



Evento realizzato in collaborazione con
Regione Piemonte



PROGETTO RESBA (REsilienza sugli SBArramenti)
SBARRAMENTI ARTIFICIALI NEL TERRITORIO
TRANSFRONTALIERO ITALIA-FRANCIA

Seminario tecnico

Rischi naturali in relazione agli sbarramenti artificiali

Rischio sismico

**Politecnico di
Torino**

27 novembre 2019



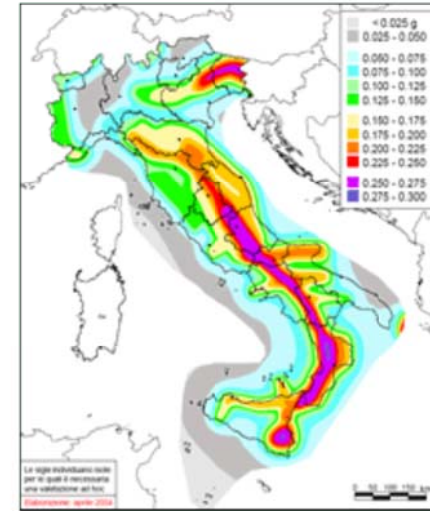
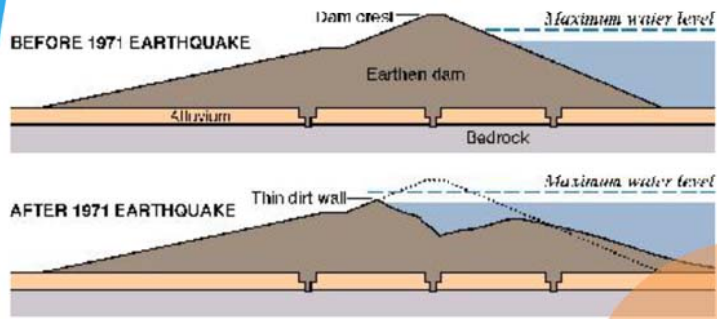
Ph.D. R.M. Cosentini, Prof. S. Foti

**POLITECNIC
O DI**

- ❑ Motivazione dello studio e caratteristiche dei piccoli invasi
- ❑ Approccio semplificato per la valutazione della vulnerabilità sismica
- ❑ Approccio avanzato di valutazione della vulnerabilità sismica
 - Analisi numeriche dinamiche avanzate
 - Modello semplificato
 - Ulteriori studi
 - Caso studio: diga comune di Briaglia (CN)
 - Caratterizzazione della diga
 - Definizione del modello numerico
- ❑ Sviluppi futuri

Motivazione dello studio e Caratteristiche dei piccoli invasi

$$R = P \times V \times E$$

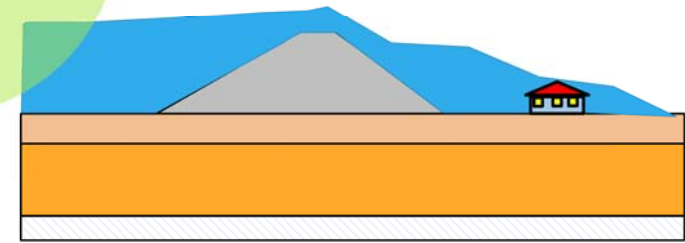


Pericolosità

Rischio

Vulnerabilità

Esposizione



Motivazione dello studio e Caratteristiche dei piccoli invasi

Vulnerabilità sismica

Modello di analisi

Metodi di analisi

- Metodi pseudo-statici
- Dinamici semplificati
 - Accoppiati
 - Disaccoppiati
- Dinamici avanzati
 - Tensioni totali
 - Tensioni efficaci
 - Accoppiati
 - Disaccoppiati

Livello di conoscenza

Proprietà e
caratteristiche
dell'opera

Analisi
storica - critica

Rilievo
geometrico

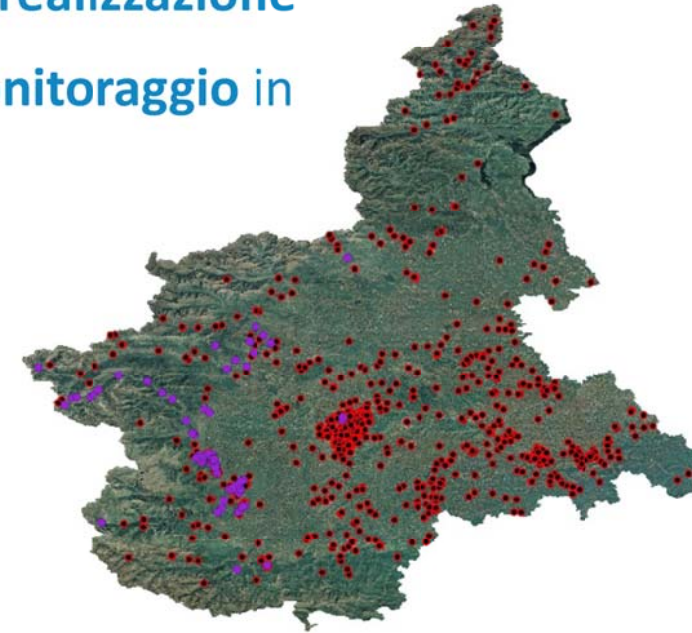
Caratterizzazione
meccanica dei
materiali

Motivazione dello studio e Caratteristiche dei piccoli invasi

Definizione di piccole dighe secondo le **Norme Tecniche delle Dighe (NTD, 2014)**:
Strutture con altezza fino a 15 m e un volume di invaso inferiore a 10^6 m^3

- Generalmente di **competenza delle regioni** (ad eccezione delle province autonome di Trento e Bolzano).
- **Assenza di dati tecnici della progettazione e realizzazione**
- **Assenza di dati e/o di strumenti idonei al monitoraggio in esercizio**

Le piccole dighe sul **territorio piemontese** ammontano a **più di 900**; **circa 100** sono **dighe in terra** localizzate **nei pressi delle cittadine delle aree montane e collinari** della regione analizzate nell'ambito del progetto **RiSba**.



Approccio semplificato

per la valutazione della vulnerabilità sismica

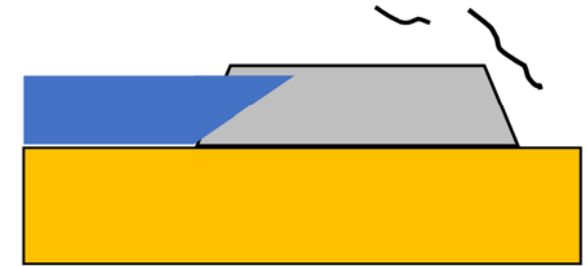
$$V_{structure} = V_{condition} + V_{liquefaction} + V_{settlements} + V_{displacements}$$

Indice di Vulnerabilità ($V_{structure}$)	Classi di vulnerabilità	Livelli di vulnerabilità
≤ 1	A	Trascurabile
$1 \div 2$	B	Lieve (infiltrazioni nel rilevato)
$2 \div 3$	C	Moderato (erosione interna nel rilevato)
$3 \div 4$	D	Elevato (erosione interna in fondazione)
≥ 5	E	Massimo (riduzione del franco e tracimazione)

Approccio semplificato per la valutazione della vulnerabilità

$$V_{structure} = V_{condition} + V_{liquefaction} + V_{settlements} + V_{displacements}$$

È definito mediante una **ispezione diretta in sito**.

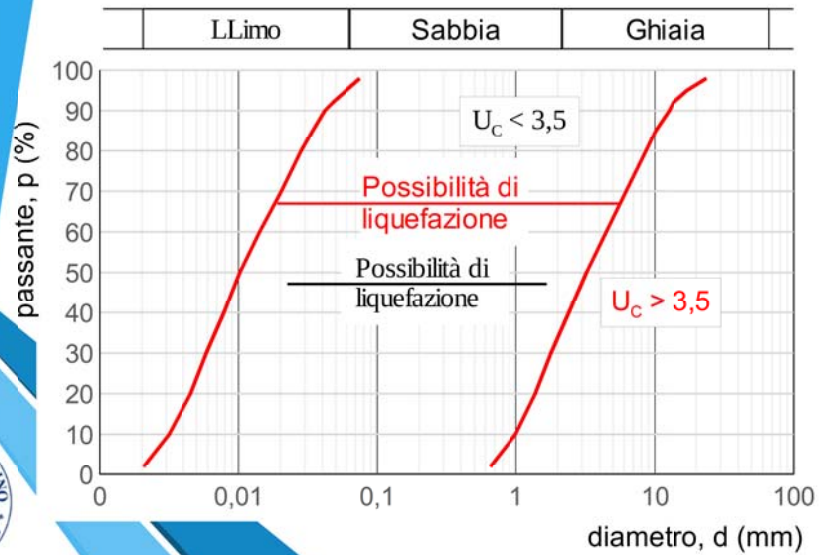
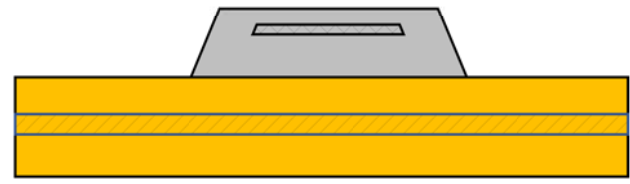


Livello dello stato di conservazione della diga			$V_{condition}$
1	Ottimo	Assenza di deformazioni o fessure	0.2
2	Buono	Assenza di deformazioni superficiali, piccole imperfezioni sul rivestimento del rilevato	0.4
3	Discreto	Segni di degradazione superficiale	0.6
4	Scarso	Presenza di deformazioni superficiali e sul rivestimento	0.8
5	Non accettabile	Assenza di sopralluogo	1.0

Approccio semplificato per la valutazione della vulnerabilità

$$V_{structure} = V_{condition} + V_{liquefaction} + V_{settlements} + V_{displacements}$$

E' un indice basato sui criteri di esclusione proposti dalle **Norme Tecniche (NTC 2018)**



Condizioni di esclusione della verifica	$V_{liquefaction}$
1 Accelerazione massima attesa al suolo < 0.1 g	0.0
2 Profondità media della falda superiore a 15m dal piano campagna	0.0
3 Depositi costituiti da sabbie pulite con $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$	0.0
4 Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figura	0.0
5 Nessuno dei casi precedenti o non sono disponibili informazioni per valutare il potenziale di liquefazione	1.0

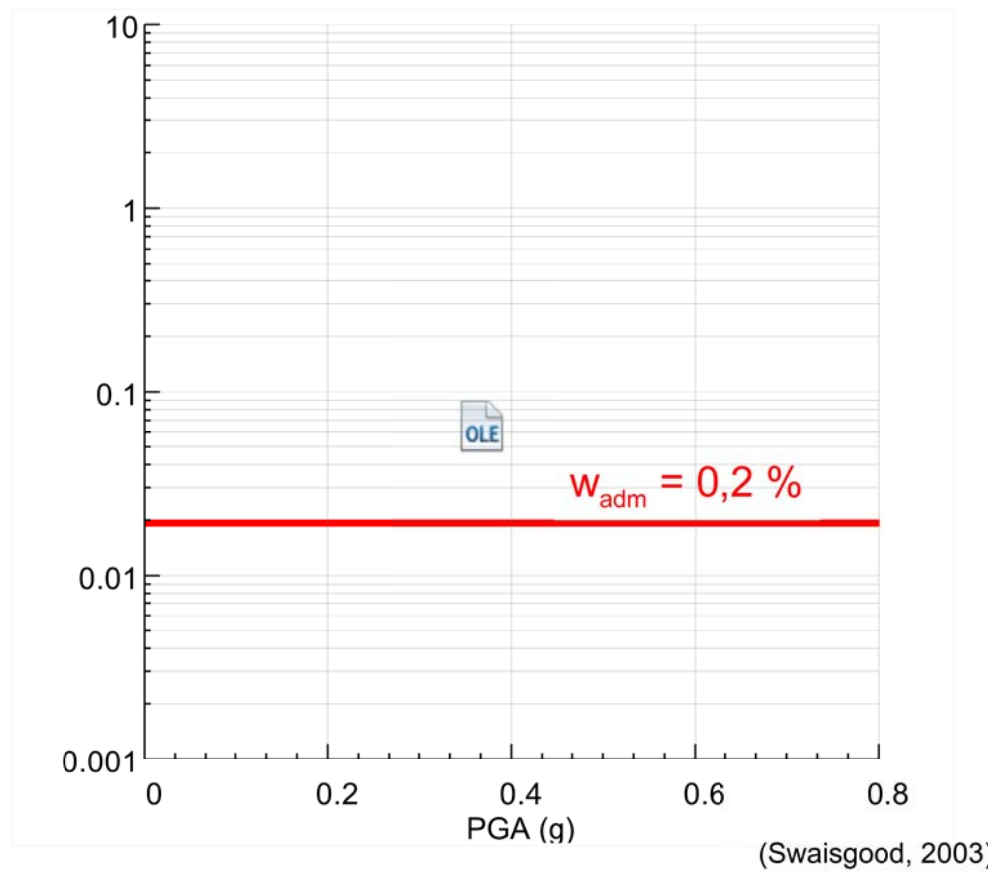
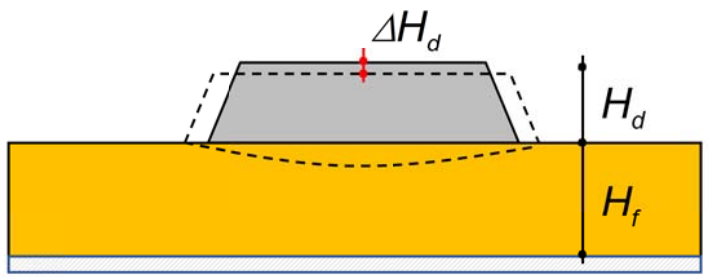


Approccio semplificato per la valutazione della vulnerabilità

$$V_{structure} = V_{condition} + V_{liquefaction} + V_{settlements} + V_{displacements}$$

$$V_{settlements} = \frac{w}{w_{adm}}$$

$$w(\%) = \frac{\Delta H_d}{H_d + H_f} (\%) = e^{(6.07 \cdot PGA + 0.57 \cdot M - 8)}$$

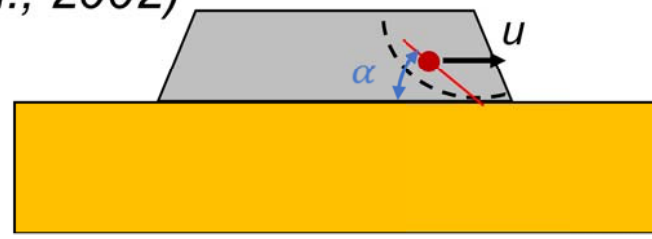


Approccio semplificato per la valutazione della vulnerabilità

$$V_{structure} = V_{condition} + V_{liquefaction} + V_{settlements} + V_{displacements}$$

$$V_{displacements} = \frac{u}{u_{adm}}$$

Valore ammissibile di spostamento $u_{adm} = 5 \text{ cm}$ (Blake et al., 2002)



(Blake et al., 2002)

$$u = k_{max} \cdot D_{5-95} \cdot 10^{1.87 - 3.477 \frac{k_y}{k_{max}}} \quad [mm]$$

$\frac{PGA}{g}$

Durata significativa (sec.)

$(FS - 1) \cdot \sin(\alpha)$

$$\ln(D_{5-95}) = \ln \left[\frac{\left(\frac{e^{5.04 + 0.851 \cdot (M-6)}}{10^{15 \cdot M - 16.05}} \right)^{-1/3}}{15.7 \cdot 10^6} \right] + 0.063 \cdot (r - 10) \quad (r \geq 10km)$$

$$\ln(D_{5-95}) = \ln \left[\frac{\left(\frac{e^{5.04 + 0.851 \cdot (M-6)}}{10^{15 \cdot M - 16.05}} \right)^{-1/3}}{15.7 \cdot 10^6} \right] + 0.8664 \quad (r < 10km)$$

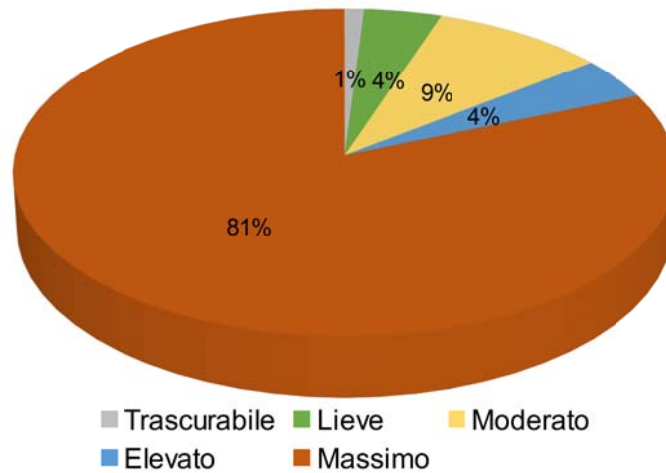
(Abrahamson and Silva, 1996)



Approccio semplificato per la valutazione della vulnerabilità

Classificazione delle piccole dighe in
terra Regione Piemonte

Progetto RiSba



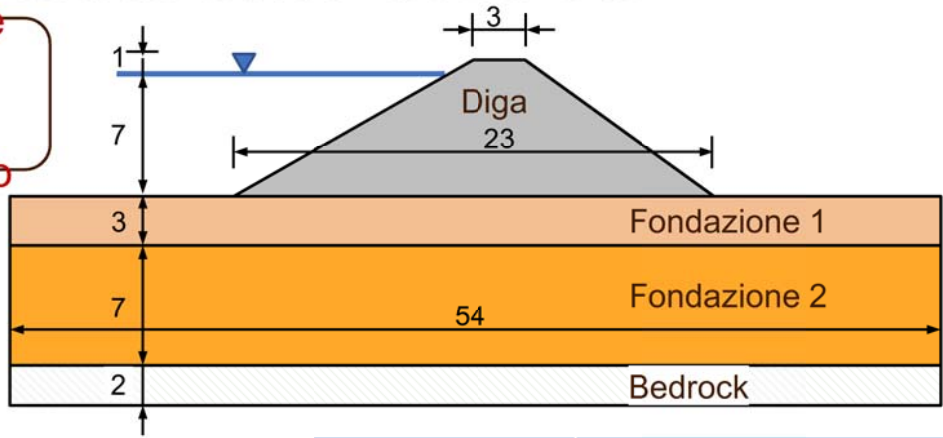
Database

Geometria	Intervallo di variazione
Altezza sbarramento [m]	1 ÷ 15
Volume invaso [m ³]	290 ÷ 270000
Franco [m]	0.15 ÷ 1.5
Larghezza coronamento [m]	1 ÷ 14
Lunghezza coronamento [m]	20 ÷ 500
Paramento di monte [°]	18 ÷ 63
Paramento di valle [°]	15 ÷ 63

Approccio avanzato

per la valutazione della vulnerabilità sismica

Definizione di un modello semplificato



Geometria	Valore
Altezza sbarramento [m]	8
Franco [m]	1
Larghezza coronamento [m]	3
Paramento di monte [°]	30
Paramento di valle [°]	35

Caratteristiche	Strati			
	Diga	Fondazione 1	Fondazione 2	Bedrock
Spessore [m]	8	3	7	2
γ [kN/m ³]	20	22	22	22
ϕ' [°]	35	40	40	-
c' [kPa]	10	10	10	-
G [Pa]	4.5E+7	8.8E+7	3.5E+8	2.2E+9
E [Pa]	1.13E+8	2.2E+8	8.8E+8	5E+9
K [Pa]	7.5E+7	1.47E+8	5.87E+8	2.41E+9
n [-]	0.25	0.25	0.25	0.15
V_s [m/s]	150	200	400	1000
Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Elastico

(Galati, 2019)



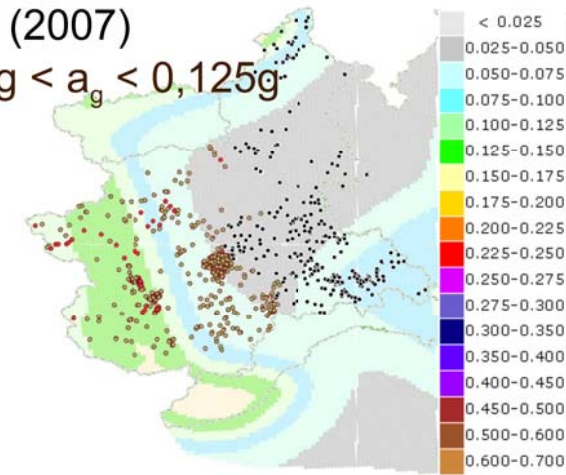
Approccio avanzato

per la valutazione della vulnerabilità sismica

Selezione degli accelerogrammi reali

INGV (2007)

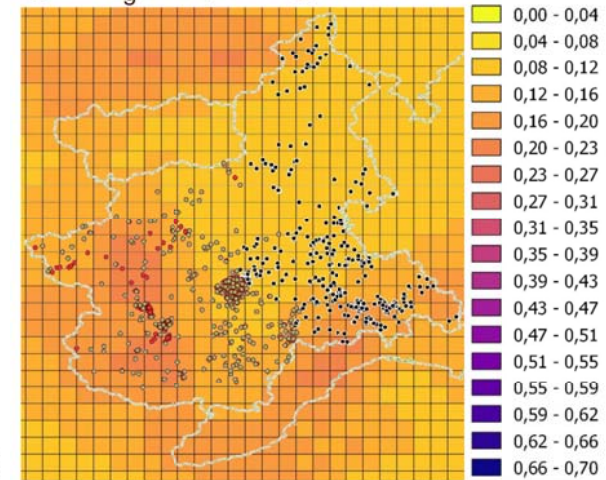
$0,025g < a_g < 0,125g$



Ac	Parametri											
	c	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	A _{RM} (cm/s ²)	V _{RMS} (cm/s)	D _{RMS} (cm)	IA (m/s)	CAV (cm/s)	VSI (cm)	PP (s)	DI (cm/sec ²) ^c
1		109,985	2,186	0,063	7,105	0,148	0,005	0,026	57,505	6,12	0,10	118752
2		170,152	4,247	0,157	14,442	0,371	0,016	0,075	88,312	11,95	0,10	271718
3		136,694	2,575	0,133	13,235	0,233	0,015	0,062	86,830	7,85	0,06	423928
4		117,074	3,644	0,186	6,722	0,231	0,010	0,027	49,465	11,18	0,18	87545
5		166,359	5,595	0,331	6,542	0,248	0,018	0,053	82,913	17,33	0,14	151834
6		139,030	3,466	0,093	5,050	0,111	0,004	0,037	53,068	9,57	0,08	169652
7		120,992	4,382	0,187	10,599	0,426	0,020	0,036	55,537	13,45	0,28	85087
8		124,516	4,757	0,242	8,651	0,315	0,022	0,096	162,226	13,36	0,12	293875
9		124,891	2,736	0,086	10,029	0,234	0,011	0,052	108,986	7,72	0,14	208448
10		146,260	3,901	0,150	10,908	0,257	0,015	0,058	77,017	10,62	0,12	234127
11		207,861	5,103	0,232	13,712	0,408	0,017	0,096	112,115	15,98	0,10	386394

Progetto SHARE (Giardini et al., 2013)

$0,08g < a_g < 0,270g$



PGA: accelerazione di picco

IA: Intensità di Arias

PGV: velocità di picco

CAV: Velocità Assoluta Cumulativa

PGD: spostamento di picco

VSI: Intensità Spettrale di Velocità

A_{rms}: radice quadratica media dell'accelerazione

PP: Periodo Predominante

V_{rms}: radice quadratica media della velocità

DI: Indice di danno

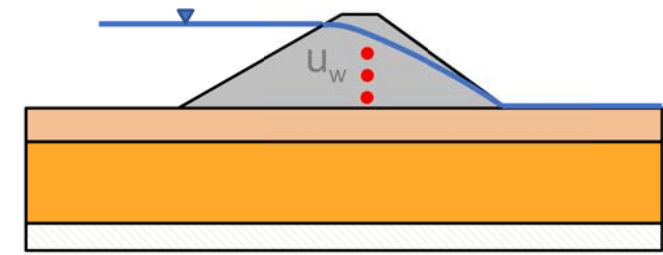
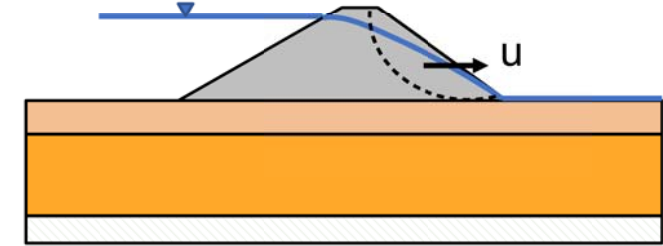
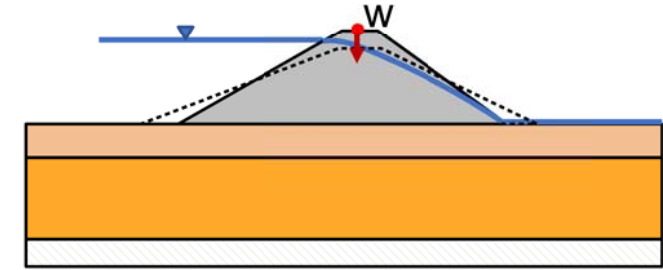
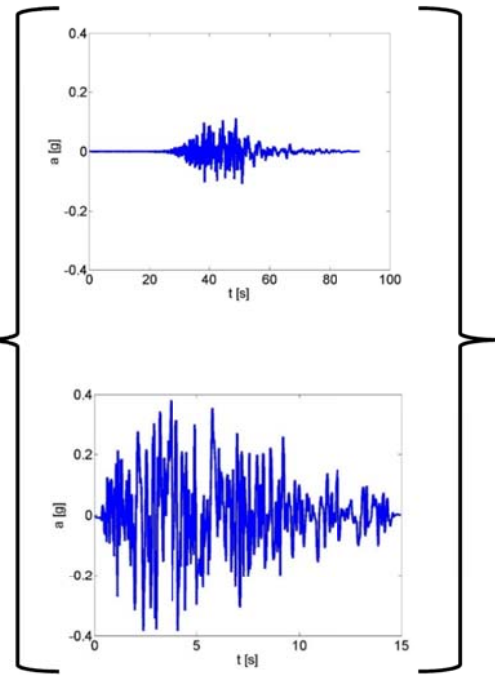
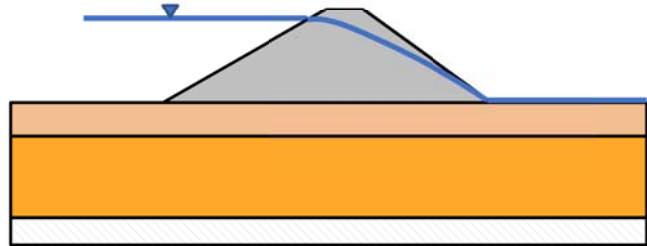
D_{rms}: radice quadratica media dello spostamento

(Galati, 2019)

Approccio avanzato

per la valutazione della vulnerabilità sismica

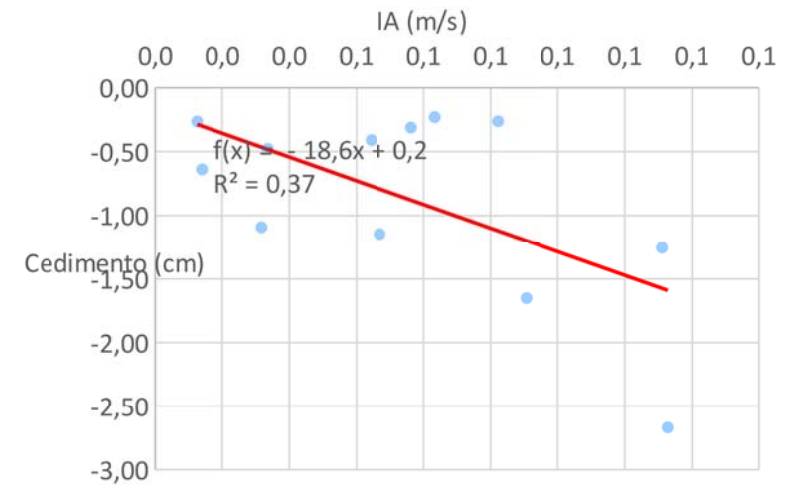
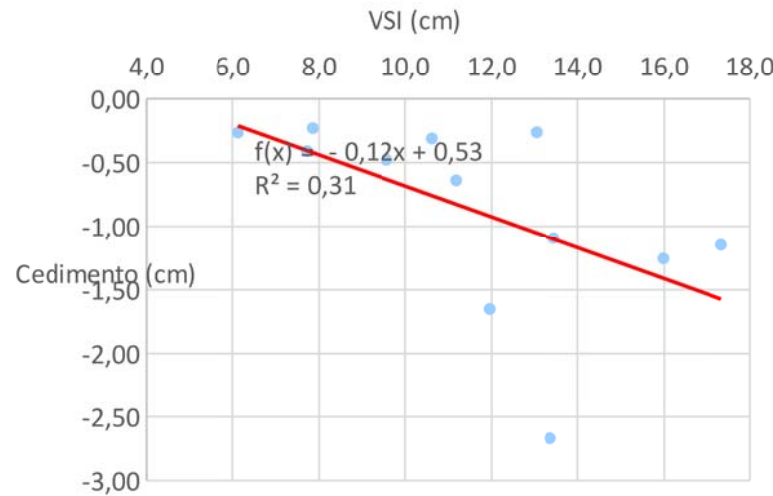
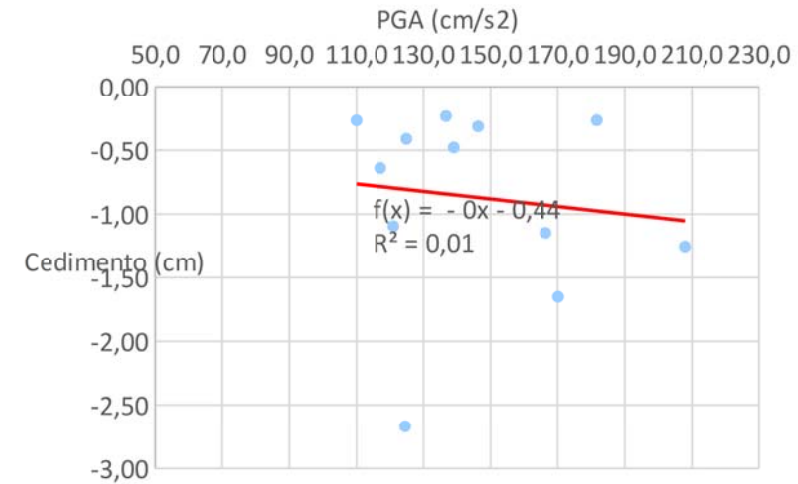
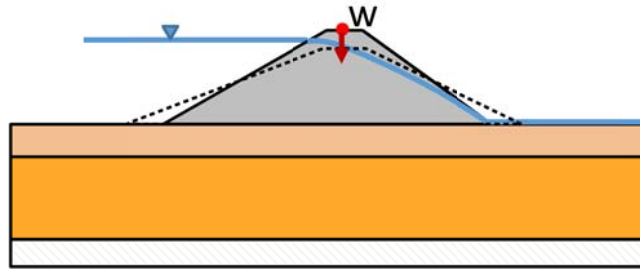
Analisi dinamiche



Approccio avanzato

per la valutazione della vulnerabilità sismica

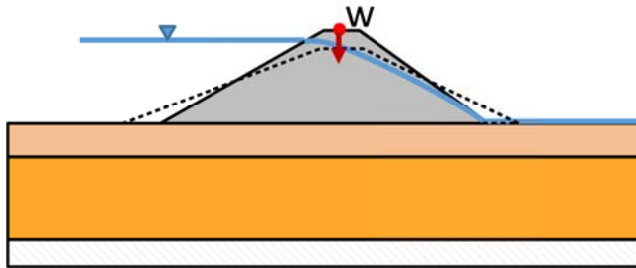
Analisi dei risultati



Approccio avanzato

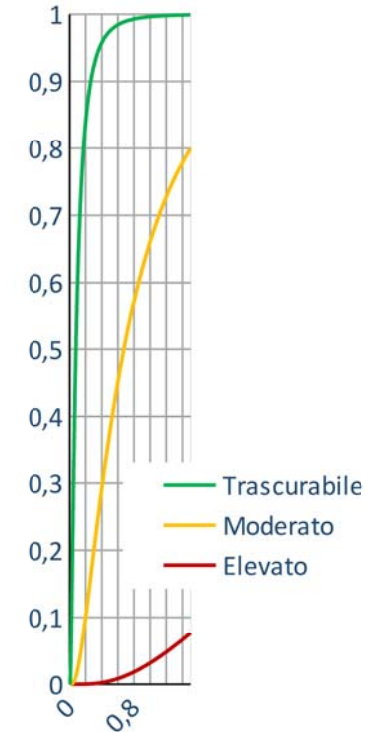
per la valutazione della vulnerabilità sismica

Curve di fragilità



Livello di vulnerabilità	w (%)
Trascurabile	0,02
Moderato	0,10
Elevato	0,50

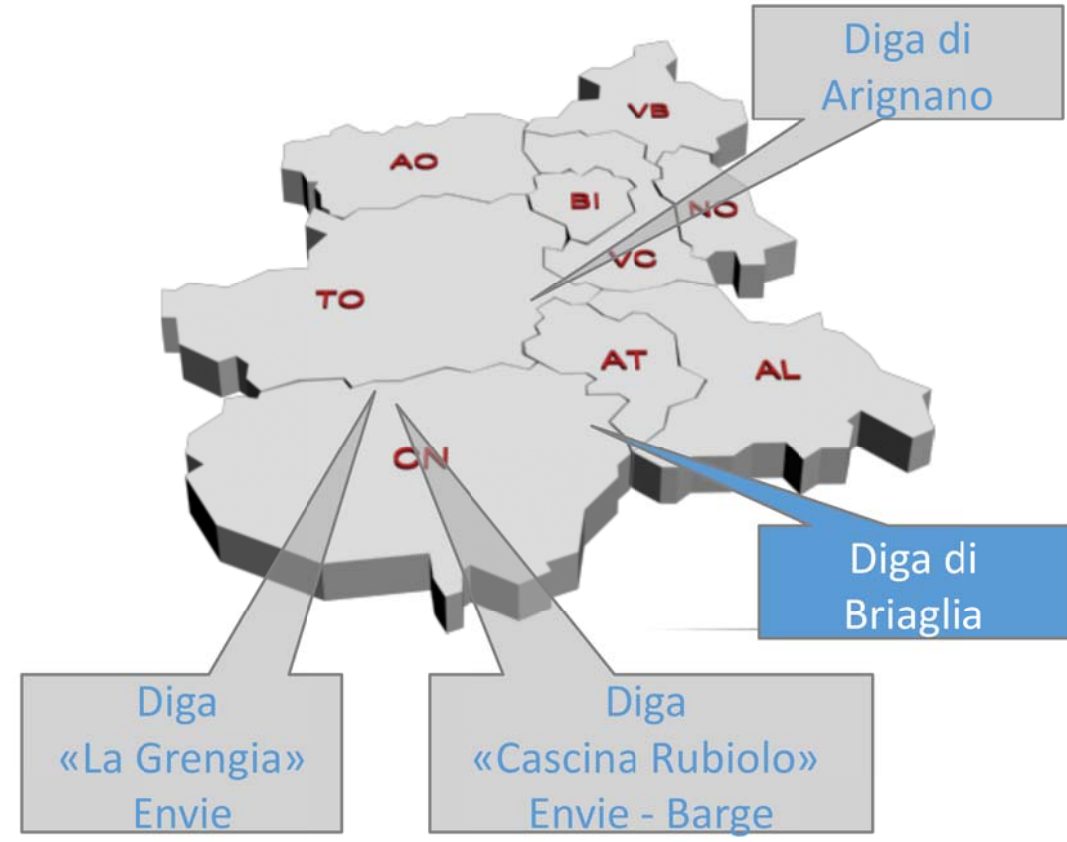
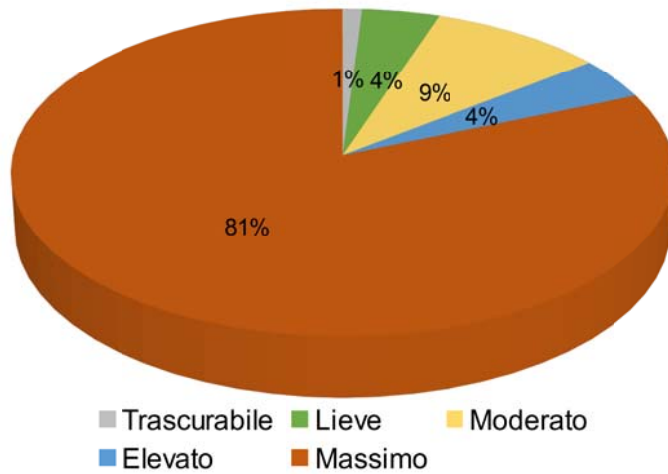
Pf - probabilità di eccedenza



PGA - bedrock (g)

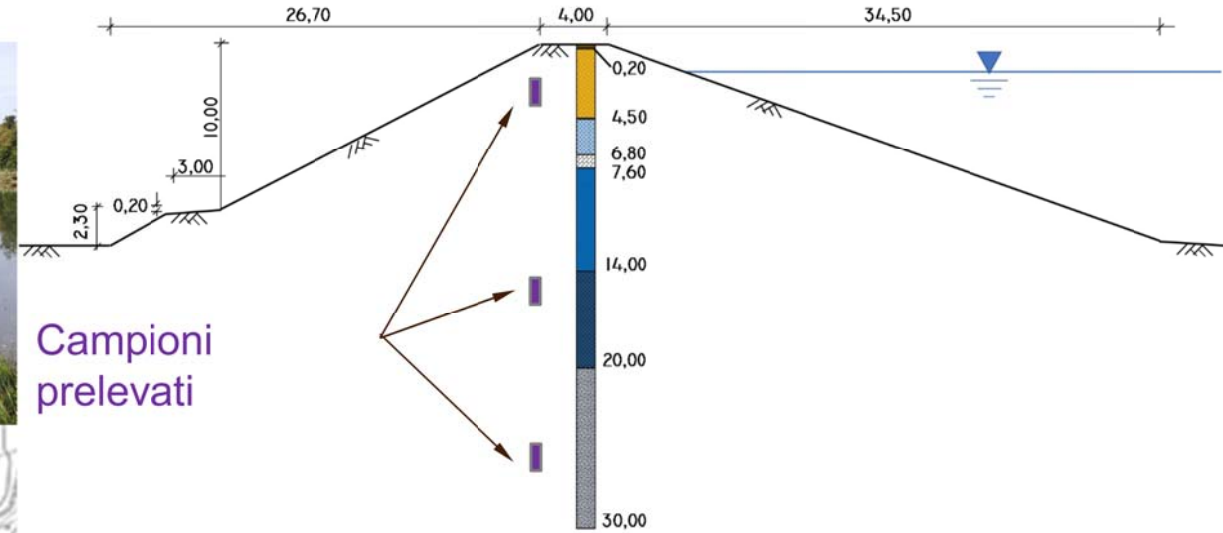
Approccio avanzato

per la valutazione della vulnerabilità sismica



Approccio avanzato per la valutazione della vulnerabilità sismica

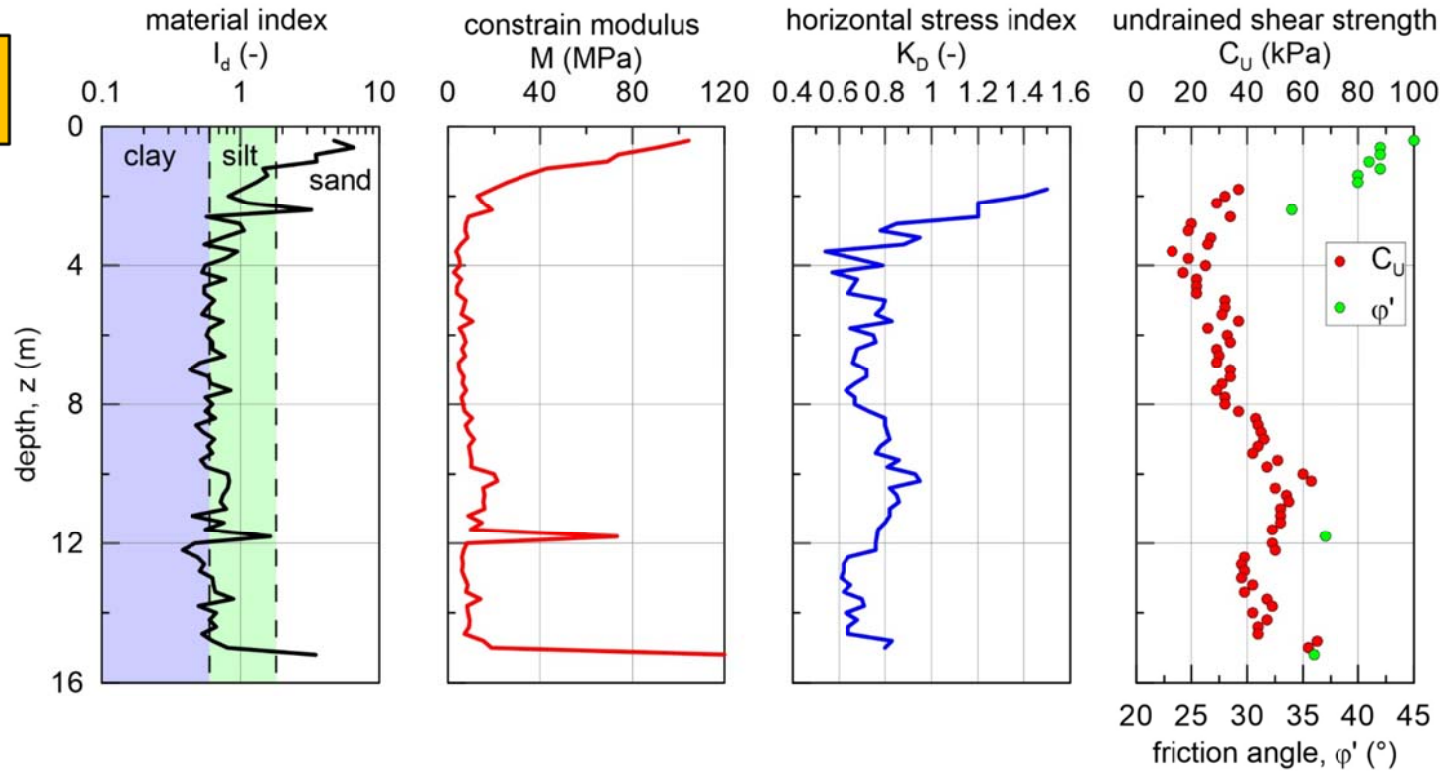
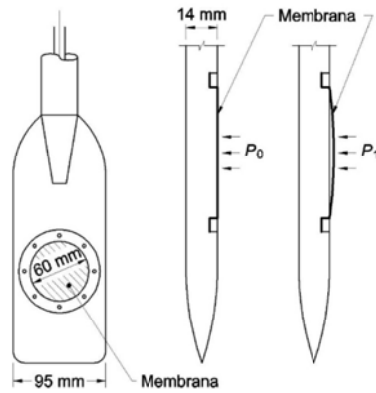
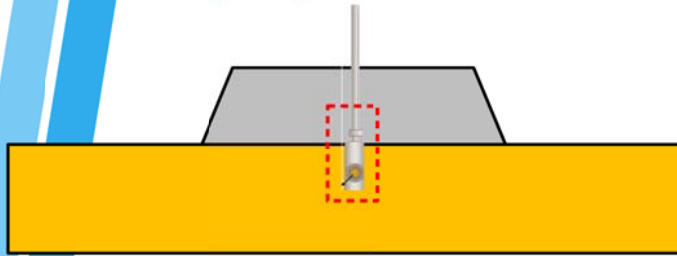
**Caso studio: diga nel comune di Briaglia
(CN)**



- Materiale di riporto: limoso debolmente sabbioso
- Materiale di riporto: limo argilloso
- Materiale detritico: blocchi di arenacei e marnosi
- Materiale detritico: sabbia limo-argillosa
- Argilla grigia medio-fine
- Marna argillosa

Approccio avanzato per la valutazione della vulnerabilità sismica

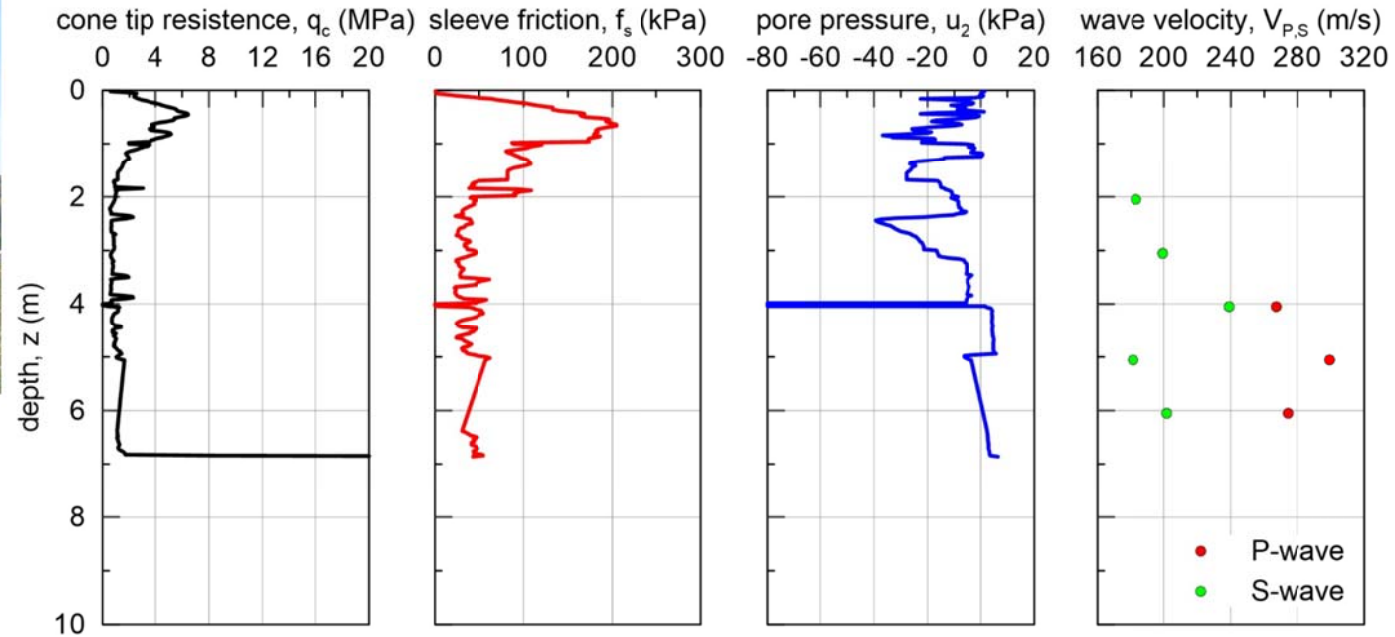
Caso studio: diga nel comune di Briaglia (CN) – Prove di caratterizzazione



Approccio avanzato

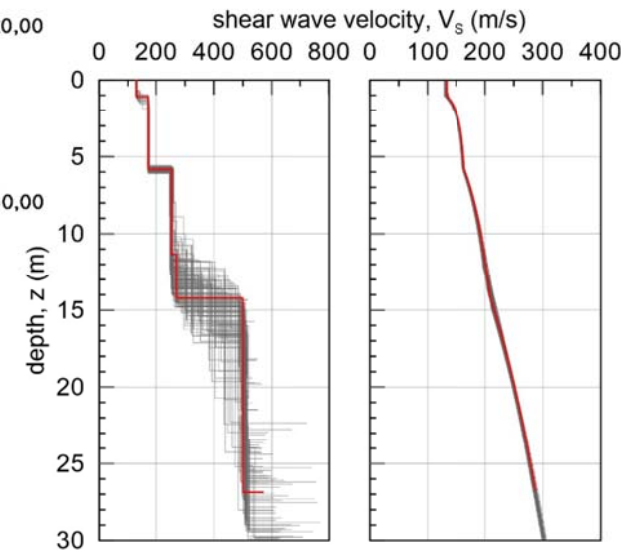
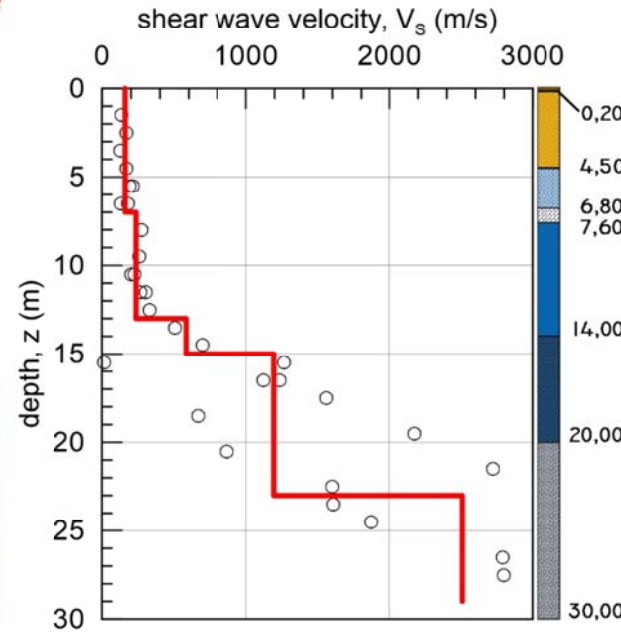
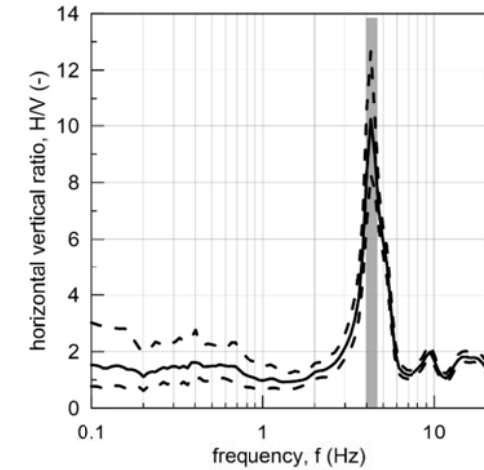
per la valutazione della vulnerabilità sismica

Caso studio: diga nel comune di Briaglia (CN)
– Prove di caratterizzazione



Approccio avanzato per la valutazione della vulnerabilità sismica

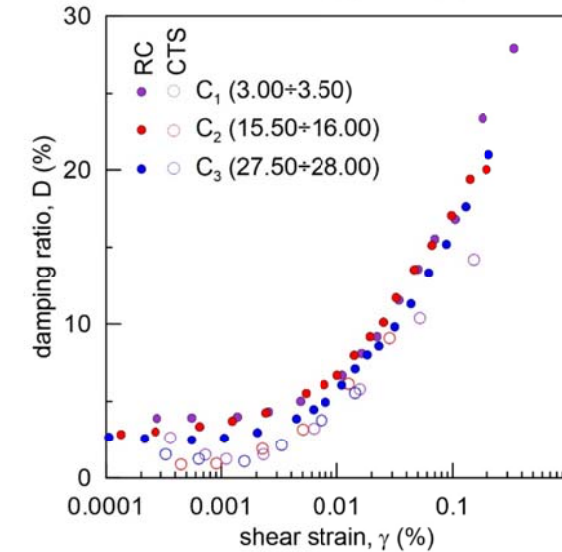
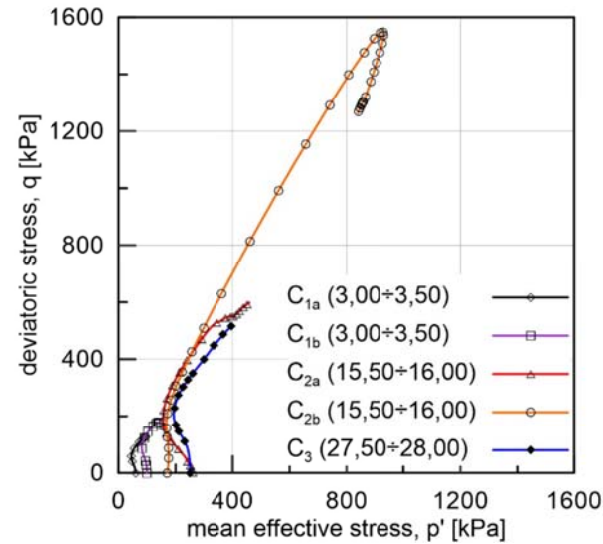
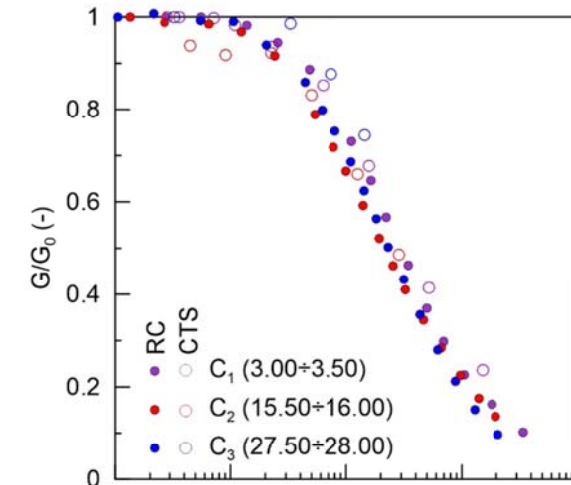
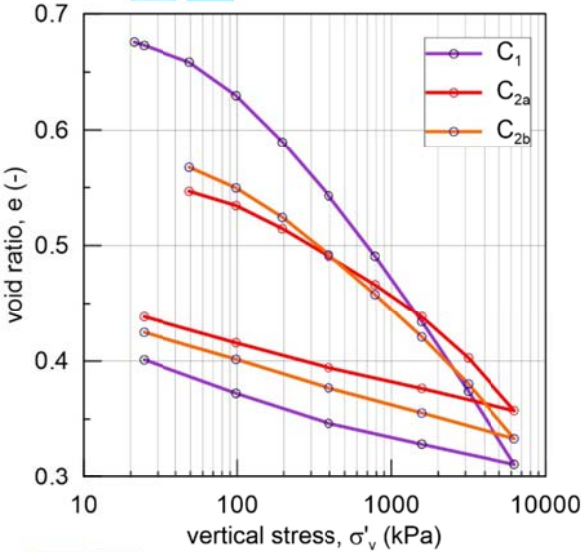
Caso studio: diga nel comune di Briaglia (CN)
– Prove di caratterizzazione



Approccio avanzato per la valutazione della vulnerabilità sismica

Caso studio: diga nel comune di Briaglia (CN)

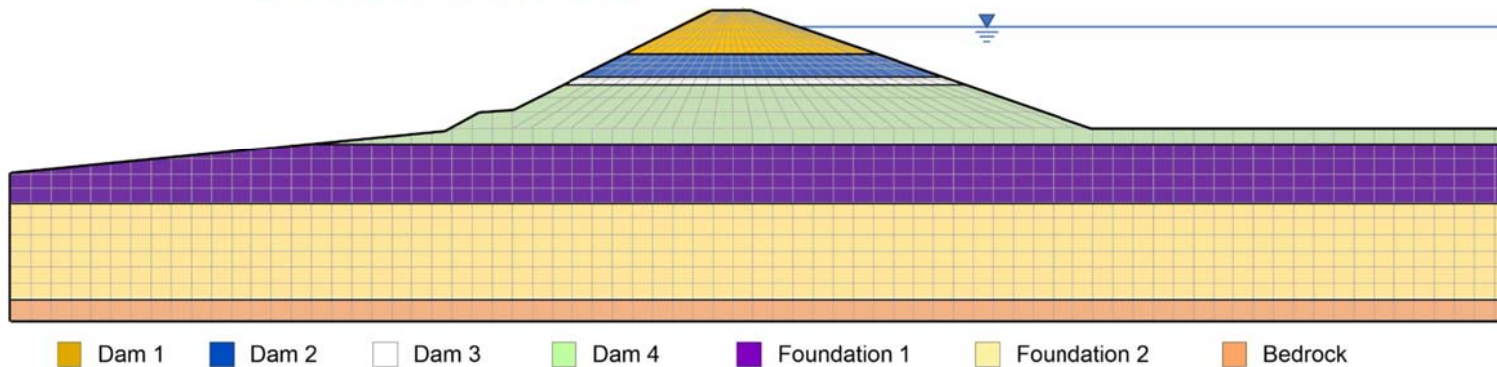
– Prove di caratterizzazione



Approccio avanzato

per la valutazione della vulnerabilità sismica

Caso studio: diga nel comune di Briaglia (CN)
– Definizione del modello numerico



Strato	Profondità (m)	V_s (m/s)	G (MPa)	ϕ' (°)	Modello
Diga 1	2	150	45.0	28	Mohr – Coulomb / accoppiati alle tensioni efficaci
Diga 2	6	160	51.2	28	
Diga 3	17	165	54.5	21	
Diga 4	38	350	245.0	30	
Fondazione 1	44	600	720	35	
Fondazione 2	50	600	1510	35	

Sviluppi futuri

