

Rischi naturali in relazione agli sbarramenti artificiali

Azione sismica e fenomeno di caduta massi

V. De Biagi, B. Chiaia, A.P. Fantilli

Politecnico di Torino



Torino

27 novembre 2019

Sommario

- **Azione sismica sui piccoli sbarramenti artificiali in c.a.**
 - Perché? Come?
 - Approccio speditivo di verifica
 - Scheda di rilievo
 - Esempio
- **Caduta massi sui piccoli sbarramenti**
 - Vettore di rischio
 - Valutazione della vulnerabilità
 - Esempio

Perché?

- D.M. 14/01/2008 “N.T. per le Costruzioni”
- D.M. 26/06/2014 “N.T. per gli sbarramenti di ritenuta”

Verifica sismica

Importanza dello sbarramento di ritenuta

Strategico/conseguenze rilevanti

Ordinario

Livello di dettaglio nell'analisi sismica

Elevato (Analisi complesse)

Basso (Analisi semplici)

Numerosità degli sbarramenti

Pochi

Molti

Perché?

- D.M. 14/01/2008 “N.T. per le Costruzioni”
- D.M. 26/06/2014 “N.T. per gli sbarramenti di ritenuta”

Verifica sismica

Importanza dello sbarramento di ritenuta

Strategico/conseguenze rilevanti

Ordinario

Livello di dettaglio nell'analisi sismica

Elevato (Analisi complesse)

Basso (Analisi semplici)

Numerosità degli sbarramenti

Pochi

Molti

Come?

- Rischio =

Pericolosità accelerazione sismica

x Vulnerabilità qualità del manufatto (risposta)

x Esposizione scenari di *dam-break*

Come?

- Rischio =

Pericolosità accelerazione sismica

x **Vulnerabilità** qualità del manufatto (risposta)

x Esposizione scenari di *dam-break*

- Stima speditiva del livello di vulnerabilità sulla falsa riga delle schede di Livello “0” della Protezione Civile
- Possibilità di valutazioni su scala regionale
- Approccio misto (qualitativo + quantitativo)

Sbarramenti in c.a.



Come?

STRUCTURE AND INFRASTRUCTURE ENGINEERING
2018, VOL. 14, NO. 9, 1197–1206
<https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1402066>



 Check for updates

A protocol to assess the seismic criticality of existing small concrete dams

Barbara Frigo^a , Alessandro Pasquale Fantilli^a, Valerio De Biagi^a  and Guillaume Veylon^b 

^aDepartment of Structural, Geotechnical and Building Engineering, Politecnico di Torino, Torino, Italy; ^bRECOVER Research Unit, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, Aix-en-Provence, France

Pericolosità H: valutata sulla base della zonazione sismica

Vulnerabilità V: valutata sulla base di
vulnerabilità strutturale (calcolo speditivo)
dello stato di conservazione del manufatto
altri fenomeni naturali (da cartografia)

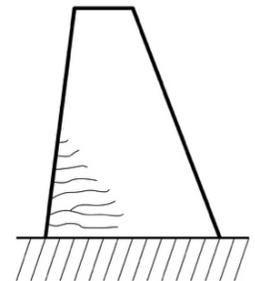
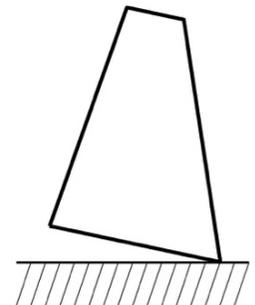
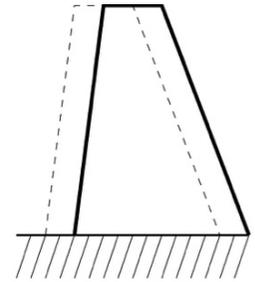
(visivo)

Esposizione E: valutata sulla base di disposizioni attuative (zonazione)

Modelli strutturali semplificati

Sulla base degli stati di danneggiamento osservati e supposti (per piccoli sbarramenti):

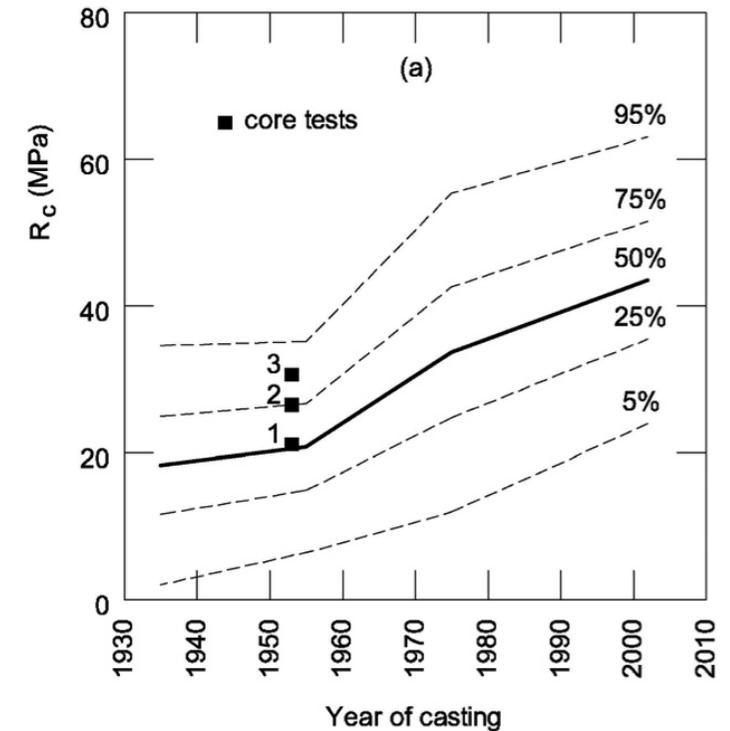
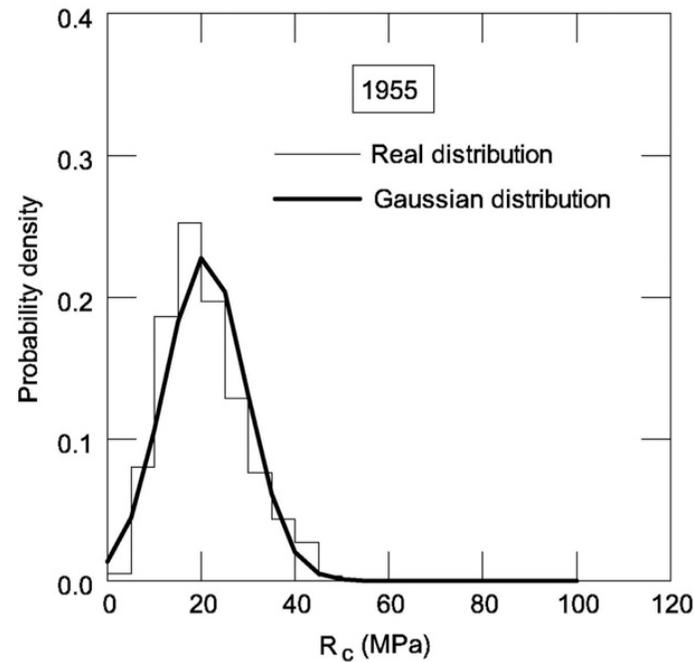
- Scorrimento (nei casi in cui è assente la fondazione)
- Ribaltamento (in presenza di paramenti di elevato sviluppo lineare, es. vasche di carico)
- Stato tensionale (utile per le traverse fluviali per le quali la larghezza di influenza del bacino sovrastante è notevole)



Coefficienti di combinazione e materiali da D.M. 2018

Proprietà del materiale in opera

Resistenza del calcestruzzo da valori di resistenza “storici”



Scheda di rilievo speditivo

S1 – Inquadramento generale del manufatto

anagrafica, localizzazione,...

S2 – Descrizione generale

documentazione disponibile, dati di progetto,
esposizione, dati sismici

S3 – Analisi dell'opera

stima della vulnerabilità sulla base delle
caratteristiche e tipologia di manufatto

Scheda di rilievo speditivo

S1 – Inquadramento generale del manufatto

anagrafica, localizzazione,...

S2 – Descrizione generale

documentazione disponibile, dati di progetto,
esposizione, dati sismici

S3 – Analisi dell'opera

stima della **vulnerabilità** sulla base delle
caratteristiche e tipologia di manufatto

S4 – Osservazioni conclusive

determinazione della criticità sismica sulla
base di un approccio multicriterio

**SCHEDA DI RILIEVO DI LIVELLO "0" DELLA VULNERABILITA' SISMICA
PICCOLI SBARRAMENTI DI RITENUTA in CALCESTRUZZO**

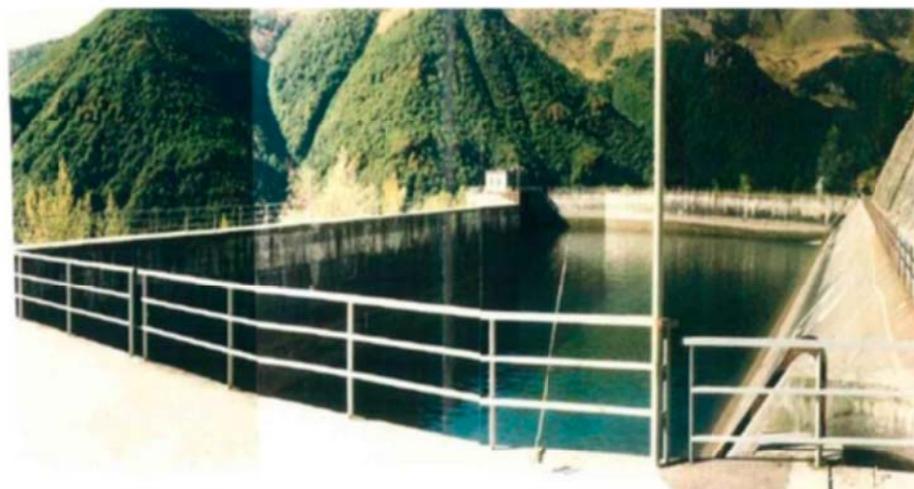
S0 - Indice delle schede

SBARRAMENTO ANALIZZATO

CASO STUDIO 1

INDICE DELLE SCHEDE

	Data di compilazione	Revisione
S0 - Indice delle schede	novembre 2018	
S1 - Inquadramento generale	novembre 2018	
S2 - Descrizione generale	novembre 2018	
S3 - Analisi dell'opera	novembre 2018	
S4 - Osservazioni conclusive	novembre 2018	



S0 – Indice delle schede

S1 - Inquadramento generale

1 - INFORMAZIONI GENERALI SULLO SBARRAMENTO	
Regione	Piemonte
Indirizzo	Demonte (CN)
Sbarramento da sottoporre a verifica sismica di livello 0?	Si

2 - IDENTIFICAZIONE DEL SITO			
Regione	Piemonte	RIFERIMENTI CATASTALI	
Provincia	Cuneo	Foglio	N.d.
Comune	Demonte	Particella	N.d.
C.A.P.	12014	Subalterno	N.d.
Frazione/Localtà	San Giacomo		
Indirizzo		Latitudine	44°20'58" N
Proprietario		Longitudine	7°12'2" E
Utilizzatore		Altezza sul livello del mare	1450 m
CLASSIFICAZIONE			
Tipologia	Vasca di carico idroelettrica		
Classe (disp. att. art.10 L.R. 13/2010)	1 (Hv ≤ 10m e volume invaso ≤ 100.000mc)		

3 - LOCALIZZAZIONE


S2 - Descrizione generale

4 - DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE			
Normativa progettazione opera	Non nota		
Normativa di calcolo strutturale del progetto originale	Non nota		
Elaborati di progetto strutturale	Parziali		
Progettista		Anno prog.	
Anno di progettazione		Anno di costruzione	1951

5 - DATI GEOMETRICI E DI PROGETTAZIONE					
Sviluppo del coronamento	255,00	m	Volume d'invaso	7.500	m ³
Altezza dello sbarramento (H)	9,00	m	Franco	1	m
Altezza di collasso (Hc)		m	Quota max invaso	1458	m s.l.m.
Altezza 1363/1959 (Hv)		m	Quota max di regolazione	1458,25	m s.l.m.

6 - DATI DEL SITO	
Categoria di sottosuolo	A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi
Classe di rugosità del terreno	C - Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...) e aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
Categoria topografica	T2 - Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
Classe di topografia	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi
Azione del vento	Zona 1 - Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della prov. di Trieste)
Azione della neve	Zona I - Alpina - as > 200 m
Perimetrazione ai sensi del L.R. 11/1998	
No	
Presenza di potenziali dissesti idrogeologici	Frane

S2 – Descrizione generale

S2 - Descrizione generale

4 - DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE	
Normativa progettazione opera	Non nota
Normativa di calcolo strutturale del progetto originale	Non nota
Elaborati di progetto strutturale	Parziali
Progettista	Anno prog.
Anno di progettazione	Anno di costruzione
	1951

5 - DATI GEOMETRICI E DI PROGETTAZIONE					
Sviluppo del coronamento	255,00	m	Volume d'invaso	7.500	m ³
Altezza dello sbarramento (H)	9,00	m	Franco	1	m
Altezza di collasso (Hc)		m	Quota max invaso	1458	m s.l.m.
Altezza 1363/1959 (Hv)		m	Quota max di regolazione	1458,25	m s.l.m.

6 - DATI DEL SITO	
Categoria di sottosuolo	A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi
Classe di rugosità del terreno	C - Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...) e aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
Categoria topografica	T2 - Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
Classe di topografia	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi
Azione del vento	Zona 1 - Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della prov. di Trieste)
Azione della neve	Zona I - Alpina - as > 200 m
Perimetrazione ai sensi del L.R. 11/1998	
	No
Presenza di potenziali dissesti idrogeologici	Frane

7 - ESPOSIZIONE				
Classificazione in base al rischio in base alle disposizioni attuative della L.R. 13/2010	Categoria	B	Rischio	MODERATO

8 - DATI SISMICI (NTC 2008)					
Zona sismica amministrativa	3				
Vita nominale	VN ≥ 50 anni (rilevanti)				
Classe d'uso	Classe II (normali affollamenti. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti)			Cu	1
PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA					
	SLO (81%)	SLD (63%)	SLV (10%)	SLC (5%)	
a_p/g	0,039	0,054	0,146	0,188	
F_o	2,475	2,424	2,454	2,475	
T_c^* [s]	0,203	0,226	0,280	0,295	
Amplificazione stratigrafica - S_s (Tab. 3.2.V NTC-08)				1,0	
Amplificazione topografica - S_T (Tab. 3.2.VI NTC-08)				1,2	
Accelerazione orizzontale di calcolo		0,175 g			

S2 – Descrizione generale

S3 - Analisi dell'opera

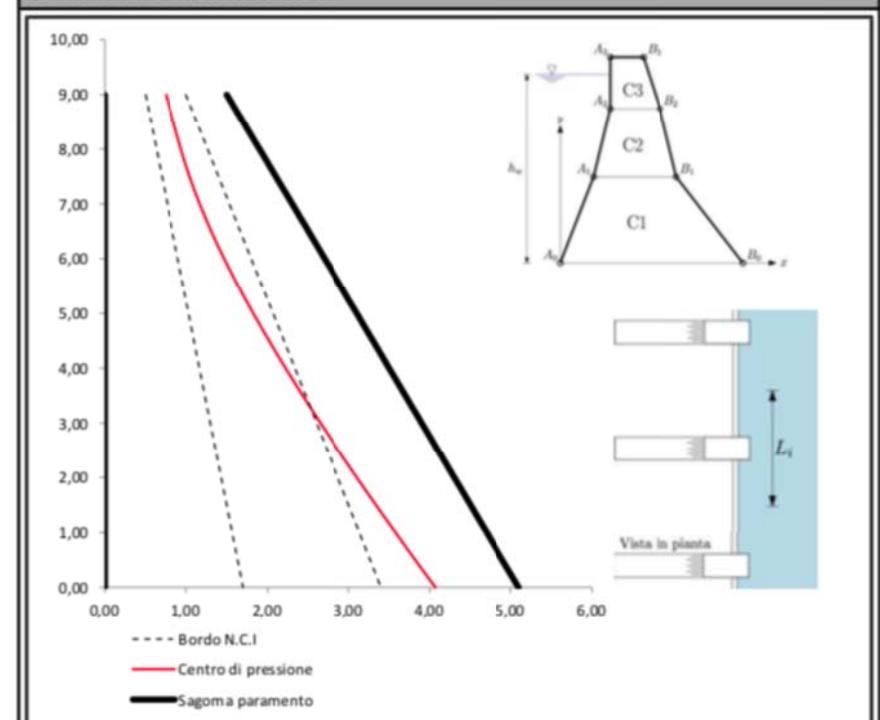
9 - TIPOLOGIA DELL'OPERA		fonte:	documentale e visiva
Denominazione dell'opera	San Giacomo in Demonte		
Tipologia	Vasca di carico idroelettrica in calcestruzzo		
Altezza battente idraulico (H_w)	8,25	m	
Spessore elemento ($\neq 1$ se "traversa")	1,00	m	
Larghezza di influenza ($\neq 1$ se "traversa")	1,00	m	
Peso per unità di volume del manufatto	23,0	kNm ³	
Peso per unità di volume di liquido	10,0	kNm ³	
Resistenza a compressione cilindrica media del cls	24,60	MPa	
Presenza di fondazione	Si		

10 - DEFINIZIONE DEI TRE CONCI				
	XA	XB	Y	
Livello 3 - al coronamento	0,00	1,50	9,00	m
Livello 2 - alla sommità del macro-concso superiore	0,00	2,70	6,00	m
Livello 1 - alla sommità del macro-concso inferiore	0,00	3,90	3,00	m
Livello 0 - alla base del macro-concso inferiore	0,00	5,10	0,00	m

11 - AZIONI AGGIUNTIVE				
Azioni aggiuntive al coronamento (baricentriche)	V		kN	
	H		kN	
	M		kNm	
Azioni aggiuntive in sommità al macro-concso mediano (baricentriche)	V		kN	
	H		kN	
	M		kNm	
Azioni aggiuntive in sommità al macro-concso inferiore (baricentriche)	V		kN	
	H		kN	
	M		kNm	

S3 – Analisi dell'opera

12 - VALUTAZIONI STRUTTURALI



VULNERABILITA' STRUTTURALE	1,0
Stato generale di conservazione (fonte: visiva)	Non accettabile / assenza di sopralluogo
VULNERABILITA' (STRUTTURALE; VETUSTA; AMBIENTALE)	1,5
	0,4

13 - INTERVENTI ESEGUITI

Controlli	No	Ultimi nell'anno	
Interventi strutturali	No	Ultimi nell'anno	
NOTE			

S4 - Osservazioni conclusive



S4 – Considerazioni conclusive

Rischio crolli di roccia

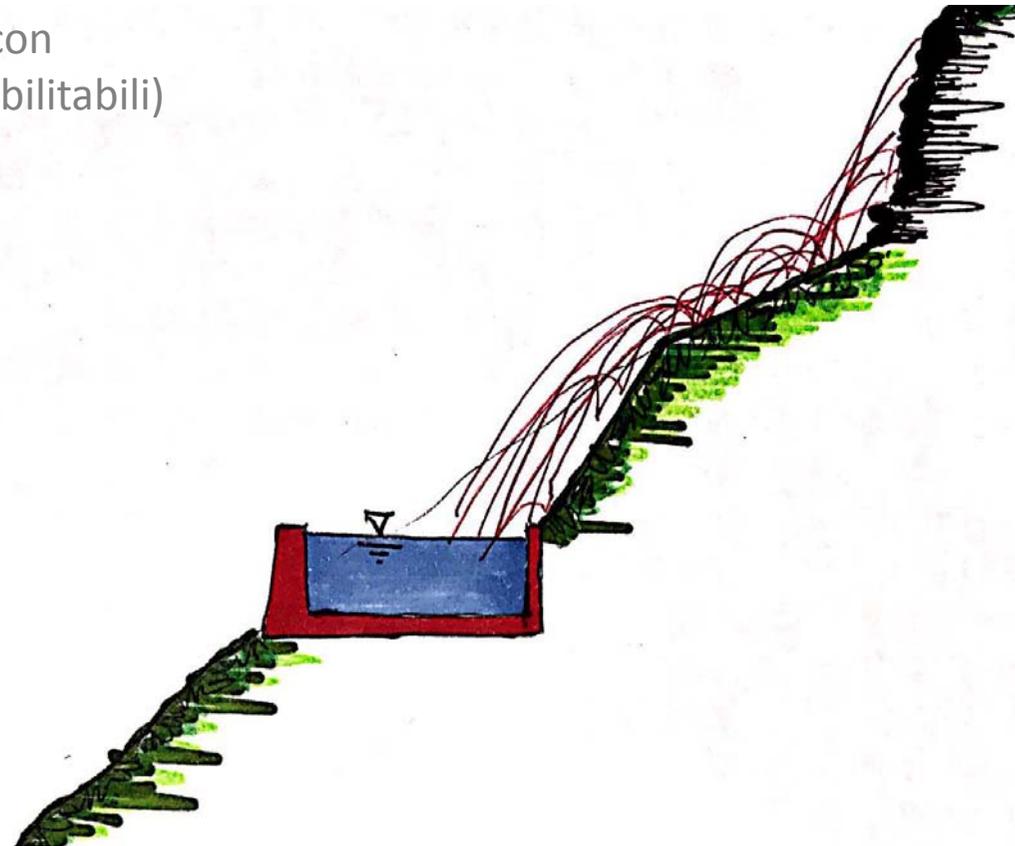
Area sorgente (parete rocciosa, versante con blocchi mobilitabili)

Zona di propagazione (versante, con eventuale presenza di blocchi mobilitabili)

Elemento a rischio:

- Opera di ritenuta
- Opere accessorie
- Invaso

L'area sorgente non è necessariamente adiacente al bacino



Ideazione di una procedura di valutazione speditiva del rischio

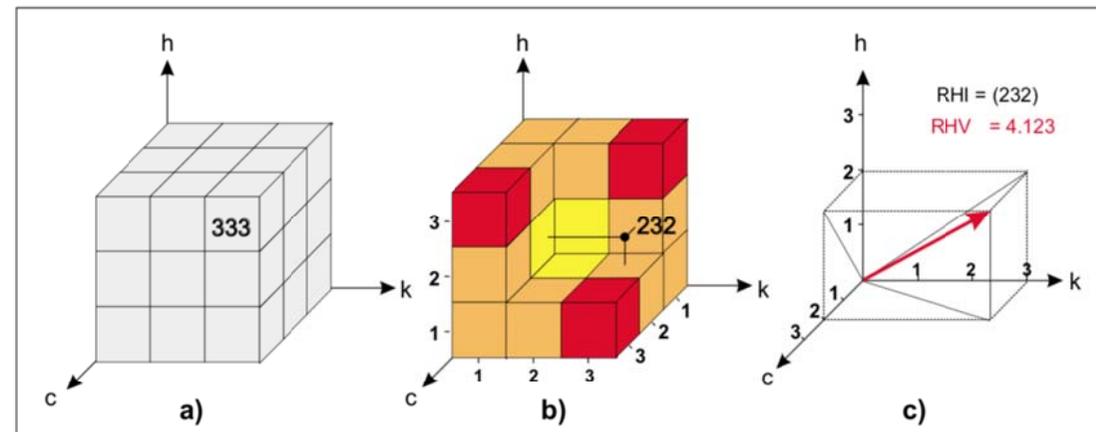
Natural Hazards and Earth System Sciences (2003) 3: 407–422
© European Geosciences Union 2003



A methodology for physically based rockfall hazard assessment

G. B. Crosta and F. Agliardi

Università degli Studi di Milano-Bicocca, Piazza della Scienza, 4, I-20126 Milano, Italy



Vettore rischio

$$\vec{R} = \begin{pmatrix} A \\ E \\ F \end{pmatrix}$$

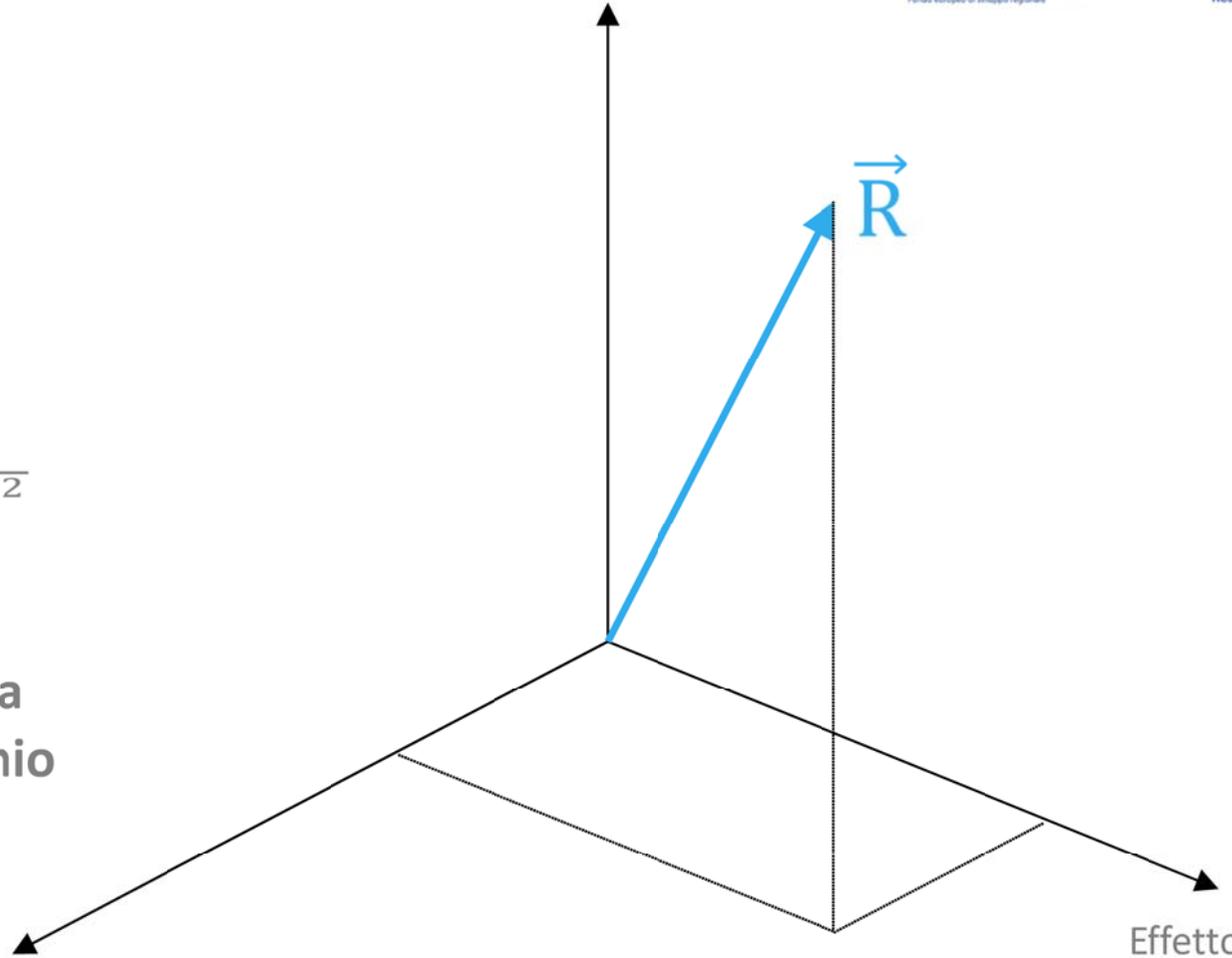
$$R = \sqrt{A^2 + E^2 + F^2}$$

Il valore di R aumenta
all'aumentare del rischio

Area di invasione (**A**)
(probabilità spaziale)

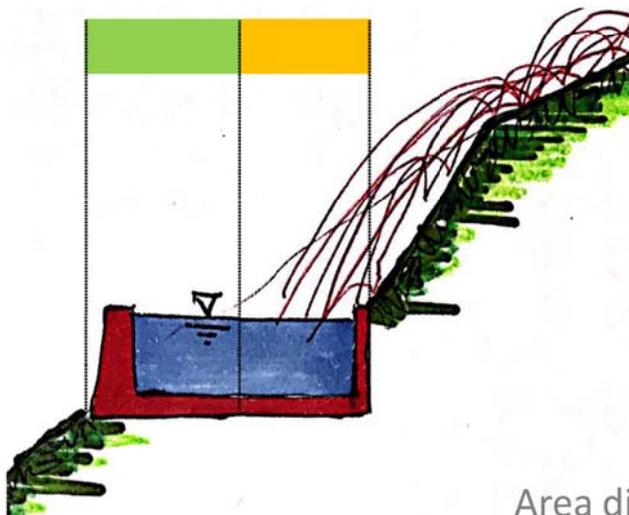
Frequenza (**F**)
(probabilità temporale)

Effetto (**E**)
(vulnerabilità)



Area di invasione (probabilità spaziale)

Il termine relativo all'area di invasione considera che il fenomeno di caduta massi può potenzialmente interessare una piccola porzione infrastruttura idraulica (sia essa l'opera di ritenuta o l'invaso vero e proprio)



Area di invasione (**A**)
(probabilità spaziale)

$$A = \frac{A_{int}}{A_{tot}}$$

Superficie potenzialmente interessata dal crollo di roccia, ottenuta mediante traiettografie o analisi energetiche (ad es., metodo dei coni), misurata in pianta

Superficie totale dell'infrastruttura idraulica (comprensiva di invaso), misurata in pianta

l'opera NON è interessata dal fenomeno

A=0

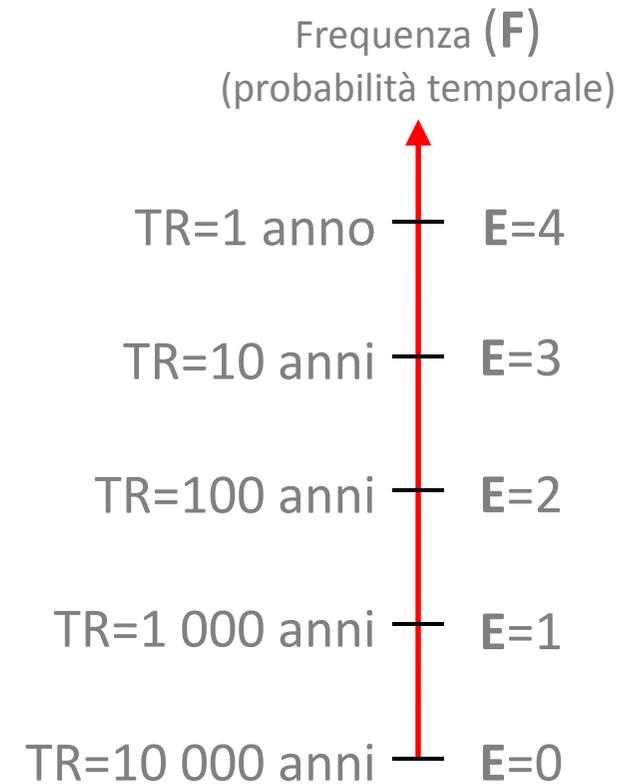
A=1

tutta l'opera è interessata dal fenomeno

Frequenza (probabilità temporale)

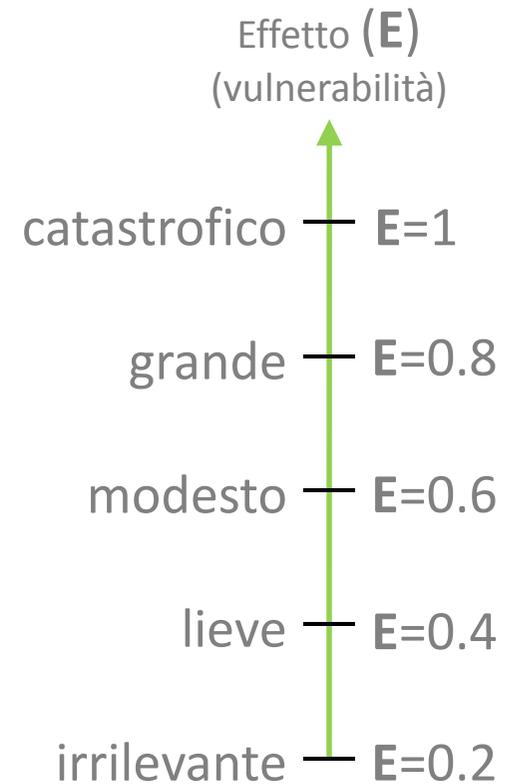
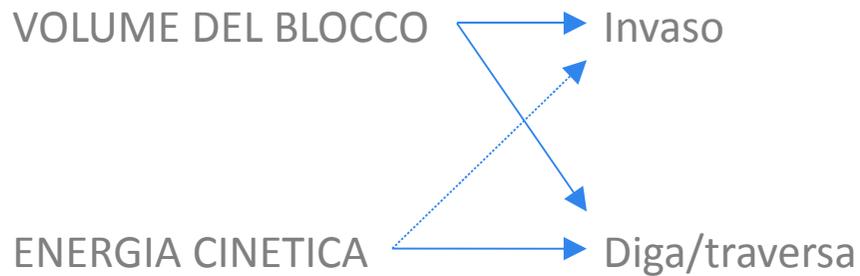
Il termine relativo alla frequenza di accadimento considera che il fenomeno di caduta massi assume carattere di evento raro, si parte dal tempo di ritorno del volume considerato. Il tempo di ritorno **TR** è misurato in anni

$$F = \log_{10} \left(\frac{F^1}{TR} \right) + 4 \geq 0$$

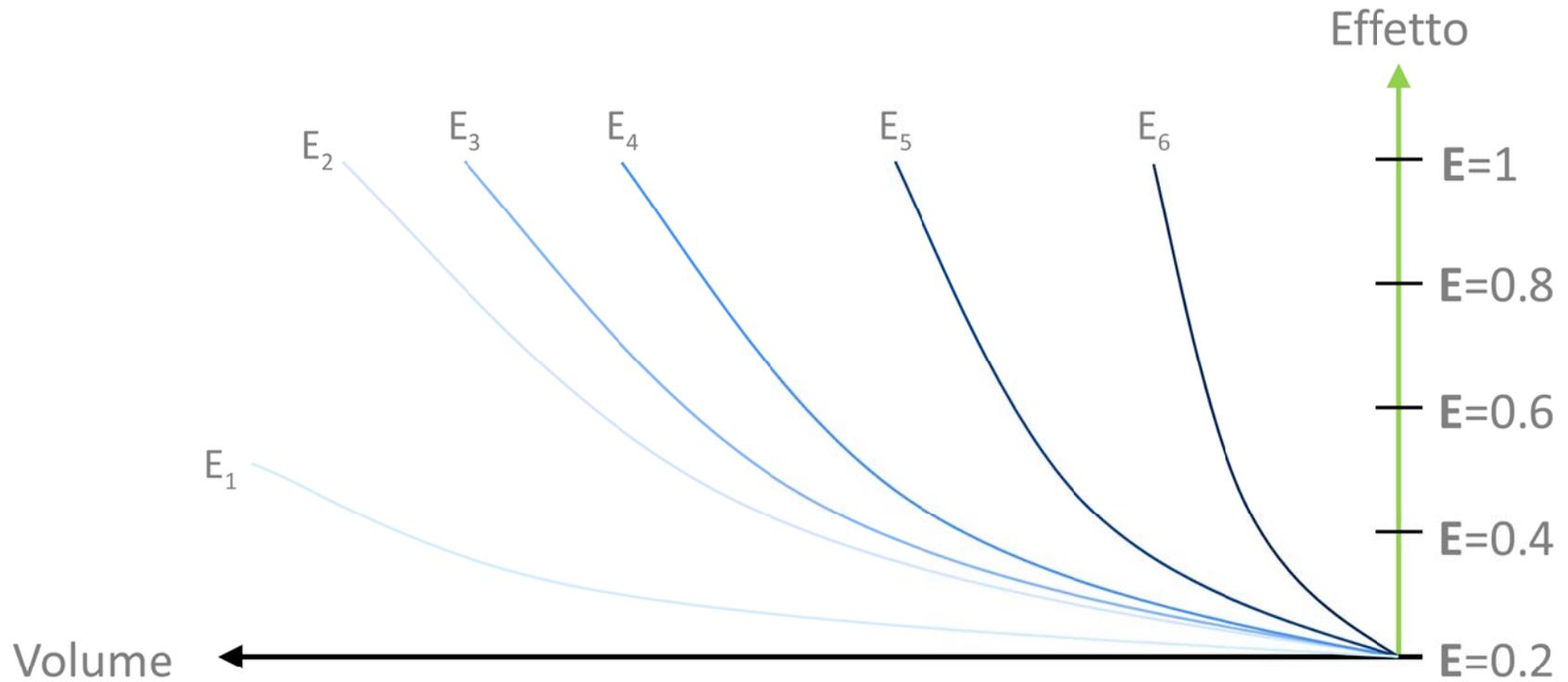


Effetto (vulnerabilità)

L'interazione tra fenomeno di crollo e infrastruttura è valutata sulla base dell'energia e del volume del blocco.

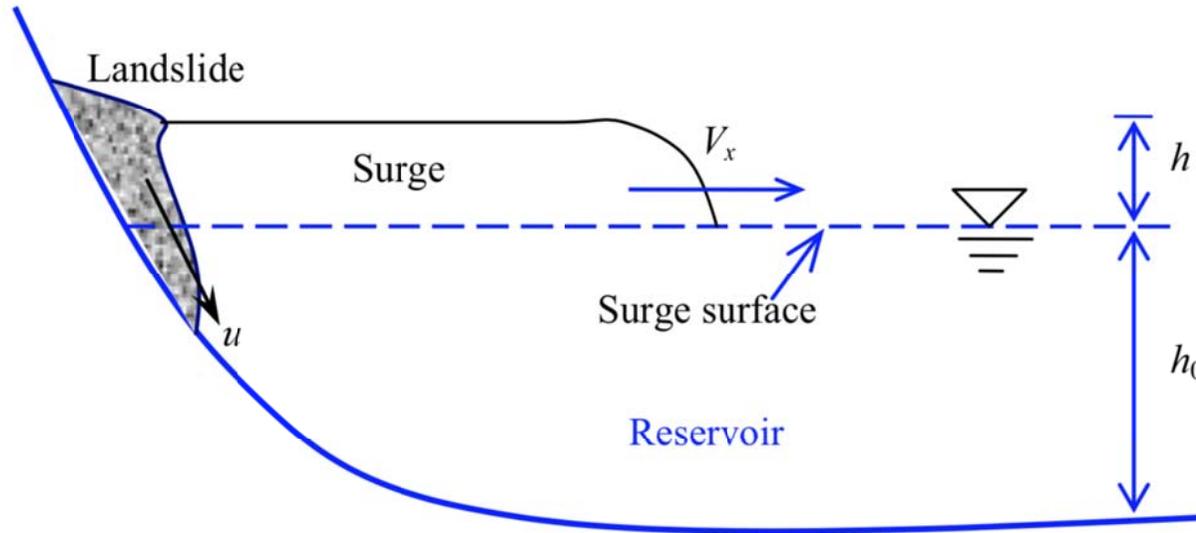


Effetto (vulnerabilità)



$$E_1 < E_2 < E_3 < E_4 < E_5 < E_6$$

Onda dovuta all'impatto di una massa rocciosa sulla superficie del bacino



ξ_0 altezza dell'onda (in m) nel punto di impatto

h_0 profondità del bacino (in m)

u velocità della massa franosa (in m/s)

b, s, l larghezza, spessore e lunghezza della massa franosa (in m)

g accelerazione di gravità (9.81 m/s²)

$$\xi_0 = 0.529 \left(\frac{u}{gh_0} \right)^{0.334} \left(\frac{b}{s} \right)^{0.754} \left(\frac{l}{s} \right)^{0.506} \left(\frac{s}{h_0} \right)^{1.631} h_0$$

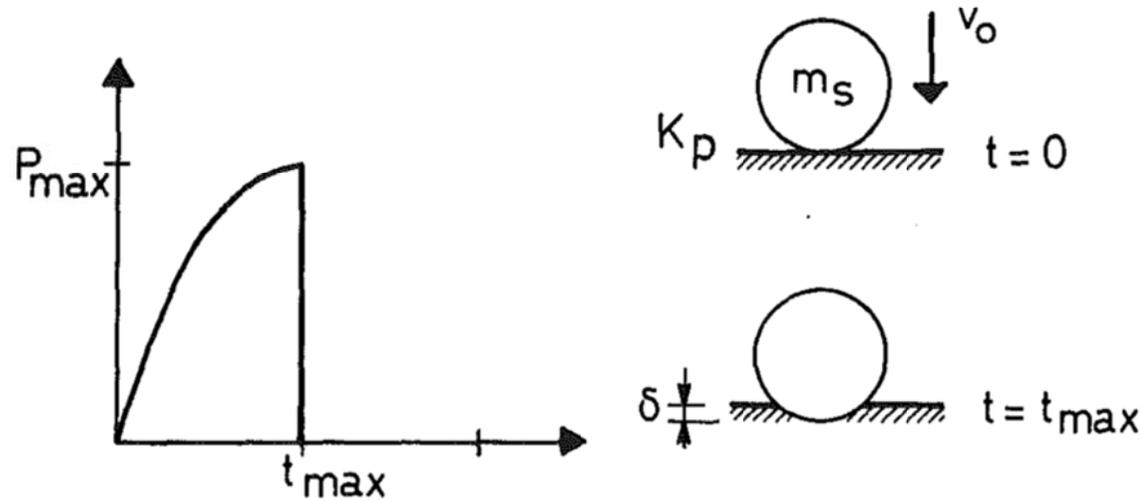
Xu, Yang and Zhou (2015) Experimental study of the impact factors of natural dam failure introduced by a landslide surge. *Environ Earth Sci* 74:4075–4087

$$\xi_0 = f(E, V, g, h_0)$$

$$\xi_0 = 0.529 \left(\frac{u}{gh_0} \right)^{0.334} \left(\frac{b}{s} \right)^{0.754} \left(\frac{l}{s} \right)^{0.506} \left(\frac{s}{h_0} \right)^{1.631} h_0$$

$$\xi_0 = 0.529 \left(\frac{2E}{V\gamma g^2 h_0^2} \right)^{\frac{0.334}{2}} \left(\frac{6V}{\pi h_0^3} \right)^{\frac{1.631}{3}} h_0$$

$$\xi_0 = 0.845 \left(\frac{E}{V\gamma g^2 h_0^2} \right)^{0.167} \left(\frac{6V}{\pi h_0^3} \right)^{0.544} h_0$$



K_p rigidezza plastica di contatto (in N/m)

δ deformazione residua (in m)

P_{max} massima forza di impatto (in N)

$$P = K_p \delta^n$$

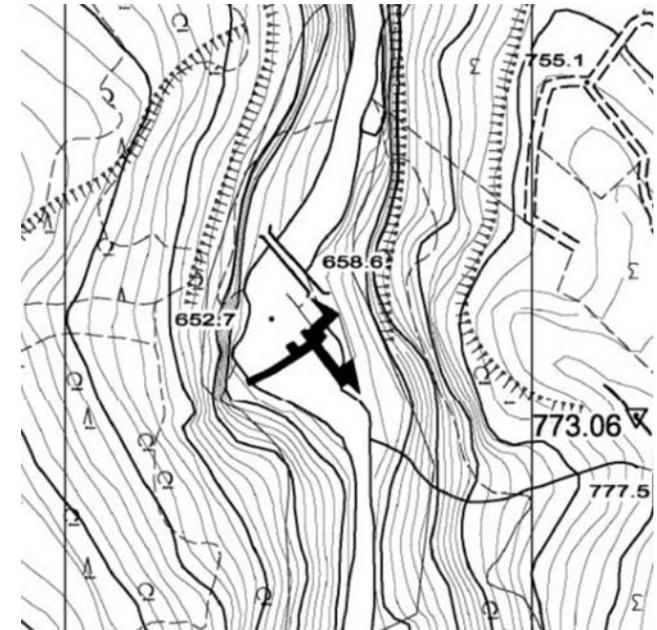
$n = 1$ per un impatto totalmente plastico (massa ferma, no restituzione)

$$P_{max} = 4.836 (f_c E)^{0.5} V^{0.167}$$

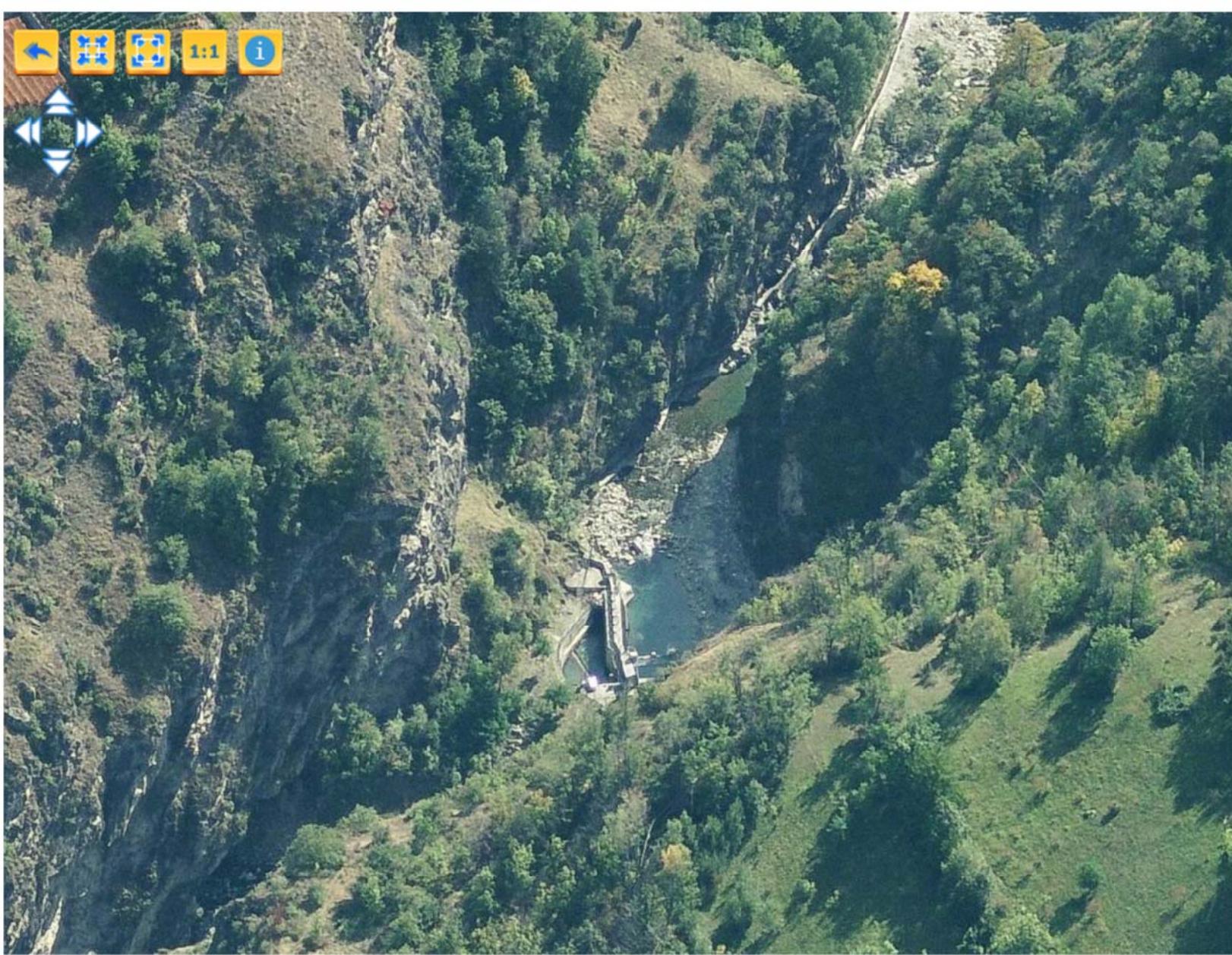
Van Mier, Puijssers, Reinhardt, Monnier (1991) Load-time response of colliding concrete bodies. *ASCE Journal of Structural Engineering* 117: 354-374

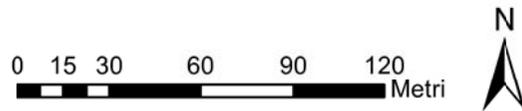
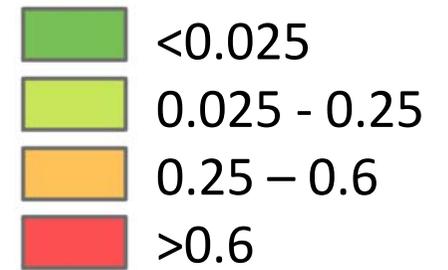
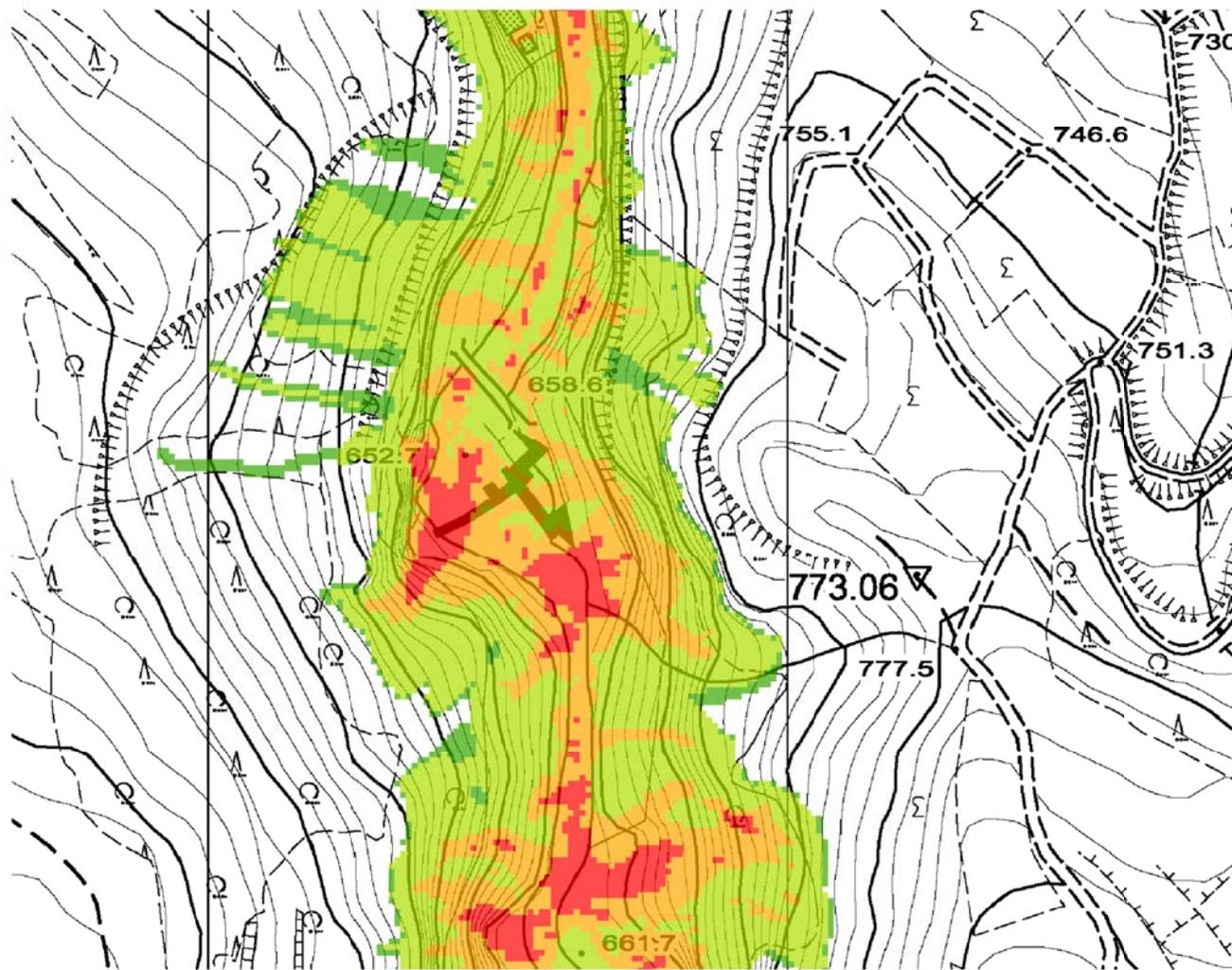


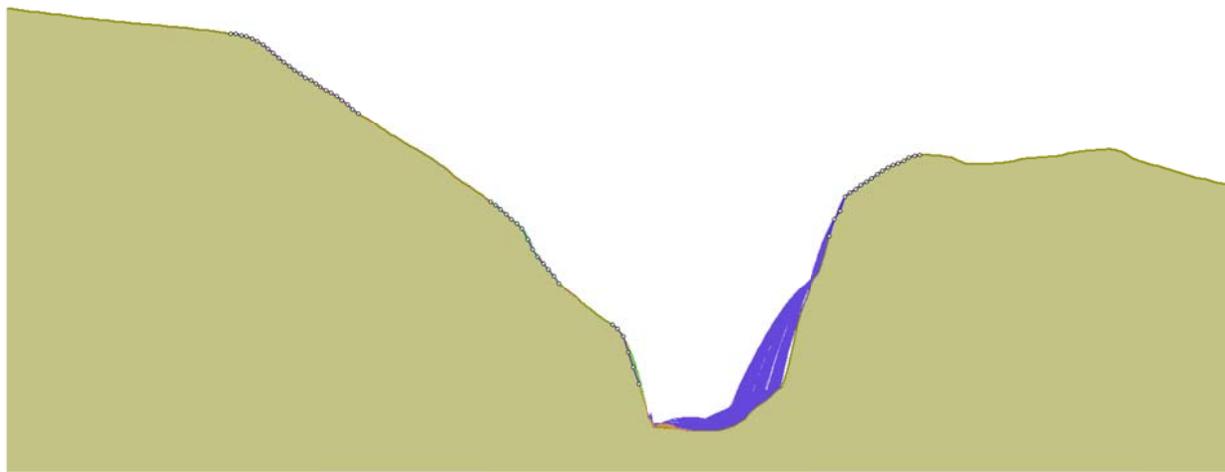
Esempio



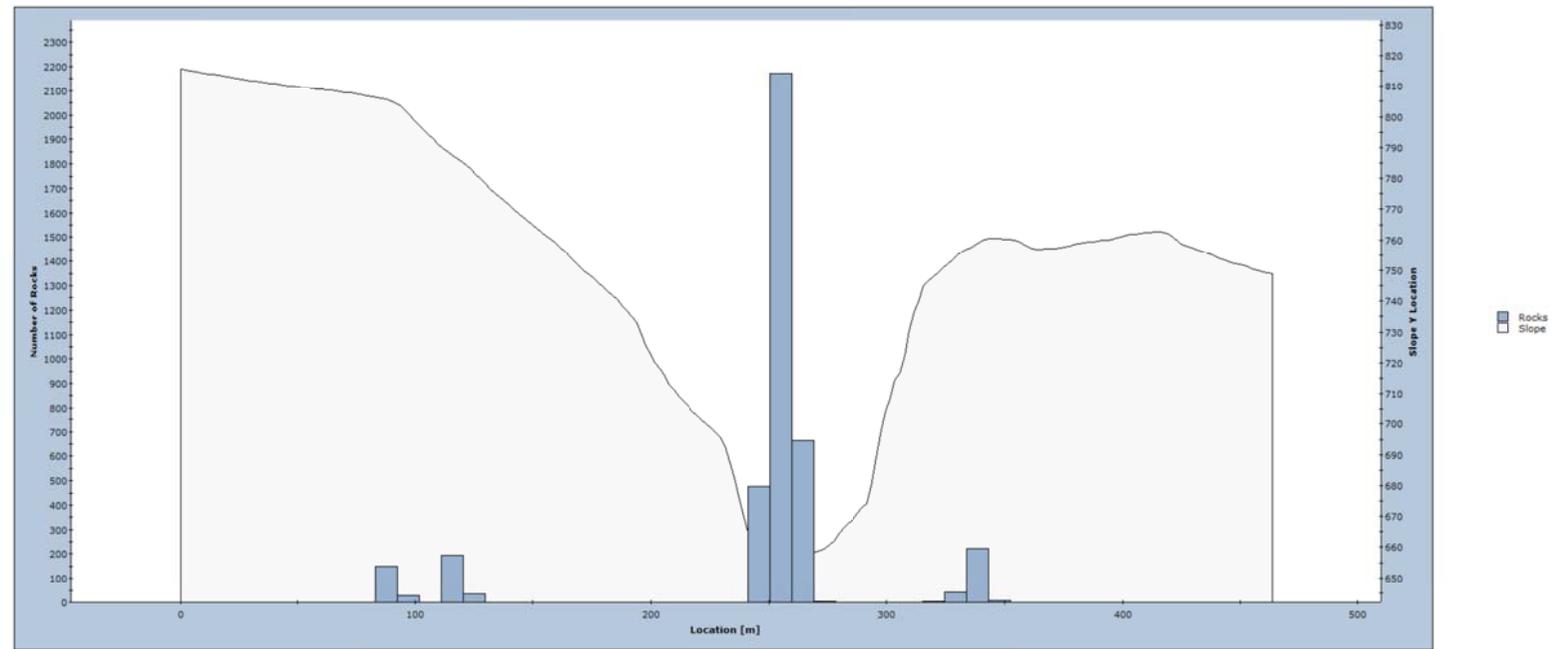
Parete di roccia, altezza massima
130 m







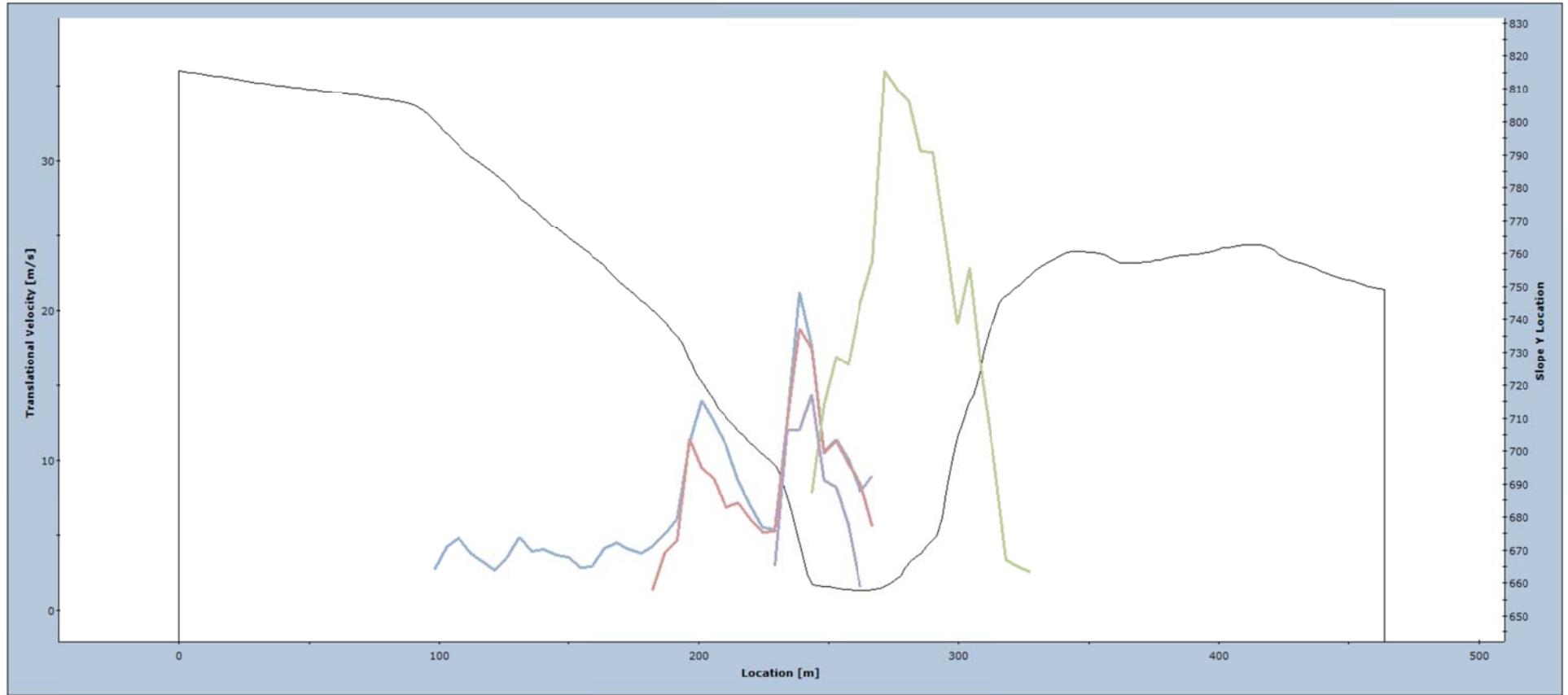
Distribution of Rock Path End Locations



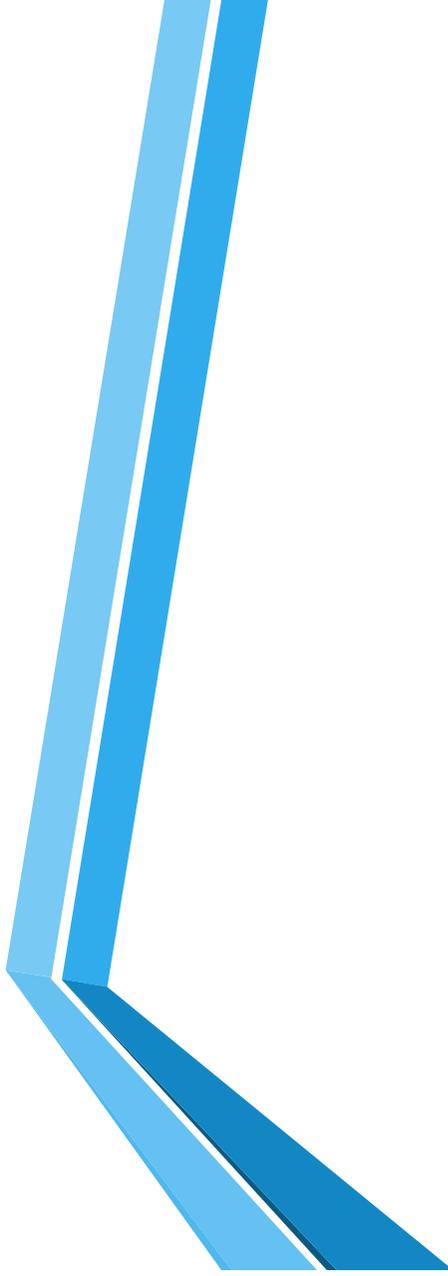
Total number of rock paths: 4000



Translational Velocity on Slope
Percentile (95 %)



Total number of selected paths: 4000 of 4000
Rock Selection: Group 1, Group 2, Group 3, Group 4



Grazie per
l'attenzione