

CESI

Shaping a Better Energy Future



Percorso professionale nel campo delle dighe

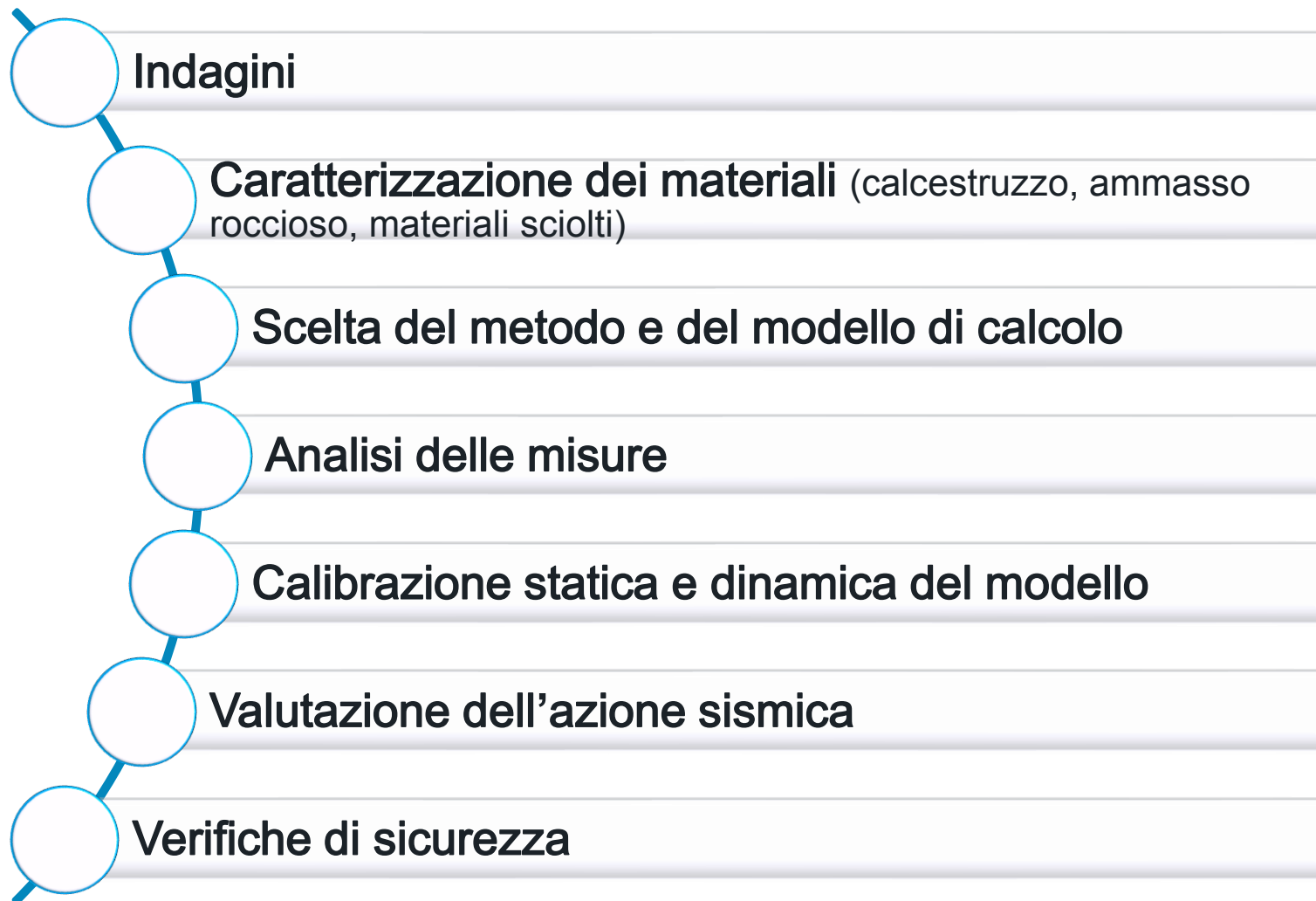
Riccardo Previtali
Santa Sofia, 09.05.2019

CESI

Shaping a Better Energy Future



VERIFICHE DI SICUREZZA DELLE DIGHE ESISTENTI



LE INDAGINI

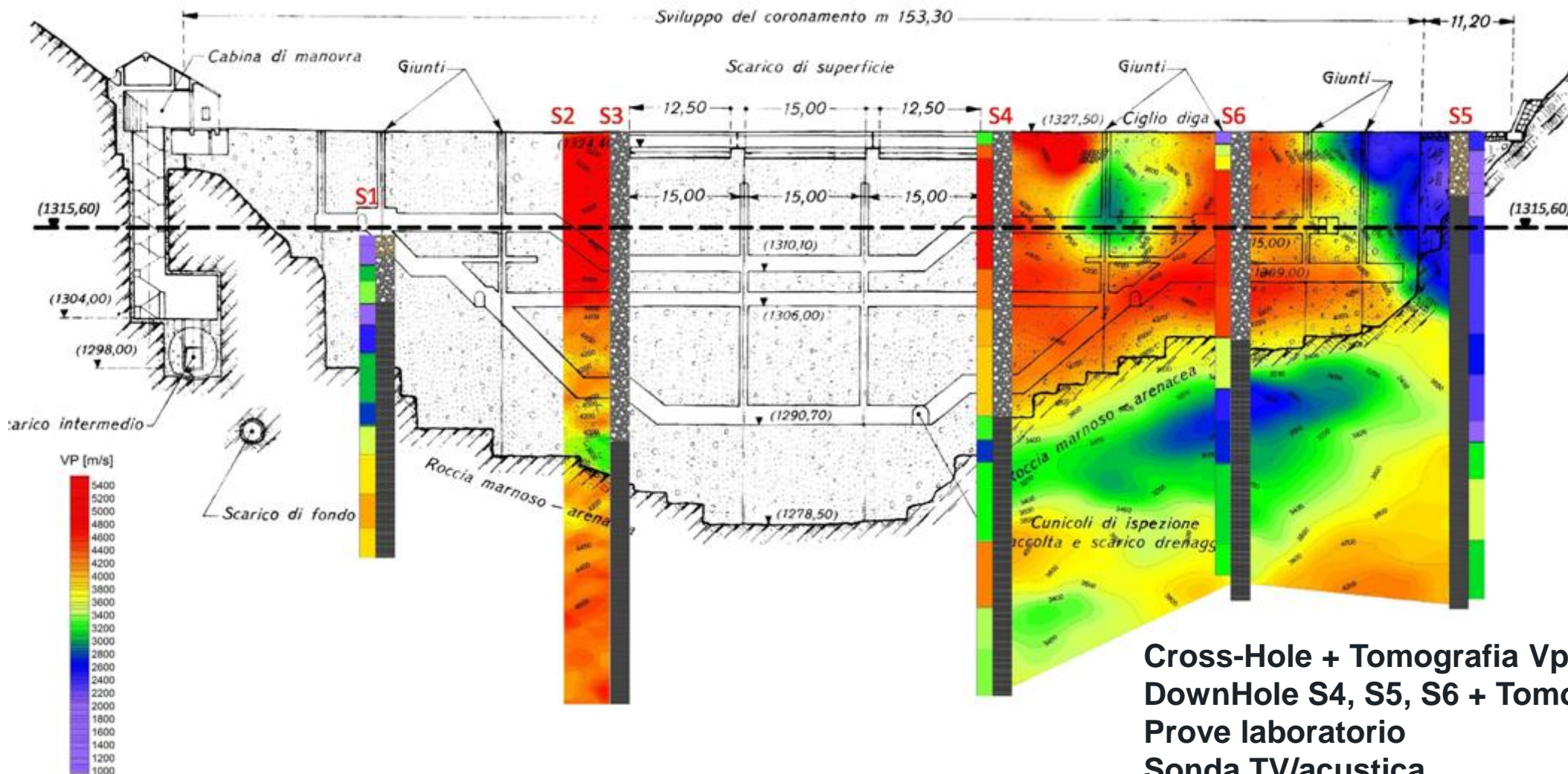
ALCUNE DELLE PROVE GENERALMENTE ESEGUITE

	Dighe in CALCESTRUZZO		Dighe in TERRA
	Calcestruzzo	Ammasso roccioso	Materiali sciolti
Prove di laboratorio	Prove di compressione monoassiale*	Prove di compressione monoassiale e triassiale*	Determinazione della massa volumica ed indice dei vuoti
	Prove di trazione	Determinazione della massa volumica e porosità	Prove edometriche
	Determinazione della massa volumica e porosità	Misura della velocità delle onde P	Prove di taglio
	Misura della velocità delle onde P	Analisi mineralogiche-petrografiche microscopiche	Prove triassiali
	Analisi mineralogiche-petrografiche microscopiche	Prova di taglio su giunto	Prove RC
Prove in sito	Prove dilatometriche	Indagini geostrutturali	Prove penetrometriche statiche
	Prove di permeabilità	Prove dilatometriche	Prove penetrometriche dinamiche
	Prove geofisiche	Prove di permeabilità	Prove di permeabilità
	-	Prove geofisiche	Prove geofisiche

*con misura delle deformazioni

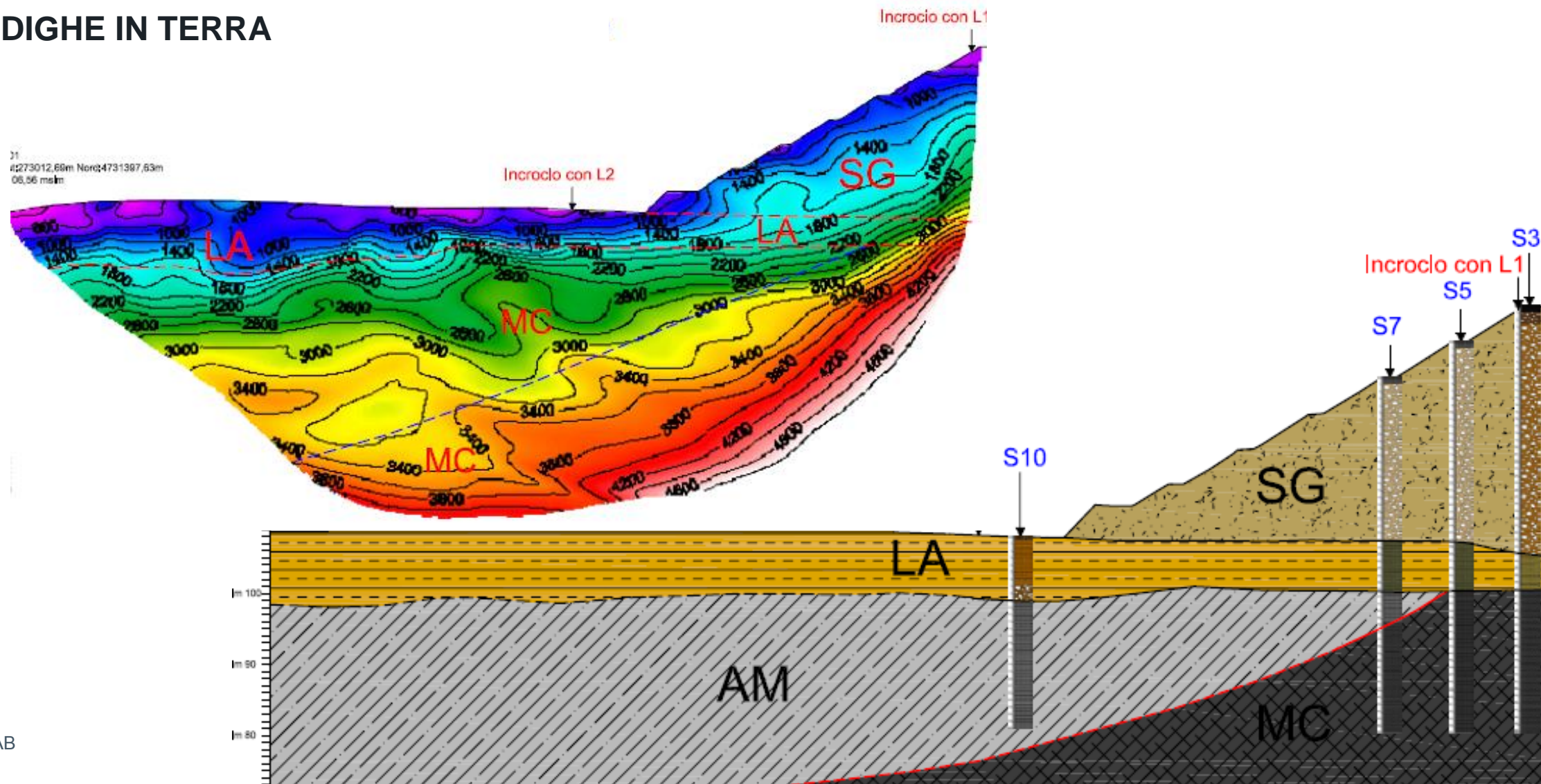
LE INDAGINI

DIGHE IN CALCESTRUZZO



LE INDAGINI

DIGHE IN TERRA



TAB

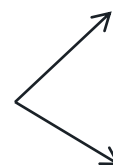
SCELTA DEL METODO DI CALCOLO

- **Metodi semplificati** (blocco rigido/equilibrio limite)
 - maggiore rapidità (possibilità di fare analisi parametriche)
 - meno dati di input
- **Metodi FEM lineari**
 - Analisi RSA/pseudostatiche
 - Analisi a Time History (con/senza fluido modellato esplicitamente)
- **Metodi FEM non lineari (di contatto / di materiale)**
 - Analisi a Time History (fluido modellato esplicitamente)



Analisi a T.H. – Ipotesi di calcolo

- Condizioni al contorno
- Modellazione dello smorzamento
- Modellazione dell'azione sismica



Massless (Clough, 1980). Metodo conservativo, adatto per sismi di medio-bassa intensità (Tan e Chopra, 1995)

Soil Structure Interaction (Direct Method, Wilson 2002) Si considera l'interazione inerziale terreno-struttura con la possibilità di simulare la dispersione delle onde sismiche nel terreno per radiazione.

SCELTA DEL MODELLO DI CALCOLO

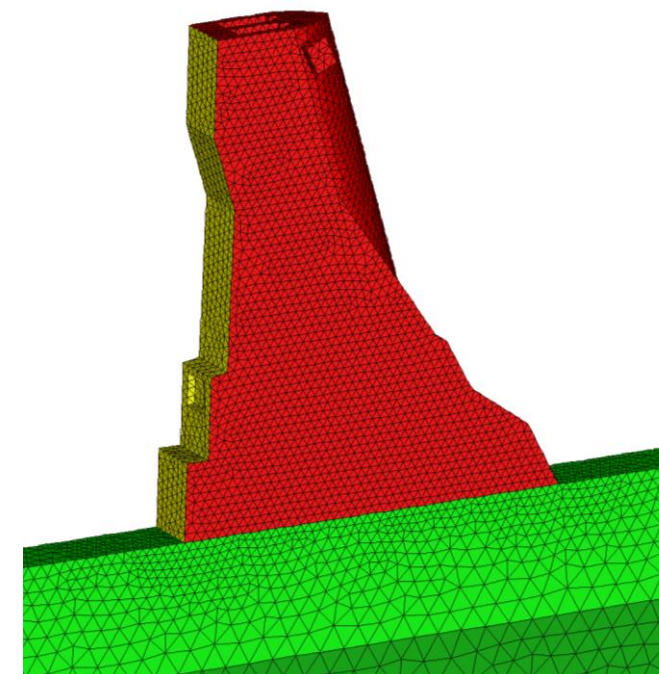
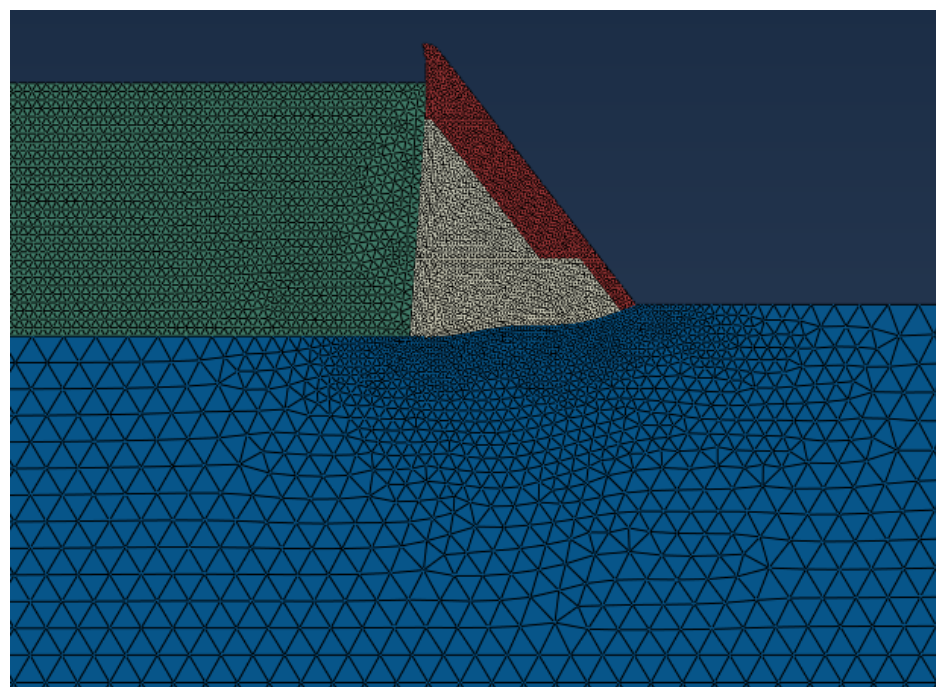
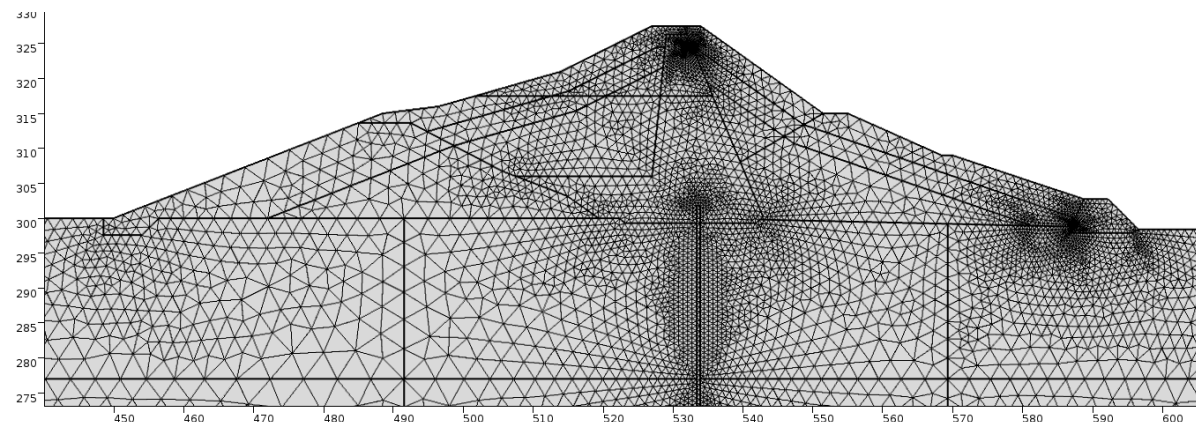
Dighe in terra → Modello 2D, Plane Strain

Dighe in calcestruzzo

- Geometria
- Comportamento dell'opera in esercizio



Modello 2D, Plane Strain
Modello 3D



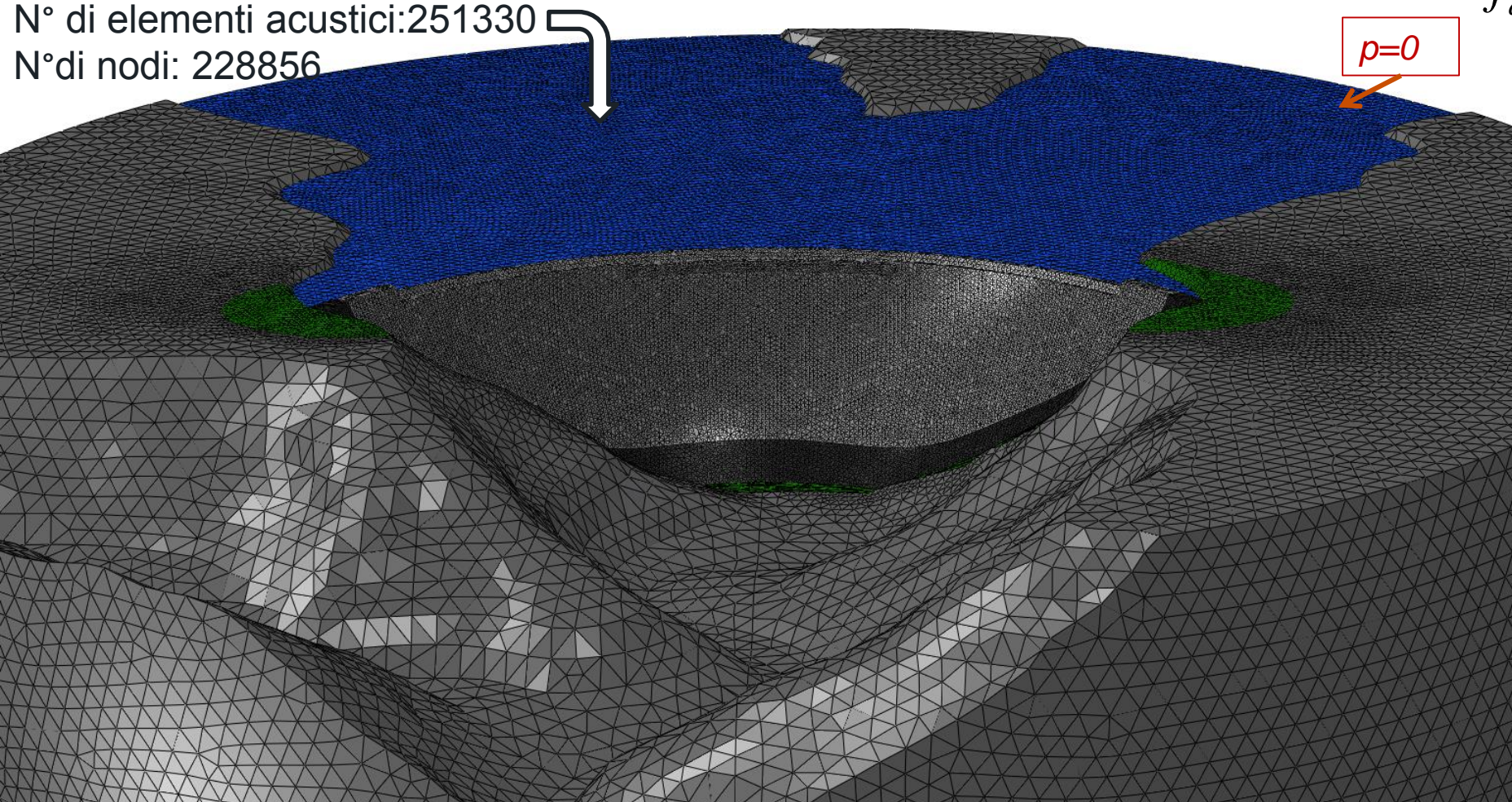
SCELTA DEL MODELLO DI CALCOLO

IL MODELLO DELLA DIGA DI RIDRACOLI

N° di elementi finiti: 1237361

N° di elementi acustici: 251330

N° di nodi: 228856



$$\frac{f_{invaso}}{f_{diga-vuoto(sym.mode)}} < 1.5$$

Effetti dinamici non trascurabili legati alla compressibilità dell'acqua

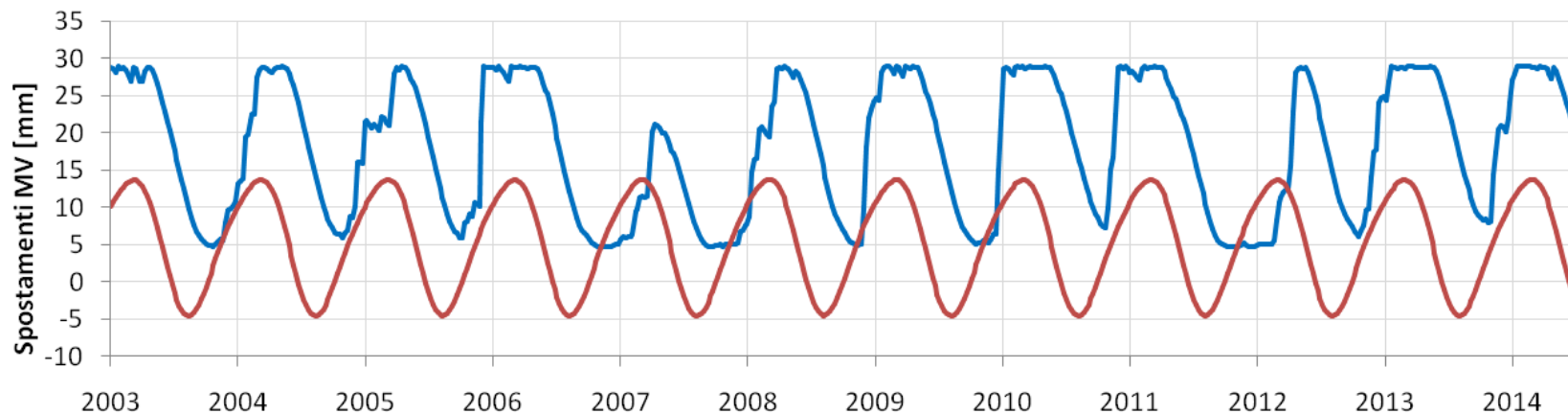
Fluid-structure interaction

- Contatto riflettente tra roccia e bacino
- Accopp. acustico tra diga e bacino
- Assenza di riflessioni sui bordi esterni
- Condizione di pelo libero in superficie

ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO IN ESERCIZIO

LA CALIBRAZIONE STATICA

ANALISI DATI DI MONITORAGGIO: → Misure Idro-meteo, deformative, piezometriche.



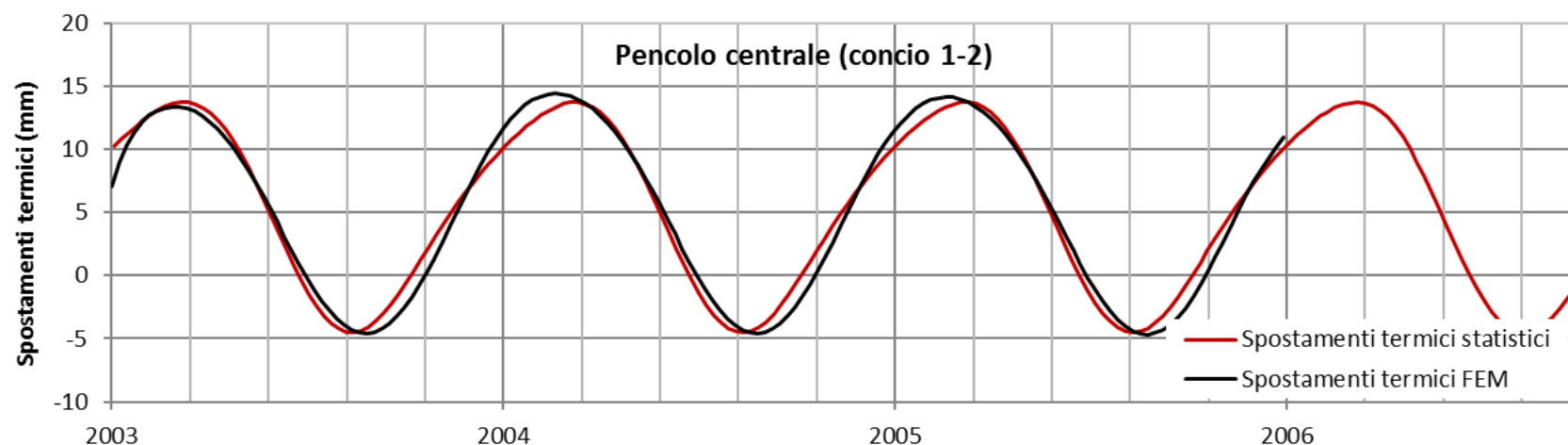
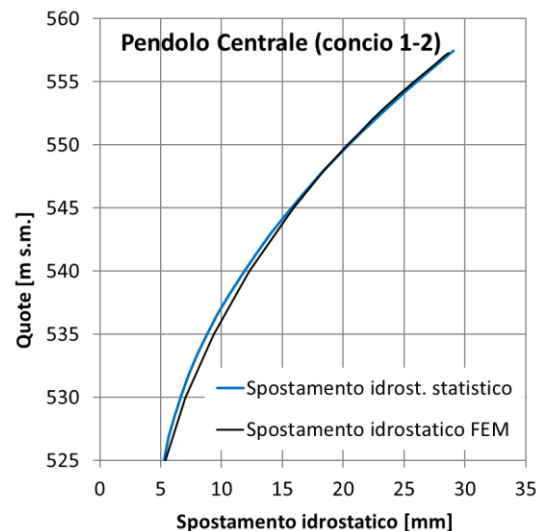
MODELLO STATISTICO:



Disaccoppiamento
"grandezze causa"

Blu = Invaso

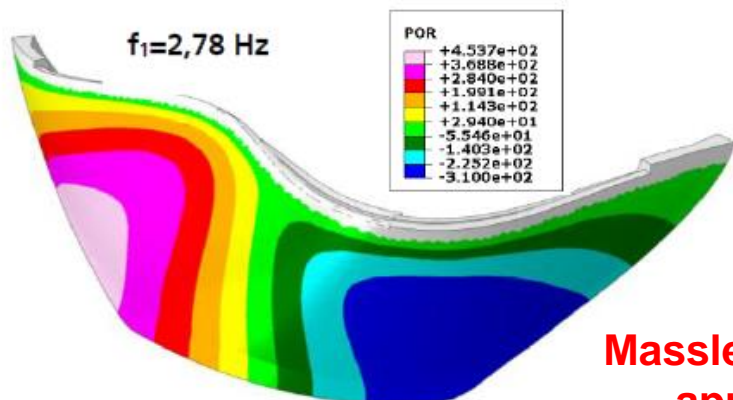
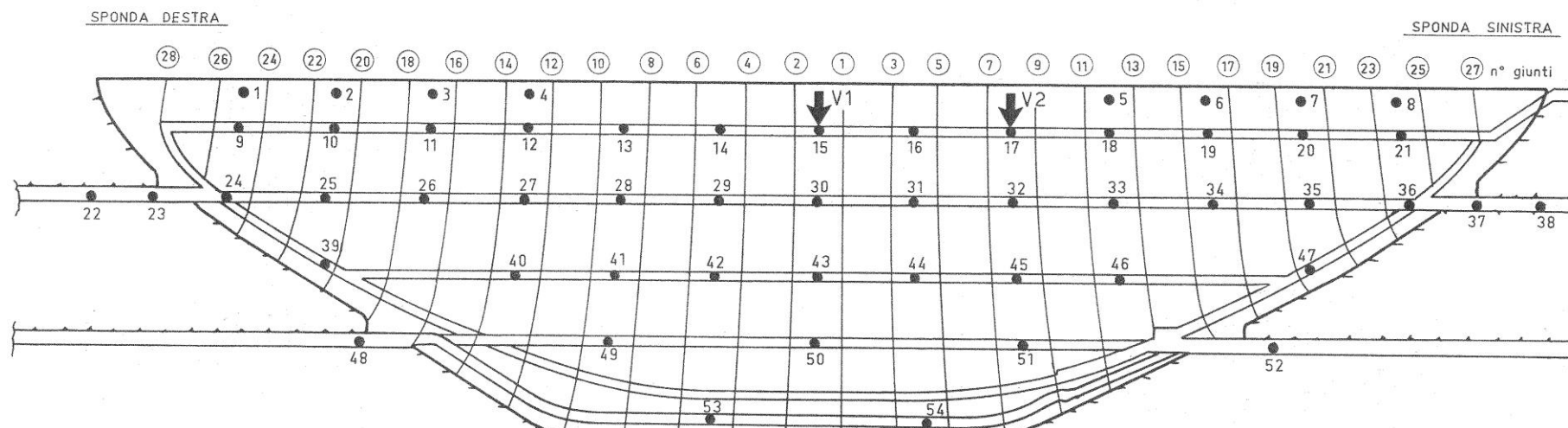
Rosso = Temperatura



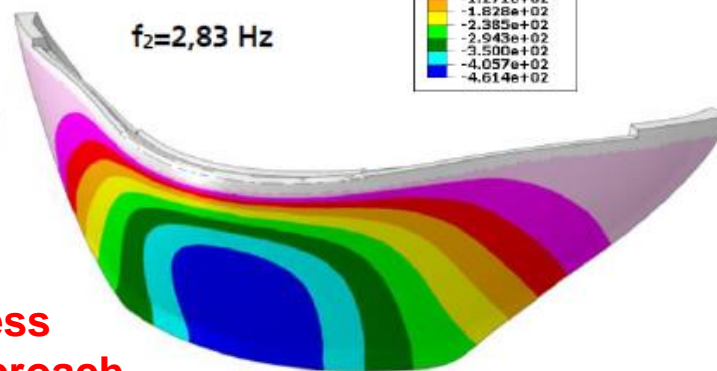
ANALISI DEL COMPORTAMENTO DINAMICO MODALE

CALIBRAZIONE DINAMICA

Prove di vibrazione forzata – Ubicazione posizioni di eccitazione e misura. Ismes, 1987 (w.l.=551.5 m s.l.m.)



**Massless
approach**



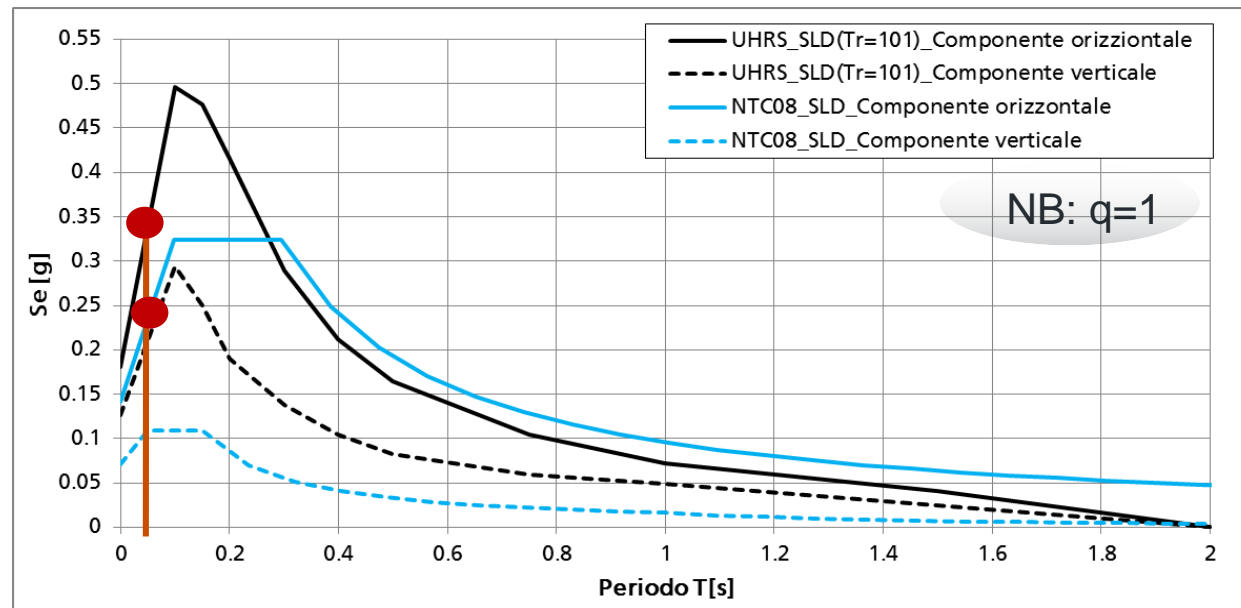
#	frequenze sperimentali	frequenze calcolate
	[Hz]	[Hz]
1	2,82	2,78
2	2,84	2,83
3	3,58	3,78
4	3,84	3,78
5	4,80	4,75

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

NTD 2014

“...Per le dighe ubicate in aree per le quali l'azione sismica di progetto per un $TR = 475$ anni deve essere riferita ad un valore $a_g > 0.15 g$ (come definito nelle NTC), è necessario lo studio sismotettonico del sito, da cui fare derivare l'azione sismica di progetto, i cui effetti non devono comunque risultare meno gravosi di quelli corrispondenti all'azione sismica definita nelle NTC, relativamente a sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale....”

Per grandi dighe di importanza strategica (uso idroelettrico o potabile)
 $V_n \geq 50$ anni – $C_u = 2$ – $V_R = 100$ anni



SLD ($P_{VR}=63\%$): $Tr=101$ anni

Danni riparabili senza rilascio incontrollato d'acqua

SLC ($P_{VR}=5\%$): $Tr=1950$ anni

Prevenzione del collasso della struttura

Analisi a Time History

- Dighe in CLS:
min **3 accel.** naturali spettrocompatibili
- Dighe in TERRA:
min **5 accel.** naturali spettrocompatibili

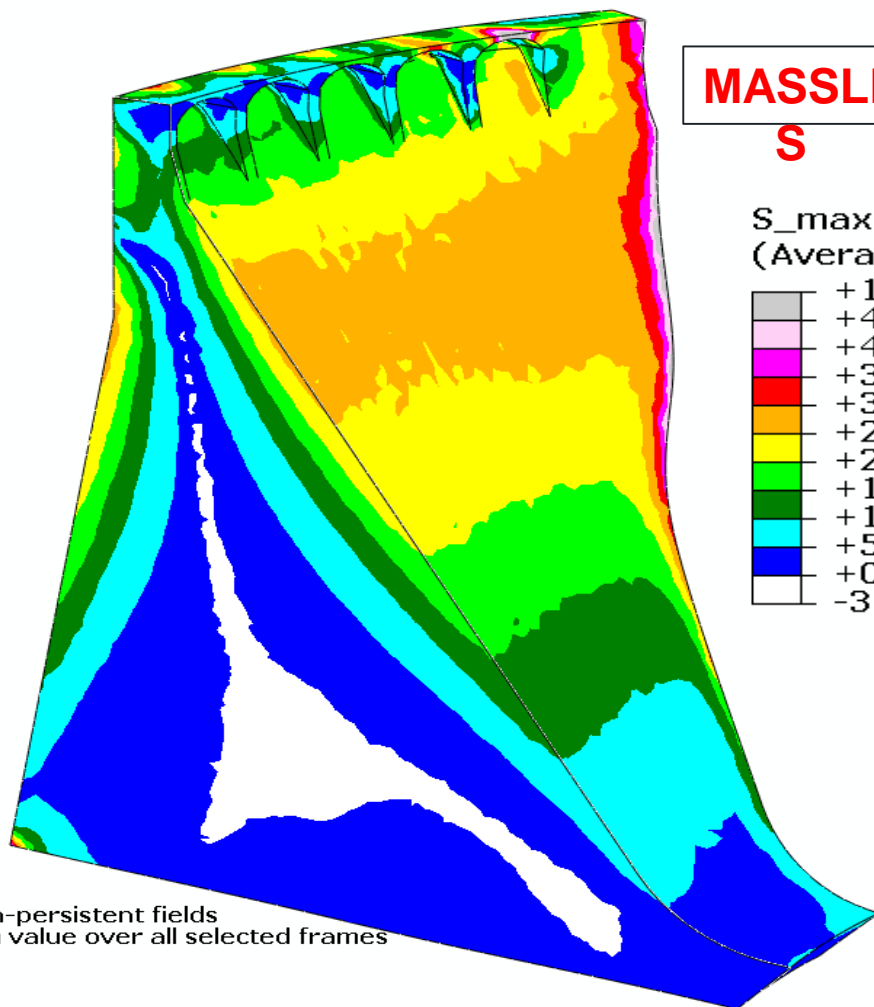
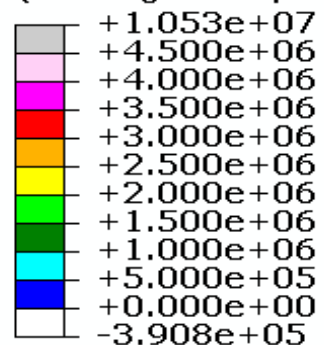
VERIFICHE DI SICUREZZA

CONFRONTO TRA DUE METODI DI CALCOLO

MASSLES

S

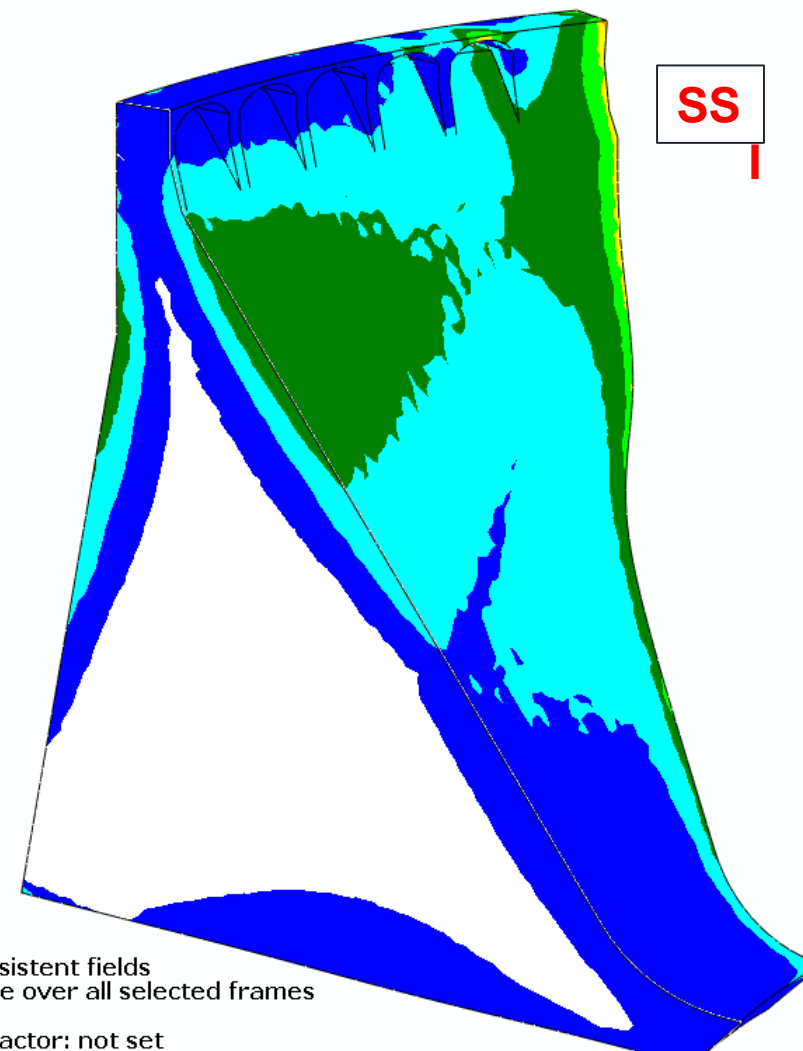
S_max, Max. Principal
(Average-compute)



n-persistent fields
n value over all selected frames

SS

I



n-persistent fields
n value over all selected frames

Factor: not set

Grazie per l'attenzione



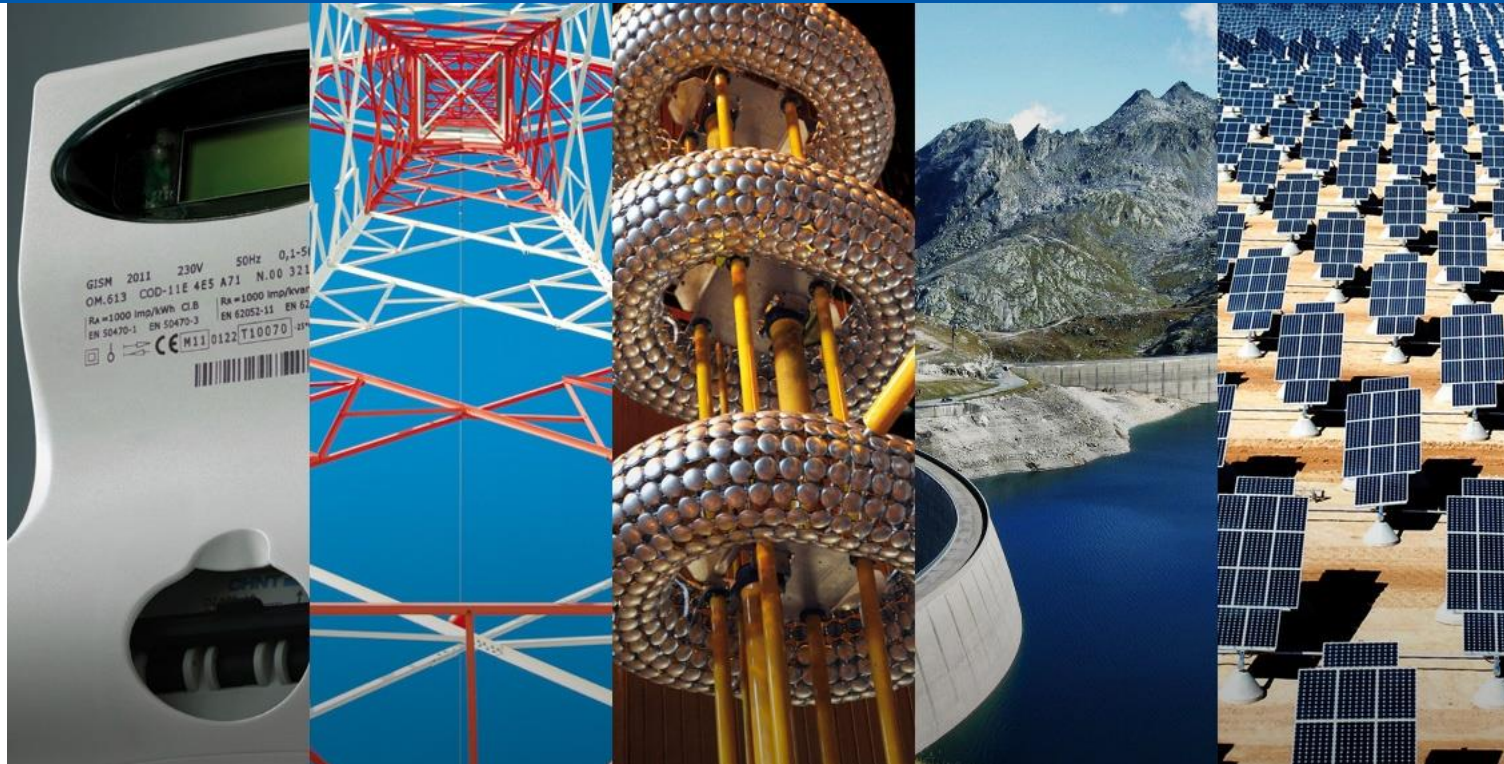
riccardo.previtalli@cesi.it



CESI

Testing • Consulting • Engineering • Environment

www.cesi.it



Milan • Berlin • Mannheim • Dubai • Abu Dhabi • Rio de Janeiro • Santiago de Chile • Bogotá •
Knoxville • Washington DC