

# RaStEM: uno strumento di supporto per la progettazione degli interventi di difesa del suolo

## MITIGAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA

Roma, 15 febbraio 2023

Settimio FERLISI - [sferlisi@unisa.it](mailto:sferlisi@unisa.it)

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno

# Frane a cinematica lenta

Velocity Class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical Velocity
7	Extremely Rapid	$5 \times 10^3$	5 m/sec
6	Very Rapid	$5 \times 10^1$	3 m/min
5	Rapid	$5 \times 10^{-1}$	1.8 m/hr
4	Moderate	$5 \times 10^{-3}$	13 m/month
3	Slow	$5 \times 10^{-5}$	1.6 m/year
2	Very Slow	$5 \times 10^{-7}$	15 mm/year
	Extremely SLOW		

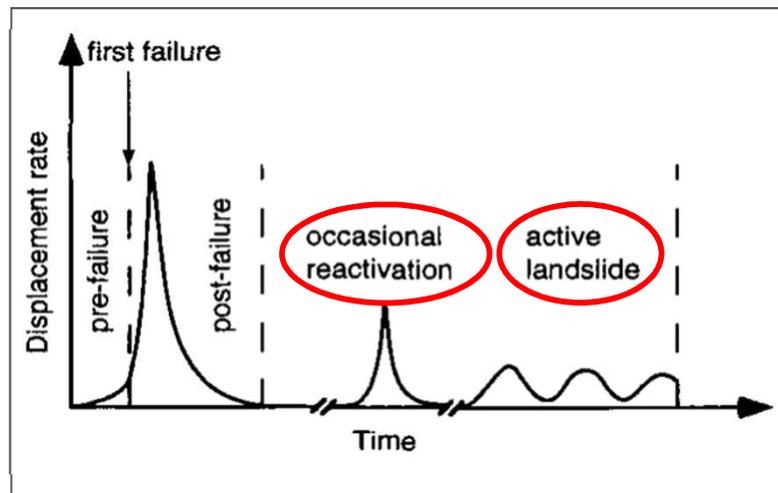
Classi di velocità delle frane (Cruden e Varnes 1996)



Ancona , Marche (1982)



Lungro, Calabria (2015)

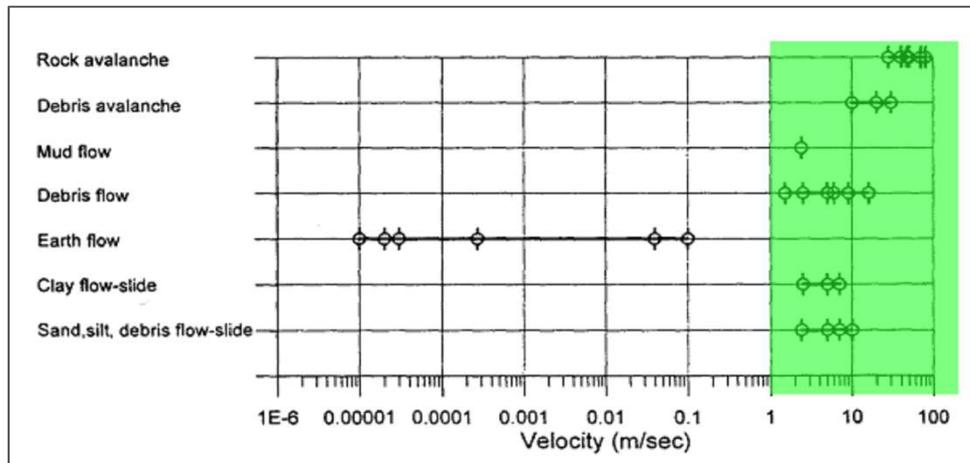


Fasi di movimento delle frane (Leroueil et al. 1996)



Cavallerizzo di Cerzeto, Calabria (2005)

# Frane a cinematica rapida



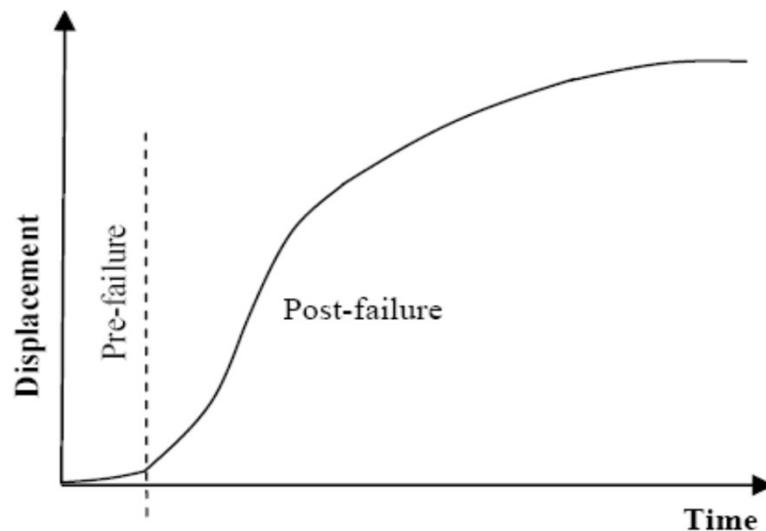
Velocità massima di frane di flusso (Hungri et al. 2001)



Salerno, Campania (1954)



Nocera Inferiore, Campania (2005)



Fasi di movimento delle colate rapide (Cascini 2005)



Sarno, Campania (1998)

# Il punto di partenza: una decisione

La mitigazione del rischio è richiesta?

**NO** *(il rischio è tollerabile)*

- Manutenzione dei versanti (per esempio, rimozione di alberi caduti/abbattuti e di rifiuti solidi) e degli interventi di mitigazione del rischio (se presenti);
- Verifica dell'efficacia degli interventi di regimentazione delle acque superficiali e di smaltimento delle acque reflue;
- Manutenzione ordinaria e straordinaria dei beni esposti;
- Attività di presidio territoriale e ulteriore approfondimento delle conoscenze

**SI**

.....

## Approcci disponibili: FSA

**Factor of Safety Approach (FSA):** si applica agli interventi strutturali di prevenzione (NTC 2018); prevede il calcolo del fattore di sicurezza definito dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie di scorrimento (in atto o potenziale) e quella mobilitata lungo di essa.

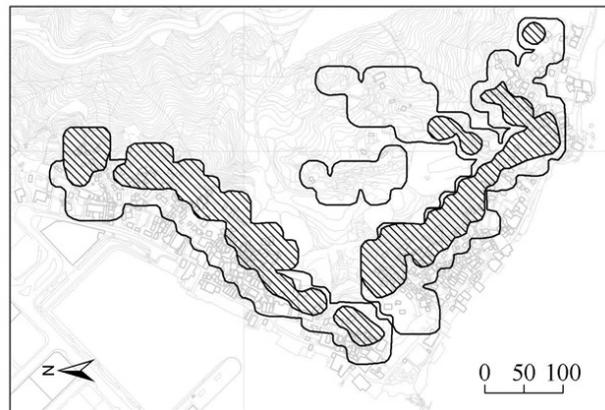
*Nel caso in cui si selezioni il FSA, si dovrà fare riferimento al tradizionale fattore di sicurezza. La superficie di scorrimento presa in considerazione dovrà avere geometria coerente con il modello geologico ed essere individuata nel modello geotecnico sulla base della tipologia del movimento franoso e del meccanismo che ne contraddistingue la fase di attivazione/riattivazione (nel caso di processi instabili in atto) o di innesco (nel caso di eventi potenziali).*

## Approcci disponibili: DEA

**Design Event Approach (DEA):** si basa sulla valutazione semi-quantitativa della suscettibilità all'innescò del movimento franoso e delle relative conseguenze attese (Ng et al., 2002); le incertezze che intervengono nel problema sono introdotte in forma globale ed implicita (Ho, 2004).

*Laddove la progettazione si basi sul DEA, da privilegiare per opere di protezione, la finalità dell'intervento può essere quella di contenere i valori di progetto della magnitudo (in termini di volumi mobilitati/mobilitabili) e/o dell'intensità (ad esempio, in termini di velocità di spostamento del corpo di frana) entro un determinato valore limite.*

# Approcci disponibili: QRA

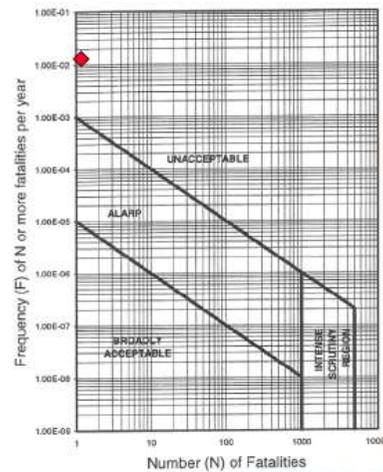


Legend:  Risk > 10<sup>-4</sup>  Risk = 10<sup>-6</sup>

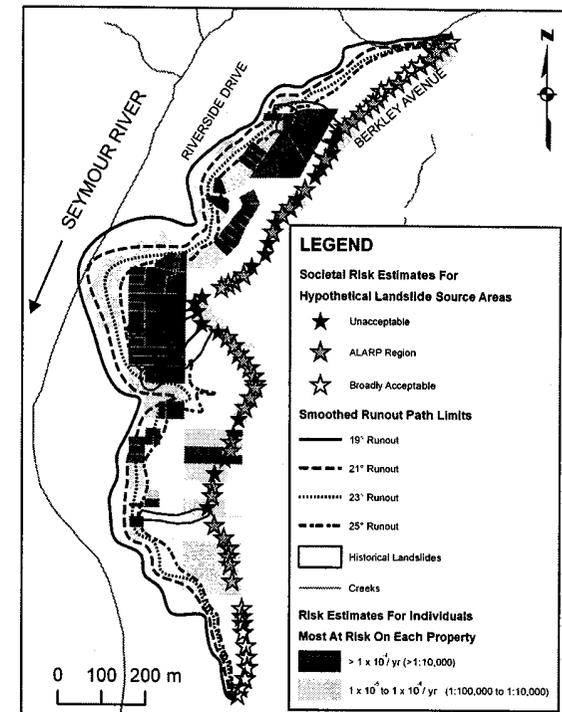
Un caso di studio a Hong Kong (Hardingham et al. 1998)

L'analisi quantitativa del rischio (QRA) “si basa su valori numerici della probabilità, della vulnerabilità e delle conseguenze, e conduce a un valore numerico del rischio”.

La scala di lavoro più adeguata per i fini del QRA è quella di dettaglio (>1:5,000).

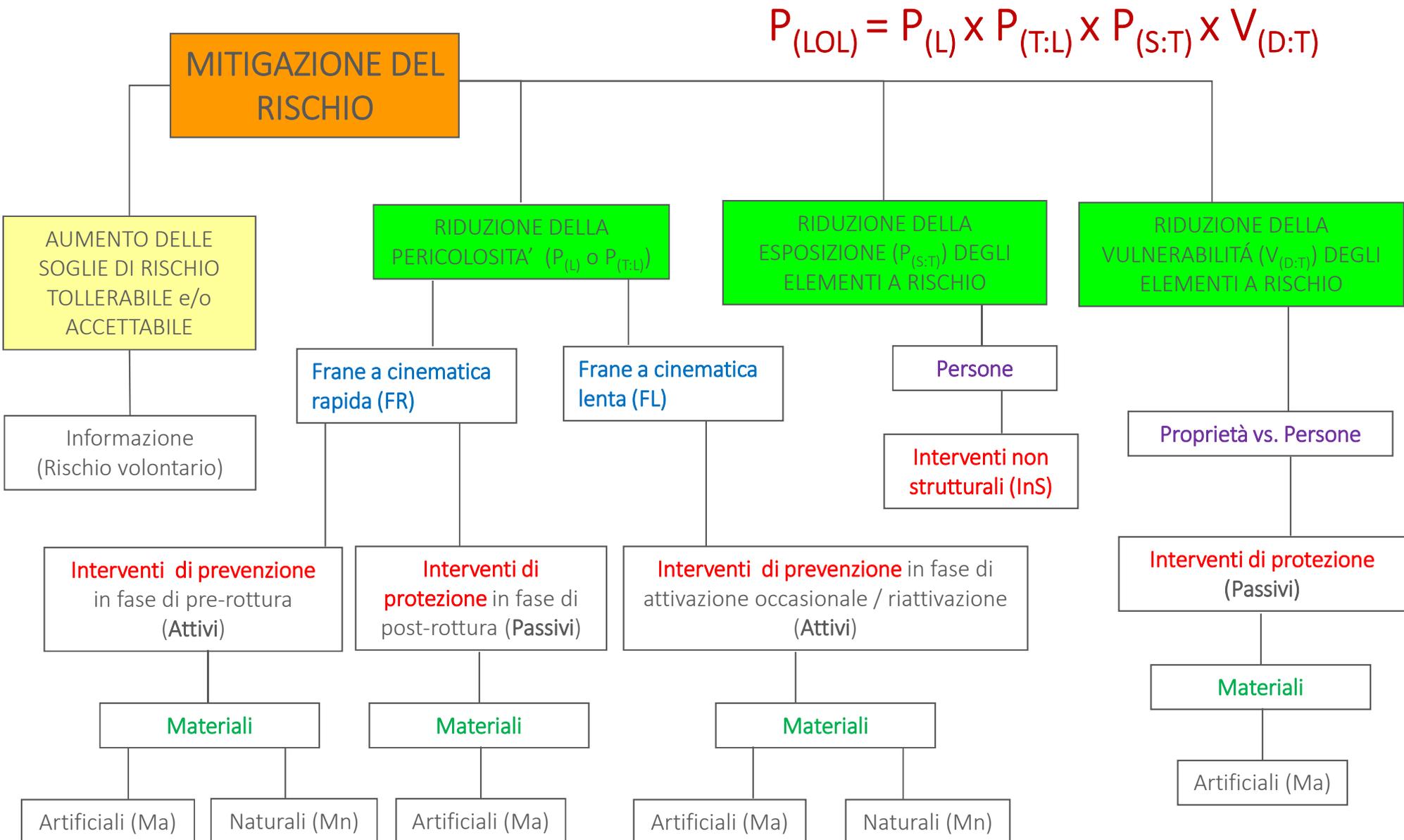


Il caso di studio di Solà d'Andorra (Corominas et al. 2005)



Un caso di studio in Canada (Porter et al. 2007)

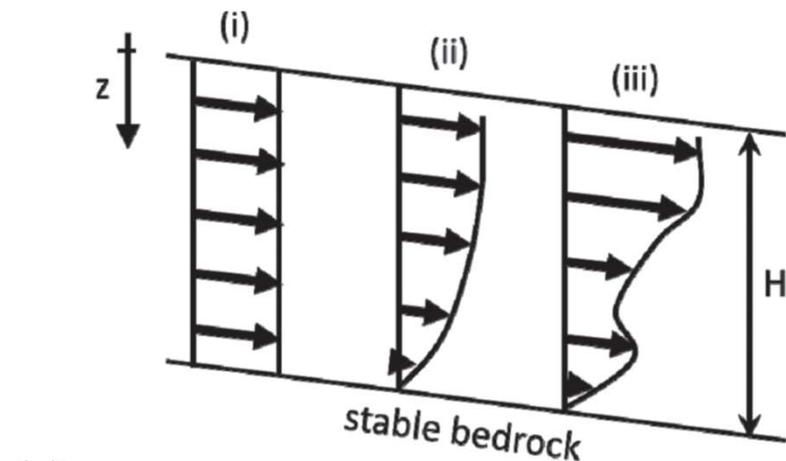
# Tipi di interventi



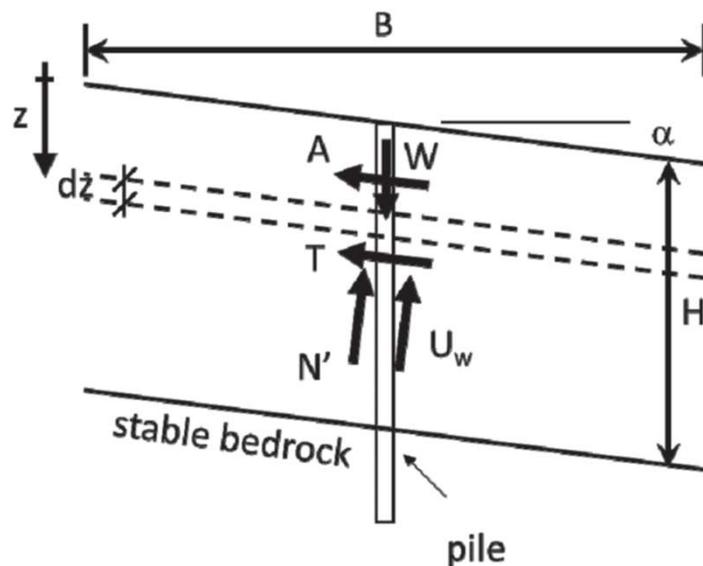
## Verifica dell'efficacia dell'intervento (FSA e DEA)

Con specifico riferimento agli interventi di mitigazione del rischio, la verifica della loro efficacia e, quindi, la loro capacità di proteggere persone e cose possono essere dimostrate “in termini di riduzione della pericolosità” (Par. C6.3.5 della Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici). L'incremento stimato del fattore di sicurezza (FSA) e/o la verifica che la variabile di controllo prescelta risulti inferiore ad un limite stabilito (DEA), nel corso della vita nominale di progetto dell'intervento, sono di per sé una dimostrazione che la pericolosità si è ridotta.

# Verifica dell'efficacia dell'intervento (DEA)

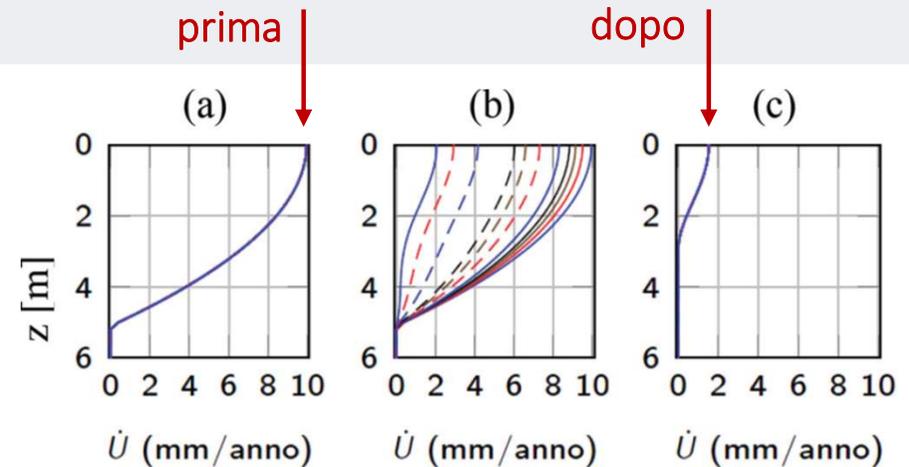


(a)



(b)

(a) esempi di profili di velocità di spostamento del terreno: (i) uniforme, (ii) continuo, (iii) irregolare; (b) equilibrio di un generico strato di terreno di spessore  $z$ .



Evoluzione del profilo di velocità di spostamento del terreno: (a) senza alcun intervento; (b) pali con ancoraggi passivi; (c) pali con ancoraggi attivi.

È evidente come l'impiego degli ancoraggi passivi conduca a una lenta progressiva riduzione dei valori della velocità di spostamento del terreno, senza consentire la completa stabilizzazione dello strato instabile. Al contrario, il ricorso agli ancoraggi attivi consente un'immediata riduzione della velocità di spostamento del terreno, che rimane poi costante nella finestra temporale considerata. Per il caso in esame, tuttavia, sono ancora possibili meccanismi di spostamento superficiale residuo, con velocità di spostamento di circa 2 mm/anno fino ad una profondità di circa 2,5 metri dalla superficie topografica.

(di Prisco et al., 2016)

# Verifica dell'efficacia dell'intervento (QRA)



Vista di Solà d'Andorra con i versanti sede dei crolli e i conoidi nella zona pedemontana.



Blocco di roccia di 2,3 m<sup>3</sup> associato all'evento del 17 agosto 2003 trattenuto dalla rete paramassi.

Basin	Rock size (m <sup>3</sup> )	$P_{(R)}$	$P_{(T-R)}$	$P_{(S-T)}$	$V_{(prop-S)}$	$R_{(R)}$
Forat Negre	0.5	0.0992	0	1.0	0.1	0
	1	0.0678	0	1.0	0.1	0
	2.5	0.0290	0.0043	1.0	0.2	$2.5 \times 10^{-5}$
	5	0.0029	0.0171	1.0	0.2	$1.0 \times 10^{-5}$
	10	0.0010	0.1667	1.0	0.3	$5.1 \times 10^{-5}$
Total risk						$8.6 \times 10^{-5}$

Rischio annuale residuo espresso come grado di perdita causato dagli eventi di crollo per gli edifici localizzati nel bacino del Forat Negre protetto dalla rete paramassi (Corominas et al., 2005)



Due blocchi di roccia del volume di 0,25 and 4 m<sup>3</sup> rispettivamente associati all'evento del 2 aprile 2004 e trattenuti dalla rete paramassi.

# La sfida

Nella maggior parte dei casi, il concetto di sostenibilità, nel contesto dell'ingegneria civile, si traduce nell'affrontare le tematiche relative al risparmio energetico, alla certificazione ambientale dei materiali e, più in generale, all'eco-compatibilità delle opere.

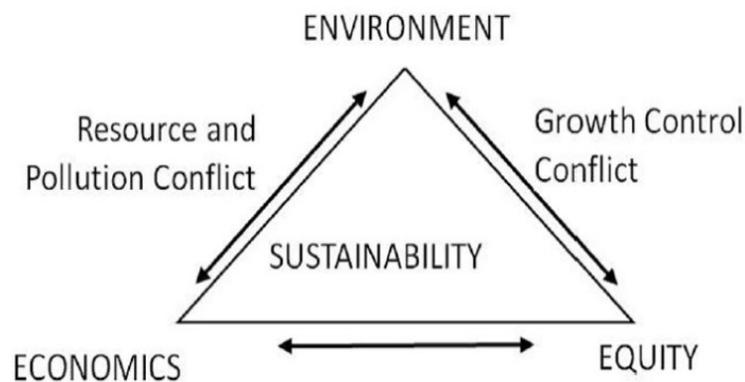
In realtà, nell'ottica di perseguire politiche di sviluppo sostenibile nella gestione del patrimonio costruito, le tematiche relative alla durabilità delle opere, all'ottimizzazione dei costi nel ciclo di vita e alla riduzione degli impatti ambientali, diventano, ad oggi, elementi fondamentali anche nell'ambito della progettazione.

La sfida attuale nel campo dell'ingegneria civile è quella di riuscire a realizzare opere "sicure, affidabili ed economiche" che, allo stesso tempo, consentano di minimizzare gli impatti negativi prodotti sulla società, sull'economia e sull'ambiente.

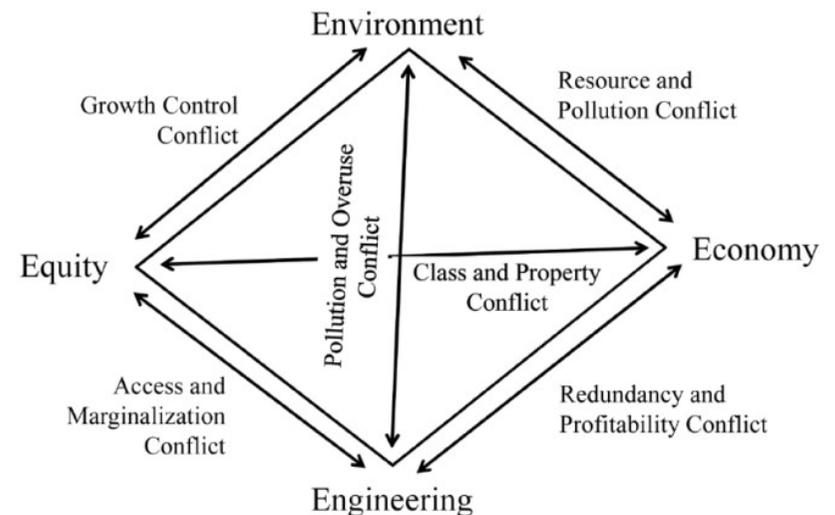
# I primi passi della sostenibilità in campo geotecnico

L'interesse che il tema suscita in ambito scientifico è testimoniato dalla costituzione del Comitato Tecnico TC 307 ("Sustainability of Geotechnical Engineering") all'interno dell'ISSMGE.

Con riferimento ai lavori scientifici, è necessario citare Basu et al. (2015) che, facendo riferimento alle tre dimensioni classiche e in analogia a quanto proposto nell'ambito della Commissione Tecnica CEN / TC350, aggiungono un quarto elemento al concetto di sostenibilità definendo relazioni e conflitti tra le componenti così individuate. Basu et al. (2015) suggeriscono inoltre i) l'adozione di un approccio metodologico basato sulla partecipazione attiva dei diversi soggetti coinvolti nella fase di pianificazione del progetto, al fine di raggiungere il consenso sugli obiettivi specifici da perseguire, e ii) la promozione di una buona progettazione in grado di coniugare l'efficienza tecnica dell'opera con il minimo sforzo finanziario e il minor utilizzo possibile di risorse naturali e materiali, al fine di minimizzare gli impatti negativi sull'ambiente e i rifiuti.



I tre aspetti e i conflitti dello sviluppo sostenibile (Basu et al., 2015)



I quattro aspetti della sostenibilità nella progettazione geotecnica (Basu et al., 2015)

# Conclusioni

In generale, appare necessario:

- l'approfondimento delle conoscenze, anche per l'individuazione delle priorità di intervento (soprattutto in presenza di budget limitati);
- la cura dell'esistente, a partire dall'ambiente costruito;
- la definizione di regole di buona pratica, sulla base delle esperienze già maturate;
- l'armonizzazione della normativa tecnica e di quella sul rischio di frana;
- la partecipazione degli attori coinvolti e la condivisione delle scelte, in un'ottica di sviluppo sostenibile.

*Grazie dell'attenzione!*