



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



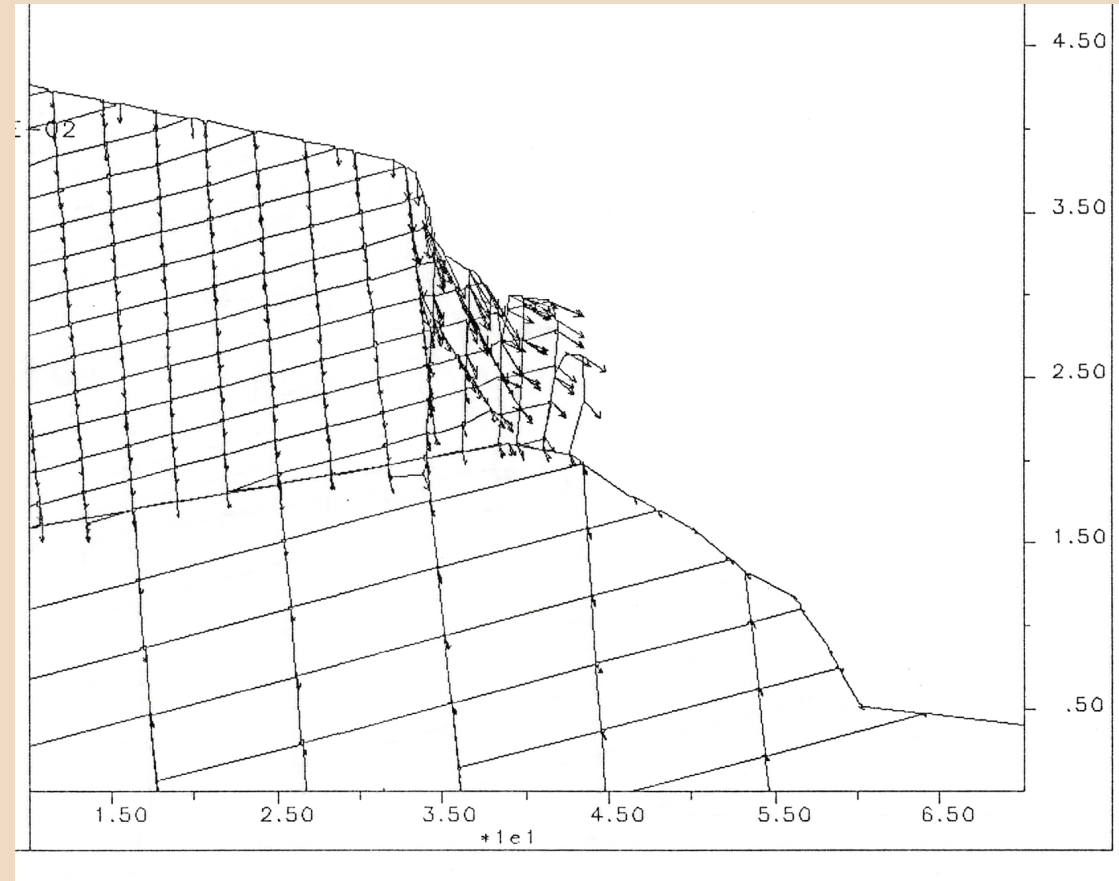
ISPRA  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Systema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

# Il metodo degli elementi discreti e la sua applicazione nello studio delle instabilità di versante

Piernicola Lollino  
Rodolfo Roseto



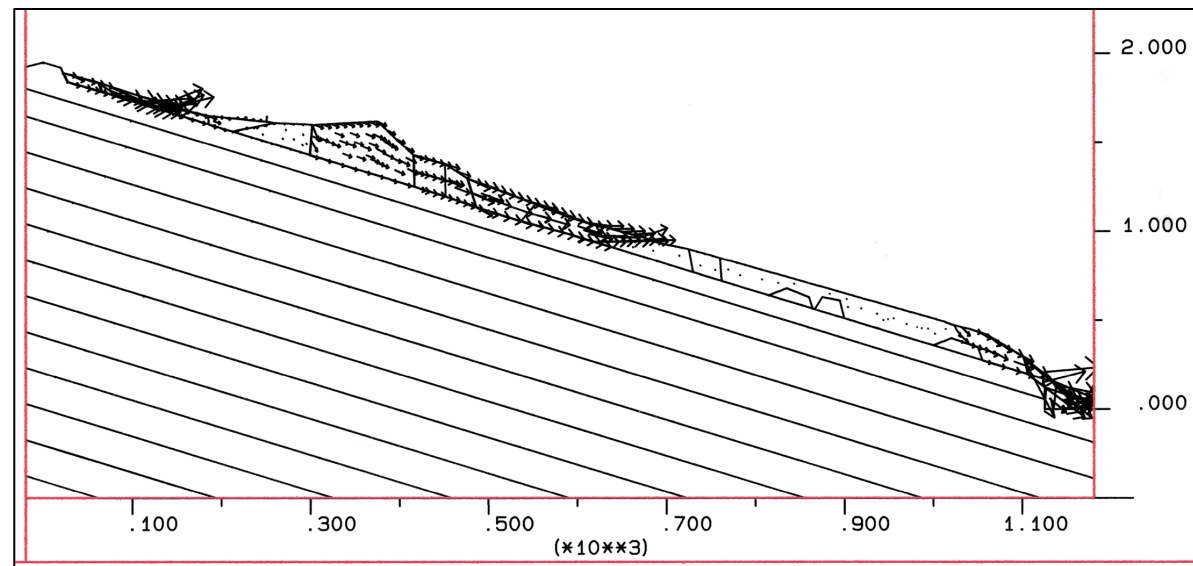
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI BARI  
ALDO MORO





## Indice – Parte 1 (Piernicola Lollino)

- La modellazione numerica come strumento per l'analisi e l'interpretazione quantitativa dei processi di instabilità di versante
- Finalità e struttura dei modelli numerici per i problemi di instabilità geo-idrologica
- Principi di base del metodo degli elementi discreti

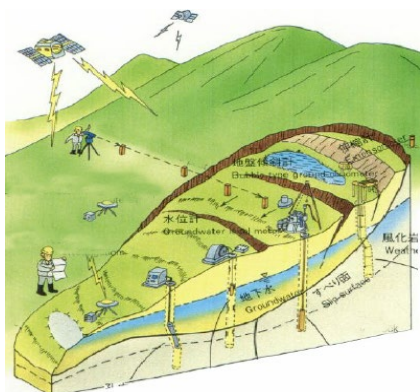




## Indice – Parti 2 e 3 (Rodolfo Roseto)

- 2.1 Importare la nuvola di punti in Cloud Compare
- 2.2 Ritaglio della nuvola di punti
- 2.3 Sottocampionamento della nuvola di punti
- 2.4 Esportare la nuvola di punti
- 2.5 Importare la nuvola di punti in Rhinoceros
- 2.6 Conversione della nuvola di punti in mesh
- 2.7 Conversione della mesh in nurb
- 2.8 Esportare la nurb
- 3.1 Importare la geometria in 3dec
- 3.2 Creazione dei blocchi
- 3.3 Estrusione dei blocchi
- 3.4 Creazione delle discontinuità
- 3.5 Creazione della stratificazione orizzontale
- 3.6 Impostazione delle condizioni al contorno
- 3.7 Impostazione delle proprietà del materiale e delle discontinuità
- 3.8 Inserimento di punti di monitoraggio
- 3.9 Soluzione del modello
- 3.10 Verifica dei risultati
- 3.11 Salvataggio del modello ed esportazione dei risultati

## Ambito di riferimento: Valutazione quantitativa della pericolosità da frana



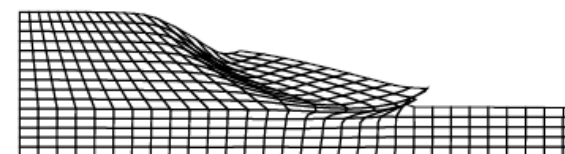
### SIMULAZIONE NUMERICA

- Studiare i processi geo-idro-meccanici che portano al collasso di un versante
- Indagare i fattori di controllo del processo di frana e della relativa attività
- Simulare la propagazione (run-out) per le frane ad elevata mobilità

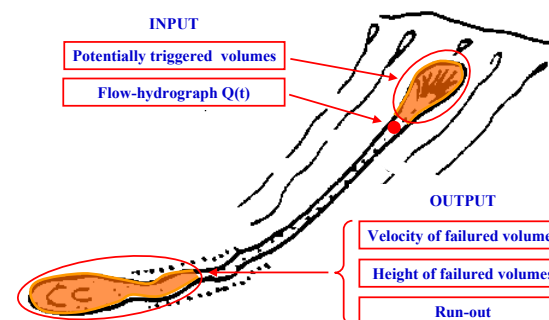
DATI DI INGRESSO E CONDIZIONI INIZIALI/AL CONTORNO

- Geologia, caratterizzazione in sito e laboratorio, monitoraggio

MODELLAZIONE  
INTERPRETAZIONE DEL  
PROCESSO



**Innesco**  
FEM, LEM, FDM



**Run out**  
PFC, MPM, SPH



## FATTORI CHE CONTROLLANO I PROCESSI DI INSTABILITÀ (Terzaghi 1950)

### FATTORI INTERNI

- Assetto Geo-Strutturale  
(litologia, morfologia, strutture tettoniche)
- Comportamento meccanico dei materiali  
(resistenza e rigidità)
- Condizioni idrauliche nel pendio

### FATTORI ESTERNI

- Piogge
- Terremoti
- Azioni antropiche
- Naturali evoluzioni morfologiche

Variazione dei fattori



Variazione di equilibrio  
del pendio



**COLLASSO/  
INSTABILITA'  
FRANA**



**SPOSTAMENTI MODESTI  
(NUOVA CONDIZIONE DI EQUILIBRIO)**



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

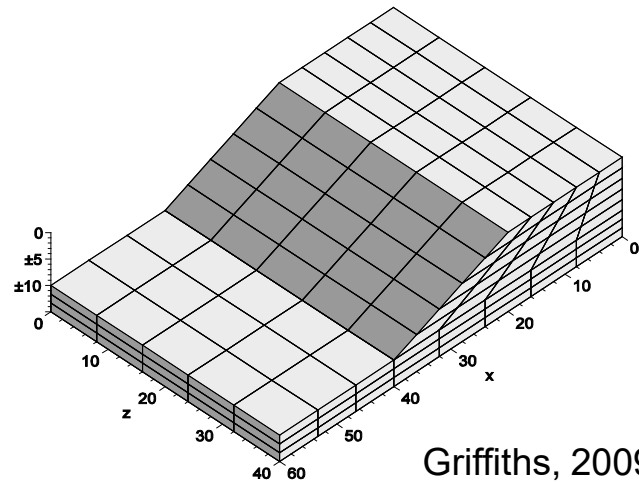


Per interpretare quantitativamente l'evoluzione dell'equilibrio



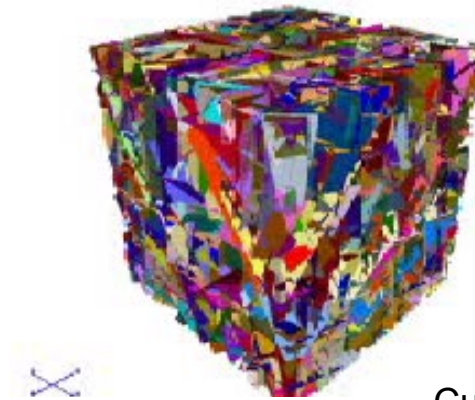
Discretizzare il pendio

Continuo



FEM o FDM

Discontinuo



Cundall, 2008

DEM



## Modello numerico

Simulazione = schematizzazione della realtà fisica mediante la risoluzione di un insieme di equazioni di campo (equilibrio, congruenza, filtrazione, legge costitutiva) che vengono discretizzate nell'ambito di un dominio di calcolo, 1D, 2D o 3D, composto da elementi finiti o elementi discreti

### ***Soluzione approssimata del problema reale***

*(necessità di schematizzare gli aspetti più importanti del problema fisico: modello concettuale)*



#### Vantaggi:

- Possibilità di studiare le relazioni causa – effetto nei processi
- Possibilità di definire scenari di evoluzione fisicamente basati





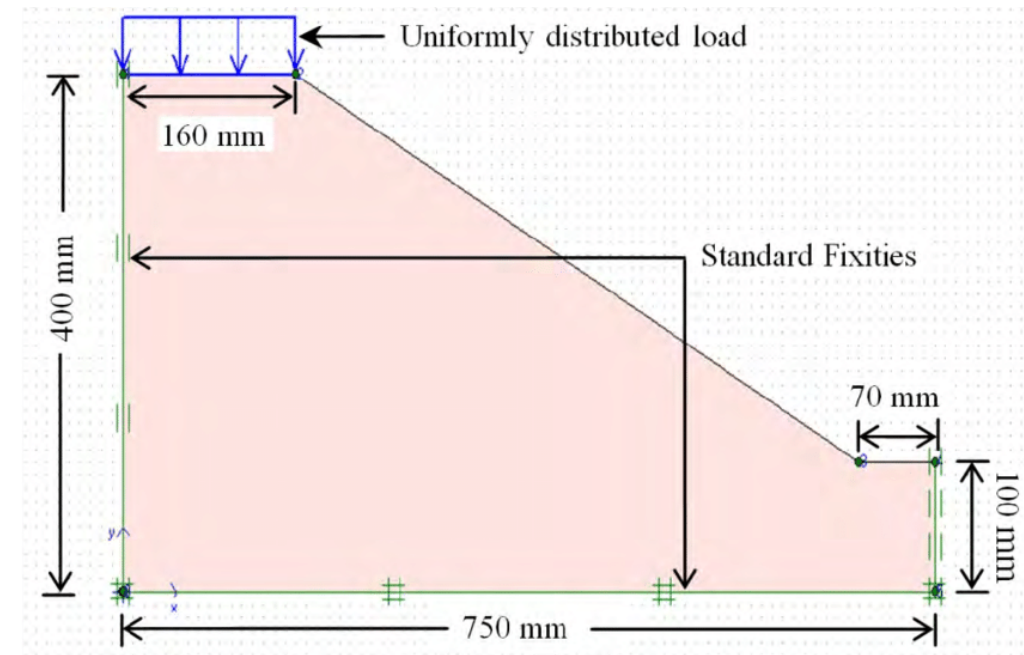
## Condizioni al contorno

Una condizione al contorno è l'assegnazione del valore della soluzione di un'equazione differenziale lungo i bordi del dominio di analisi.

Serve per vincolare la soluzione delle equazioni di campo e, quindi, non avere infinite soluzioni

Possono essere di varia tipologia e riguardano:

- spostamenti
- forze
- velocità





## I metodi numerici nello studio dei processi di instabilità di versante

### Vantaggi

- no ipotesi circa forma o posizione della superficie di rottura (meccanismo di rottura): OUTPUT del calcolo
- sono in grado di restituire l'evoluzione tensionale e deformativa del versante in maniera verosimile

### Svantaggi

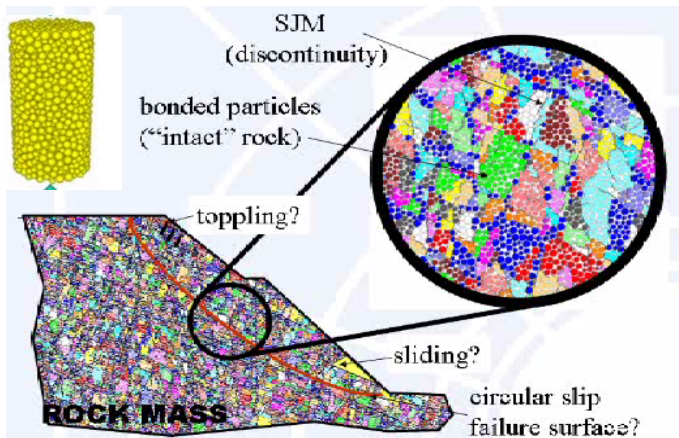
- necessità di notevole mole di dati in fase di input del calcolo (fase di accurata caratterizzazione preliminare)
- complessità nella gestione delle analisi e nella interpretazione dei risultati, necessità di expertise



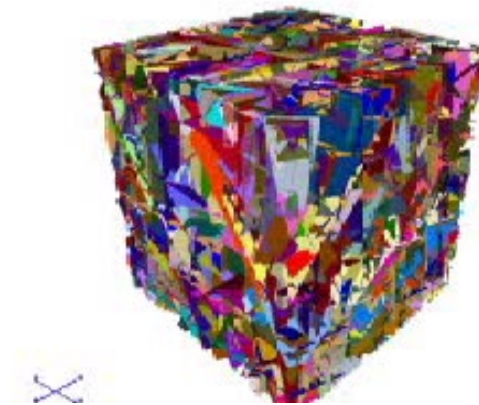
## Il metodo degli elementi distinti – DEM (Cundall & Strack 1978)

## Mezzo discontinuo

Il metodo degli elementi distinti (o discreti) è un metodo numerico per la risoluzione delle equazioni del moto di una determinata quantità di elementi o blocchi, che possono subire traslazione, rotazione, allontanamento, anche a seguito della creazione di nuovi contatti. Oggi, grazie alla potenza di calcolo disponibile, è possibile simulare un numero elevato di elementi ed il metodo è sempre più adottato per la simulazione del comportamento di materiali granulari e/o discontinui, come nel caso dei flussi granulari o nella meccanica delle rocce.



Particle Flow Code PFC  
Cundall, 2008



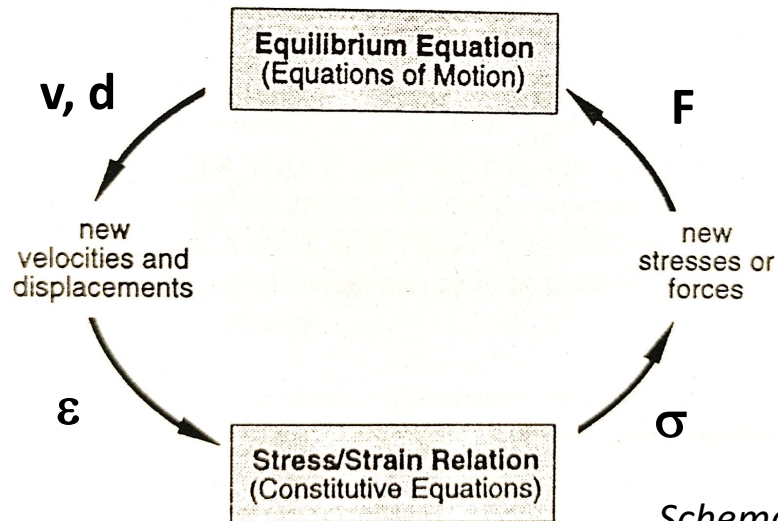
Cundall, 2008





## Il metodo degli elementi distinti – DEM (Cundall & Strack 1978)

1. Il mezzo è considerato come un assemblaggio di blocchi che interagiscono attraverso contatti di spigoli e vertici
2. Le discontinuità sono considerate come elemento di interazione lungo i bordi di blocchi adiacenti
3. Algoritmo di integrazione di tipo esplicito basato sull'adozione di un intervallo temporale piccolo



Schema di integrazione del metodo DEM

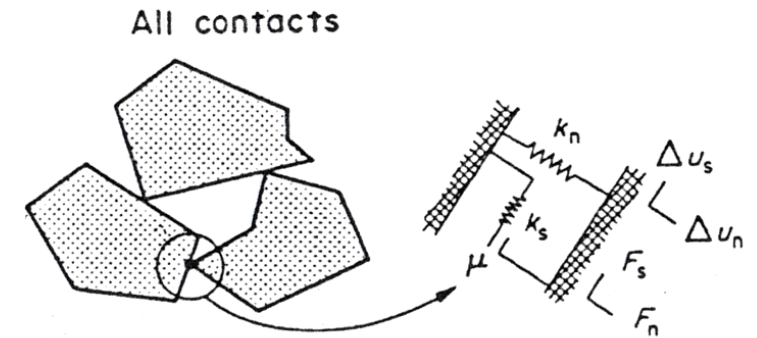
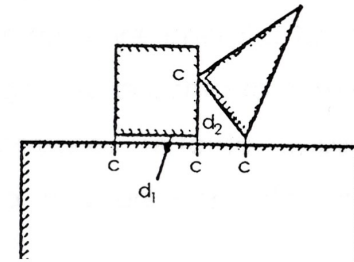
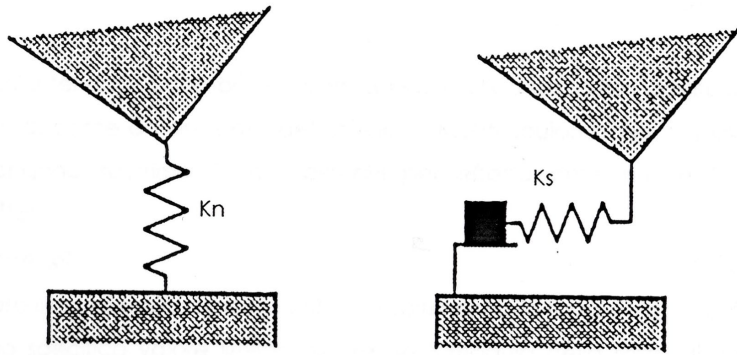
Per ogni step di calcolo viene svolto a livello del singolo elemento un loop completo dello schema!  
In tutti gli altri elementi, le variabili restano costanti



Necessità di timestep molto piccoli



## Le discontinuità: interfacce tra elementi discreti

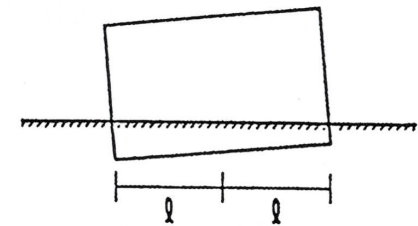
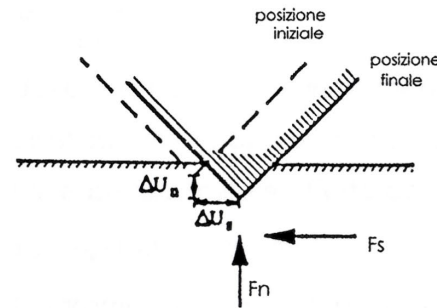


Schematizzazione delle discontinuità mediante sistemi a molle

$$\tau = \sigma' \tan(\phi_b + i)$$

(Barton 1976)

Resistenza al taglio di un giunto



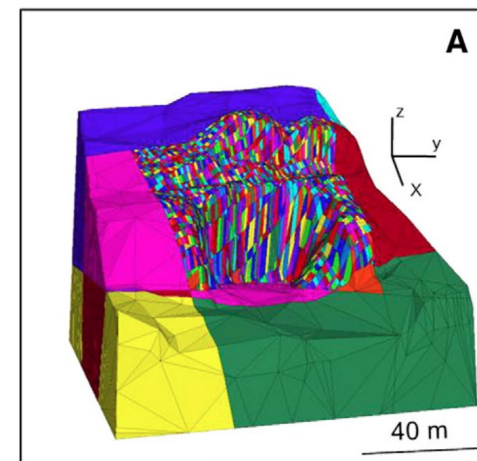
## Modelli DEM 3D vs 2D

### Modelli 3D

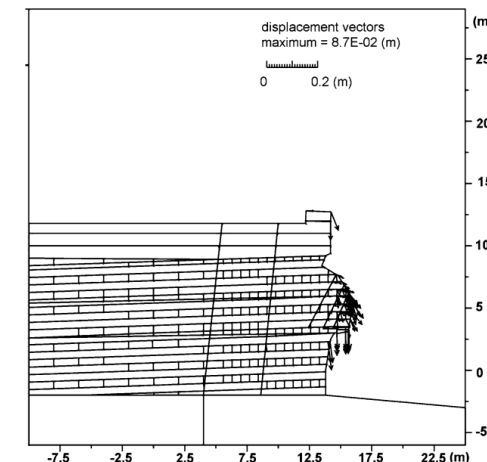
- Completezza di analisi
- Maggiore complessità nel reperimento dati e nella costruzione del modello
- Maggiore difficoltà nel controllo dei risultati

### Modelli 2D

- Facilità nella elaborazione del modello
- Onere computazione inferiore
- Controllo della soluzione numerica più agevole
- Risultati che possono essere non rappresentativi delle reali condizioni fisiche (tridimensionalità del problema)



(Francioni et al. 2014)



(Cotecchia et al. 2009)



## Riferimenti bibliografici

Barton N. (1976). The shear strength of rock and rock joints. *Int. J. Rock Mechanics and Min. Sci. & Geomech. Abs*, 13(9), 255-279.

Cotecchia V., De Bellis P., Lollino P., Monterisi L., Tria D. (2009). Geostructural survey and stability analysis of the calcareous cliff of Vieste (Gargano-Southern Italy). *Bull Eng Geol Environ*, 68, 35-45.

Cundall P.A. & Strack O.D.L. (1978). A discrete element model for granular assemblies. *Géotechnique*, 29(1), 47-65.

Cundall P.A. (1988). Formulation of a three-dimensional distinct element model – Part I. A scheme to detect and represent contacts in a system composed of many polyhedral blocks. *Int. J. Rock Mechanics and Min. Sci. & Geomech. Abs*, 25(3), 107-116.

Francioni M., Salvini R., Stead D., Litrico S. (2014). A case study integrating remote sensing and distinct element analysis to quarry slope stability assessment in the Monte Altissimo area, Italy. *Engineering Geology*, 183, 290-302.

Griffiths D.V., Marquez R.M. (2007). Three-dimensional slope stability analysis by elasto-plastic finite element analyses. *Géotechnique*, 57 (6), 537-546.

Itasca Consulting Group, Inc. (2023) *3DEC — Three-Dimensional Distinct Element Code, Ver. 7.0*. Minneapolis: Itasca.

Marsico A., Infante M., Iurilli V., Capolongo D., (2015). Terrestrial laser scanning for 3D cave reconstruction: Support for geomorphological analyses and geoheritage enjoyment and use. *Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems*, 543-550.

Terzaghi K. (1950). Mechanism of landslides. In: *Application of Geology to Engineering Practice*. Geological Society of America, pp. 83–123. <https://doi.org/10.1130/berkey.1950.83>.



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



## Disclaimer

*Gli Autori sono pienamente responsabili di tutti i contenuti inseriti nella presentazione. I contenuti di questa presentazione (testo, grafica, immagini e altri materiali) non violano i diritti di terzi e sono nella piena e libera disponibilità, avendo acquisito da ogni eventuale terzo avente diritto su di essi espressa autorizzazione alla pubblicazione; pertanto saranno utilizzati per le finalità strettamente connesse al progetto GeoSciencesIR.*



PNRR "GeoSciences IR" - Missione 4 "Istruzione e Ricerca" - Componente 2 "Dalla ricerca all'impresa"  
Linea di investimento 3.1 "Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione"  
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU. CUP: I53C22000800006

