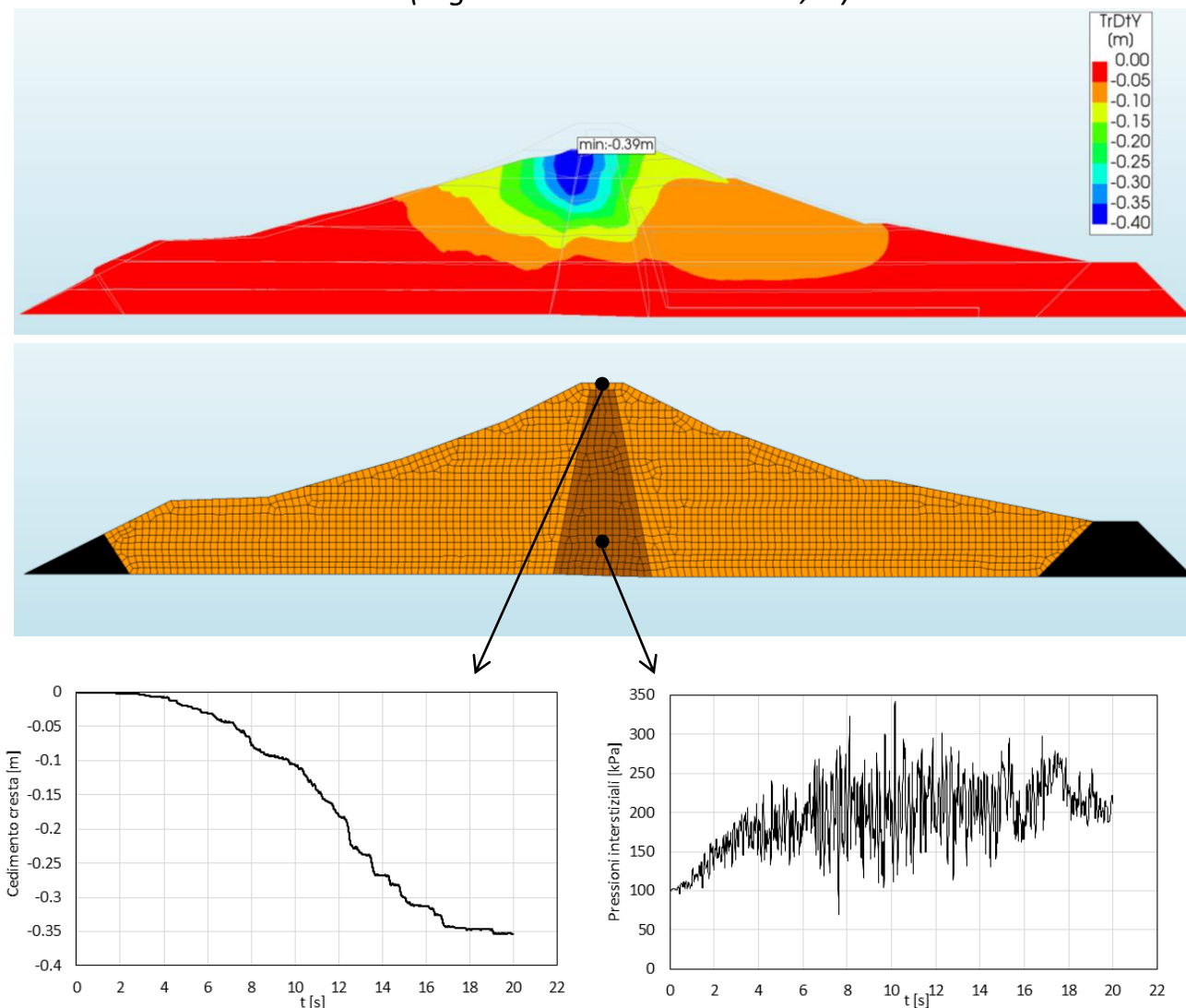
ATTIVITA' FONDAMENTALI:

1. STORIA E STATO DELL'OPERA
2. ANALISI DEL COMPORTAMENTO
3. PERICOLOSITA' SISMICA
4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI
5. MODELLAZIONE
6. **GIUDIZIO DI AMMISSIBILITA'**



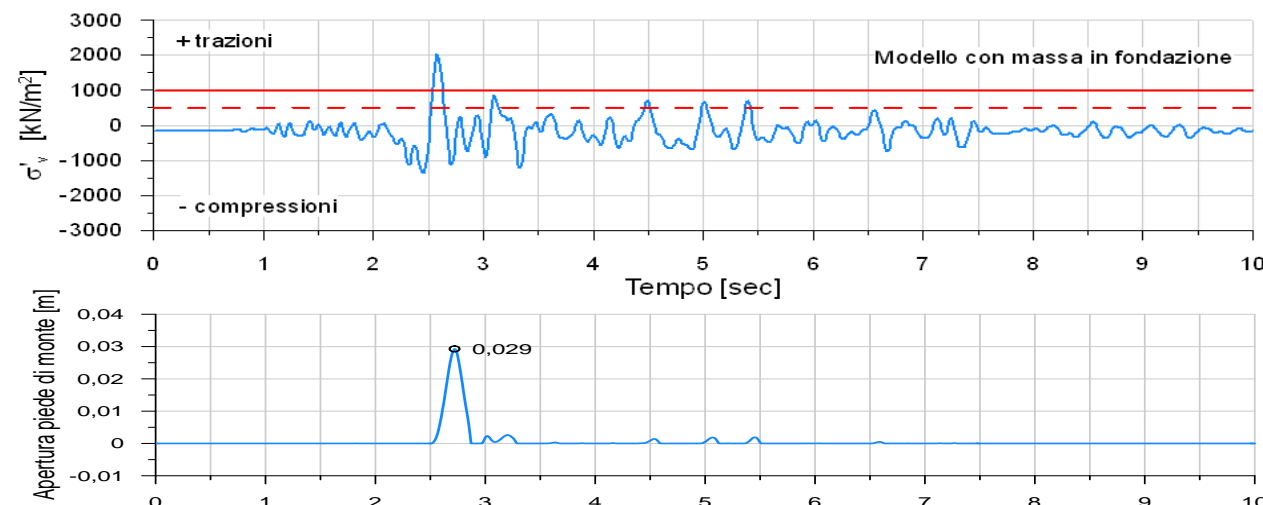
Cedimenti della cresta inseriti nell'abaco di Swaisgood (2003) adattato da Lanzo (2018) (Diga di Castel San Vincenzo, IS)

Campo degli spostamenti verticali al termine del sisma
(Diga di Castel San Vincenzo, IS)

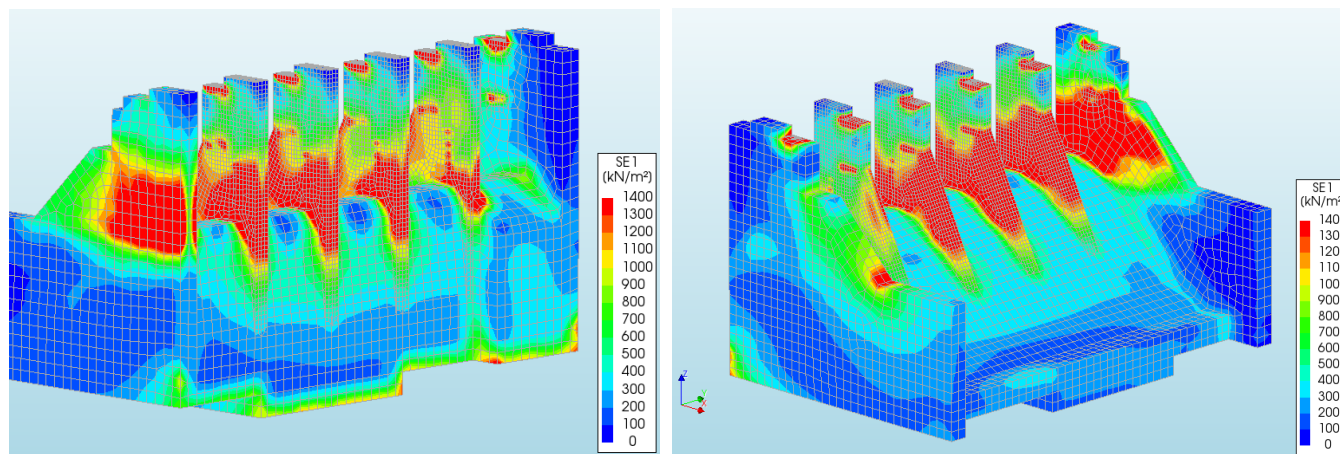


ATTIVITA' FONDAMENTALI:

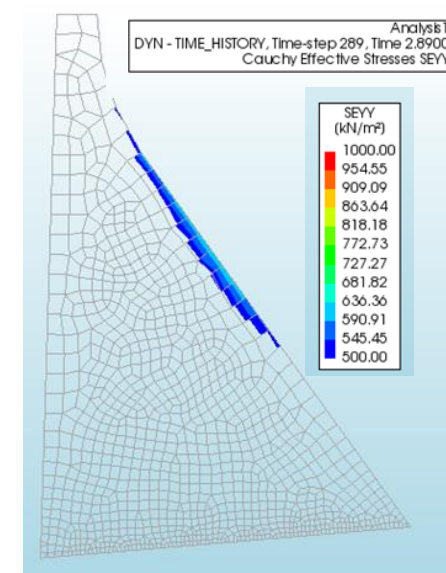
1. STORIA E STATO DELL'OPERA
2. ANALISI DEL COMPORTAMENTO
3. PERICOLOSITA' SISMICA
4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI
5. MODELLAZIONE
6. **GIUDIZIO DI AMMISSIBILITA'**



*Giudizio di ammissibilità dei risultati di un'analisi dinamica lineare.
Applicazione del criterio del DCR per il giunto di base (Ghanaat 2002, USACE 2003).
Diga di Gallo (CE).*



*Analisi dinamica lineare con modello FEM 3D. Tensioni principali di trazione.
Diga di Pontefiume (FR).*

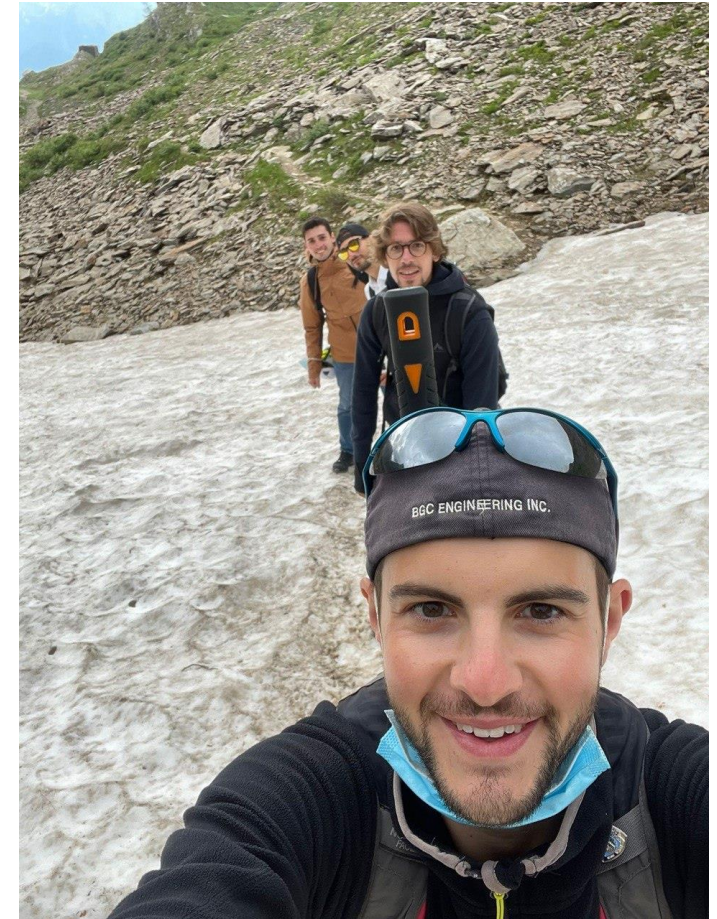


*Giudizio di ammissibilità dei risultati
di un'analisi dinamica con non
linearità concentrata (giunto di base).
Applicazione del criterio del DCR per i
giunti di ripresa.
Diga di Gallo (CE).*

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Si ringrazia ItCOLD YEF per l'opportunità.

Si ringraziano i colleghi di Studio Speri per l'aiuto e i contributi
(Dipartimento Dighe e Geotecnica e Dipartimento Geologia Ambiente e Territorio).





- Chiaradonna A. (2022). *Defining the Boundary Conditions for Seismic Response Analysis — A Practical Review of Some Widely-Used Codes*
- Chopra A.K., Chakrabarti P. (1973). *The Koyna earthquake and the damage to Koyna dam. Bulletin of seismological society of America. Vol 63, n. 2, pp. 381-397.*
- ICOLD (1983). *Deterioration of dams and reservoirs, examples and their analysis. International Commission on Large Dams, Paris.*
- Fell R., MacGregor P., Stapledon D., Bell G. and Foster M. (2014). *Geotechnical Engineering of Dam, 2nd Edition CRC Press/Balkema.*
- Ghanaat Y. (2004). *Seismic performance and damage criteria for concrete dams. Proceedings of the 3rd US-Japan Workoshop on advanced research on earthquake engineering for dams. San Diego, USA.*
- Pagano L., Sica S. (2012). *Earthquake early warning for earth dams: concepts and objectives.*
- Léger P., Leclerc M. and Larivière R. (2003). *“Seismic safety evaluation of concrete dam in Québec” Int. J. Hydropower and Dams 10 (2) 100-109.*
- Tatsuoka F., Tanka T., Ueno K., Duttine A., Mohri Y. (2018). *Soil properties and seismic stability of old and new Fujinuma dams.*
- Mridha S., Maity D. (2014). *Experimental investigation on nonlinear dynamic response of concrete gravity dam-reservoir system,” Engineering Structures 80, 289–297.*
- Seed H.B., Seed R.B., Harder L.F. & Jong H.L. (1989). *Re-evaluation for the lower San Fernando dam, Report 2, Examination of the post-earthquake slide of February 9, 1971. H. B. Seed, Inc., Department of the Army, ASCE.*
- Swaisgood, J. (2003). *Embankment dam deformations caused by earthquakes. Proceedings of Pacific conference on earthquake engineering.*
- USACE (2003). *U.S. Army Corps of Engineers. ENGINEERING AND DESIGN – Time-History Dynamic Analysis of Concrete Hydraulic Structures. EM 1110-2-6051, 22 December 2003.*