



Autorità di Bacino
Distrettuale dell'Appennino
Meridionale



GIORNO
3

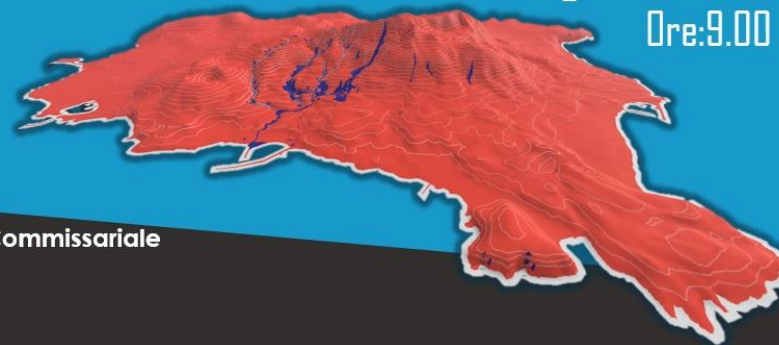
RISULTATI DELLE MODELLAZIONI PRELIMINARI DELLE FRANE DA CROLLO, DELLE VALANGHE E COLATE DETRITICHE

17 gennaio 2025

Ore:9.00

In memoria del Professore
PASQUALE VERSACE

Piazza antica Reggia 18 - ISCHIA – Sede struttura Commissariale



Risultati delle modellazioni preliminari delle frane da crollo

Domenico Calcaterra & Luigi Guerriero



Struttura del seminario – 1ª parte

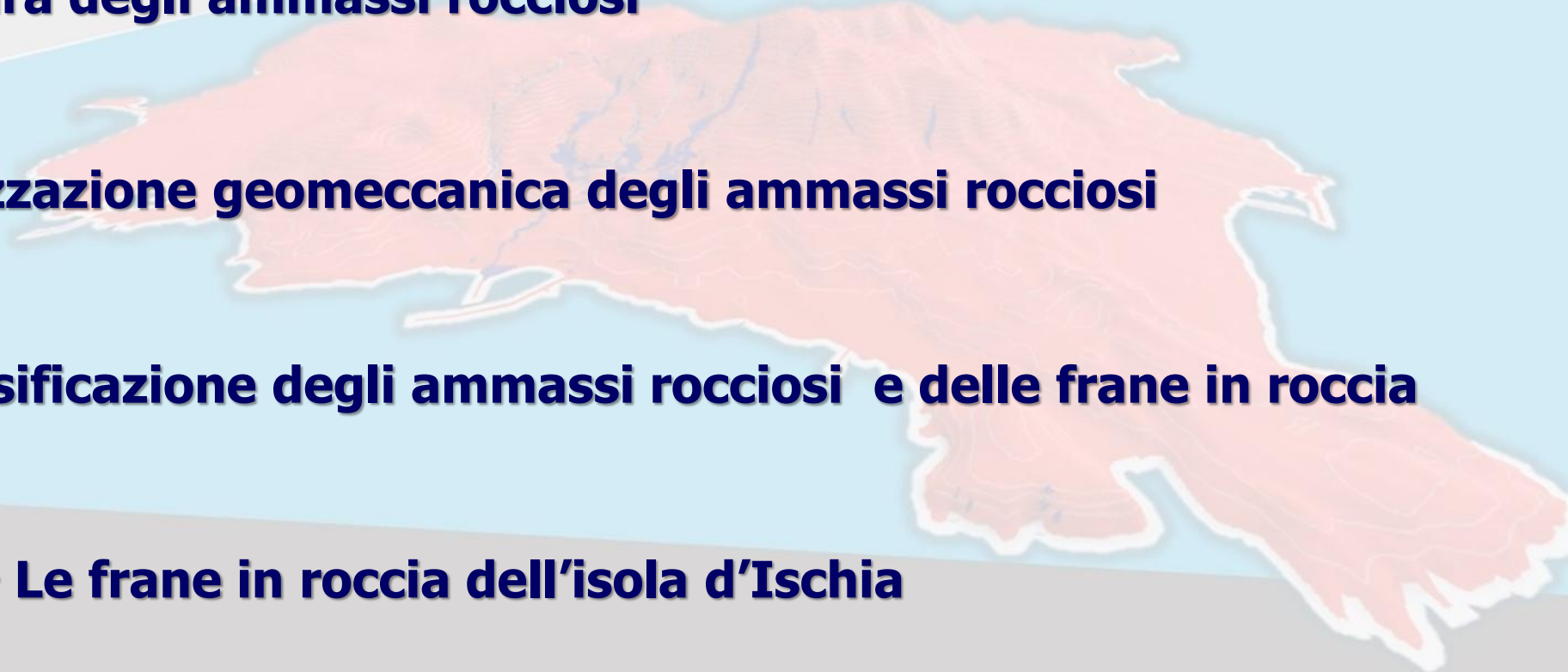
◆ Perché franano le rocce lapidee?

◆ Criteri di rottura degli ammassi rocciosi

◆ Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

◆ Classificazione degli ammassi rocciosi e delle frane in roccia

◆ Le frane in roccia dell'isola d'Ischia



Struttura del seminario – 1^a parte

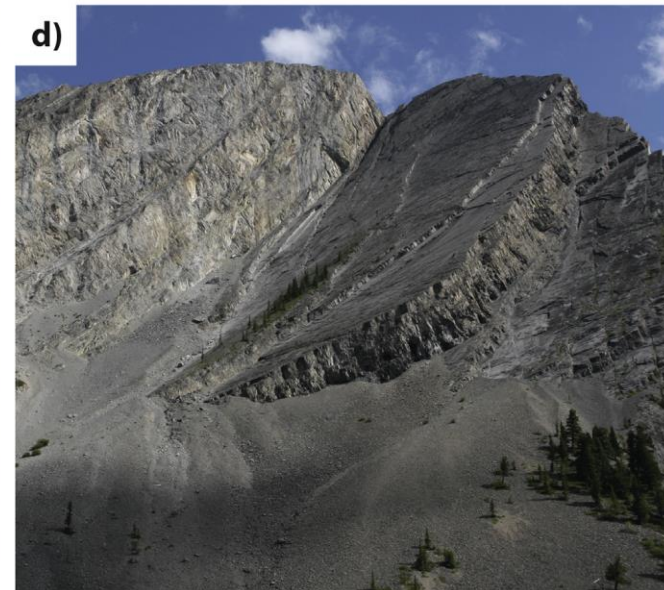
► Perché franano le rocce lapidee?



Se le rocce lapidee fossero sempre così.....



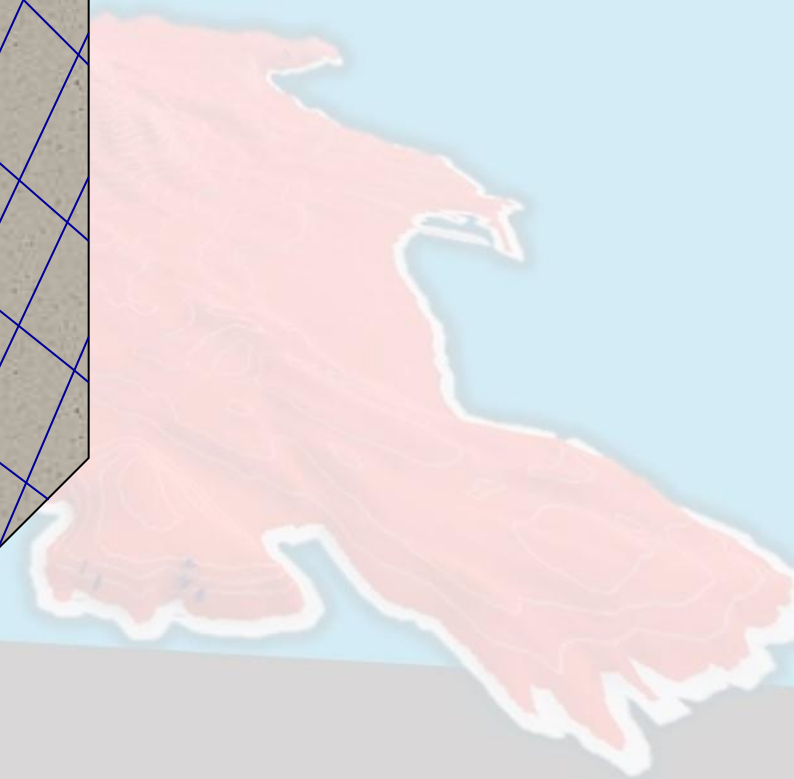
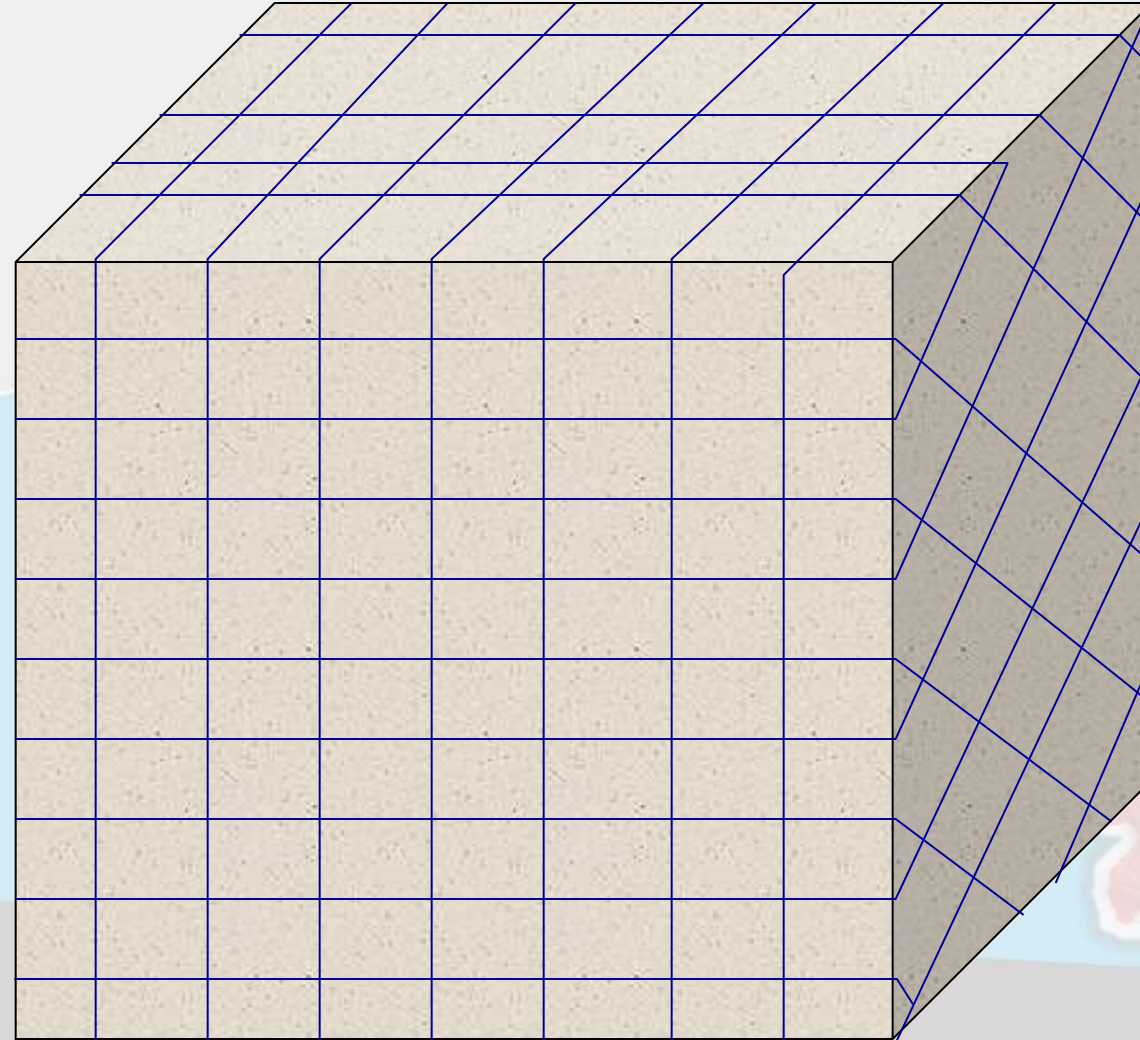
.. ma si presentano così



Qual è la differenza?



Effetti delle discontinuità sull'ammasso roccioso



Rocce lapidee = mezzi discontinui



Gli **ammassi rocciosi (roccia intatta + piani di discontinuità)** sono assimilabili a mezzi discontinui attraversati da **discontinuità** di diversa origine (giunti di strato, faglie, ecc.), piane a grande scala, le quali possono costituire famiglie aventi ognuna diversa giacitura nello spazio e diverse caratteristiche meccaniche.

Che significa caratterizzare una roccia lapidea ?

- **LA ROCCIA INTATTA, INTESA COME MATERIALE, CIOE' UN CAMPIONE RAPPRESENTATIVO APPARTENENTE AD UN VOLUME ELEMENTARE DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

www.polito.it/rockmech

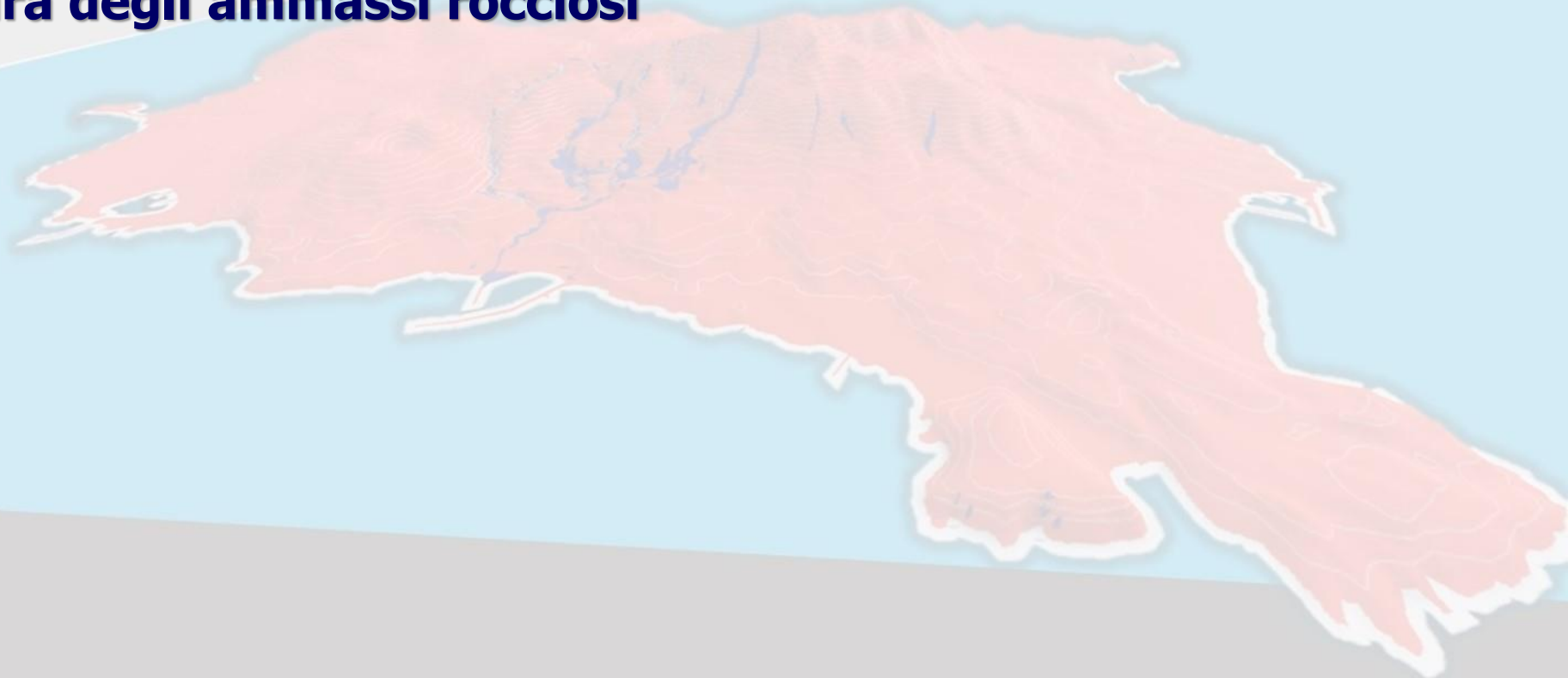


Si sottopone a prova la roccia intatta, non l'ammasso roccioso! Sussiste quindi un problema, in termini di "effetto-scala".

Struttura del seminario – 1ª parte

◆ Perché franano le rocce lapidee?

◆ **Criteri di rottura degli ammassi rocciosi**



Comportamento delle rocce sciolte

La resistenza al taglio di un materiale è la resistenza alla rottura che il materiale è in grado di opporre se sottoposto a sforzi di taglio. Essa dipende sia dallo stato di sollecitazione cui il materiale è sottoposto, sia dalla natura, tessitura e struttura dei materiali stessi. Per questo motivo è necessario trattare separatamente la resistenza al taglio nei terreni e nelle rocce.

Le rocce sciolte offrono una resistenza al taglio in virtù di due contributi:

- Coesione
- Attrito interno.

La **coesione** è determinata dall'attrazione reciproca, dovuta essenzialmente a forze di natura elettrostatica, tra i granuli a contatto in un terreno.

L'**attrito** è funzione delle dimensioni, del grado di selezione, del grado di sfericità, del grado di arrotondamento dei granuli e dipende strettamente dalla tessitura del materiale (densità relativa e grado di consistenza). L'attrito è maggiore nei terreni ad elevata granulometria ed in quelli costituiti da granuli con basso grado di arrotondamento.

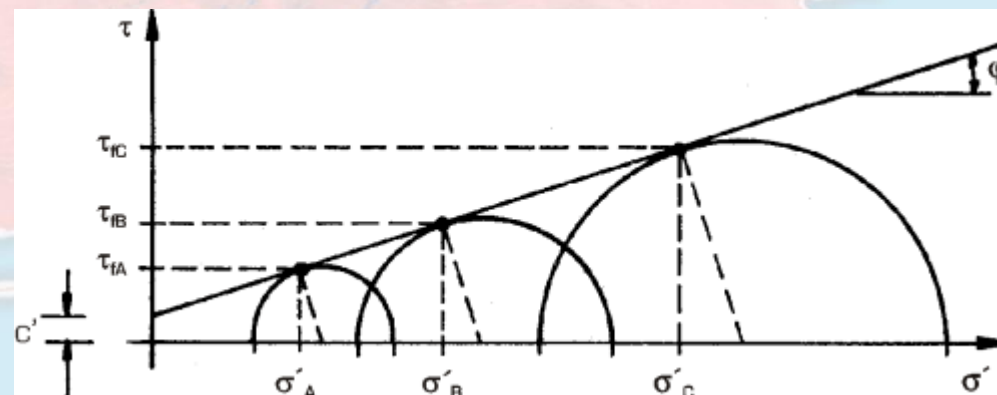
Resistenza al taglio

Il criterio di Mohr-Coulomb è il criterio maggiormente utilizzato per la descrizione delle modalità di rottura dei terreni sottoposti a sforzi di taglio.

Tale criterio presuppone che esista un legame di proporzionalità diretta tra gli sforzi normali efficaci applicati sulla superficie di movimento e la resistenza al taglio del materiale a rottura. La presenza di acqua nei pori di una roccia sciolta riduce la resistenza al taglio

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$$



- τ = resistenza al taglio del materiale (kN/m²)
- c' = coesione efficace del terreno (kN/m²)
- σ' = sforzo normale agente sulla superficie di movimento (kN/m²)
- u = pressione neutra dell'acqua sulla superficie di movimento (kN/m²)
- $\sigma - u$ = sforzo normale efficace agente sulla superficie di movimento
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace del terreno

Comportamento delle rocce lapidee

La resistenza al taglio dei materiali rocciosi è differente, per significato e modalità di misura, a seconda che si faccia riferimento ad una roccia intatta o ad un ammasso roccioso.

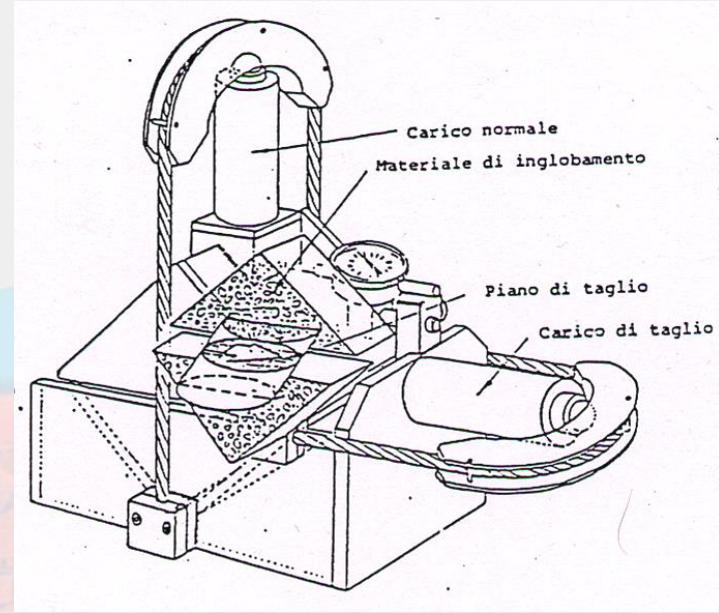
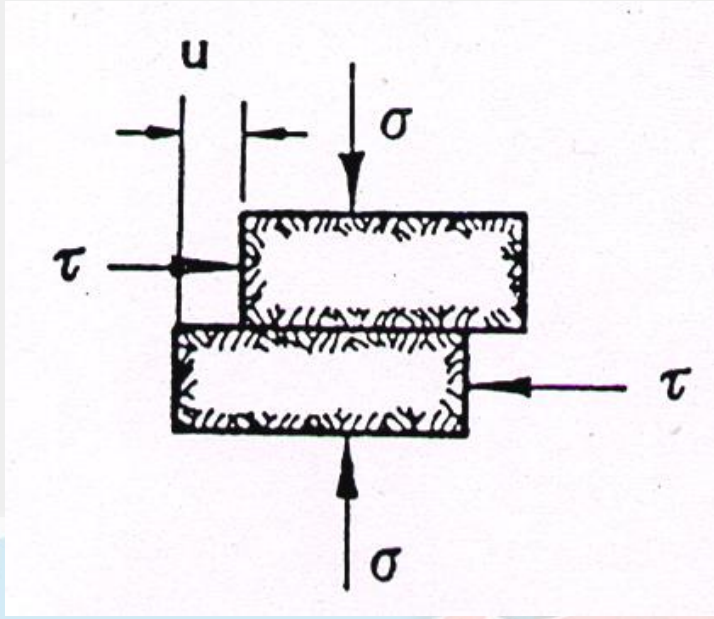
La resistenza al taglio di un campione di roccia intatta dipende unicamente dalla natura del materiale, mentre la resistenza al taglio di un ammasso roccioso è funzione sia della natura del materiale, sia delle caratteristiche dei sistemi di discontinuità.

La resistenza al taglio lungo una superficie di discontinuità perfettamente piana e cementata dipende dalla coesione del materiale cementante e dall'attrito tra le due parti a contatto del provino. In questo caso vale il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

Se, come avviene frequentemente, le superfici dei giunti non sono perfettamente piane, ma presentano un certo grado di rugosità, allora è necessario tenere conto dell'effetto di tale fattore nel calcolo della resistenza al taglio lungo le superfici stesse.

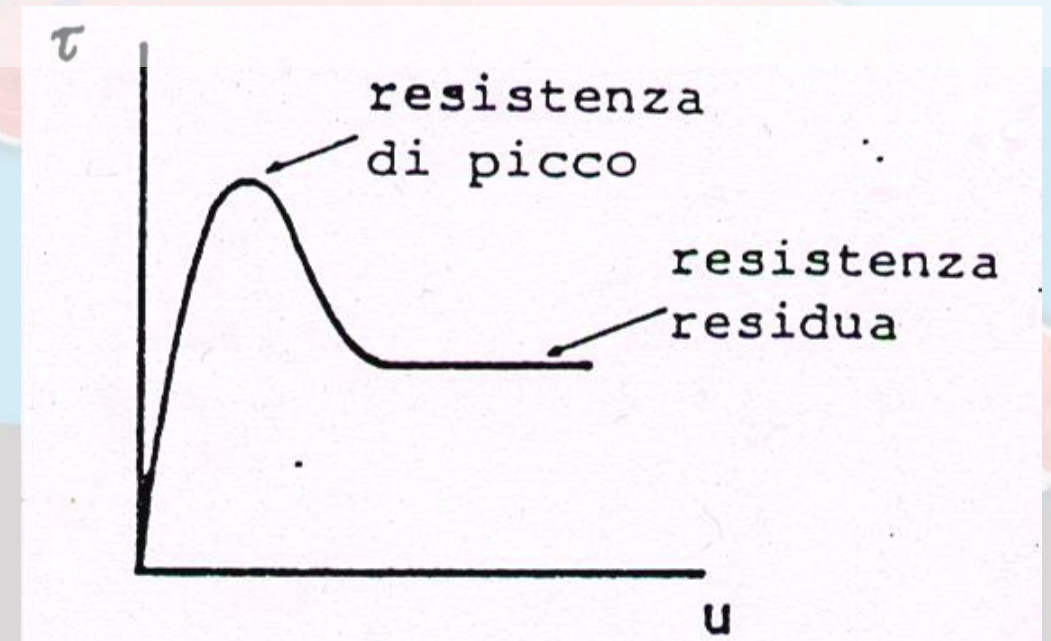
La rugosità di una superficie di frattura agisce aumentando la resistenza al taglio lungo la superficie stessa, poiché aumenta l'angolo di attrito del materiale.

Misura della resistenza al taglio lungo discontinuità



Resistenza al taglio lungo discontinuità in roccia

- **L'angolo di attrito di base** ϕ_b si ottiene su superficie levigata artificialmente e può essere considerato (a parità di struttura, mineralogia, distribuzione areale dei singoli componenti) un valore caratteristico della matrice rocciosa.
- **L'angolo di attrito di picco** ϕ_p si valuta in corrispondenza del valore massimo di resistenza al taglio, che si verifica con lo scavalcamento e la parziale rottura delle asperità.
- **L'angolo di attrito ultimo** ϕ_u è il valore determinato in corrispondenza dello scorrimento finale della prova, in presenza di stabilizzazione della resistenza al taglio e di contributo delle asperità non trascurabile e variabile con lo sforzo normale.
- **L'angolo di attrito residuo** ϕ_r corrisponde alla stabilizzazione della resistenza di taglio sul valore minimo ed è ottenuto su superfici di discontinuità lisce ed alterate; rappresenta la resistenza al taglio dei sottili livelli di alterazione presenti, aventi caratteristiche fisico-meccaniche inferiori a quelle del materiale roccioso



Angoli di attrito misurati in alcune formazioni italiane

LITOTIPO	φ_b (°)	φ_p (°)	φ_u (°)	φ_r (°)
Calcari Penisola Sorrentina	32-40	59-61	41-47	-----
Calcari marnosi Unità Sicilide	40-42	52-56	44-46	-----
Arenarie di Vetto d'Enza	27-31	35-49	29-33	18-25
Calcescisti di Valle di Susa - scistosi	28-34	42-50	34-40	28-30
Calcescisti di Valle di Susa - massivi	38-44	49-60	42-47	33-37



Criterio di rottura di Patton (1966)

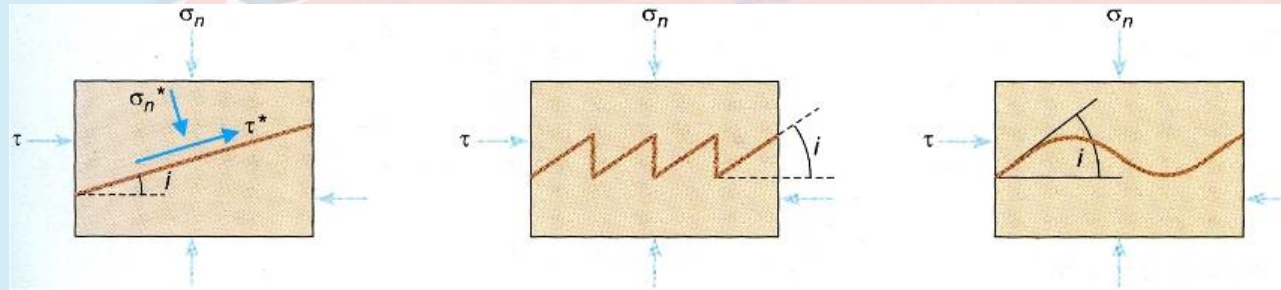
La determinazione dei parametri di resistenza di un ammasso roccioso può avvenire mediante due approcci principali:

- **Ammasso roccioso considerato come un continuo equivalente**, per il quale specificare un legame costitutivo ed i relativi parametri che lo caratterizzano (es.: mezzo rigido plastico con criterio di rottura alla Coulomb);
- **Ammasso roccioso considerato come un insieme di matrice lapidea e discontinuità**, ognuno caratterizzato indipendentemente.

Patton (1966) ha fornito una prima legge per descrivere la resistenza al taglio di un giunto. Sulla base di prove eseguite in laboratorio su campioni con profili "dentati", Patton è giunto alla determinazione di un involuppo bilineare. Considerando l'equilibrio di un giunto con profilo regolare a denti di sega, sottoposto ad una forza τ parallela al piano del giunto ed uno sforzo efficace perpendicolare (σ_n), e considerando un angolo di attrito ϕ_b lungo la superficie di contatto di ogni singolo dente, si giunge alla seguente espressione:

$$\tau_p = \sigma_n \tan (\phi_b + i),$$

Dove i rappresenta l'inclinazione dei denti rispetto all'orizzontale.



Problemi:

- Individuazione di un valore rappresentativo di "i" per un giunto naturale, la cui superficie è estremamente irregolare: "i" dovrebbe essere l'inclinazione media delle asperità che governano la resistenza, di difficile determinazione anche perché dipendente dalla scala di osservazione e dalla scala del giunto;
- "i" dipende anche dallo sforzo normale applicato: un incremento di σ_n tende a danneggiare le asperità e riduce di conseguenza gradualmente il valore di "i", tale fenomeno è trascurato dalla legge di Patton, che è lineare anche nel primo tratto.

Criterio di rottura di Barton & Choubey (1977)

Sulla base del riconoscimento dell'involuppo curvo che descrive la relazione $\tau - \delta h$ ed approfondendo l'equazione di Patton, Barton (1973) e Barton & Choubey (1977) hanno proposto un'equazione empirica per il calcolo della resistenza al taglio su giunti scabri non cementati. Si tratta di una correlazione tra l'angolo di deviazione i e lo sforzo normale N , con la quale si esplicita il "fattore di scabrezza", funzione inversa dello sforzo normale. L'equazione è:

$$\tau = \sigma_n * \tan [JRC * \log (JCS/\sigma_n) + \phi_b]$$

dove:

JRC (*Joint Roughness Coefficient*) è un coefficiente di rugosità del giunto, variabile da 0 (giunto a superficie planare e levigata) fino a 20 (giunto a superficie ondulata e rugosa) → pettine di Barton;

JCS (*Joint Wall Coefficient Strength*) è un coefficiente che esprime la resistenza a compressione monoassiale lungo la superficie del giunto. → *Point Load Strength Test* o martello di Schmidt direttamente sulla superficie di frattura;

ϕ_b = (angolo di attrito di base) è funzione unicamente della natura della roccia;

σ_n = sforzo normale agente sulla superficie del giunto (Barton suggerisce di porre $\sigma_n = 0,1$ MPa per giunti superficiali).

La ricerca dei due autori prende in considerazione livelli di sforzo normale che, benché piuttosto ridotti (compresi nell'intervallo $0.01 < \sigma_n/JCS < 0.3$), possono ritenersi validi per molti problemi applicativi riguardanti la stabilità dei versanti.



Criterio di rottura di Hoek & Brown (1980)

È un criterio di rottura valido per ammassi rocciosi isotropi e tiene conto dei fattori che determinano la rottura di un mezzo roccioso a grande scala, quali la non linearità della resistenza in funzione dello stato tensionale, l'influenza del tipo di roccia e lo stato dell'ammasso, il rapporto tra la resistenza a compressione e quella a trazione, la diminuzione dell'angolo di attrito interno con l'aumento della tensione di confinamento, ecc.. La resistenza dell'ammasso è definita dall'espressione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s}$$

dove:

- σ_1 e σ_3 sono gli sforzi principali maggiore e minore di rottura
- σ_{ci} è la resistenza a compressione semplice della matrice rocciosa
- m ed s sono costanti adimensionali che dipendono dalle proprietà dell'ammasso roccioso, dal tipo di roccia, dalla frequenza e dalle caratteristiche delle discontinuità.
- i valori di m ed s si possono ottenere a partire dall'indice RMR:

— Per ammassi rocciosi non alterati e non interessati da volate con esplosivi (*undisturbed*):

$$m = m_i \exp \frac{\text{RMR} - 100}{28} \quad s = \exp \frac{\text{RMR} - 100}{9}$$

— Per ammassi rocciosi alterati o interessati da volate (*disturbed*):

$$m = m_i \exp \frac{\text{RMR} - 100}{14} \quad s = \exp \frac{\text{RMR} - 100}{6}$$

dove m_i è il valore corrispondente alla matrice rocciosa, che si ottiene da prove di compressione triassiale. Se la roccia è intatta (RMR = 100), $m = m_i$ ed $s = 1$

Struttura del seminario – 1ª parte

◆ Perché franano le rocce lapidee?

◆ Criteri di rottura degli ammassi rocciosi

◆ **Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi**



Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 15, pp. 319–368
© Pergamon Press Ltd 1978. Printed in Great Britain

0020-7624/78/1201-0319\$02.00/0

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS
COMMISSION ON
STANDARDIZATION OF LABORATORY AND FIELD TESTS

SUGGESTED METHODS
FOR THE QUANTITATIVE DESCRIPTION OF
DISCONTINUITIES IN ROCK MASSES

CONTENTS:

	<i>Page</i>
INTRODUCTION (Historical)	320
ACKNOWLEDGEMENTS	320
INTRODUCTION (TECHNICAL)	321
GLOSSARY	321
SAMPLING PHILOSOPHY	322
Suggested methods for the quantitative description of the following:	
1. ORIENTATION	322
(A) Compass and Clinometer Method	322
(B) Photogrammetric Method	330
2. SPACING	333
3. PERSISTENCE	335
4. ROUGHNESS	338
5. WALL STRENGTH	346
6. APERTURE	351
7. FILLING	353
8. SEEPAGE	356
9. NUMBER OF SETS	359
10. BLOCK SIZE	360
11. DRILL CORE	363

COMMITTEE ON FIELD TESTS
DOCUMENT No. 4

OCTOBER 1977



Caratterizzazione delle discontinuità

I dieci parametri scelti per descrivere le discontinuità e le masse rocciose, seguendo le indicazioni della Società Internazionale di Meccanica delle Rocce (ISRM, 1978) sono definiti di seguito:

- 1) Orientazione
- 2) Spaziatura
- 3) Continuità o persistenza
- 4) Scabrezza
- 5) Resistenza delle pareti
- 6) Apertura
- 7) Riempimento
- 8) Filtrazione
- 9) Numero di sistemi di discontinuità
- 10) Dimensione dei blocchi



Caratterizzazione delle discontinuità

RILIEVO STRUTTURALE N° LOCALITA'.....

FRONTE { DIREZIONE
INCLINAZIONE
LUNGHEZZA (m)

N°	DIST. (m)	IMM. (°)	INC. (°)	TIPO	DIM.	APE.	RIE. *	H2O *	FOR.	RUG.	MART.	COMPATTEZZA								



TIPO Strato Joint Faglia	DIM. 1 = < 1 m 2 = 1-3 m 3 = 3-10 m 4 = 10-20 m 5 = > 20 m	R = termina in roccia b = termina su disc. X = terminazione non visibile	APE. Chiusa = < 0.5 mm Gapped = 0.5-10 mm Aperta = > 10 mm
RIE. Assente Coesivo Incoerente	H2O Asciutto Umido (tracce) Bagnato Stillicidio Venute d'acqua	FOR. Piana Ondulata Segmentata	RUG. A = 0-4 JRC B = 4-8 " C = 8-12 " D = 12-16 " E = 16-20 "
* DA COMPILARSI SOLO SE APE. ≠ c.			
N.B.: QUALORA UN PARAMETRO NON SIA RILEVABILE, NELLA CASELLA CORRISPONDENTE ANDRA' RIPORTATO UNO ZERO (0).			



Discontinuità

È il termine generale per qualsiasi interruzione di continuità in una massa rocciosa avente resistenza a trazione bassa o nulla. È il termine collettivo per la maggior parte delle fessure, dei piani di stratificazione, dei piani di scistosità, delle zone di indebolimento e delle faglie.

Si riconoscono **discontinuità primarie** (o singenetiche), sviluppatasi all'atto della formazione della roccia (es.: giunti di strato, scistosità, fratture da raffreddamento) e **discontinuità secondarie** (o epigenetiche) sviluppatasi in seguito alla formazione della roccia (es.: fratture¹ s.l., faglie²).

¹ *Frattura: soluzione di continuità d'origine geologica nell'ambito di un corpo roccioso, lungo la quale non c'è stato alcuno spostamento visibile*

² *Faglia: frattura o zona di frattura lungo la quale c'è stato uno spostamento visibile, variabile in termini di scala dai centimetri ai chilometri*

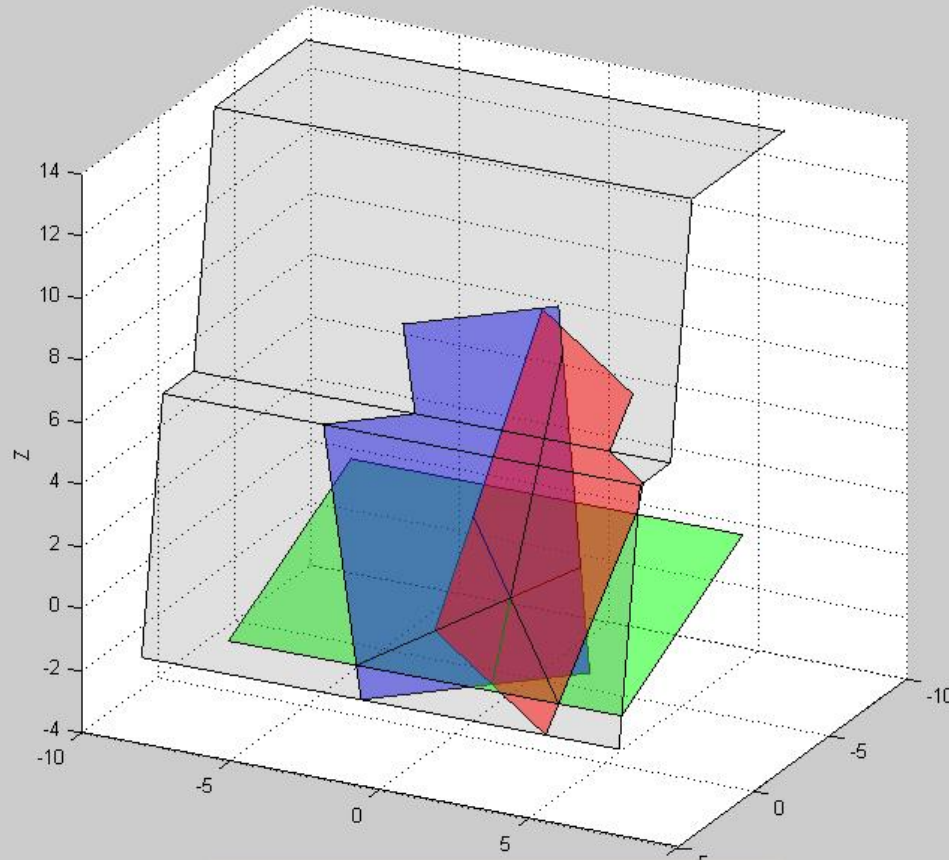
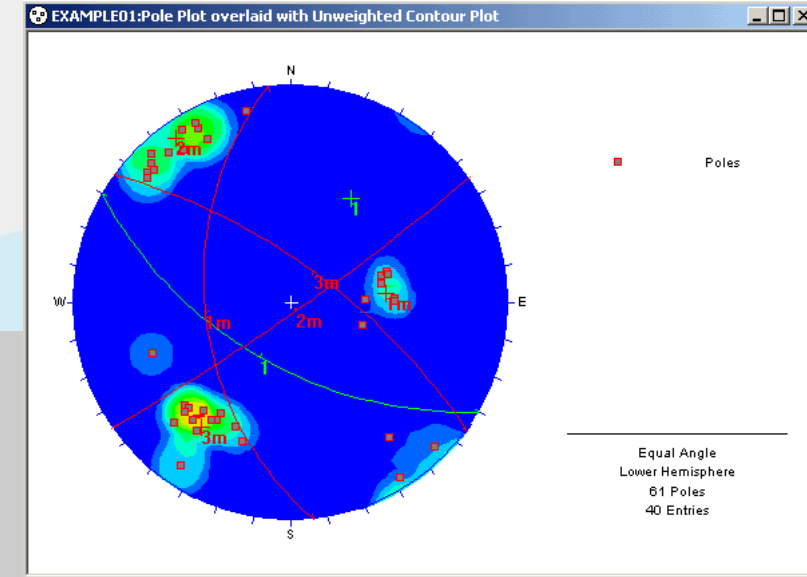
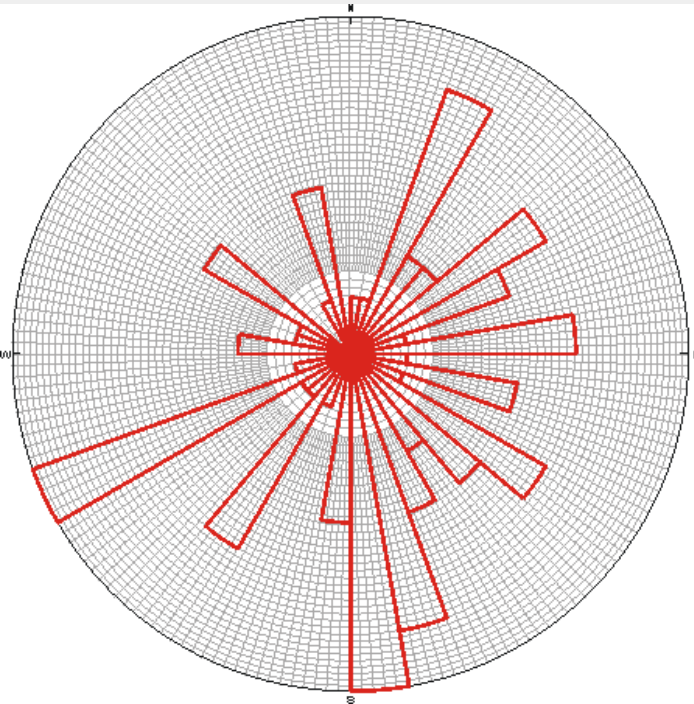
TIPO DI DISCONTINUITA'

SIGLA	TIPO	DESCRIZIONE
BG	STRATIFICAZIONE	Superficie regolare in rocce sedimentarie che delimita i confini di strati o di diverse unità litologiche
CN	CONTATTO	Superficie che delimita due litotipi diversi, dei quali almeno uno non sedimentario
UC	UNCONFORMITY	Superficie di discontinuità in rocce sedimentarie testimoniante una fase di erosione
SC	SCISTOSITA'	Superficie di fissilità in rocce argillitiche dovuta alla isoorientazione preferenziale dei minerali
GN	GNEISSOSITA'	Superficie di fissilità subparallela agli originari letti sedimentari in rocce metamorfiche
CV	CLIVAGGIO	Superfici di fissilità poco spaziate e subparallele
JN	JOINT	Frattura lungo la quale non si ha dislocazione misurabile
FL	FAGLIA	Superficie di taglio con dislocazione misurabile
SR	SHEAR	Superficie di taglio lungo cui si ha dislocazione (evidenziata da slickensides), che tuttavia non è quantificabile
ST	GIUNTO STILOLITICO	Discontinuità irregolari costituite da alternanza di picchi e cavità, provocati da dissoluzione sotto sforzi compressivi
VN	VENA	Frattura con riempimento di spessore minore a 3 cm
LM	LIMITE	Superficie che delimita rocce di diversa composizione o resistenza come risultato di processi di formazione della roccia stessa, della tettonica o della alterazione

I ferri del mestiere



Rappresentazione della giacitura delle discontinuità



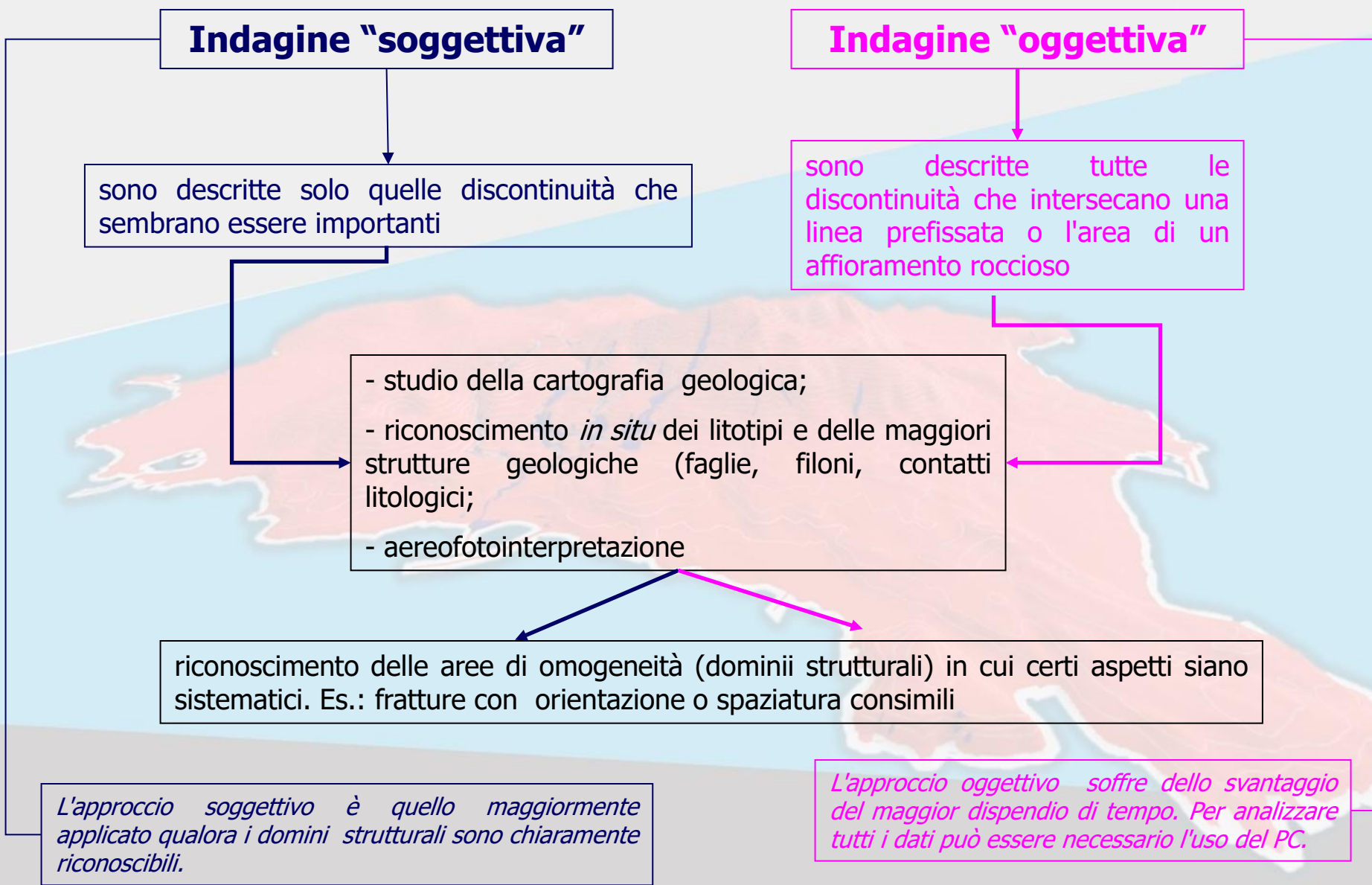
Left mouse button => Get Intersection Data Right mouse button => Continue East



Approcci convenzionali al rilievo geostrutturale/geomeccanico

Ci sono due modalità secondo cui può essere condotta l'indagine su una massa rocciosa, dipendenti dalla quantità di dettagli richiesti. In un'indagine «**soggettiva**» sono descritte solo quelle discontinuità che sembrano essere importanti. In un'indagine «**oggettiva**» sono descritte tutte le discontinuità che intersecano una linea prefissata o l'area di un affioramento roccioso.

Un requisito indispensabile per entrambi i tipi di indagine è lo studio preliminare di qualsiasi carta geologica disponibile, seguito dal riconoscimento *in situ* dei litotipi, delle maggiori strutture geologiche: delle faglie, dei filoni e dei contatti litologici. Uno studio di fotografie aeree è spesso assai utile per pianificare questa ricerca. In questo primo passo preliminare si devono poter riconoscere delle aree di omogeneità (dominii strutturali) in cui certi aspetti siano sistematici, come quando le fratture possiedono orientazione o spaziatura consimili. La struttura di una massa rocciosa è statisticamente omogenea in un'area di omogeneità.



sono descritte tutte le discontinuità che intersecano una linea prefissata o l'area di un affioramento roccioso

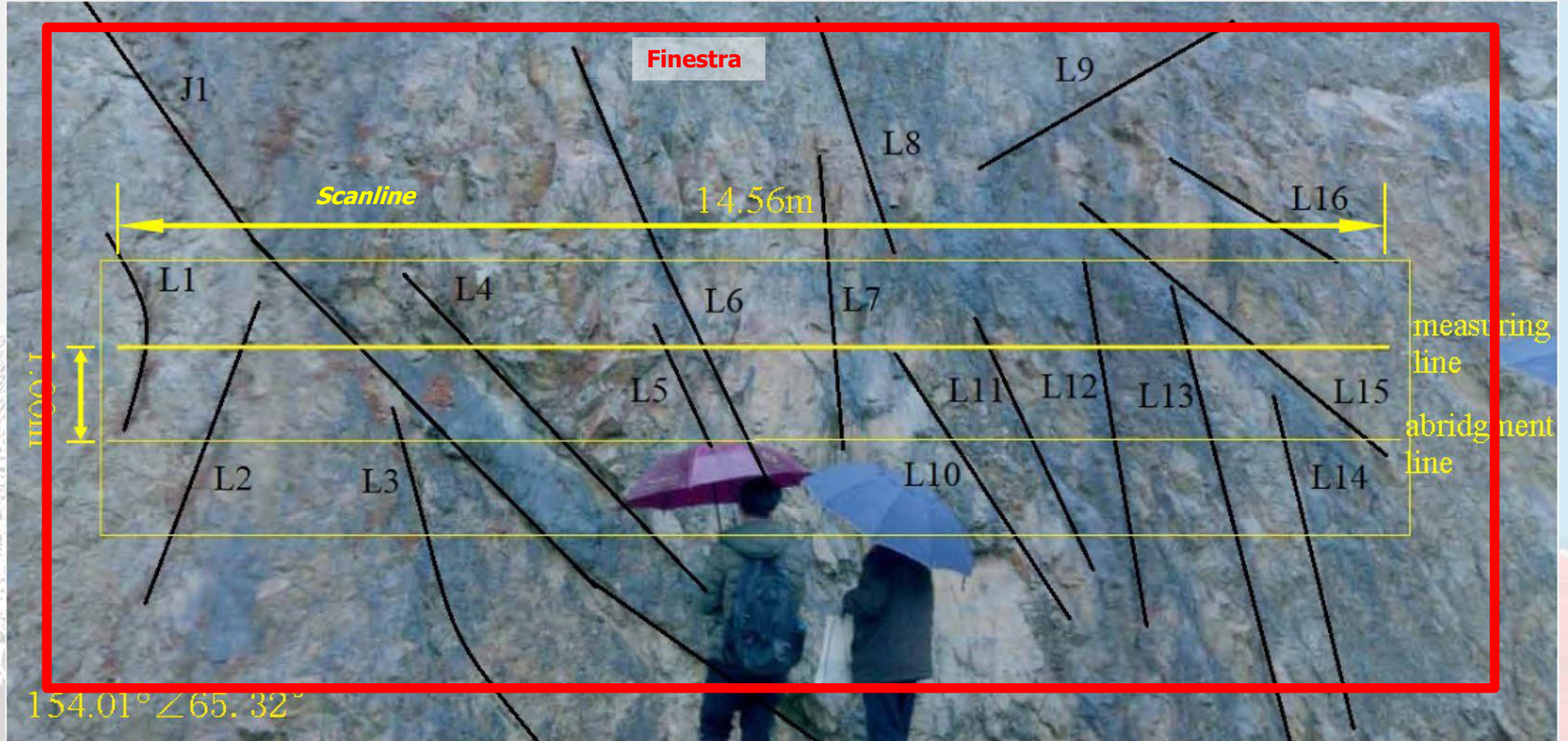
- studio della cartografia geologica;
- riconoscimento *in situ* dei litotipi e delle maggiori strutture geologiche (faglie, filoni, contatti litologici);
- aereofotointerpretazione

riconoscimento delle aree di omogeneità (dominii strutturali) in cui certi aspetti siano sistematici. Es.: fratture con orientazione o spaziatura consimili

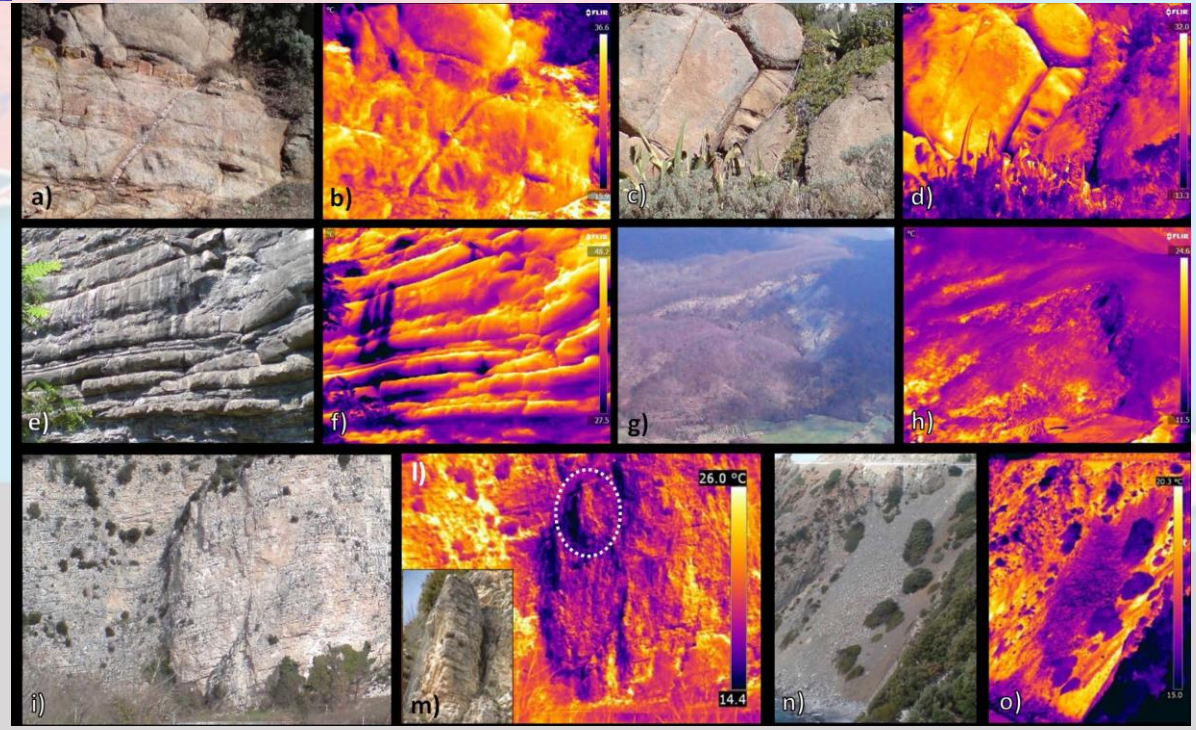
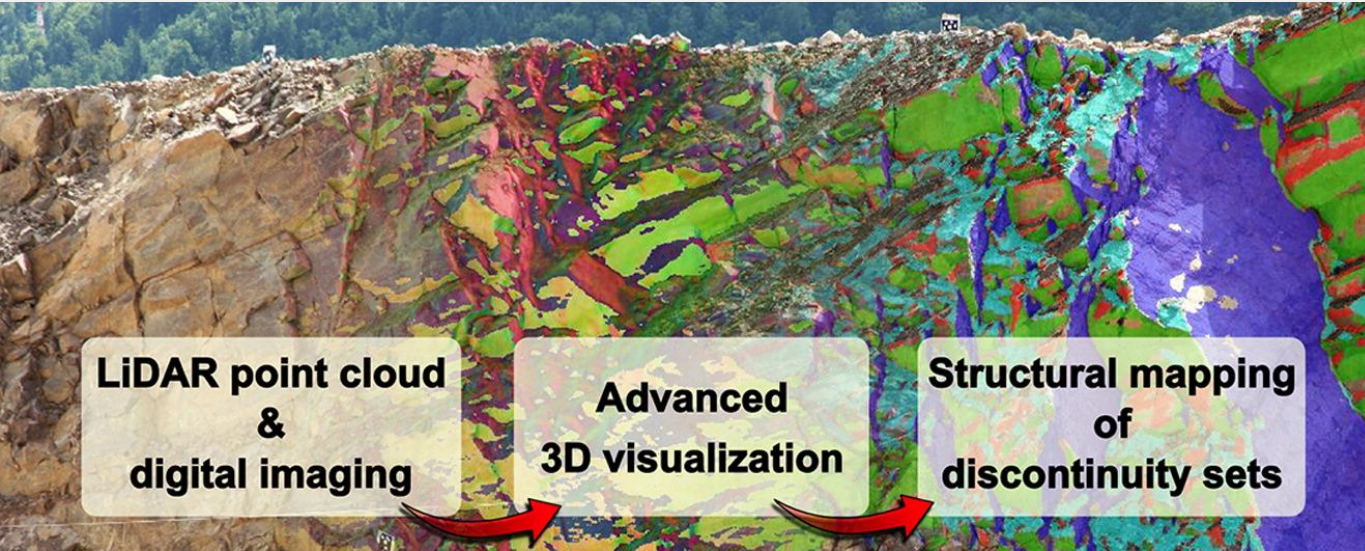
L'approccio soggettivo è quello maggiormente applicato qualora i domini strutturali sono chiaramente riconoscibili.

L'approccio oggettivo soffre dello svantaggio del maggior dispendio di tempo. Per analizzare tutti i dati può essere necessario l'uso del PC.

Scanline vs. «finestra»



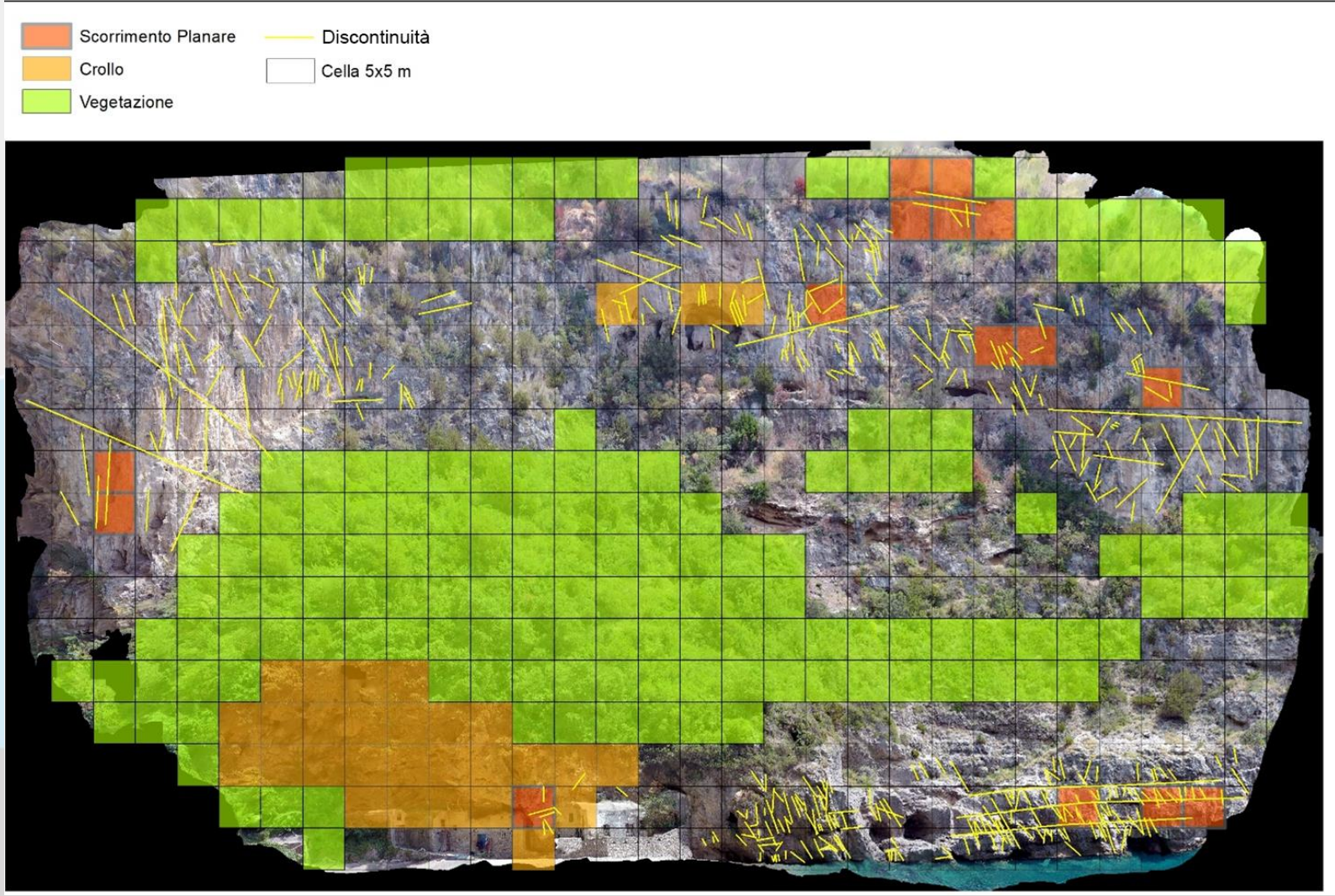
L'avvento delle nuove tecnologie



L'avvento delle nuove tecnologie



L'avvento delle nuove tecnologie



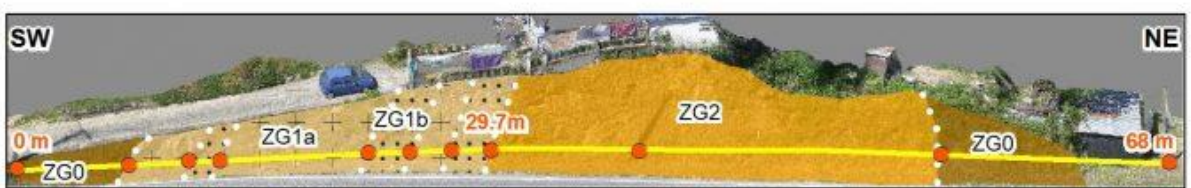
Risultato: zonazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



Chaminé et al., 2021



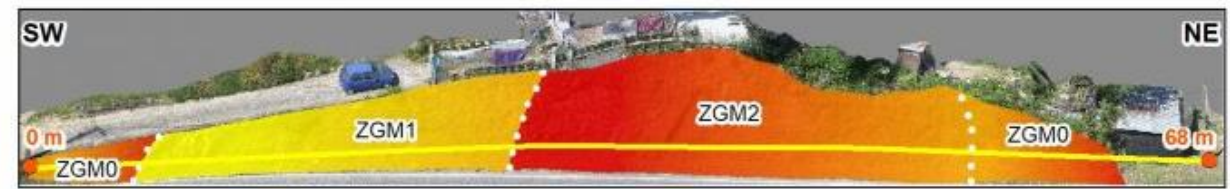
- Scanline (N 35-40° E)
- + Grey to yellowish monzonitic granite, essentially biotitic, medium grained
- Faults



- ### Geotechnical Zoning Units (ZG)
- ZG0 - Completely weathered to residual soil (W_5 to W_6); very low uniaxial compressive strength (S_5 ; 6 MPa)
 - ZG1a - Moderately weathered granite (W_3); wide to moderately fracturing intercept ($F_{1,2}$ to F_3 ; 180 to 60 cm); moderate uniaxial compressive strength (S_3 ; 21 to 57 MPa)
 - ZG1b - Moderately to highly weathered granite (W_3 to W_4); moderate fracturing intercept (F_3 ; 90 cm); low uniaxial compressive strength (S_4 ; 18 to 20 MPa)
 - ZG2 - Highly weathered granite (W_4); moderate to widely fracturing intercept (F_2 to F_3 ; 90 to 50 cm); low uniaxial compressive strength (S_{4-5} ; 18 MPa)



- ### Geomechanical Zoning Units (ZGM)
- ZGM0 - Very poor rock mass quality (SMR|85 < 10; RMR|89 < 10; GSI|13 < 15)
 - ZGM1 - Poor to moderate rock mass quality (SMR|85 = 39; RMR|89 = 39; GSI|13 = 44)
 - ZGM2 - Poor to very poor rock mass quality (SMR|85 = 19; RMR|89 = 20; GSI|13 = 28)



Geomechanical Zoning [ZGM]	Rockfall Hazard Rating System (RHRS m^2)	Slope Quality Index (SQI)
ZGM1	312	3
	Hazard level: moderate	Slope status: medium
	Intervention: short term	Level of risk: moderate
ZGM2 + ZGM0	366	3,3
	Hazard level: high	Slope status: medium
	Intervention: urgent	Level of risk: moderate



d

e

Struttura del seminario – 1ª parte

◆ Perché franano le rocce lapidee?

◆ Criteri di rottura degli ammassi rocciosi

◆ Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

◆ **Classificazione degli ammassi rocciosi e delle frane in roccia**



I metodi di classificazione degli ammassi rocciosi

I metodi di classificazione degli ammassi rocciosi servono, mediante la descrizione in termini quali-quantitativi, ad individuare classi di qualità omogenee. Tali metodi sono stati all'origine introdotti per affrontare problemi connessi ad opere di ingegneria civile quali gallerie, dighe, ecc. Si contano però anche applicazioni a problemi di stabilità dei pendii. Tra i metodi più utilizzati si annoverano i seguenti:

- *Geomechanics Classification* o *Rock Mass Rating* (RMR - Bieniawski, 1973 e succ.)
- *Q-system* (Barton *et alii*, 1974)
- *Slope Mass Rating* (SMR – Romana, 1985)
- *Geological Strength Index* (GSI – Hoek & Brown, 1997)



Geological Strength Index

Al fine di ampliare l'applicazione del criterio di Hoek & Brown, soprattutto agli ammassi rocciosi di cattiva qualità ed impiegare parametri geologici per la valutazione della loro resistenza, gli stessi autori hanno proposto un indice di resistenza geologico (GSI – *Geological Strength Index*), che esprime la qualità dell'ammasso roccioso in funzione del grado e delle caratteristiche della fratturazione, della struttura geologica, della dimensione dei blocchi e dell'alterazione delle discontinuità. Marinos & Hoek (2001) hanno poi adattato il GSI ai flysch. A partire dall'espressione generale del criterio di Hoek & Brown,

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)$$

I valori di m , s , ed α si ottengono mediante l'espressione:

$$m = m_i \exp \frac{GSI - 100}{28}$$

— Per ammassi con $GSI > 25$ (buona-media qualità):





$$m = \exp \frac{GSI - 100}{9} \quad \alpha = 0.5$$

— Per ammassi con $GSI < 25$ (qualità scadente-pessima):

$$s = 0 \quad \alpha = 0.65 - \frac{GSI}{200}$$





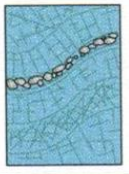
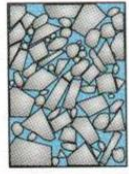
Geological Strength Index

CARATTERIZZAZIONE DELL' AMMASSO ROCCIOSO PER STIMARE I PARAMETRI DI RESISTENZA		CONDIZIONI DEL FRONTE				
Basandosi sull'aspetto della roccia individuare la categoria che meglio descrive le condizioni dell'ammasso prima dello scavo. Tenere conto che le volate possono indurre a valutazioni erronee sulla qualità dell'ammasso roccioso, in tal caso si dovranno apportare delle correzioni che tengano conto dei danni dovuti alle volate; l'osservazione di carote di sondaggi e fronti in roccia con o senza uso di esplosivi può essere d'aiuto. Per la definizione del grado di fratturazione (<i>blockiness</i>) si deve considerare il rapporto fra la dimensione dei blocchi e quella del fronte di scavo.		MOLTO BUONE (MB) Superfici scabre inalterate	BUONE (B) Superfici scabre leggermente alterate, con patine di ossidazione	MEDIE (M) Superfici tenere moderatamente alterate	SCADENTI (S) Superfici di taglio molto alterate con riempimento compatto con frammenti di roccia	MOLTO SCADENTI (MS) Superfici di taglio molto alterate con riempimento argilloso
STRUTTURA						
	BLOCCHI REGOLARI (BR) Ammasso roccioso inalterato. Blocchi di forma cubica a contatto formati da tre famiglie di discontinuità ortogonali, senza riempimento.	BR/MB	BR/B	BR/M	BR/S	BR/MS
	BLOCCHI IRREGOLARI (BI) Ammasso roccioso parzialmente alterato. Blocchi di forma angolare a contatto formati da quattro o più famiglie di discontinuità con riempimento a bassa percentuale di frazioni fini.	BI/MB	BI/B	BI/M	BI/S	BI/MS
	BLOCCHI E STRATI (BS) Ammasso alterato, piegato e fratturato con discontinuità multiple che formano blocchi angolosi con bassa percentuale di frazioni fini.	BS/MB	BS/B	BS/M	BS/S	BS/MS
	FRATTURAZIONE INTENSA (FI) Ammasso roccioso molto fratturato formato da blocchi angolosi e arrotondati, con alto contenuto in frazioni fini.	FI/MB	FI/B	FI/M	FI/S	FI/MS



Geological Strength Index

Valutazione dell'indice GSI in base ad elementi geologici

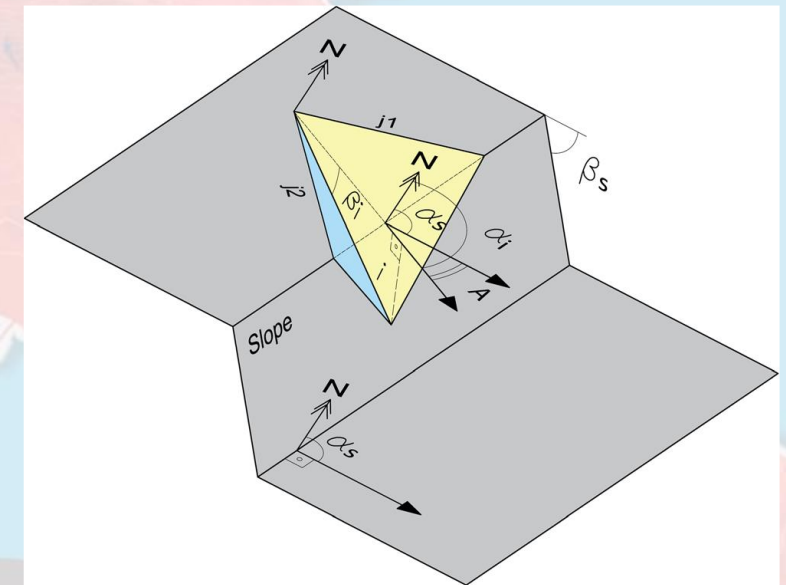
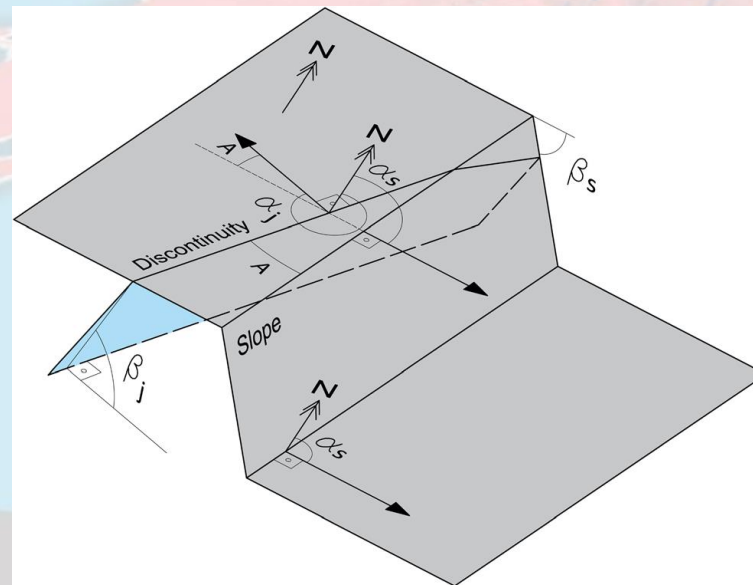
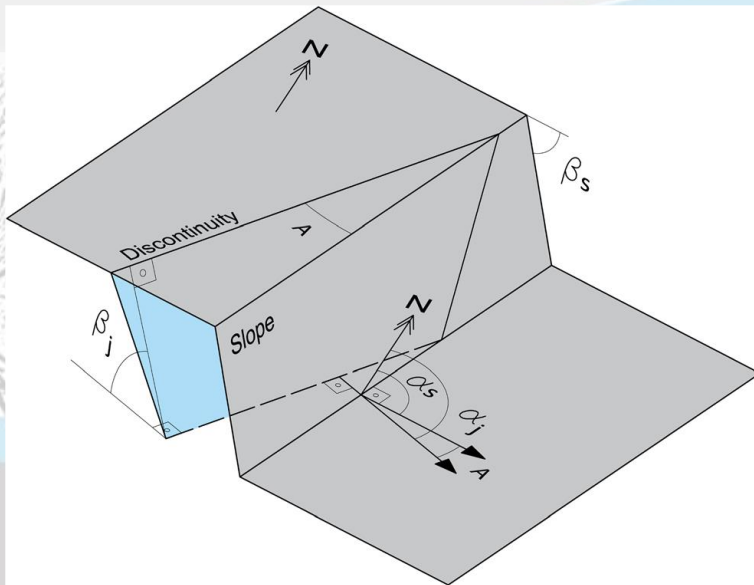
		CONDIZIONI DEL FRONTE				
		MOLTO BUONE (MB) Superfici scabre inalterate	BUONE (B) Superfici scabre leggermente alterate, con patine di ossidazione	MEDIE (M) Superfici tenere moderatamente alterate	SCADENTI (S) Superfici di taglio molto alterate con riempimento compatto con frammenti di rocia	MOLTO SCADENTI (MS) Superfici di taglio molto alterate con riempimento argilloso
	BLOCCHI REGOLARI (BR) Ammasso roccioso inalterato. Blocchi di forma cubica a contatto formati da tre famiglie di discontinuità ortogonali, senza riempimento.	80	70			
	BLOCCHI IRREGOLARI (BI) Ammasso roccioso parzialmente alterato. Blocchi di forma angolare a contatto formati da quattro o più famiglie di discontinuità con riempimento a bassa percentuale di frazioni fini.		60	50		
	BLOCCHI E STRATI (BS) Ammasso alterato, piegato e fratturato con discontinuità multiple che formano blocchi angolosi con bassa percentuale di frazioni fini.			40	30	
	FRATTURAZIONE INTENSA (FI) Ammasso roccioso molto fratturato formato da blocchi angolosi e arrotondati, con alto contenuto in frazioni fini.				20	10



La classifica SMR (Slope Mass Rating) di Romana (1984)

L'applicazione del sistema RMR alla valutazione preliminare della stabilità dei pendii in roccia è di fatto problematica, in considerazione del notevole peso attribuito al fattore "giacitura delle discontinuità" (fino a -60 punti rispetto all'RMR di base). Romana nel 1985 ha introdotto un nuovo sistema di classificazione per gli ammassi rocciosi presenti su pendio o fronte di scavo che, partendo dall'RMR di base (senza quindi apportare alcuna correzione per le discontinuità), consente di definire un indice SMR così ottenuto:

$$SMR = RMR_{base} - (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

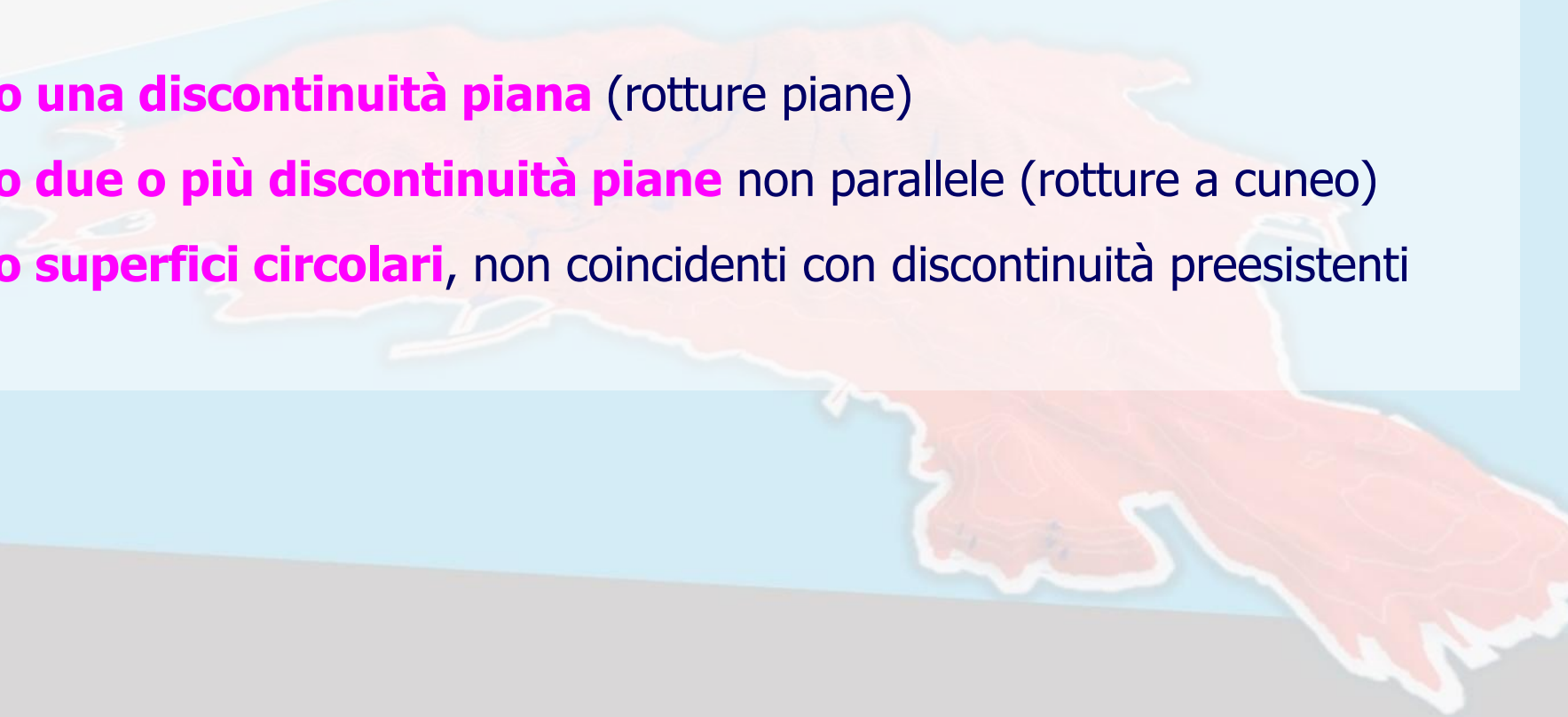
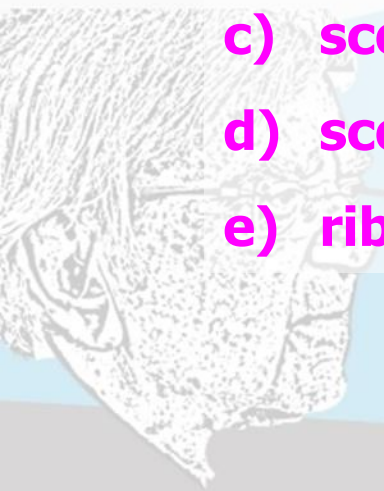


Rappresentazione schematica di un pendio con gli elementi geometrici necessari per la definizione dei fattori F1, F2, F3 di Romana

Classificazione delle frane in roccia

Con riferimento alla classificazione di Cruden & Varnes (1996), i fenomeni franosi che interessano un versante roccioso possono essere ricondotti alle seguenti tipologie:

- a) **crolli**
- b) **scorrimenti lungo una discontinuità piana** (rotture piane)
- c) **scorrimenti lungo due o più discontinuità piane** non parallele (rotture a cuneo)
- d) **scorrimenti lungo superfici circolari**, non coincidenti con discontinuità preesistenti
- e) **ribaltamenti**



Crolli

La massa si muove prevalentemente nell'aria. Il fenomeno comprende la caduta libera, il movimento a salti e rimbalzi, il rotolamento di frammenti di roccia o di terreno sciolto

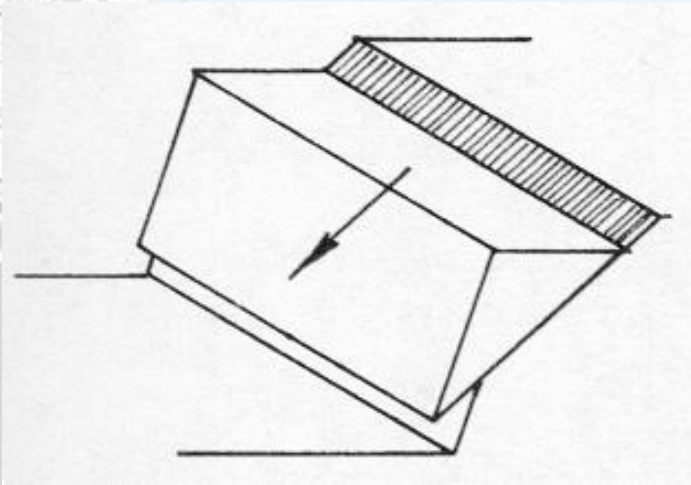


Copyright 2005

Rotture piane

Affinché uno scorrimento di masse rocciose possa avvenire lungo un singolo piano, è necessario che siano soddisfatte le seguenti condizioni geometriche

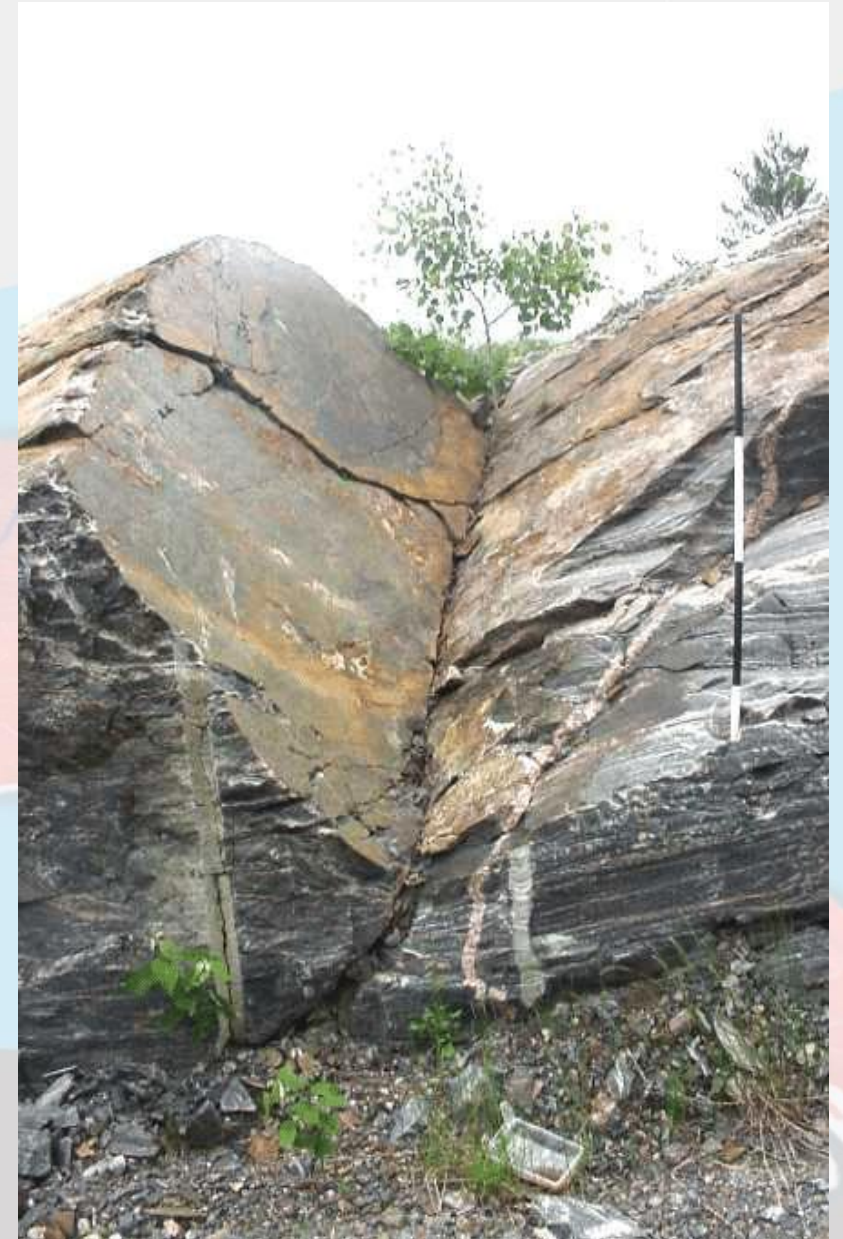
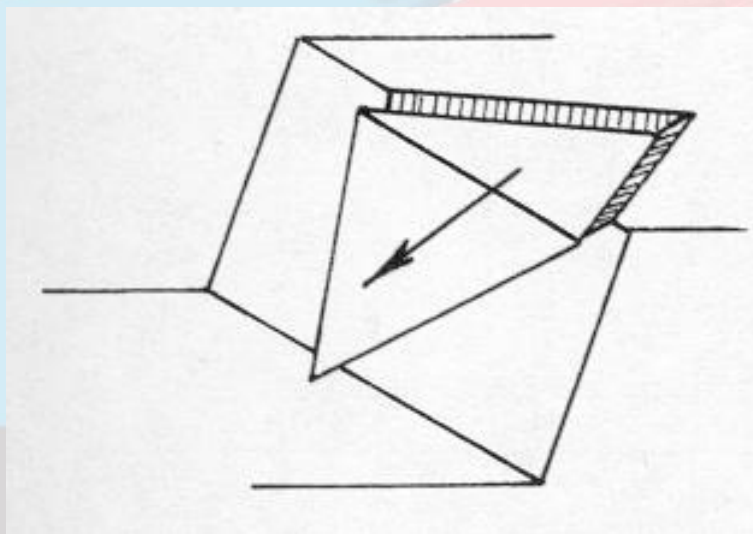
- il piano lungo cui avviene lo scorrimento deve avere una direzione all'incirca parallela (entro $\pm 20^\circ$) rispetto a quella del pendio;
- l'inclinazione del piano di scorrimento deve essere minore dell'inclinazione del pendio;
- l'inclinazione del piano di scorrimento deve essere maggiore dell'angolo d'attrito lungo il piano stesso;
- la resistenza tra massa in moto e superfici laterali deve essere trascurabile.



Rotture a cuneo

Lo scorrimento avviene lungo la linea d'intersezione formata da almeno due discontinuità, aventi diversa giacitura. Come nel caso della rottura piana, condizioni essenziali per il verificarsi della frana sono:

- inclinazione della linea d'intersezione minore dell'inclinazione del pendio;
- inclinazione della linea d'intersezione maggiore dell'angolo d'attrito disponibile.



Rotture circolari

Le condizioni che rendono possibile in un ammasso roccioso una rottura circolare insorgono quando i volumi elementari coinvolti sono particolarmente piccoli rispetto al pendio e quando questi volumi non sono tra loro intimamente interconnessi (es.: rocce intensamente fratturate ed alterate). In tali condizioni, l'ammasso roccioso si comporterà come una roccia sciolta e potrà subire rotture, talora anche imponenti, lungo superfici circolari

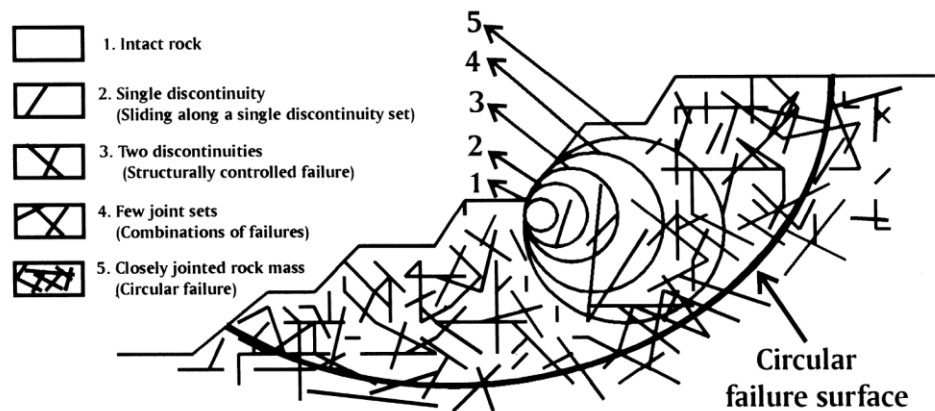


Fig. 1. Effect of scale on rock strength and possible mechanisms of failure in rock slopes.

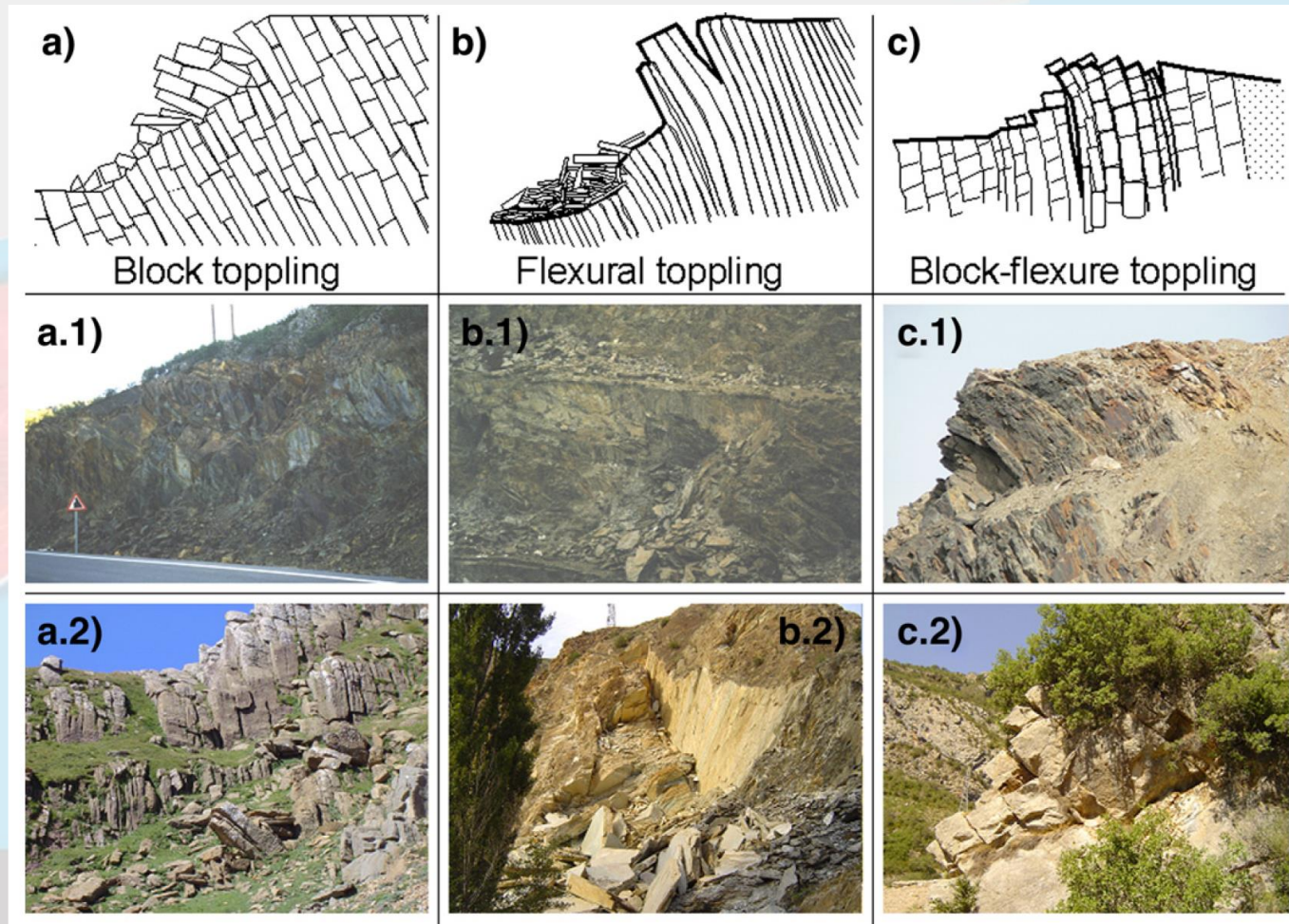
Ribaltamenti

Le frane da ribaltamento interessano rocce lapidee che possono dare luogo a volumi colonnari, separati da discontinuità ad alto angolo. E' possibile distinguere diversi tipi di ribaltamento (r. primari e secondari, r. flessurali, r. a blocchi, ecc.).

Ribaltamento a blocchi. Si verifica quando volumi colonnari di roccia sono suddivisi da discontinuità trasversali caratterizzate da ampia spaziatura.

Ribaltamento flessurale. Si verifica in presenza di un sistema di discontinuità subverticale che immerge verso l'interno del pendio, individuando "colonne" o prismi di roccia semi-continui. L'insorgere di sollecitazioni può provocare il piegamento in avanti dei volumi colonnari e la successiva rottura.

Ribaltamento flessurale a blocchi. Il meccanismo di rottura è caratterizzato da un piegamento pressoché continuo lungo i prismi rocciosi, che sono suddivisi da numerose discontinuità trasversali.



Struttura del seminario – 1ª parte

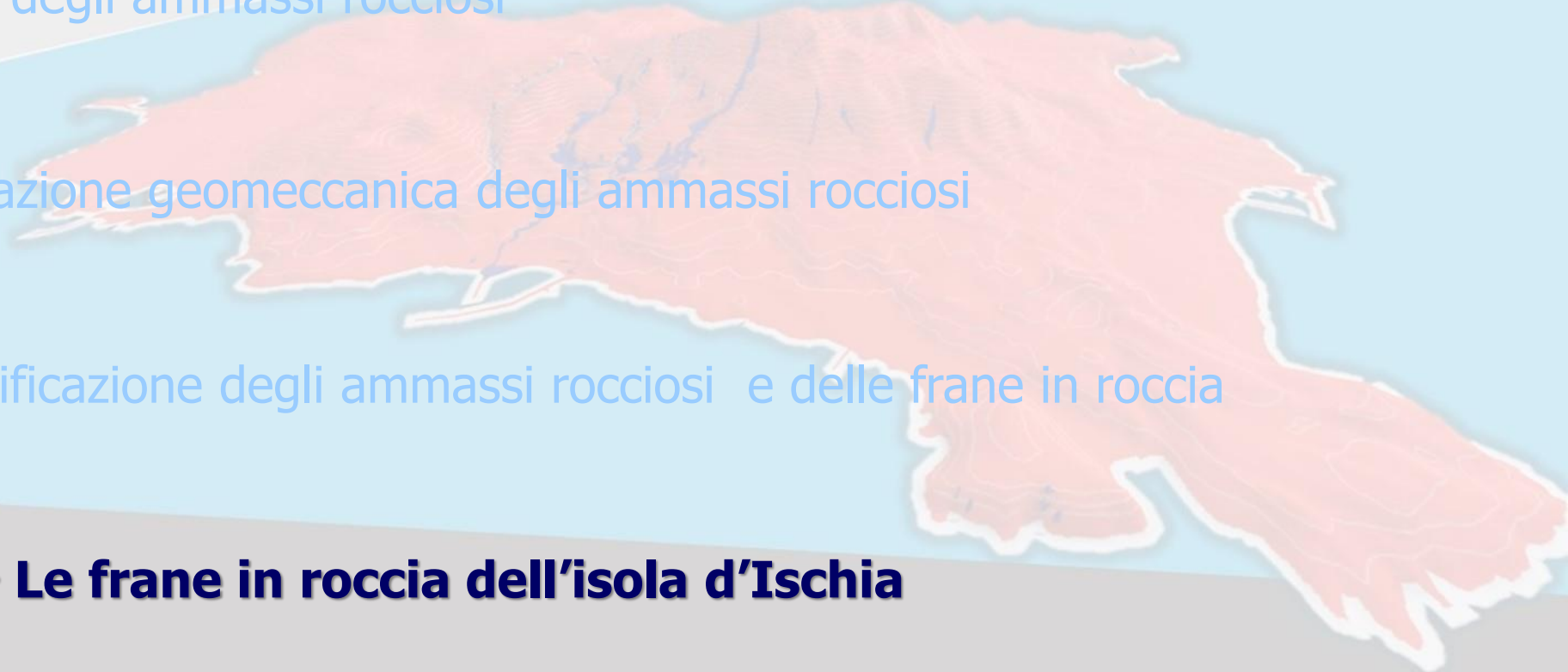
◆ Perché franano le rocce lapidee?

◆ Criteri di rottura degli ammassi rocciosi

◆ Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

◆ Classificazione degli ammassi rocciosi e delle frane in roccia

◆ **Le frane in roccia dell'isola d'Ischia**



Frane del passato nell'isola d'Ischia

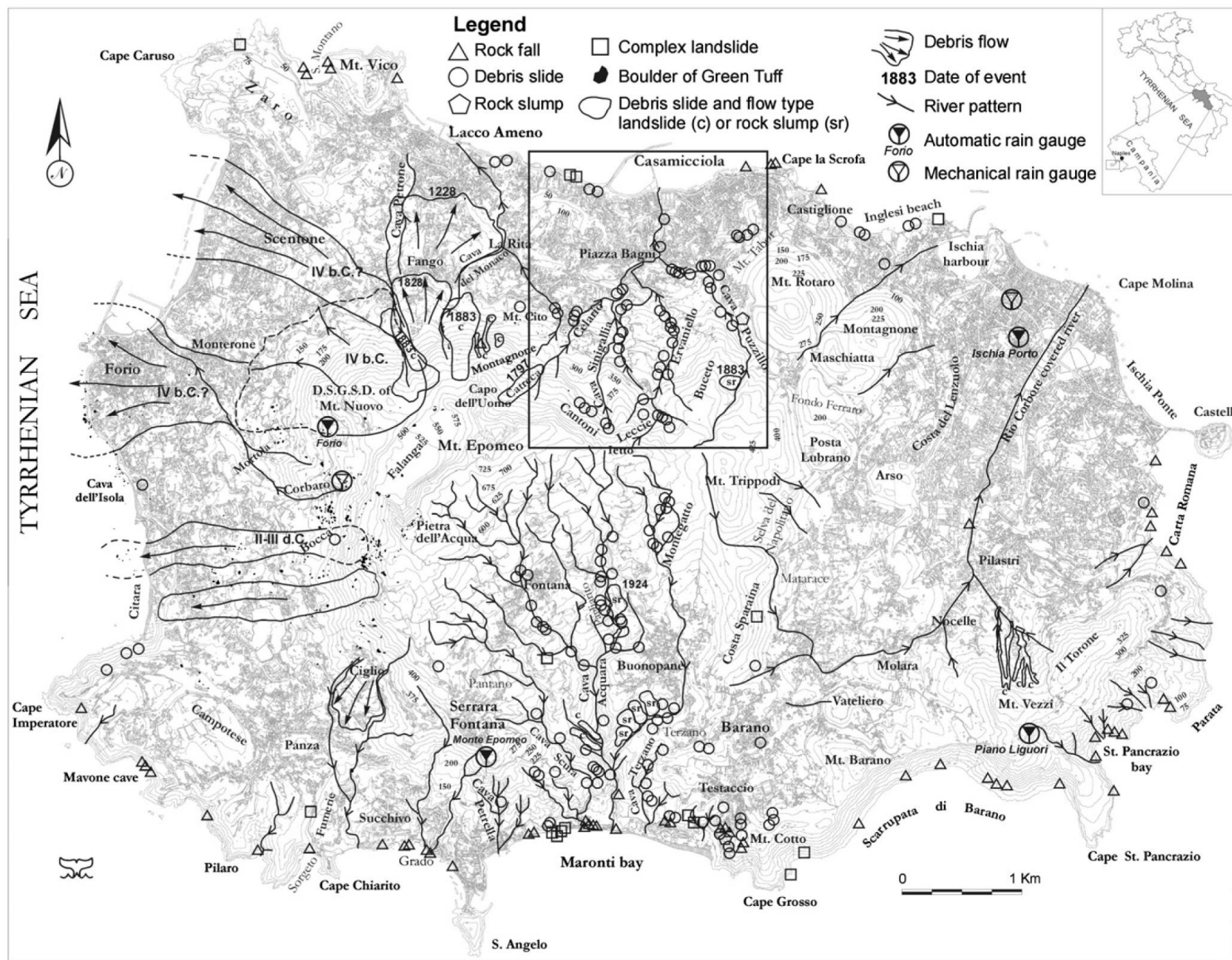


Fig. 2. Landslide map of Ischia (after Del Prete and Mele, 2006, modified and updated). For greater clarity only the age, if known, of major landslide events is reported. The square indicates the area of study.

Frane in roccia nell'isola d'Ischia

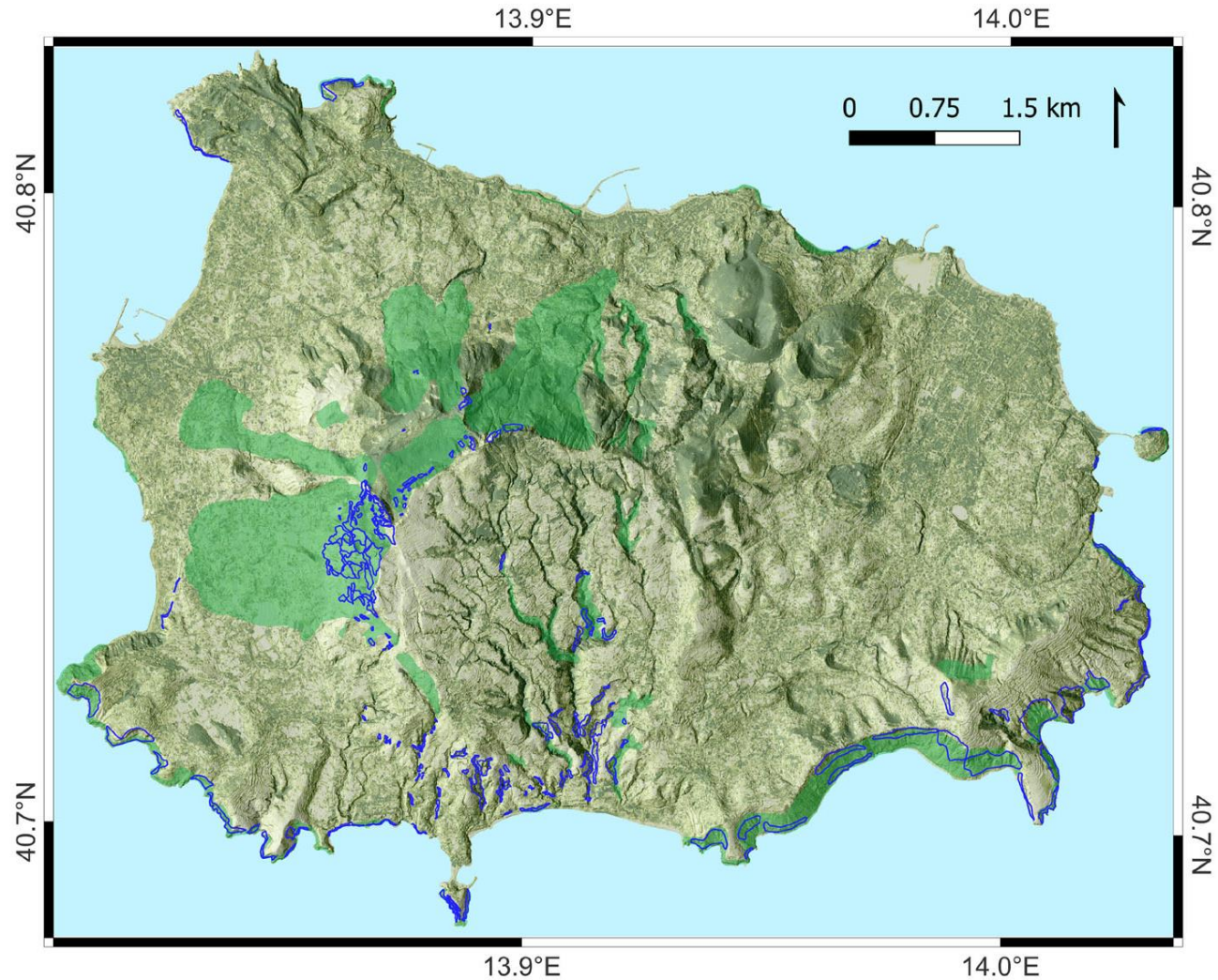
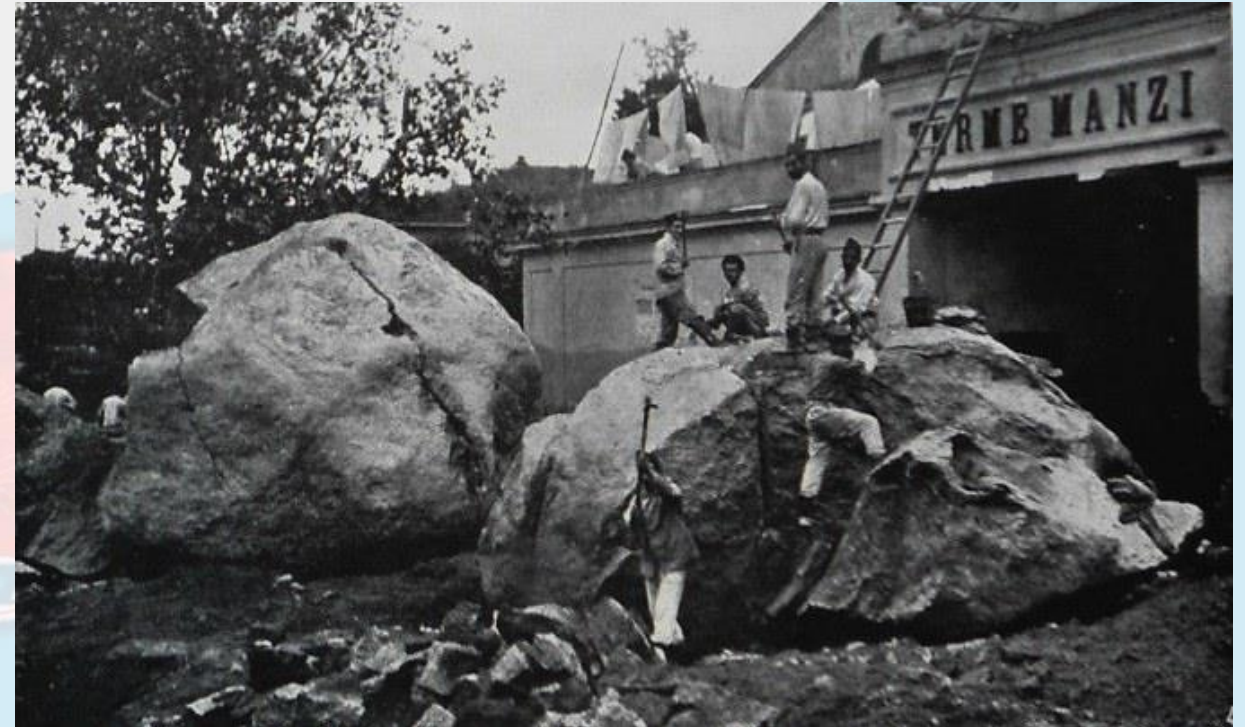
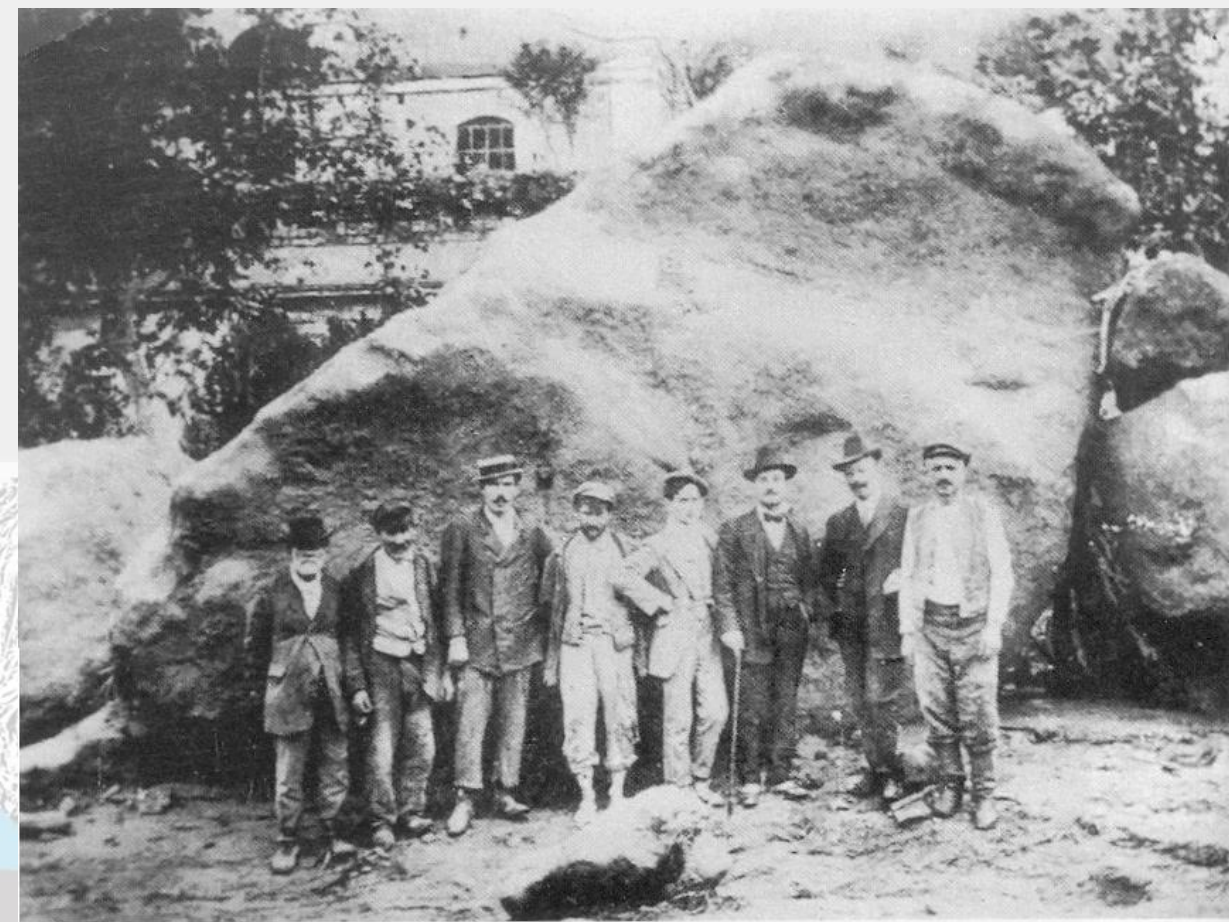


Figure 2. Information on rockfalls in the study area. Bright green polygons are falls and diffused falls areas from the Italian IFFI Inventory; blue empty polygons show manual mapping of sources on Google Earth™ images, performed for this work.

Frane in roccia lungo la spiaggia dei Maronti (primi anni '80)



L'evento del 24 ottobre 1910



Massi tufacei staccatisi dal M. Epomeo, che hanno invaso il centro di Casamicciola Terme durante l'evento del 24 ottobre 1910 (Mele & Del Prete, 1998)

L'evento del 26 novembre 2022



L'evento del 26 novembre 2022



L'evento del 26 novembre 2022

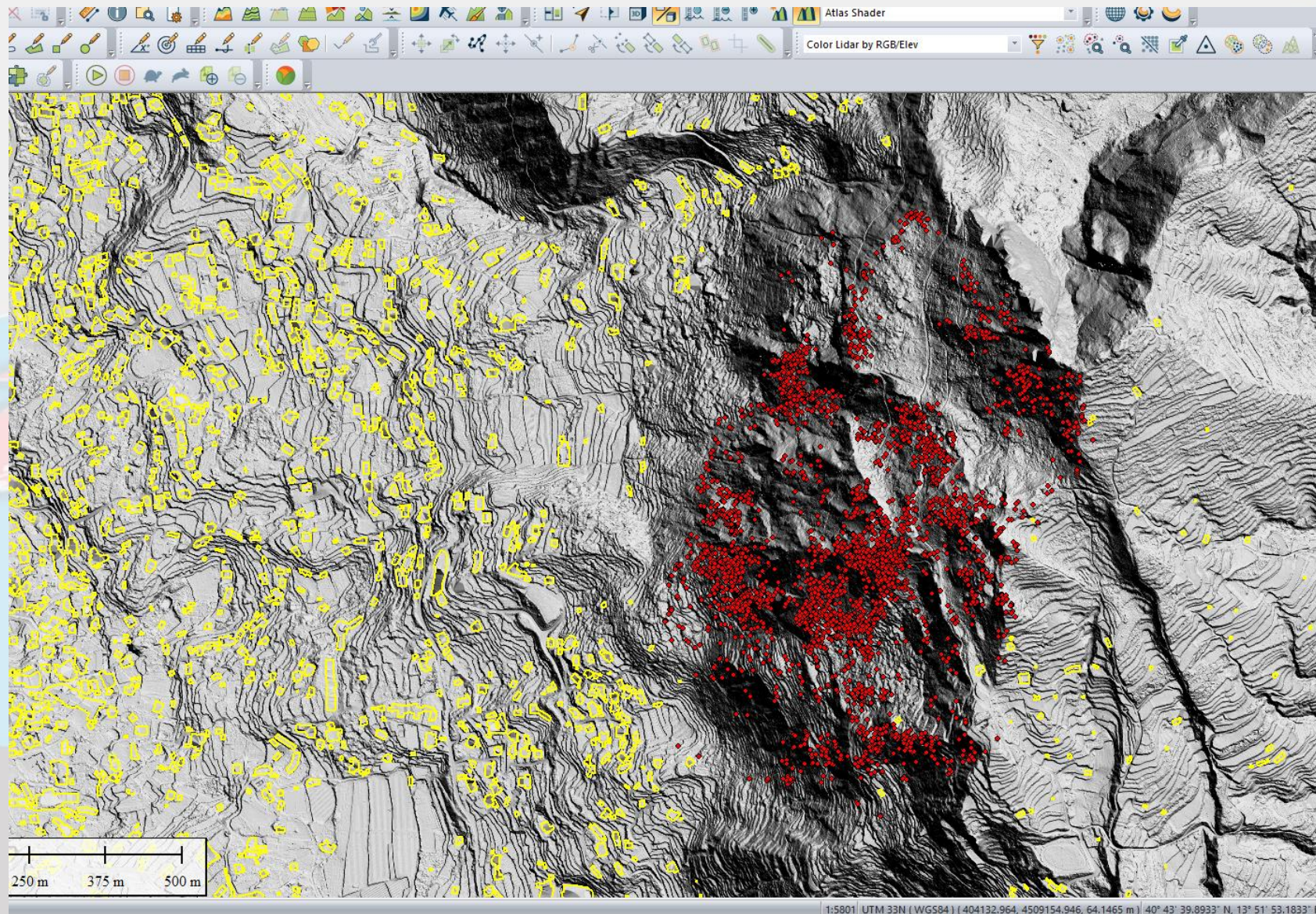


Mappatura e classificazione dei blocchi in ambiente GIS

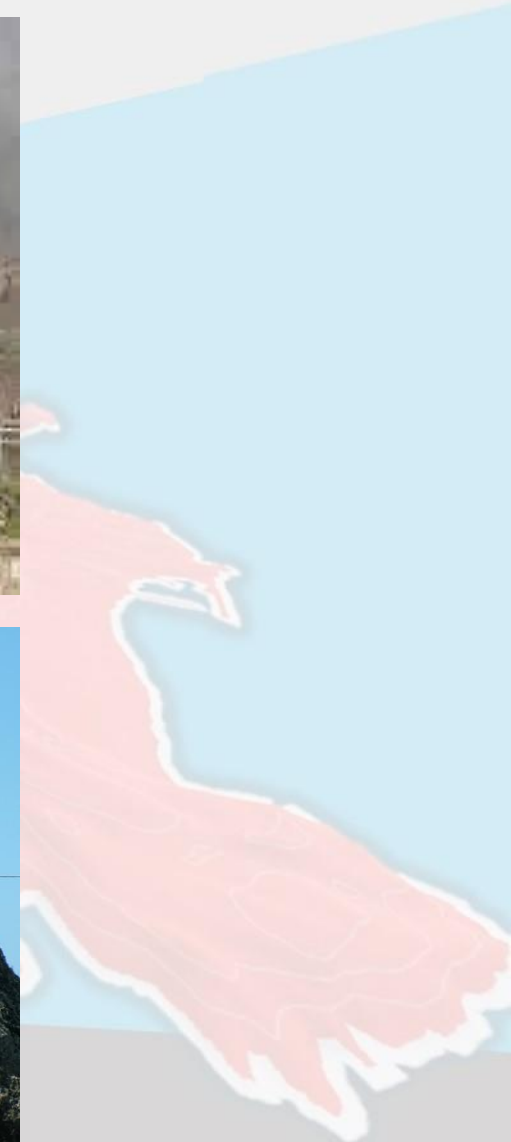
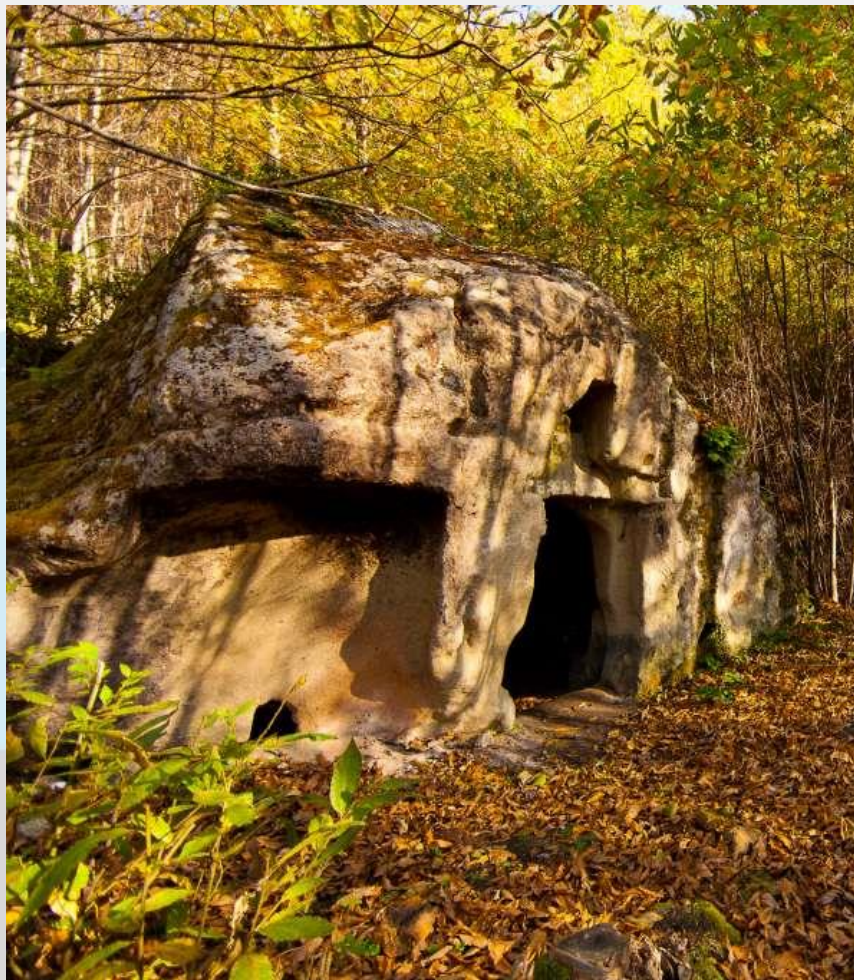
Metodo: interpretazione visiva di ortofoto derivate da immagini da drone

Classificazione (m³):

- C I, 0,5-1,5: 1767 blocchi
- C II, 5-15: 1048
- C III, 25-75: 309
- C IV, 75-225: 69
- C V, 250-750: 22
- C VI, 750-2250: 15



Testimoni di antiche frane in roccia lungo le pendici del M. Epomeo



Il testimone più famoso: il Fungo di Lacco Ameno



Qualcosa di comparabile



