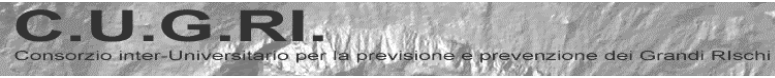




Presentazione e discussione dello stato di avanzamento dei lavori e dei prodotti –  
*workshop online 4 Marzo 2022*



## **ANALISI DI STABILITA' IN CONDIZIONI SISMICHE**

*Componenti del Gruppo: Anna d'Onofrio, Giorgio Andrea Alleanza*



UNIONE EUROPEA  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Estratto da: Presentazione e discussione dello stato di avanzamento dei lavori e dei prodotti del progetto MITIGO -  
Workshop 4 Marzo 2022

© 2022 Università degli Studi della Basilicata

Editrice Universosud – Potenza

ISBN 9788899432829



Pubblicazione realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea – FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

[www.ponricerca.gov.it](http://www.ponricerca.gov.it)

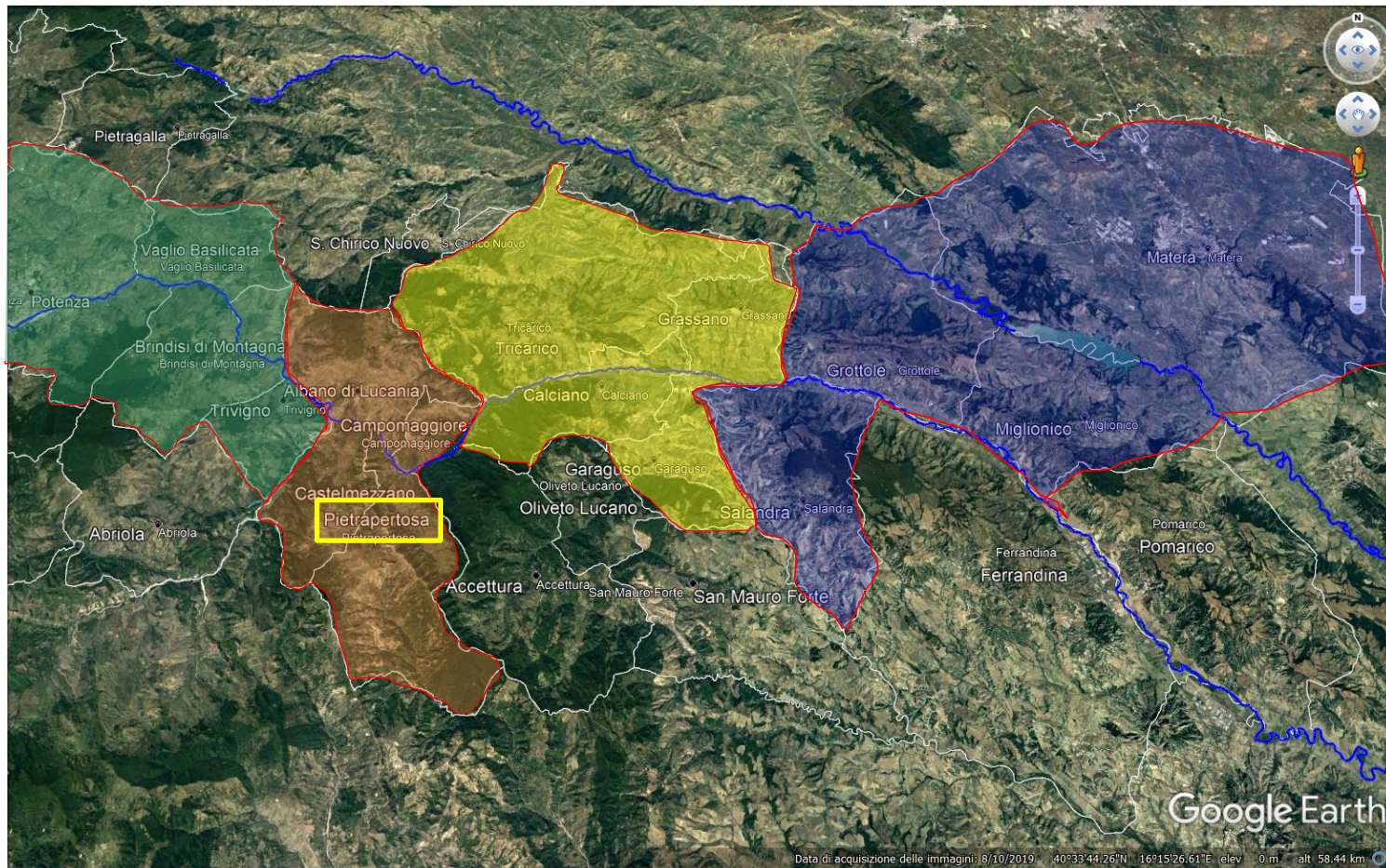
## OR3 Valutazione del rischio sismico

Le attività dell'OR3 sono finalizzate alla valutazione del rischio sismico con particolare riferimento all'area di studio localizzata fra le città di Potenza e Matera e fra le valli del Basento e del Bradano.

L'unità di ricerca CUGRI-UNINA, in questo ambito, si occuperà di caratterizzare la pericolosità locale dell'area, al fine di quantificare la domanda sismica alla scala territoriale ma anche del singolo manufatto, sia in termini di azioni transitorie, che di fenomeni deformativi permanenti indotti dal moto sismico atteso.

In particolare, l'attenzione è rivolta a un'area che ricade nel comune di Pietrapertosa dove un fenomeno franoso di vaste dimensioni ha danneggiato in più punti la strada provinciale 13.

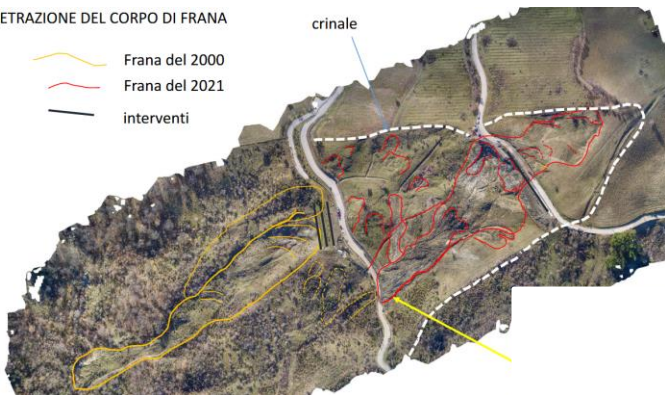
L'unità di ricerca si occuperà di valutare l'efficacia degli interventi di mitigazione a farsi in riferimento alla stabilità in condizioni sismiche.



## 1. Raccolta delle indagini di sito e laboratorio esistenti

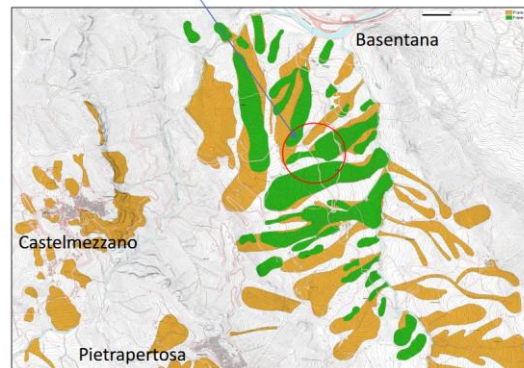
PERIMETRAZIONE DEL CORPO DI FRANA

- Frana del 2000
- Frana del 2021
- interventi



Colamento del dicembre 2021

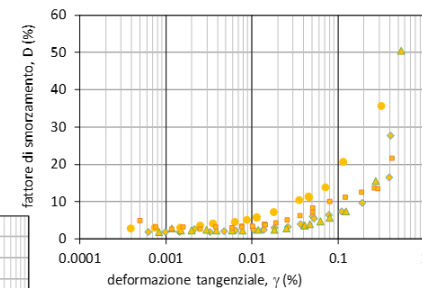
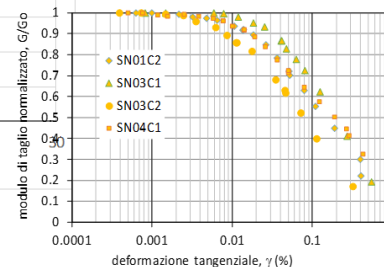
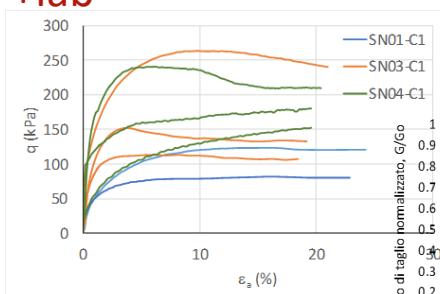
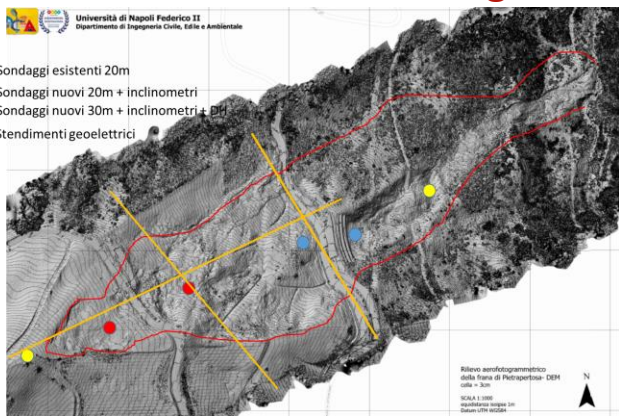
IFFI

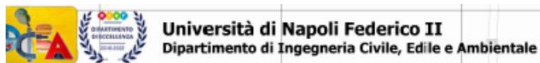


## 2. Pianificazione nuove indagini sito +lab

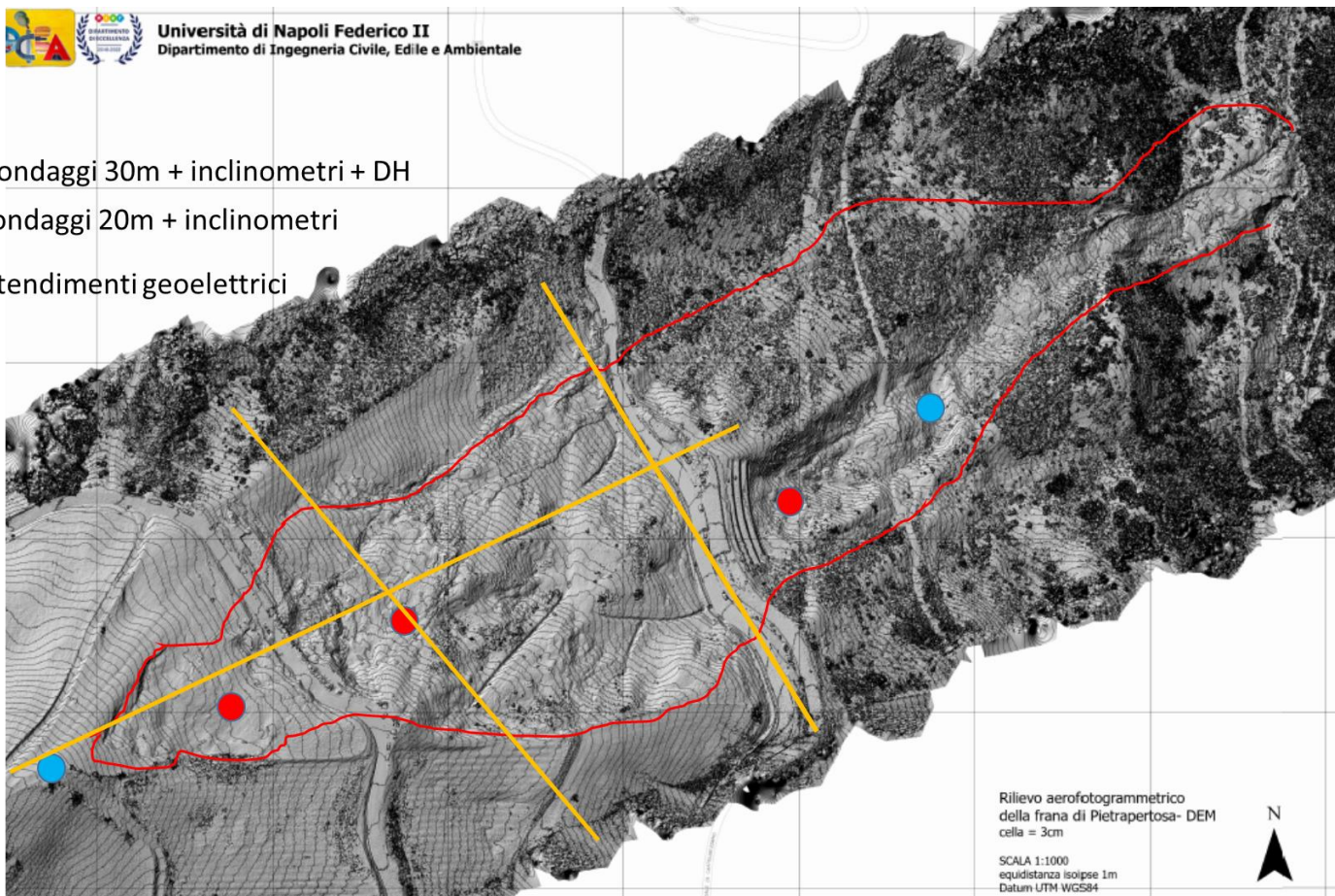
Università di Napoli Federico II  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

- Sondaggi esistenti 20m
- Sondaggi nuovi 20m + inclinometri
- Sondaggi nuovi 30m + inclinometri + DFI
- Stendimenti geoelettrici





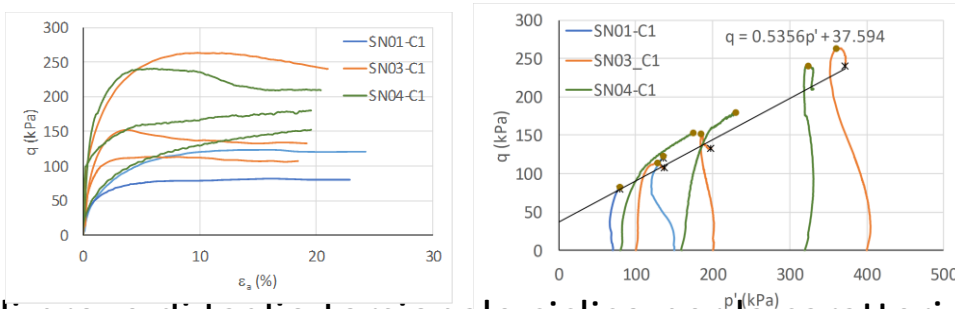
- Sondaggi 30m + inclinometri + DH
- Sondaggi 20m + inclinometri
- Stendimenti geoelettrici



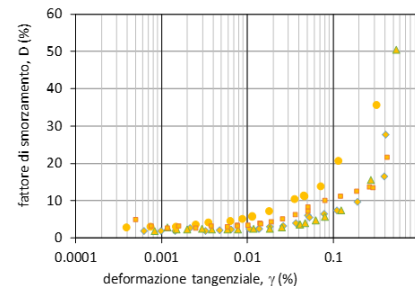
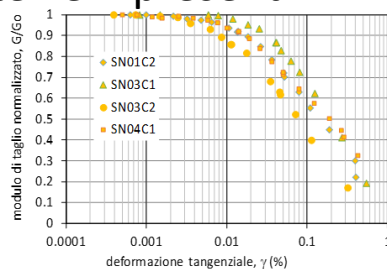
## Programma di indagini integrativo

Prelievo di campioni indisturbati nel detrito, nel Flysch e nelle argille varicolori lungo le verticali di sondaggio e/o da trincea

Esecuzione di prove triassiali per la caratterizzazione delle proprietà di resistenza dei terreni presenti



Esecuzione di prove di taglio torsionale ciclico per la caratterizzazione dalla non linearità e delle proprietà dissipative dei terreni presenti



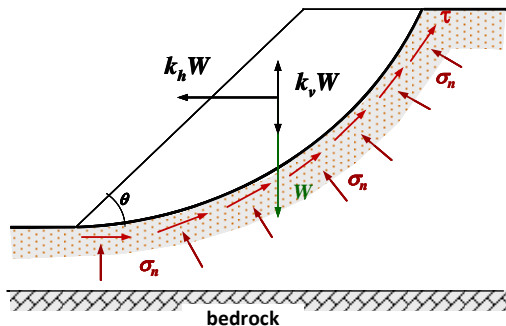
## Analisi di stabilità in condizioni sismiche – approccio gerarchico

Metodo di analisi	Moto sismico di riferimento	Legame costitutivo	Indagini e prove geotecniche	Risultati tipici
<b>Criteria di screening</b>	Magnitudo e distanza	-	-	Fenomeno si/no
<b>Pseudo-statica Metodi empirici</b>	Accelerazione massima $a_{max}$ Magnitudo Altri parametri sintetici del moto	Rigido-plastico Effetti deformabilità	Tradizionali in sito e lab. Misure di $V_s$	Coefficiente di sicurezza Spostamenti
<b>Dinamica semplificata</b>		Mezzo monofase Lineare equivalente Rigido-plastico		Spostamenti
<b>Dinamica avanzata</b>	Accelerogramma (-i) $a(t)$	Mezzo polifase Elasto-plastico	c.s. più Prove cicliche/dinamiche in laboratorio	Distribuzioni di Tensioni efficaci Pressioni interstiziali Deformazioni e spostamenti



## Analisi pseudostatica:

- azione sismica: forza statica equivalente, con componenti orizzontale e verticale proporzionali al peso della massa potenzialmente instabile



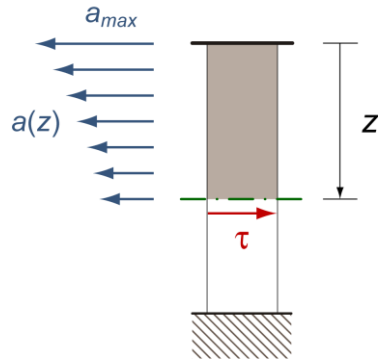
$$F_h = k_h W \quad (\text{coefficiente sismico orizzontale})$$

$$F_v = k_v W \quad (\text{coefficiente sismico verticale})$$

Risposta sismica di una colonna di terreno nell'ipotesi di propagazione verticale di onde S



Analisi pseudo-statica:  
equilibrio alla traslazione orizzontale della colonna di terreno fino a profondità  $z$

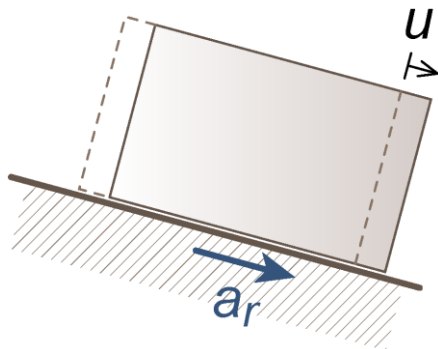


Tensione tangenziale = Forza inerzia

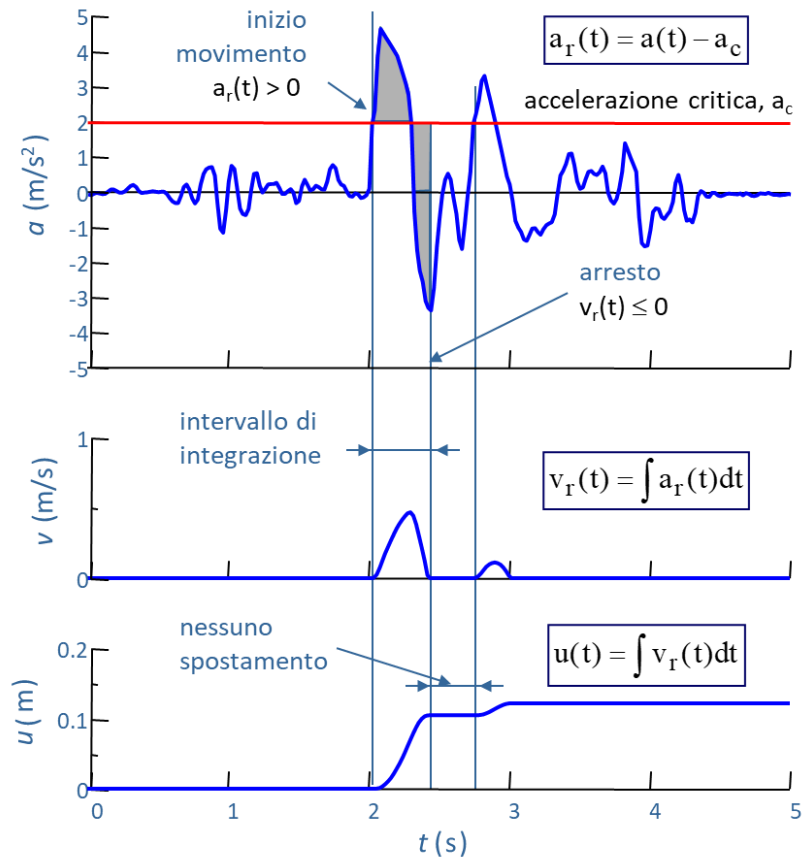
$$\tau = \int_0^z \rho a(z) dz = \int_0^z \gamma \frac{a(z)}{g} dz$$

## Metodo di Newmark: calcolo degli spostamenti

**Blocco rigido scorrevole  
su piano inclinato soggetto  
ad un accelerogramma  $a(t)$**



$a_c$  = accelerazione critica  
corrispondente al raggiungimento  
dell'equilibrio limite



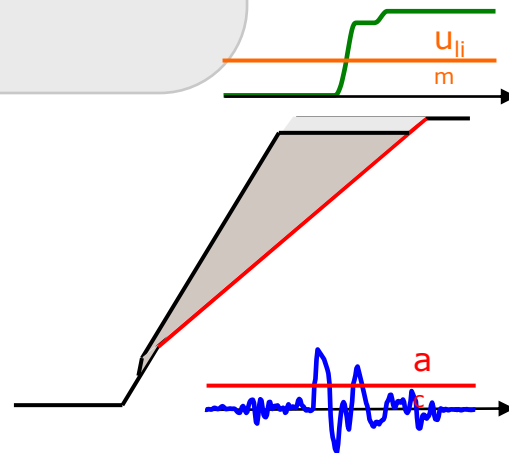
## Metodi degli spostamenti

Fasi di analisi:

- scelta **accelerogramma (-i)** di progetto
- ricerca con l'approccio pseudostatico della s.d.s. alla quale corrispondono condizioni di equilibrio limite ( $F_s = 1$ ) e determinazione del **coefficiente sismico critico**  $K_c = a_c/g$
- **calcolo spostamenti** (doppia integrazione eq. moto relativo)
- **verifica di ammissibilità** degli spostamenti accumulati

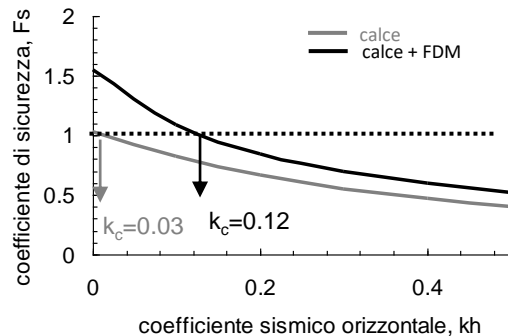
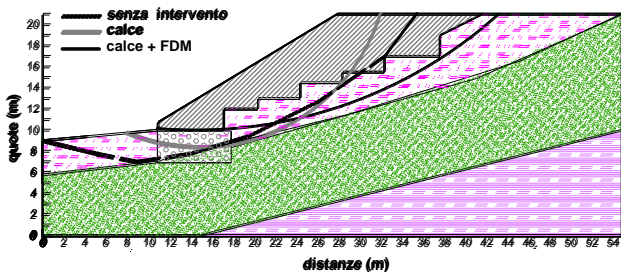
Ipotesi:

1.  $a_c$  costante nel tempo ( $c_u$  o  $c'$ ,  $\varphi'$  ed  $u$  costanti)\*
  2.  $a(t)$  costante nello spazio (nel corpo di frana)\*
  3. calcolo degli spostamenti col modello di blocco rigido\*
  4. condizioni piane
  5. spostamento verso monte nullo
- \* possono essere rimosse

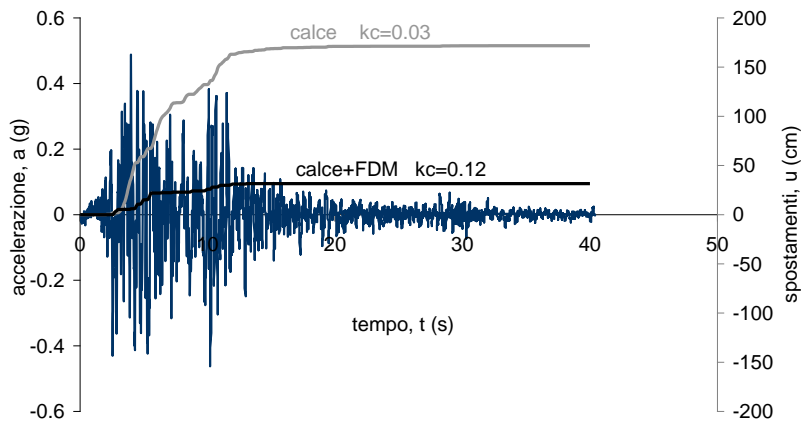


## Applicazione del metodo degli spostamenti

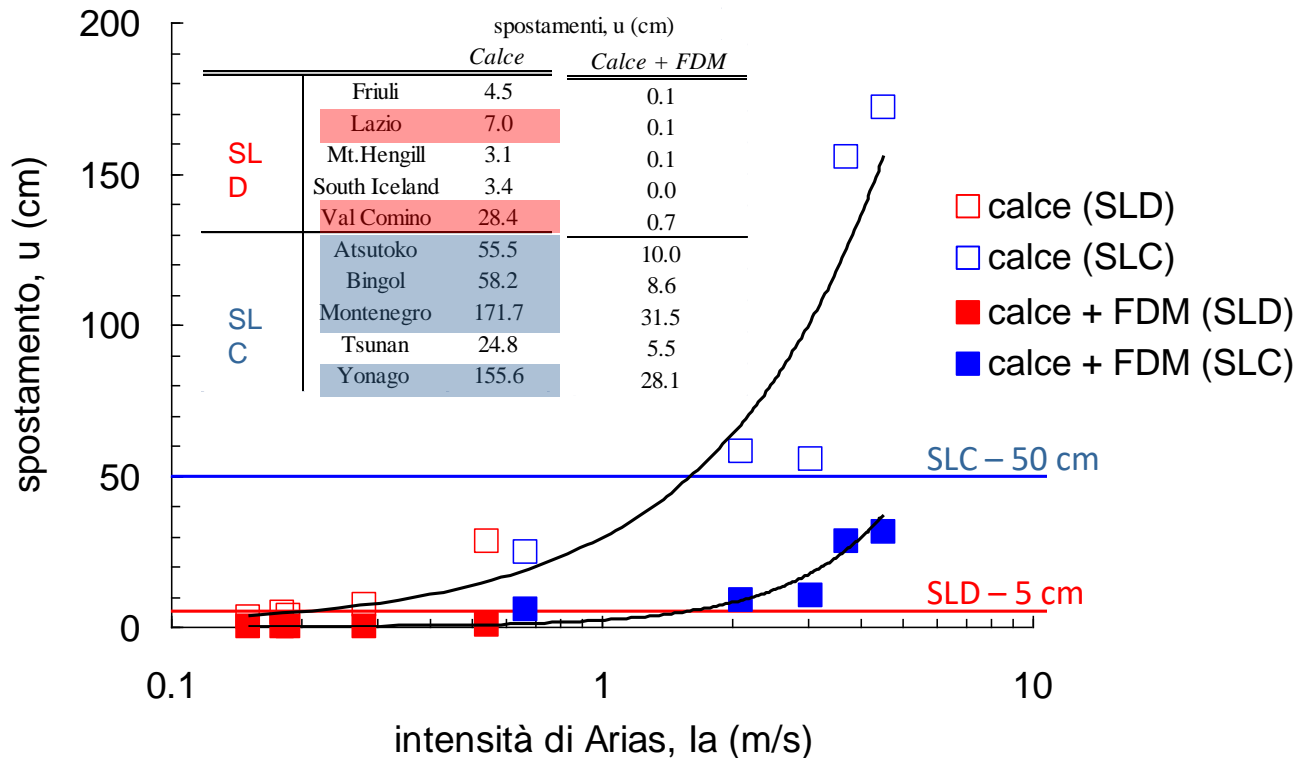
Analisi stabilità (metodo di Sarma) → ricerca dell'accelerazione critica



Analisi dinamica semplificata → calcolo spostamenti



## Valutazione dell'efficacia di un intervento di mitigazione

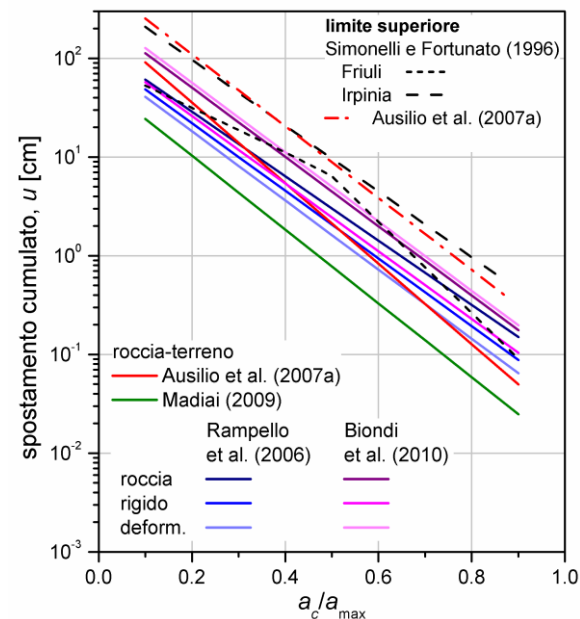
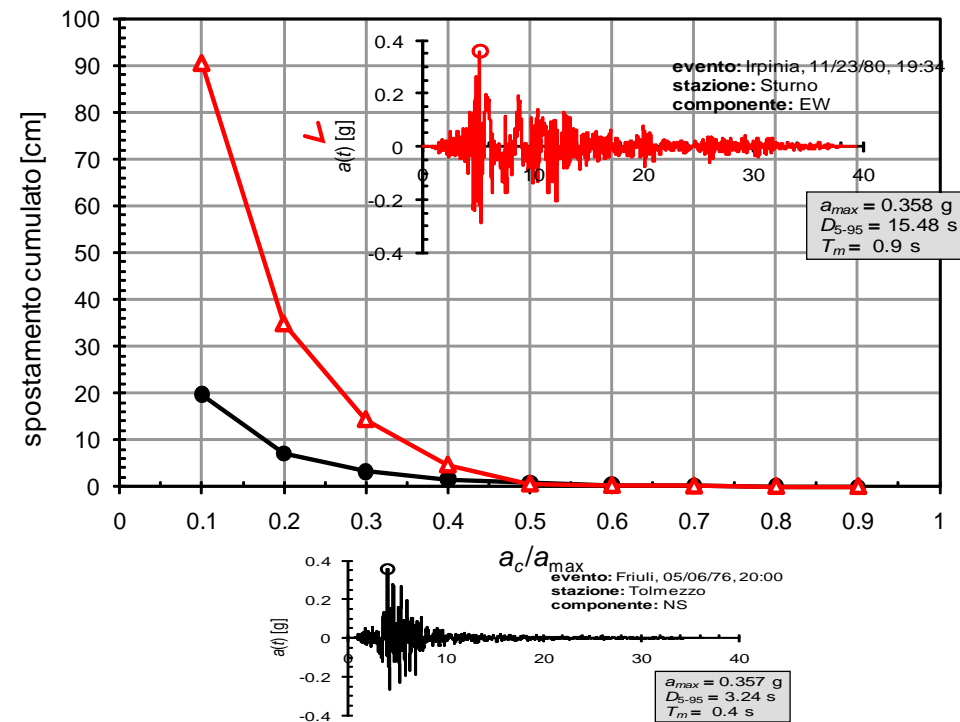


L'integrazione del trattamento a calce con il FDM permette la riduzione degli spostamenti al di sotto dei limiti di ammissibilità per entrambi gli stati limite

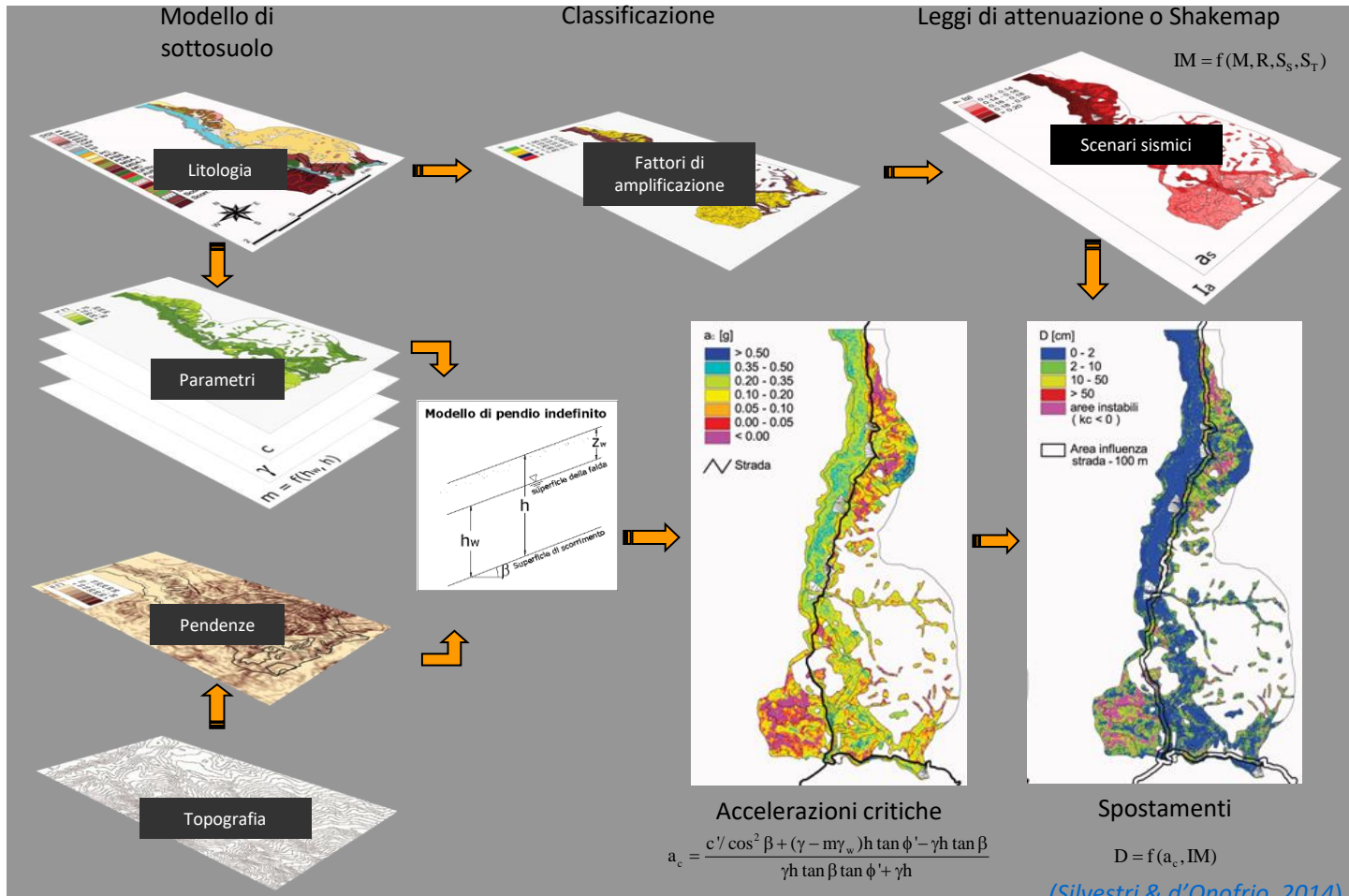
## Stima degli spostamenti da correlazioni empiriche

Per un dato segnale accelerometrico, gli spostamenti diminuiscono con il rapporto  $a_c/a_{max}$

L'applicazione estensiva della procedura ad un intero *database* accelerometrico conduce a relazioni empiriche  $u:a_c/a_{max}$

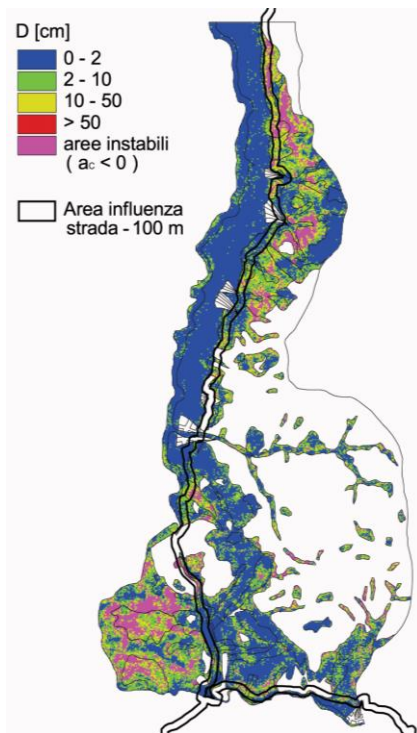


Analisi di stabilità a scala territoriale

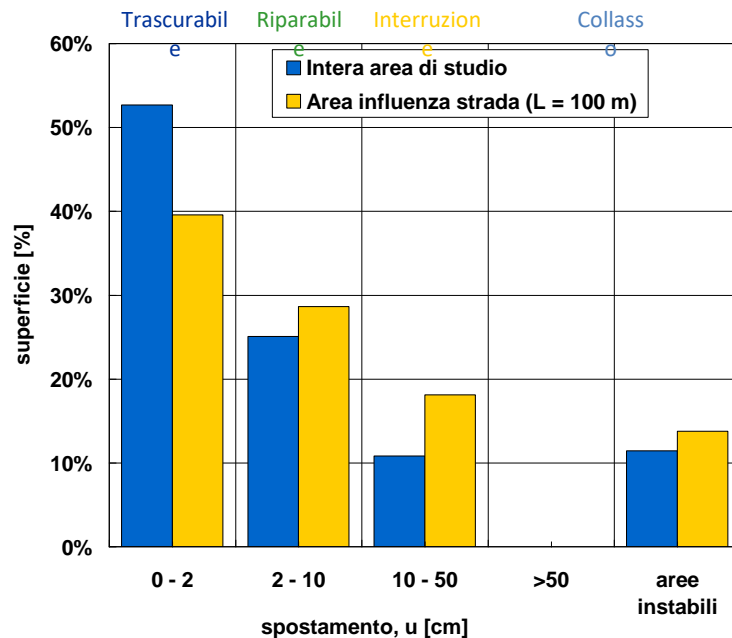


## Applicazioni a larga scala di analisi semplificata di stabilità

- Scenario sismico: terremoto del Sannio del 1688 ( $M_s = 6.7$ )
- Moto sismico simulato con legge di attenuazione di *Sabetta & Pugliese (1987)* e fattori di amplificazione stratigrafica EC8



Spostamenti stimati  
(correlazione empirica di *Simonelli & Fortunato, 1996*)



Distribuzione livelli di danno  
(scala di *Silvestri et al, 2006*)

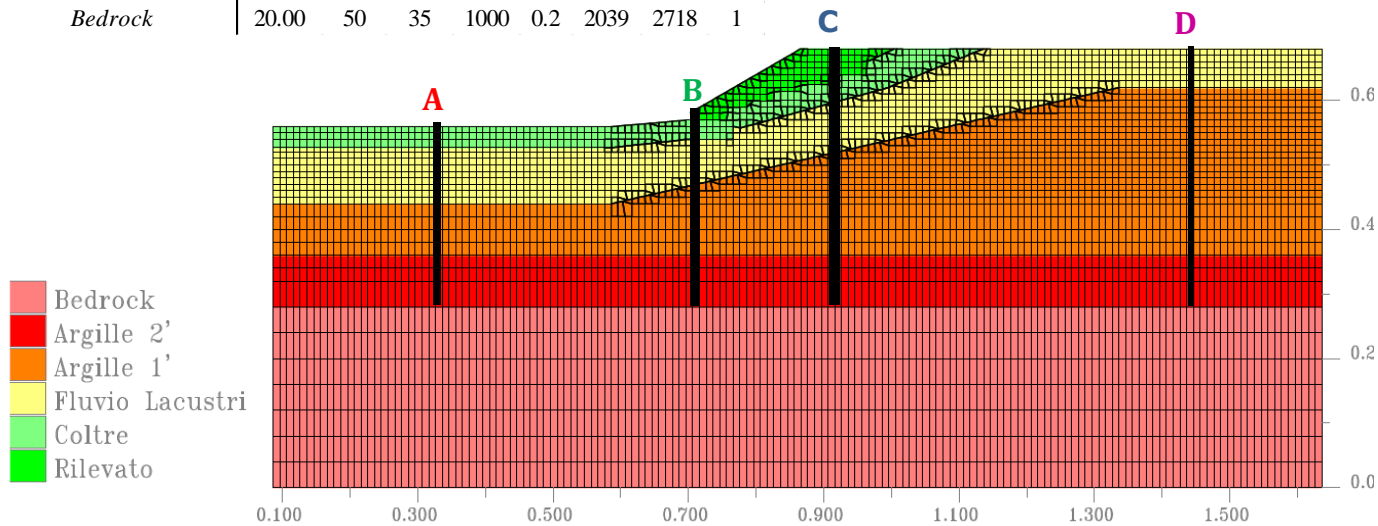


## Analisi dinamica avanzata di un rilevato stradale

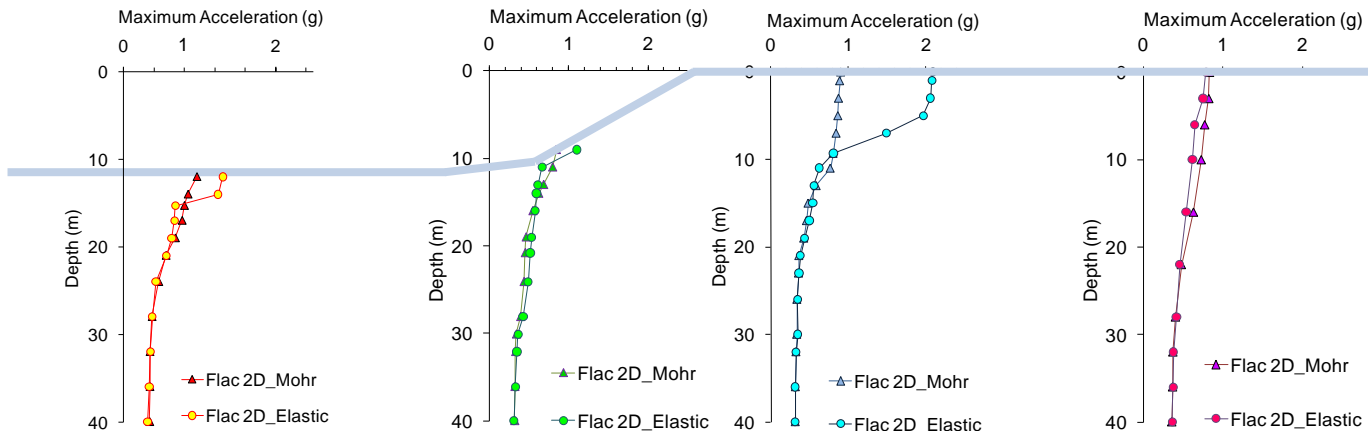
Materiali	$\gamma$	$c$	$\phi'$	$V_s$	$\nu$	$G$	$K$	$D_0$
	kN/m <sup>3</sup>	kPa	°	m/s		MPa	MPa	%
<i>Rilevato</i>	19.00	3	13	100	0.3	19	42	2
<i>Rilevato stabilizzato</i>	21.00	40	21	200	0.3	86	186	2
<i>Coltre alterata</i>	20.00	17	16	100	0.4	20	95	3
<i>Terreno con FDM</i>	21.00	2264	30	260	0.3	145	314	2
<i>Fluvio Lacustri</i>	20.00	50	25	280	0.4	166	773	3
<i>Argille Grigio Azzurre superiori</i>	20.00	50	35	420	0.4	360	1678	1
<i>Argille Grigio Azzurre inferiori</i>	20.00	50	35	800	0.4	1305	6089	1
<i>Bedrock</i>	20.00	50	35	1000	0.2	2039	2718	1

Analisi eseguite:

- 2D visco-elastiche lineari (FLAC)
- 2D visco-elasto-plastiche (FLAC)

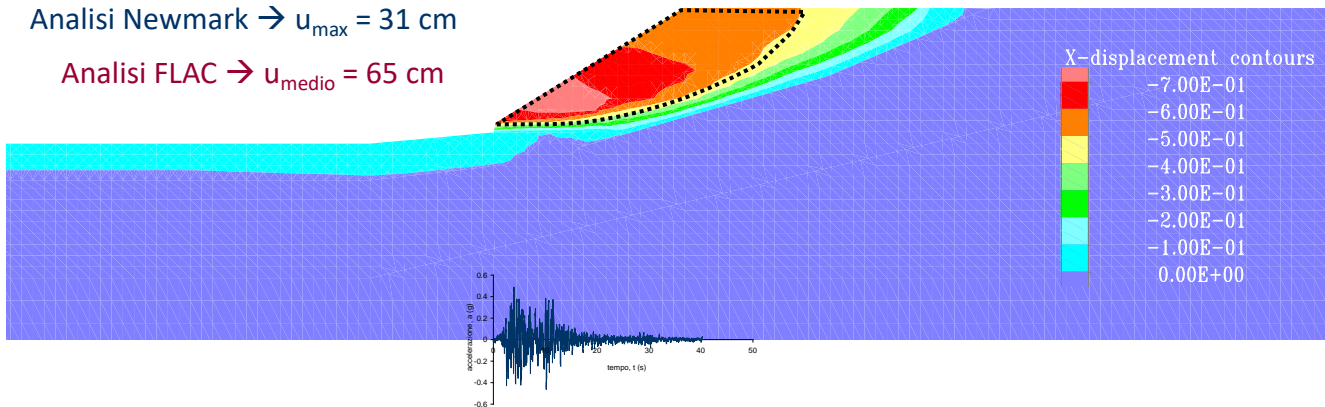


## Amplificazione e spostamenti dall'analisi avanzata



Analisi Newmark  $\rightarrow u_{\max} = 31 \text{ cm}$

Analisi FLAC  $\rightarrow u_{\text{medio}} = 65 \text{ cm}$



- Sono stati raccolti i dati disponibili sulla caratterizzazione meccanica dei depositi presenti nell'area della frana di Pietrapertosa
- I dati disponibili sono insufficienti pertanto è stato formulato un programma di indagini integrativo
- I dati e la caratterizzazione geotecnica dell'area serviranno per analizzare l'efficacia degli interventi di stabilizzazione in condizioni sismiche

Analisi di stabilità in condizioni sismiche: metodologia e focus sulla frana di Pietrapertosa