



GEOLOGIA APPLICATA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI STRUTTURALMENTE COMPLESSI



Ordine dei Geologi Regione Emilia-Romagna

Consulta dei Geologi della Provincia di Rimini



Fenomeni franosi in ammassi rocciosi strutturalmente complessi

Lisa BORGATTI

ALMA MATER STUDIORUM Università di Bologna
DICAM Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica,
Ambientale e dei Materiali



Fenomeni franosi in ammassi rocciosi strutturalmente complessi

Contenuti:

- Tipologie di fenomeni franosi
- Ammassi rocciosi strutturalmente complessi
- Esempi di frane in ammassi rocciosi, stima dei parametri di resistenza e valutazione della stabilità.



Tipologie di fenomeni franosi

Le classificazioni sono basate sul tipo di movimento e sul tipo di materiale:

Varnes, 1978; Cruden e Varnes, 1996; Dikau et al., 1996

Movimento:

Fall Topple Slide Spread Flow

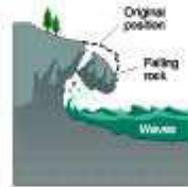
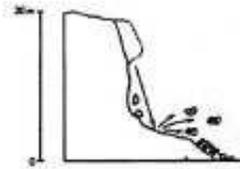
Crollo Ribaltamento Scivolamento Espandimento Colata

Materiale:

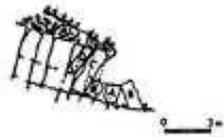
Rock Debris Earth

Roccia Detrito Terra

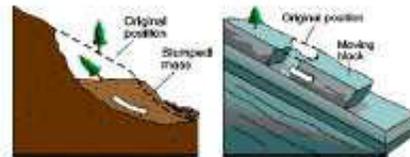
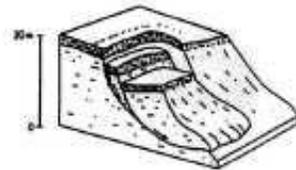
Tipo di movimento



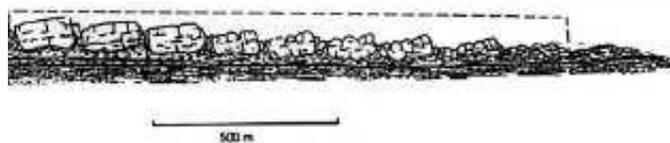
Crollo



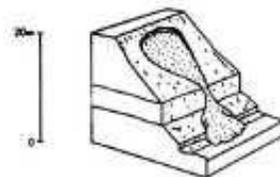
Ribaltamento



Scivolamento

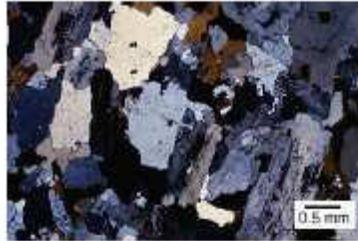


Espandimento



Colata

Tipo di materiale



Roccia



Detrito



Terra



Come posso descrivere questa frana?



Maioletto, Valmarecchia

<http://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/geositi/scheda.jsp?id=2146>

Come posso descrivere questo materiale?



Argille varicolori AVC



...la questione si fa **COMPLESSA**...



Frana dallo stile di attività complesso (composito), ovvero presenza di diversi cinematismi associati temporalmente e/o spazialmente



Mezzo geologico complesso



Mezzi geologici complessi: **ammassi rocciosi** **litologicamente** e **strutturalmente complessi**



Roccia e ammasso roccioso

Dolomia e Dolomiti,
Gruppo del Sassolungo





Mezzi geologici complessi: **ammassi rocciosi** **litologicamente** e **strutturalmente complessi**



Ammasso roccioso
litologicamente
complesso

perché sono rilevabili
almeno due litologie a
comportamento
meccanico differente.

Sostanzialmente, tutti i
flysch sono ammassi
rocciosi litologicamente
complessi (argille
scagliose Auctt.).

Marnoso Arenacea, Molino di Bascio, Casteldelci

<http://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/geositi/scheda.jsp?id=2166>



Mezzi geologici complessi: **ammassi rocciosi** **litologicamente** e **strutturalmente complessi**



Flysch di Monte Caio, Villa Minozzo



Marnoso Arenacea, Stolle, Bagno di Romagna

Ammasso roccioso

strutturalmente complesso

perché sono rilevabili delle famiglie di discontinuità primarie e secondarie (piani di stratificazione, scistosità, faglie, fratture etc.).

Molte unità geologiche appartenenti ai domini geologici appenninici sono strutturalmente complesse a causa del disturbo tettonico, come in particolare nei casi dei Domini Liguri e Sub-Liguri (argille scagliose Auctt.).

.



Stabilità dei versanti in **ammassi rocciosi** **litologicamente** e **strutturalmente complessi**



Frana dallo stile di attività complesso (composito), ovvero presenza di diversi cinematismi associati temporalmente e/o spazialmente

Mezzo geologico complesso





Stabilità dei versanti in **ammassi rocciosi** **litologicamente** e **strutturalmente complessi**

- A scala di versante abbiamo sempre di fronte un **ammasso roccioso**, che non ha le proprietà della sola matrice rocciosa (roccia intatta) ma nemmeno delle sole discontinuità che la attraversano;
- Le proprietà (fisiche e chimiche, di resistenza, deformabilità etc.) ottenute da **prove di laboratorio** su campioni della matrice rocciosa e sulle discontinuità possono non essere rappresentative del comportamento dell'ammasso roccioso a scala di versante;
- Spesso, le **prove in situ** sono di difficile esecuzione e interpretazione dei risultati;
- Per ottenere i parametri necessari ad una analisi quantitativa della stabilità del versante sono utili i **metodi di classificazione dell'ammasso roccioso, che hanno una differente applicabilità in dipendenza della struttura del versante e delle condizioni delle discontinuità, della scala del problema (dimensione dei blocchi vs dimensione del versante), e del cinematismo atteso.**

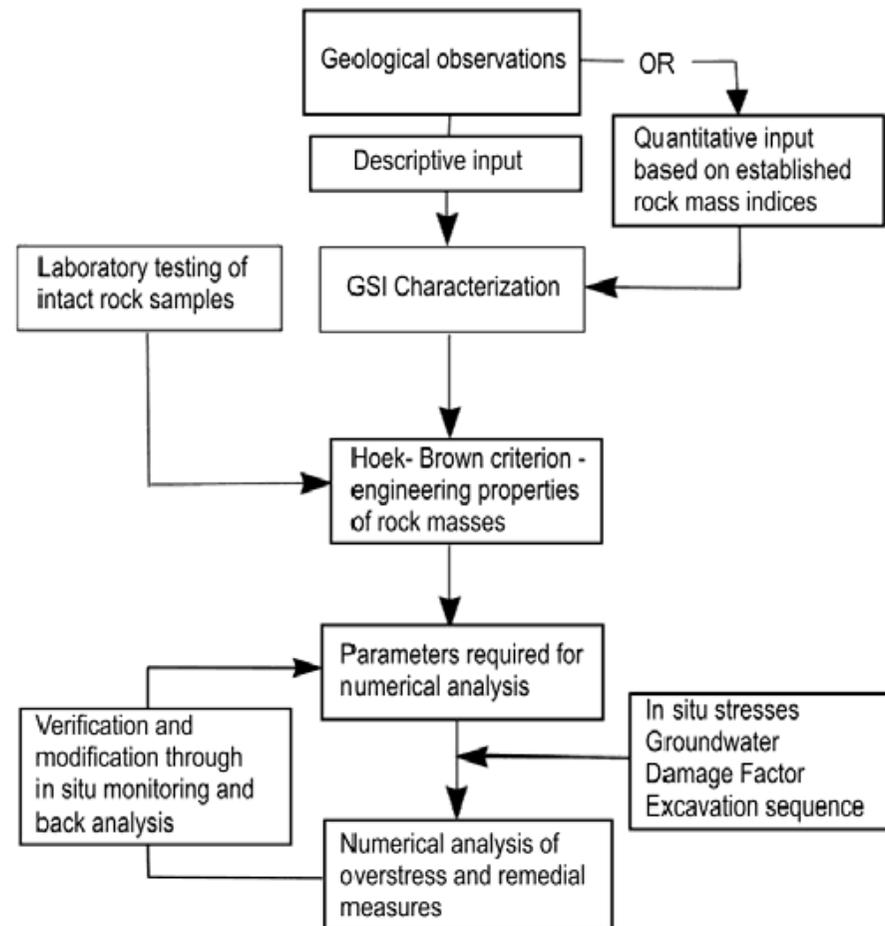


Stabilità dei versanti in **ammassi rocciosi** **litologicamente** e **strutturalmente complessi**

- La vasta maggioranza delle frane in roccia interessano ammassi rocciosi litologicamente e/o strutturalmente **complessi**;
- Alcuni fenomeni possono essere descritti come “**frane a controllo strutturale**”, ovvero guidate dalle caratteristiche di una discontinuità o più discontinuità pervasive (infinitamente estese) e favorevoli all’instabilità (es. scivolamento planare o a cuneo);
- In molti casi, invece, il comportamento meccanico dell’ammasso roccioso è assimilabile a quello di un mezzo continuo-equivalente (come una terra). La persistenza delle famiglie di discontinuità è limitata rispetto alle volumetrie in gioco e, per portare il versante a rottura, è necessaria una **interazione tra le discontinuità naturali esistenti e la propagazione della frattura attraverso i ponti di roccia intatta**.
- **Tanto i rilievi geologici in senso lato da svolgere, quanto la costruzione del modello geologico di riferimento da implementare nel modello numerico devono essere valutati sulla base dell’ammasso roccioso e del fenomeno franoso da analizzare.**



Classificazione e modellazione numerica per la valutazione della stabilità dei versanti in ammassi rocciosi complessi



Hoek et al. (2013): Data entry stream for using the Hoek-Brown system for estimating rock mass parameters for numerical analysis

Modelli numerici continui: inserimento implicito delle discontinuità



Osservazioni
geologiche e rilievi
e/o



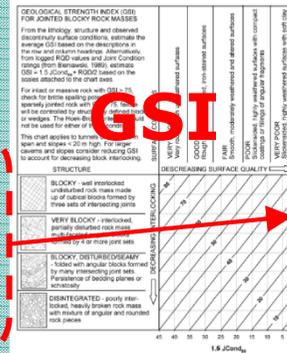
Analisi dati da
fotogrammetria
e/o laser
scanner
terrestre

Ammasso roccioso:

- Struttura
- Condizioni della superficie

Discontinuità:

- Orientazione
- Spaziatura
- apertura
- Riempimento
- Lunghezza
- Persistenza
- JRC (Pettine di Barton)
- JCS (Sclerometro)



Criterion di Hoek-Brown:
stima delle proprietà
dell'ammasso
roccioso

Analisi di
laboratorio
su provini
di roccia



MODELLI CONTINUI:
Ammasso roccioso
(roccia intatta+discontinuità)
FLAC, PHASE2, PLAXIS...



Modelli continui: inserimento implicito delle discontinuità

RocLab (Rocscience)

input →

Hoek-Brown Classification

sigci	30	MPa
GSI	50	
mi	10	
D	0	
Ei	12000	MPa
MR		

Hoek-Brown Criterion

mb	1.677
s	0.0039
a	0.506

Failure Envelope Range

Application: General

sig3max	7.5000	MPa
---------	--------	-----

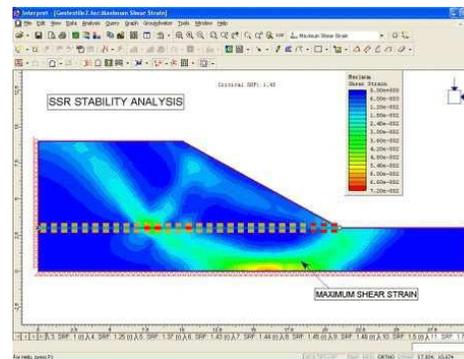
Mohr-Coulomb Fit

c	1.494	MPa
phi	30.52	deg

Rock Mass Parameters

sigt	-0.069	MPa
sigc	1.807	MPa
sigcm	5.230	MPa
Erm	3686.23	MPa

Phase2 – RS2 (Rocscience)



Material 1

Name: Material 1 Material Color: [dropdown]

Initial Element Loading: Field Stress & Body Force Unit Weight: (MN/m3): 0.027

Elastic Properties

Elastic Type: Isotropic Poisson's Ratio: 0.3

Young's Modulus (MPa): 20000 Young's Modulus (resid) (MPa): 20000

E1 (MPa): 20000 E2 (MPa): 20000 E3 (MPa): 20000

v12: 0.2 v13: 0.2 v23: 0.2

Strength Parameters

Failure Criterion: Mohr Coulomb Material Type: Elastic

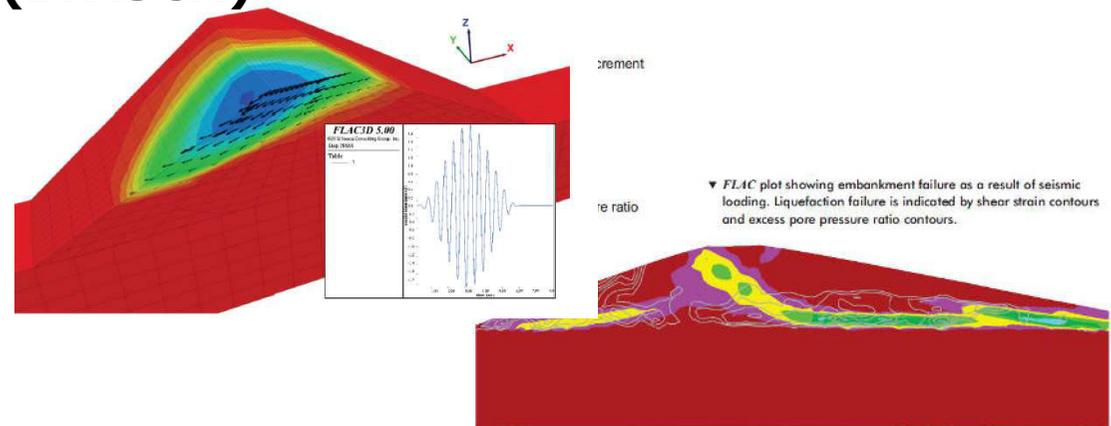
Tensile Strength (peak) (MPa): 0 Dilation Angle (deg): 0

Fric. Angle (peak) (deg): 35 Fric. Angle (resid) (deg): 35

Cohesion (peak) (MPa): 10.5 Cohesion (resid) (MPa): 10.5

Tensile Strength (resid) (MPa): 0

Flac – Flac 3D (ITASCA)



Modelli discontinui: inserimento esplicito delle discontinuità



Rilievi
geomeccanici

e/o



Analisi dati da
fotogrammetria
e/o laser
scanner
terrestre

Ammasso roccioso:

- Struttura
- Condizioni della superficie

Discontinuità:

- Orientazione
- Spaziatura
- apertura
- Riempimento
- Lunghezza
- Persistenza
- JRC (Pettine di Barton)
- JCS (Sclerometro)

Analisi di
laboratorio
su provini
di roccia



Parametri meccanici
della roccia intatta

+

Parametri meccanici
delle discontinuità
Geometria delle
discontinuità

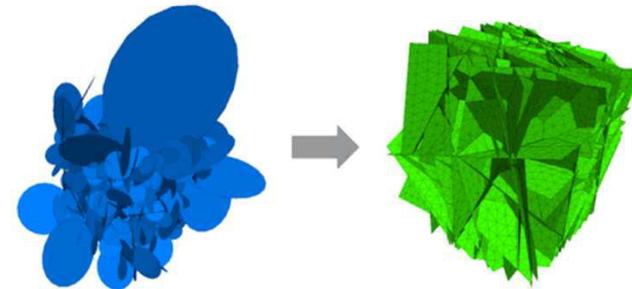
MODELLI DISCONTINUI:
roccia intatta +
discontinuità



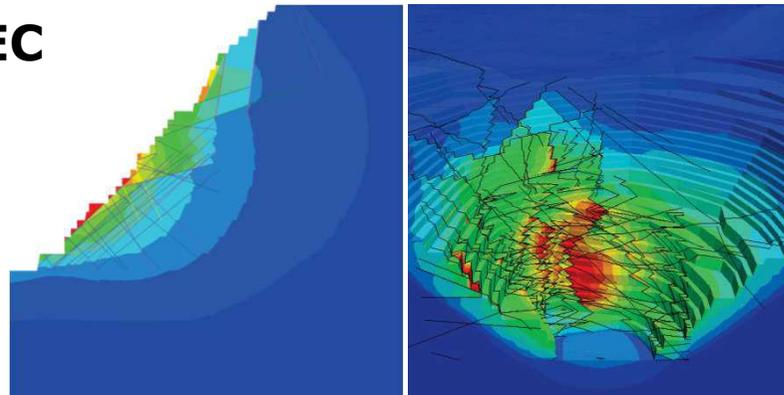
Modelli discontinui: inserimento esplicito delle discontinuità

Inserimento deterministico delle discontinuità

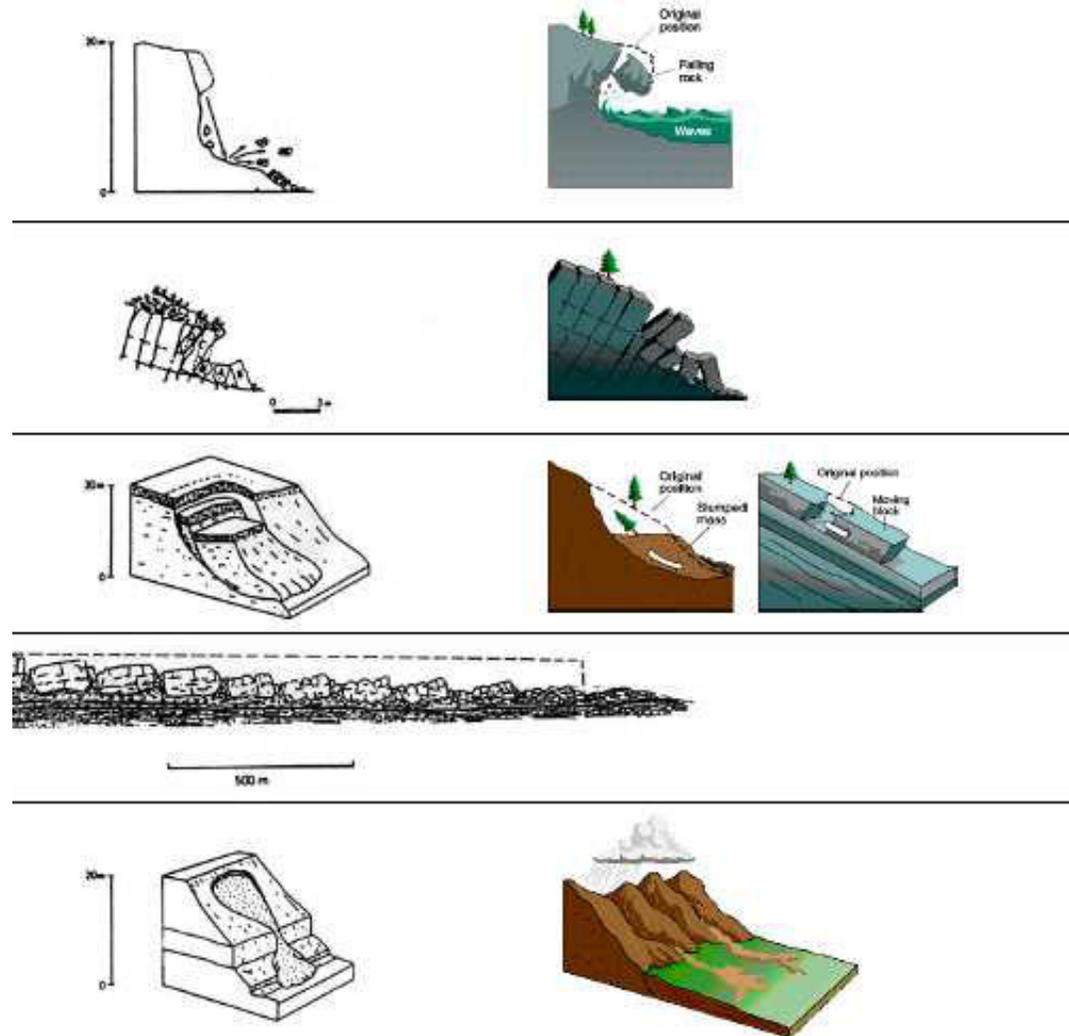
Modelli probabilistici di distribuzione delle discontinuità (DFN)



**Udec – 3DEC
(ITASCA)**



Frane in ammassi rocciosi litologicamente e strutturalmente complessi: qualche esempio

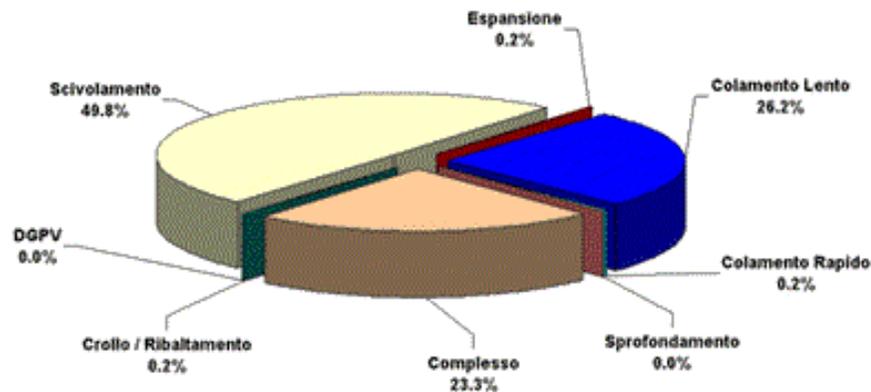


Anche in Emilia-Romagna, se si escludono le frane superficiali, le riattivazioni di scivolamenti e colate di terra e le colate di detrito, **la maggioranza dei fenomeni inventariati possono essere considerati frane che coinvolgono ammassi rocciosi litologicamente e/o strutturalmente complessi, almeno nella zona sorgente.**



Frane in ammassi rocciosi litologicamente e strutturalmente complessi: tipologie

Ripartizione Numero di frane per Tipo di Movimento

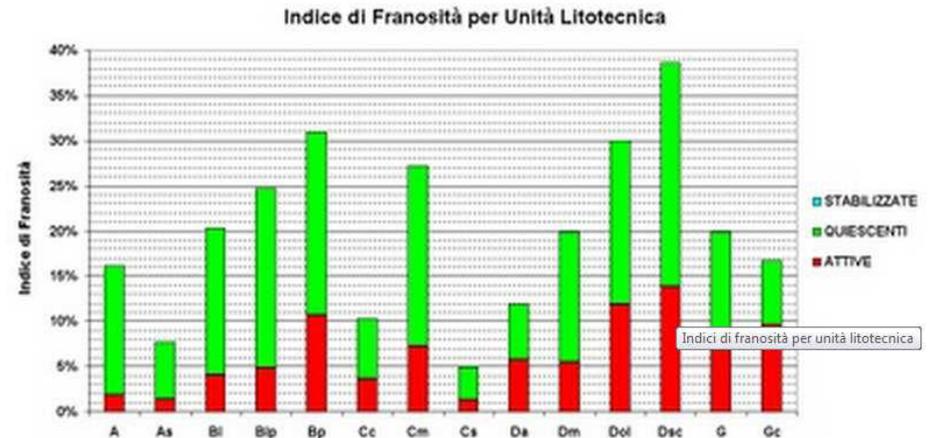
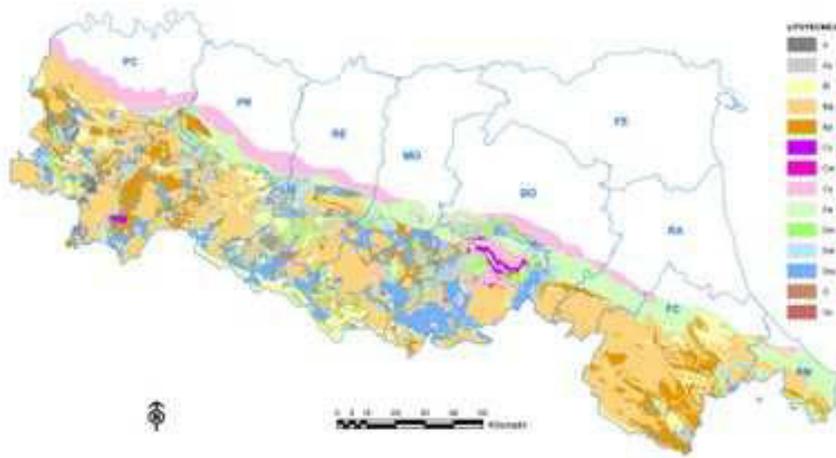


1) scivolamenti, tipici delle alternanze tra rocce lapidee, arenarie e calcareniti in prevalenza, e peliti o peliti marnose di origine torbidityca). Si trovano in particolare in corrispondenza del medio – alto Appennino e nella parte romagnola.

2) **colamenti** in litologie prevalentemente argillose, affioranti nella parte medio bassa dell'appennino emiliano (prevalentemente appartenenti ai Domini liguri e subliguri) e nella bassa collina romagnola (successione neogenico-quadernaria del margine padano).

3) **complesse**, frequenti nel medio Appennino in corrispondenza dei Flysch liguri, con numerose e grandi frane profonde impostate su alternanze arenitico-pelitiche fratturate con associazione tra scivolamento rotazionale e colamento lento. I **crolli** non sono frequenti vista la relativa rarità di superfici verticali e di rocce lapidee.

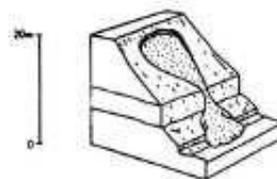
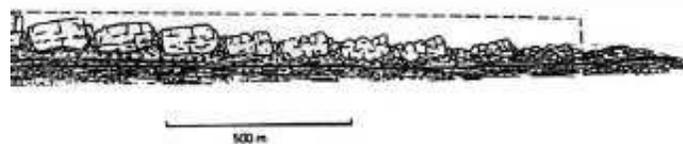
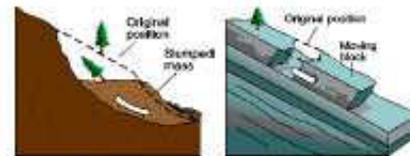
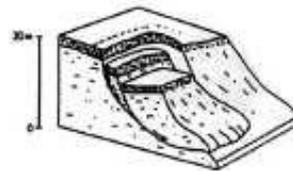
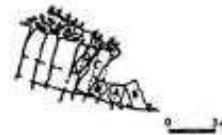
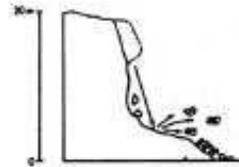
Frane in ammassi rocciosi litologicamente e strutturalmente complessi: litologie



A: rocce lapidee; As: rocce lapidee stratificate; **Bl: alternanze lapidee/pelitiche con $L/P > 3$** ; **Blp: alternanze lapidee/pelitiche con $0,3 < L/P < 3$** ; **Bp: alternanze lapidee/pelitiche con $L/P < 0,3$** ; Cc: conglomerati clasto-sostenuti; Cm: conglomerati matrice sostenuti; Cs: sabbie debolmente cementate; **Da: argille consolidate**; **Dm: Marne**; **Dol: Argille olistostromiche**; **Dsc: Argille tettonizzate e argilliti**; G: Gessi; Gc: Gessi in giacitura caotica.

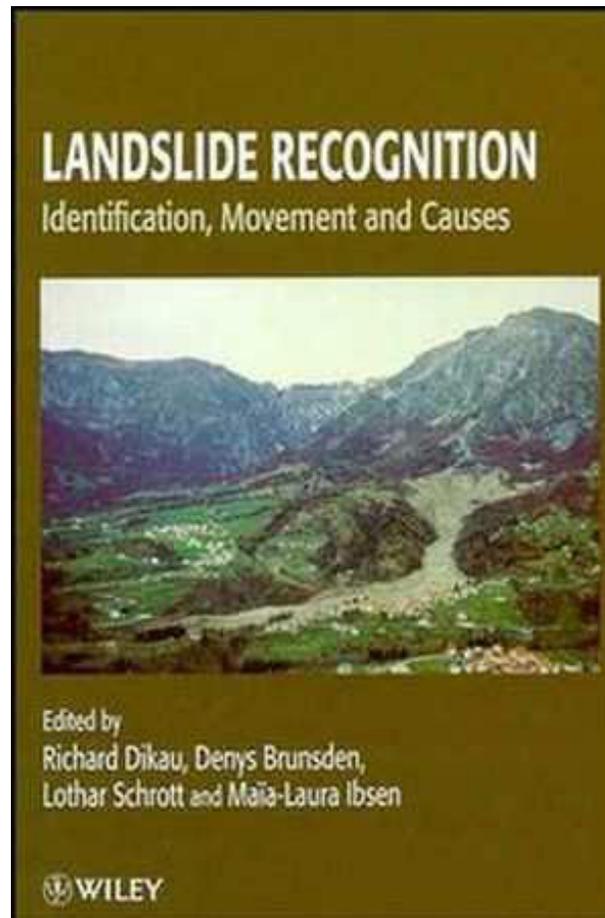
<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/dissesto-idrogeologico/le-caratteristiche-dei-fenomeni-franosi-in-emilia-romagna>

Frane in ammassi rocciosi litologicamente e strutturalmente complessi: qualche esempio



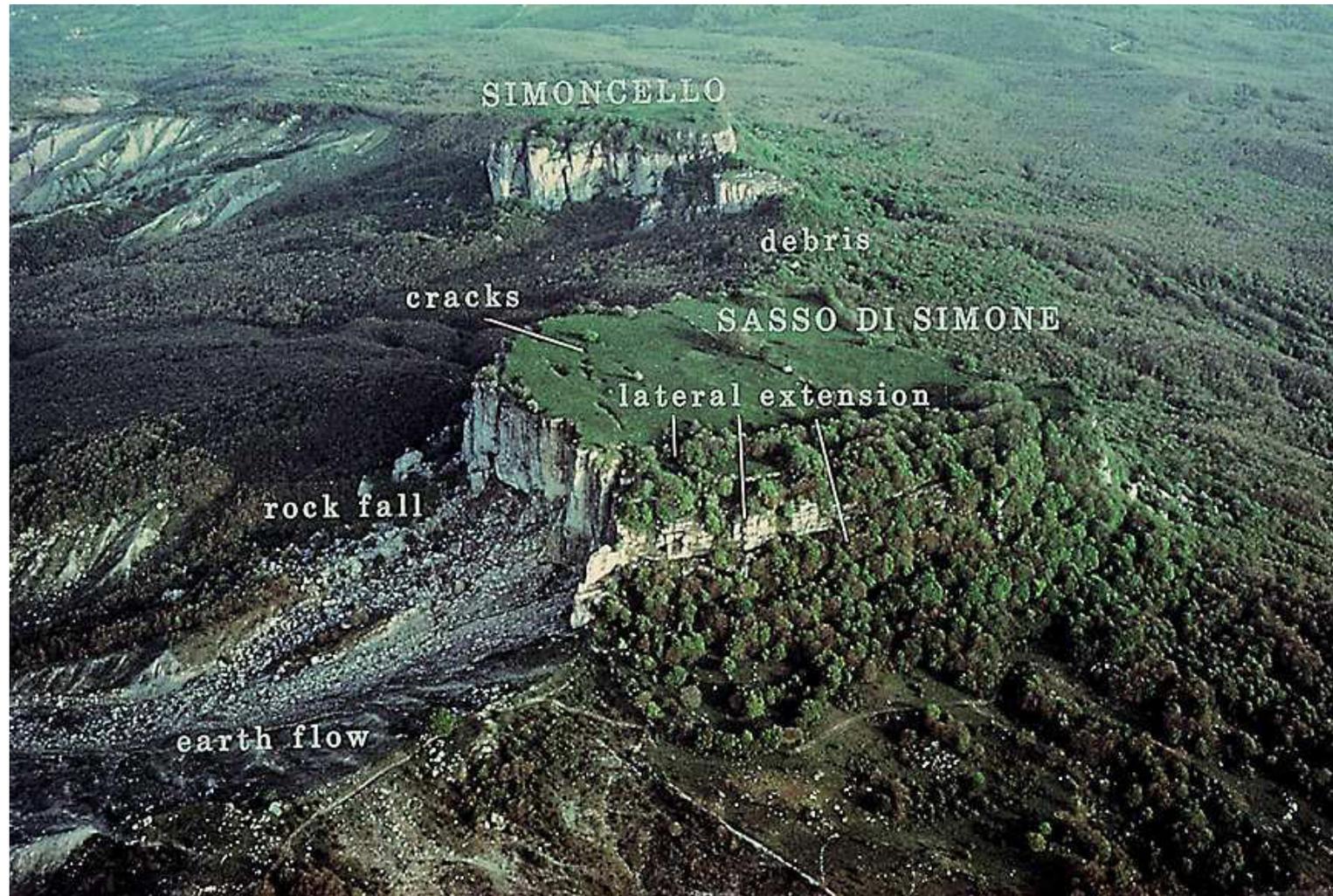


Espandimenti (lateral) in roccia





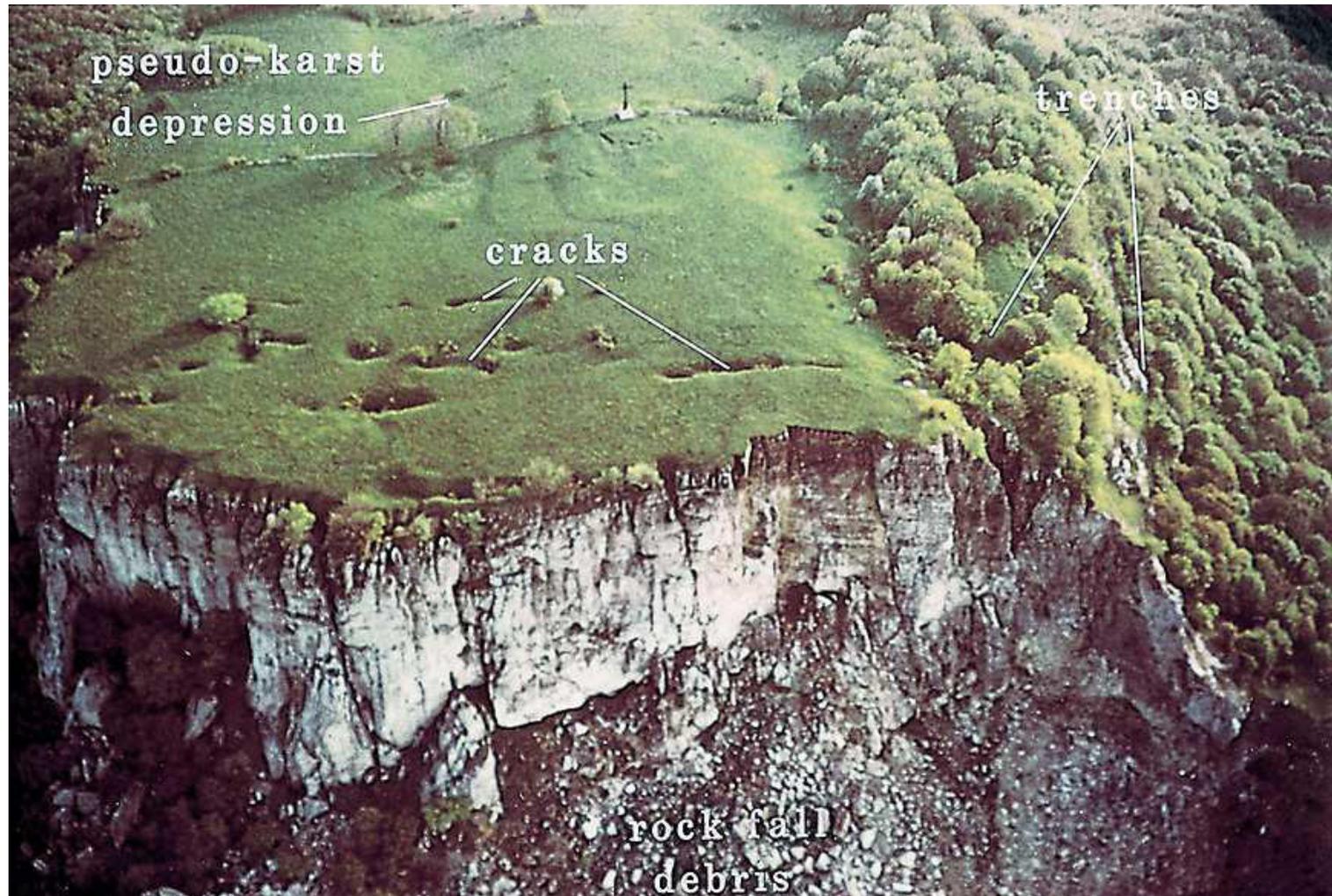
Espandimenti laterali in roccia: Sasso di Simone e di Simoncello



Dikau et al., 1996



Espandimenti laterali in roccia: Sasso di Simone e di Simoncello



Dikau et al., 1996



Espandimenti laterali in roccia e fenomeni associati: : Sasso di Simone e di Simoncello



Crolli di roccia





Espandimenti laterali in roccia e fenomeni associati: : Sasso di Simone e di Simoncello

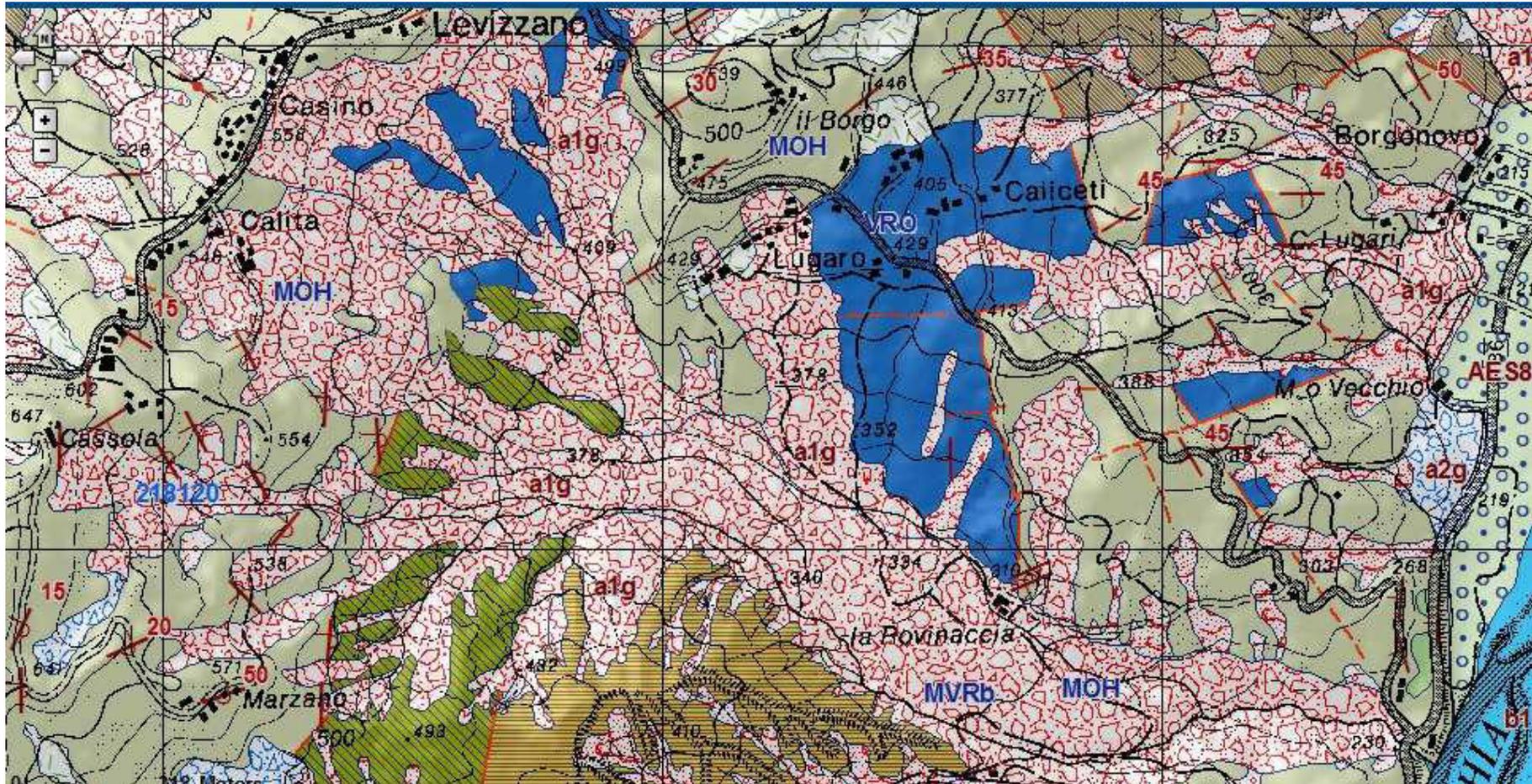


Ribaltamenti
di pilastri roccia

Colate di terra,
anche riattivate
da meccanismi
di sovraccarico
non drenato



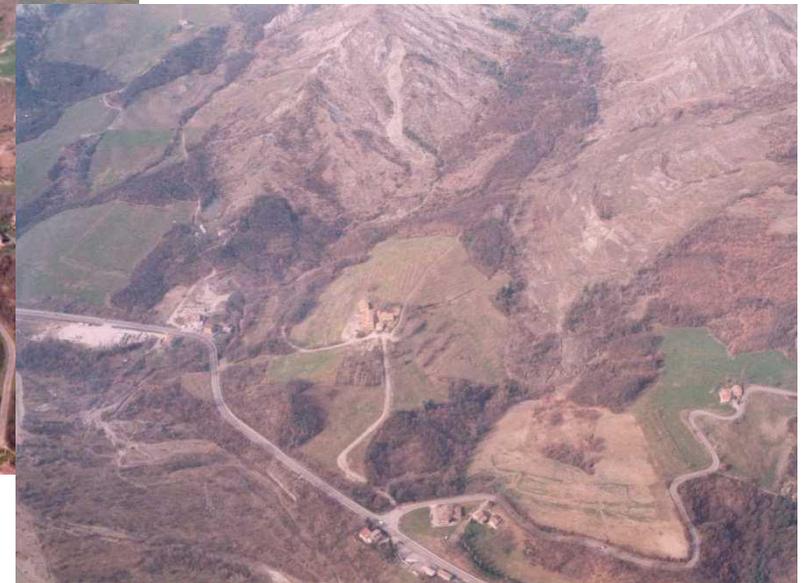
Scioglimenti in roccia-colate di terra: Ca' Lita (RE)



https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia



Scioglimenti in roccia-colate di terra: Ca' Lita (RE)



2002

Aerial photo: Giovanni Bertolini (Regione Emilia-Romagna)



Scioglimenti in roccia-colate di terra: Ca' Lita (RE)



2004

Aerial photo: Giovanni Bertolini (Regione Emilia-Romagna)



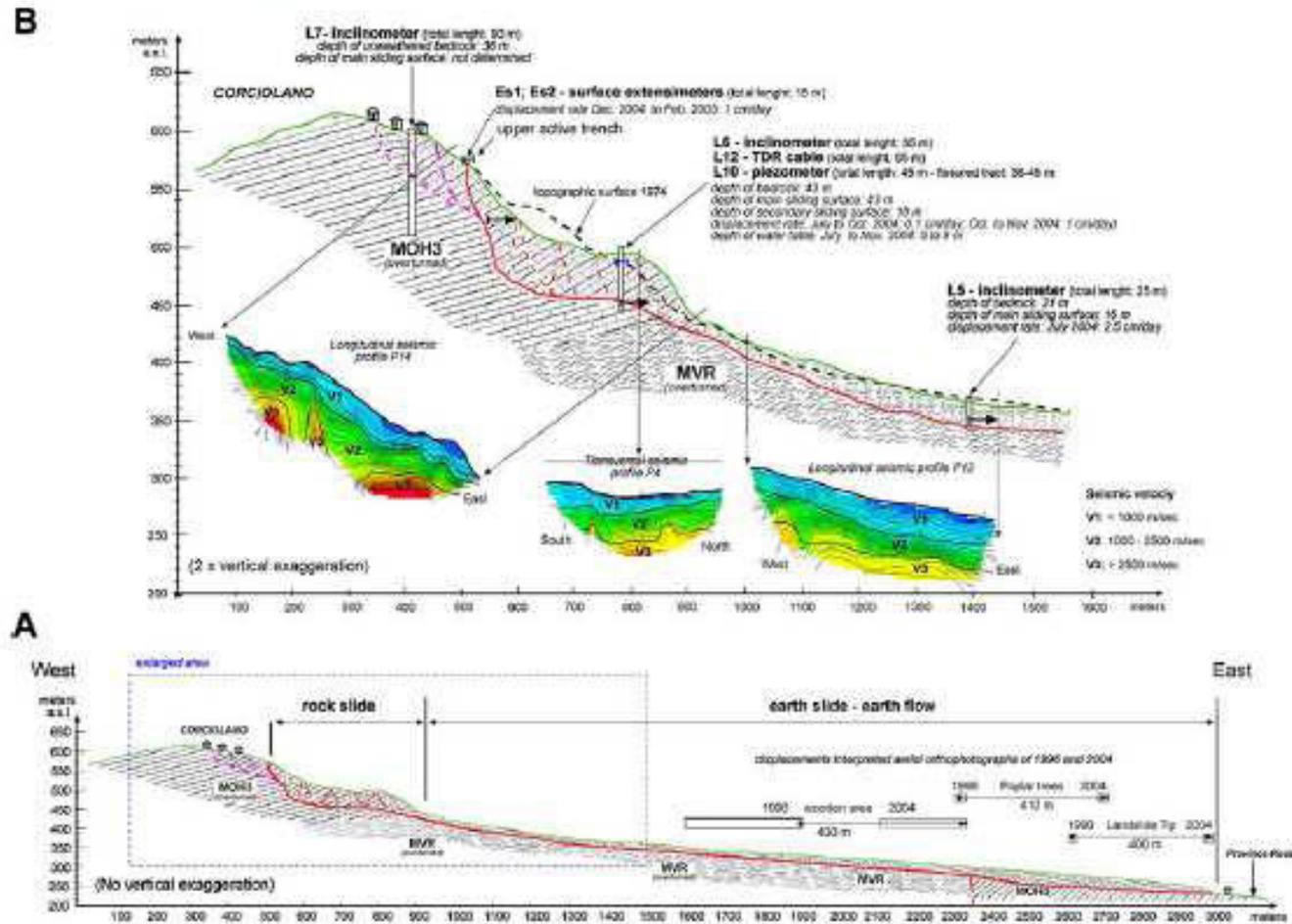


Scivolamenti in roccia-colate di terra: Ca' Lita (RE)



2010

Scioglimenti in roccia-colate di terra: Ca' Lita (RE)



Borgatti et al. (2006)

Fig. 6 Cross section of Ca' Lita landslide system along the trace depicted in Fig. 2b



Scivolamenti in roccia-colate di terra: Ca' Lita (RE)



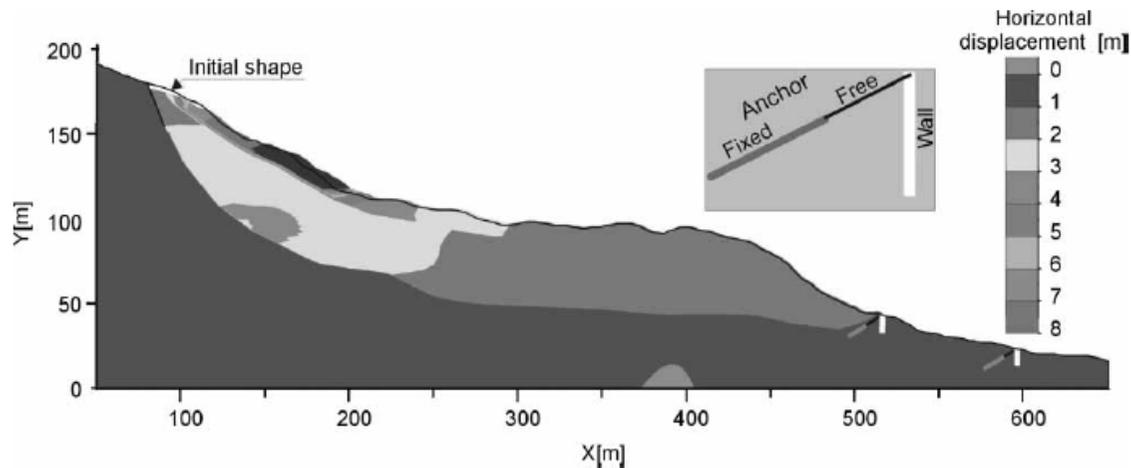
Flysch di Monghidoro (MOH) nella zona di coronamento.
Le proprietà dell'ammasso roccioso, litologicamente e strutturalmente complesso, sono state stimate applicando il metodo di Hoek & Brown e ottenendo i parametri equivalenti.

Borgatti et al. (2006)

Parameter	Rock unit code		
	MOH3	MVR-VRO	Landslide deposits
GSI (geological strength index)	19	10	–
Mi (material constant)	17	7	–
UCS (uniaxial compressive strength) of intact material (MPa)	60–20	10	–
Unit weight (MN/m ³)	0.03	0.02	0.02
Peak cohesion (fit from M-H criterion, general failure envelope range) (MPa)	1.9	0.16	–
Peak friction angle (fit from M-H criterion, general failure envelope range) (deg)	25.5	15.5	–
Slope height assumed for fit from M-H criterion, slope failure envelope range (m)	100	300	–
Peak cohesion (fit from M-H criterion, slope failure envelope range) (MPa)	0.8	0.20	–
Peak friction angle (fit from M-H criterion, slope failure envelope range) (deg)	47	13.9	–
Mobilised cohesion (from back analysis in Ca' Lita landslide) (MPa)	0.015	0.01	0
Mobilised friction angle (from back analysis in Ca' Lita landslide) (deg)	22	18	14
Residual cohesion (from literature) (MPa)	0.015	0–0.015	0
Residual friction angle (from literature) (deg)	22	11–22	8–24

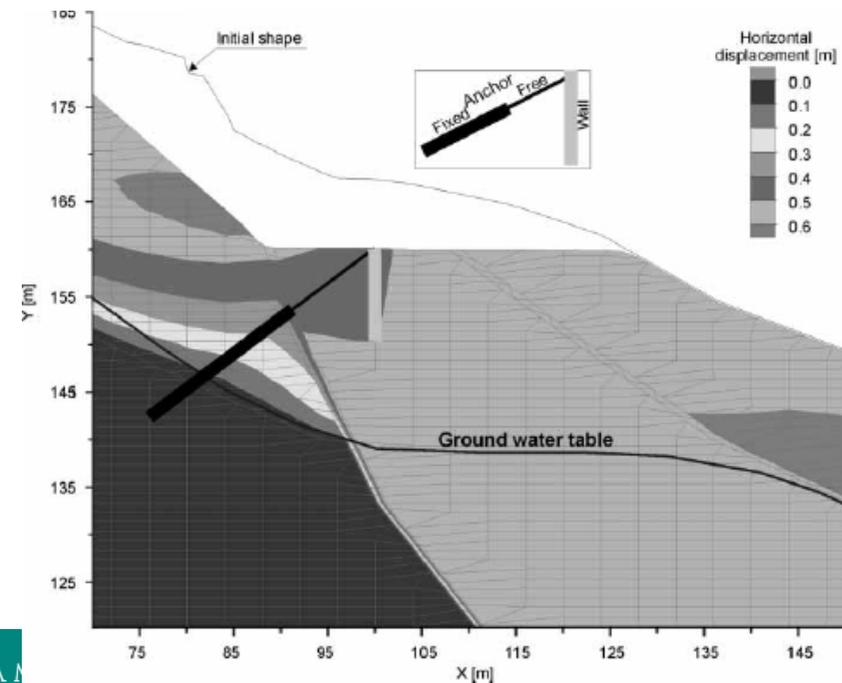


Scivolamenti in roccia-colate di terra: Ca' Lita (RE)



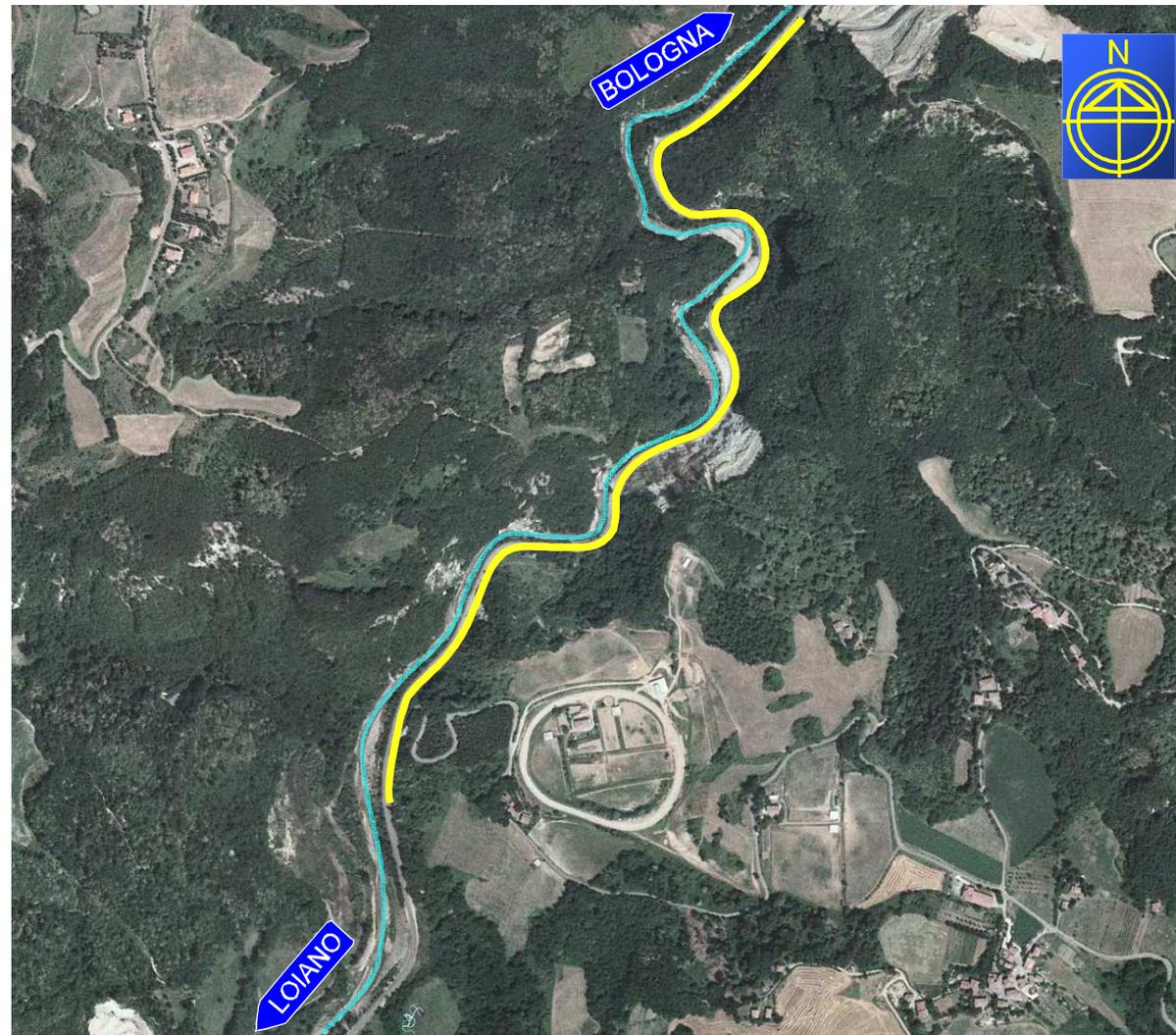
Borgatti et al. (2008)

È stato implementato un modello numerico alle differenze finite con il codice di calcolo FLAC della zona sorgente, per valutare l'efficacia di opere strutturali e di drenaggio delle acque sotterranee.





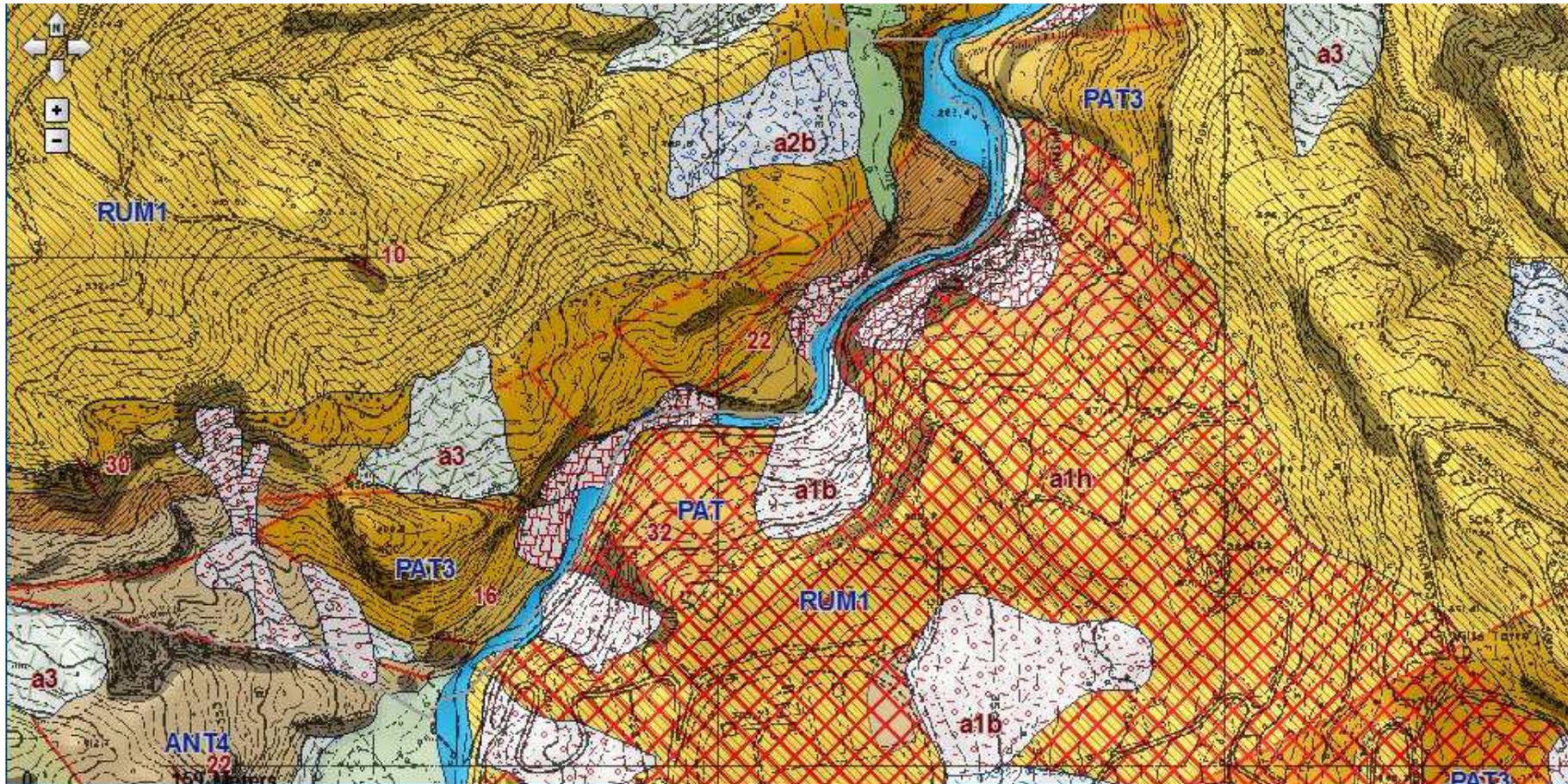
Scivolamento, ribaltamento e crollo di roccia: le Gole di Scascoli (BO)



EnSER (2006)



Scivolamento, ribaltamento e crollo di roccia: le Gole di Scascoli (BO)



https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia



Scivolamento, ribaltamento e crollo di roccia: le Gole di Scascoli (BO)

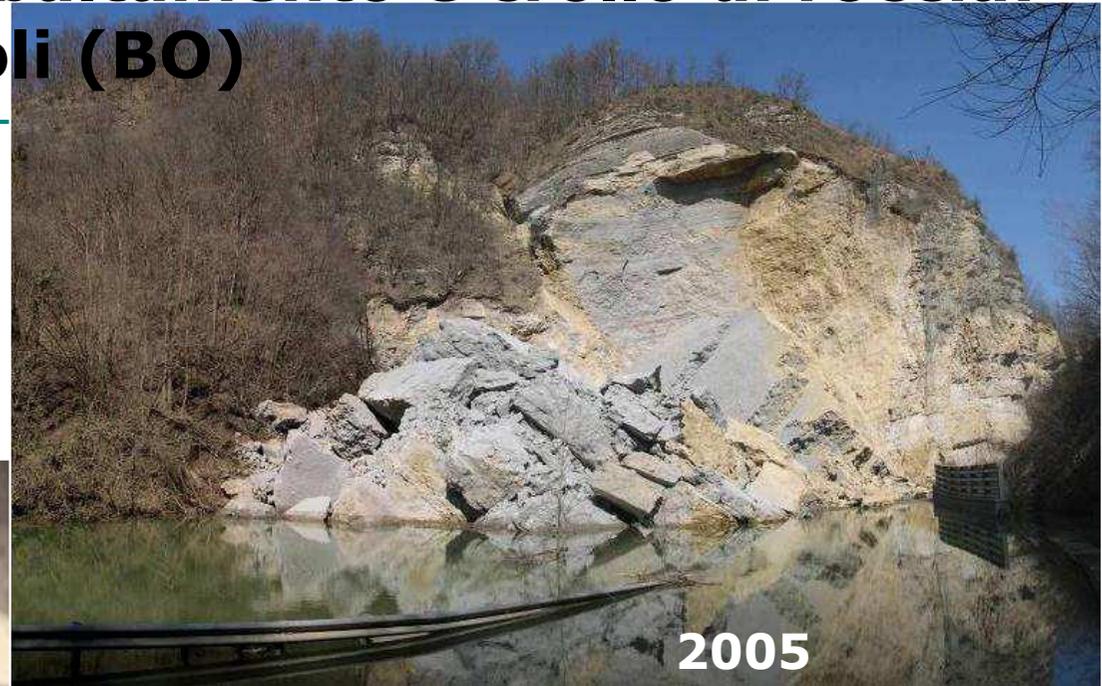
Crolli di piccole porzioni di ammasso roccioso, controllate strutturalmente: scivolamenti planari e di cunei, ribaltamenti





Scivolamento, ribaltamento e crollo di roccia: le Gole di Scascoli (BO)

Scivolamenti di roccia,
crolli e ribaltamenti di
grandi dimensioni



Aerial photo: Giovanni
Bertolini
(Regione Emilia-Romagna)



Scivolamento, ribaltamento e crollo di roccia: le Gole di Scascoli (BO)

Evento del 2002

25.000 m³



Aerial photo: Giovanni Bertolini (Regione Emilia-Romagna)



Scivolamento, ribaltamento e crollo di roccia: le Gole di Scascoli (BO)

**Evento del
2005**

40.000 m³

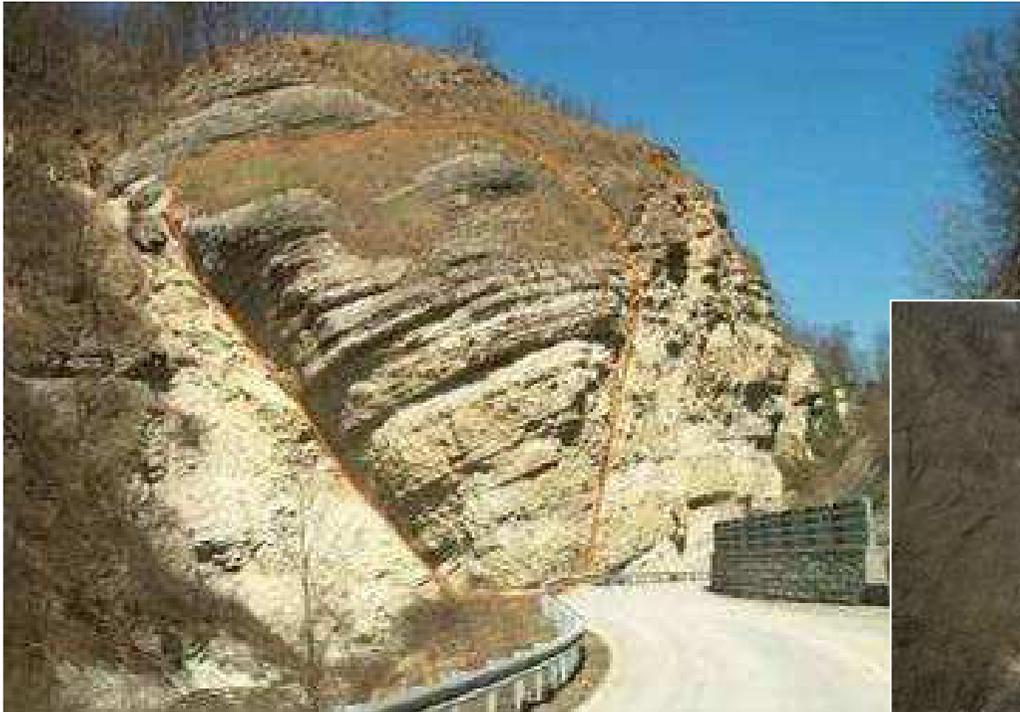


Aerial photo: Giovanni Bertolini (Regione Emilia-Romagna)



Scivolamento, ribaltamento e crollo di roccia: le Gole di Scascoli (BO)

Prima...



Evento del 2005

...dopo





Scivolamento, ribaltamento e crollo di roccia: le Gole di Scascoli (BO)



Gambassi, 2007



Evento del 2005

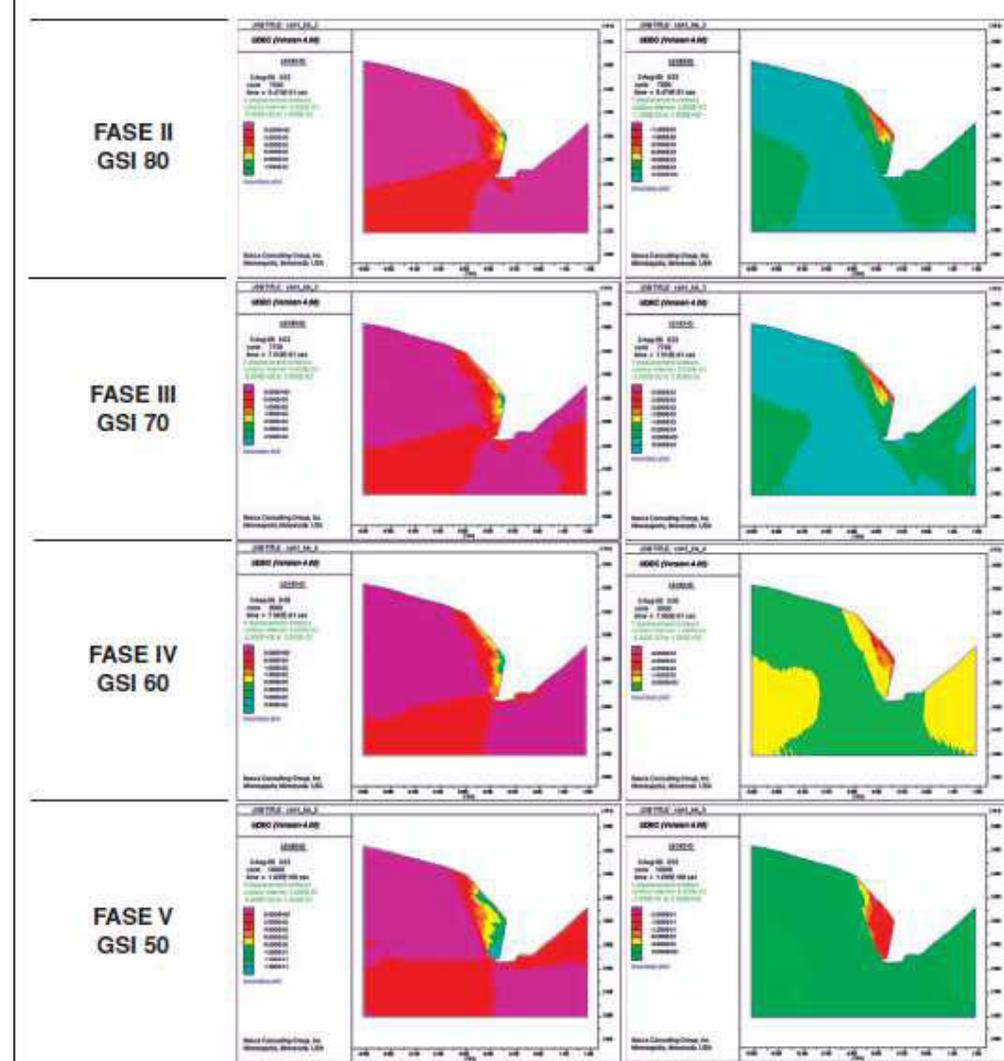


Scioglimento, ribaltamento e crollo di roccia: Le Gole di Scascoli (BO)

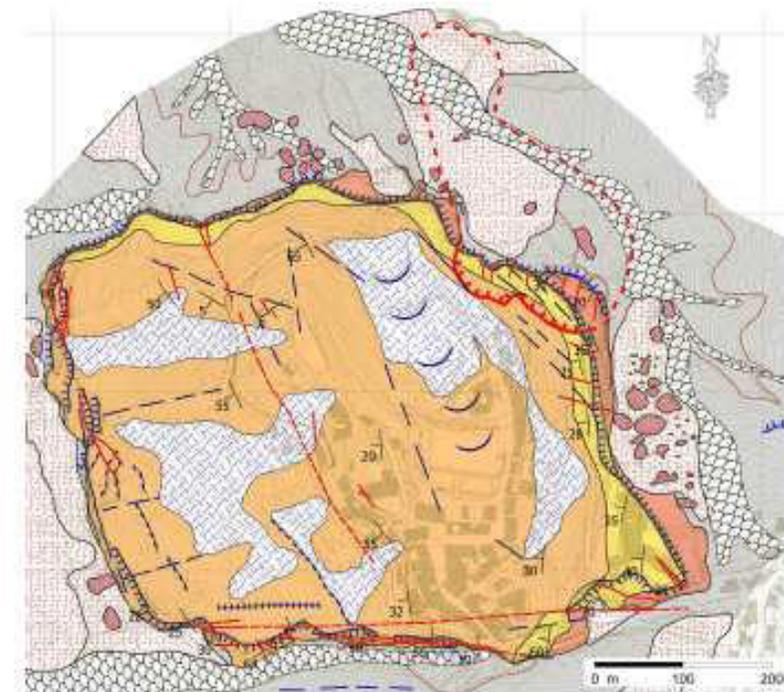
Parametro	ARENARIA	MARNA
Densità ρ (kg/m ³)	2600	2345
Modulo di taglio G (GPa)	9.23	3.41
Modulo di volume K (GPa)	20	7.36
Coesione c (GSI = 100) (MPa)	12	1.06
Resistenza a trazione σ_t (GSI=100) (MPa)	5	1
Angolo d'attrito ϕ (GSI=100) (°)	58	44
Rapporto di Poisson ν	0.3	0.3
Resistenza a compressione uniassiale UCS (GSI 100) (MPa)	90	-
m_b (GSI 100)	17	-
s (GSI 100)	1	-

Gambassi, 2007

È stato implementato un modello discontinuo in UDEC, riducendo i parametri in stage successivi. Evoluzione degli spostamenti orizzontali (a sinistra) e verticali (a destra) al diminuire progressivo del GSI secondo il criterio di Hoek & Brown.



Crolli e ribaltamenti di roccia: San Leo



Geological and structural elements

- | | |
|---|---------------------------|
| Epigurian Units | |
| Monte Fumaiolo Fm. upper member | Earth flow |
| Monte Fumaiolo Fm. lower member | Landslide body |
| San Marino Formation | Boulder |
| Argille Varicolori Formation | 2014 landslide body |
| Indifferentiated fault | 2014 landslide crown |
| Lineation | Landslide crown |
| Attitude of strata (dip in degrees) | Trench |
| Quaternary continental deposits and landforms | |
| Slope debris and colluvium | Edge of polygenetic scarp |
| | Edge of badlands |
| | Though-shaped valley |

Borgatti et al., 2015



Crolli e ribaltamenti di roccia: San Leo

Il **27 febbraio 2014** un crollo in roccia ha interessato il **lato nord est** della placca rocciosa.

Circa **330.000 m³** di materiale si sono staccati da una parete subverticale, alta **100 m**.

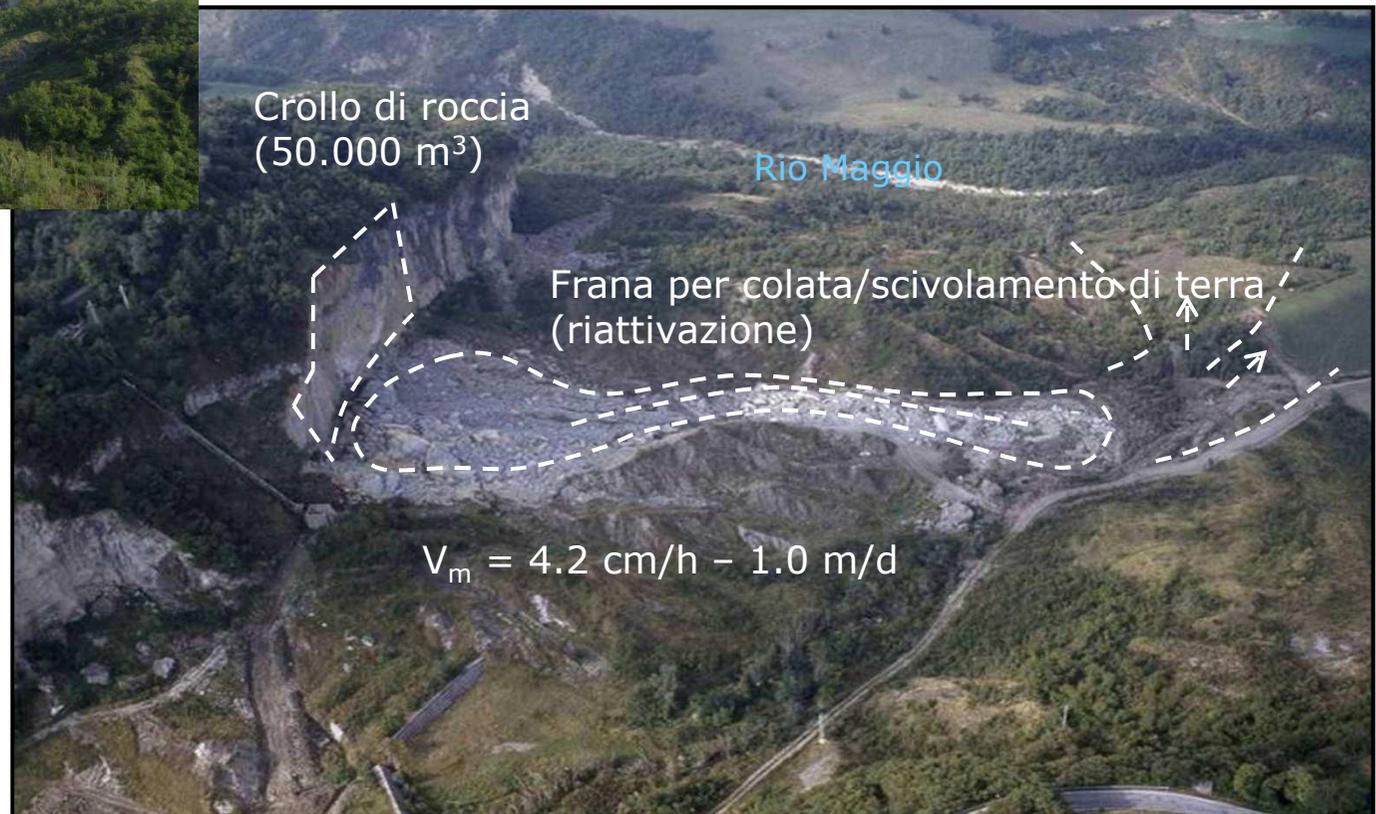




Crolli e ribaltamenti di roccia e fenomeni associati: San Leo



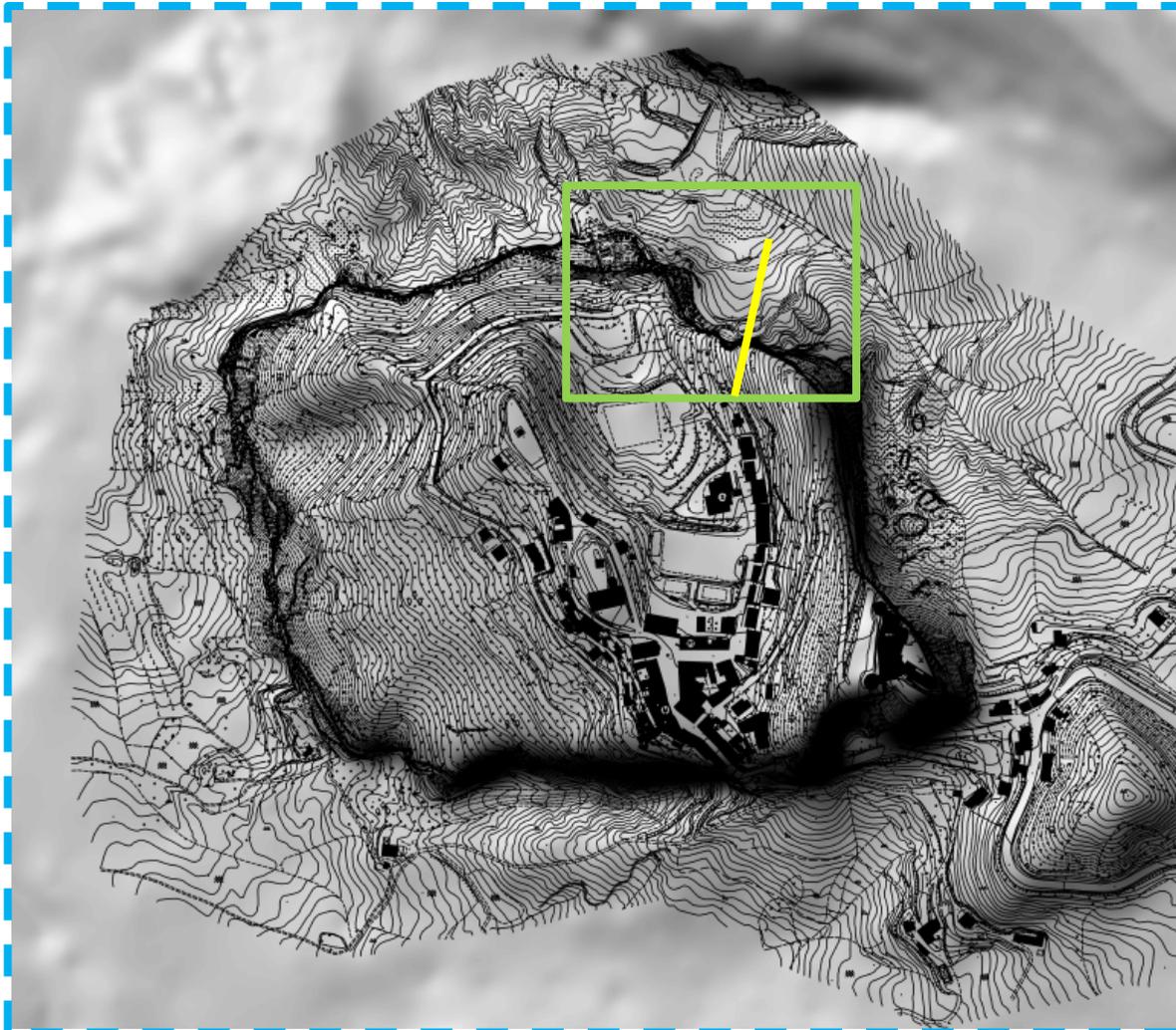
Un crollo di roccia ha interessato il **lato nord** della placca, innescando una colata di terra e riattivando uno scivolamento di terra alla base della parete stessa.



2006 landslide in San Leo, Benedetti et al., 2011



Modello geologico e modellazione numerica 2D e 3D



**3DEC – 3D
Discontinuo**

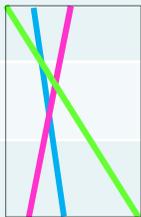
**Phase2 – 2D
Continuo**



Modellazione numerica: 3DEC, inserimento delle discontinuità

3 famiglie di discontinuità principali

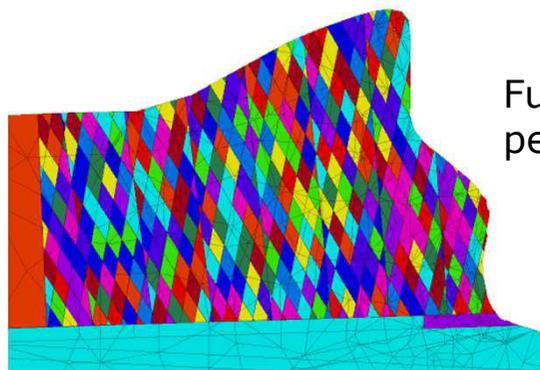
Joint set	Dip [degree]	Dip direction [degree]	Spacing [m]	Persistence [%]
SL1	79	239	5	50
SL3	84	023	20	100
SL4	59	043	5	50



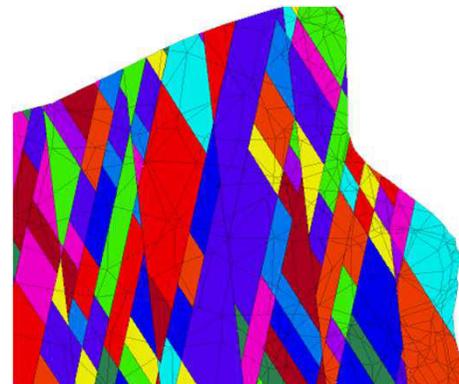
Orientazione delle discontinuità da rilievo TLS

Spaziatura dedotta dalle dimensioni dei blocchi nel deposito

Persistenza assegnata a seconda dell'importanza della famiglia di discontinuità nel meccanismo di crollo



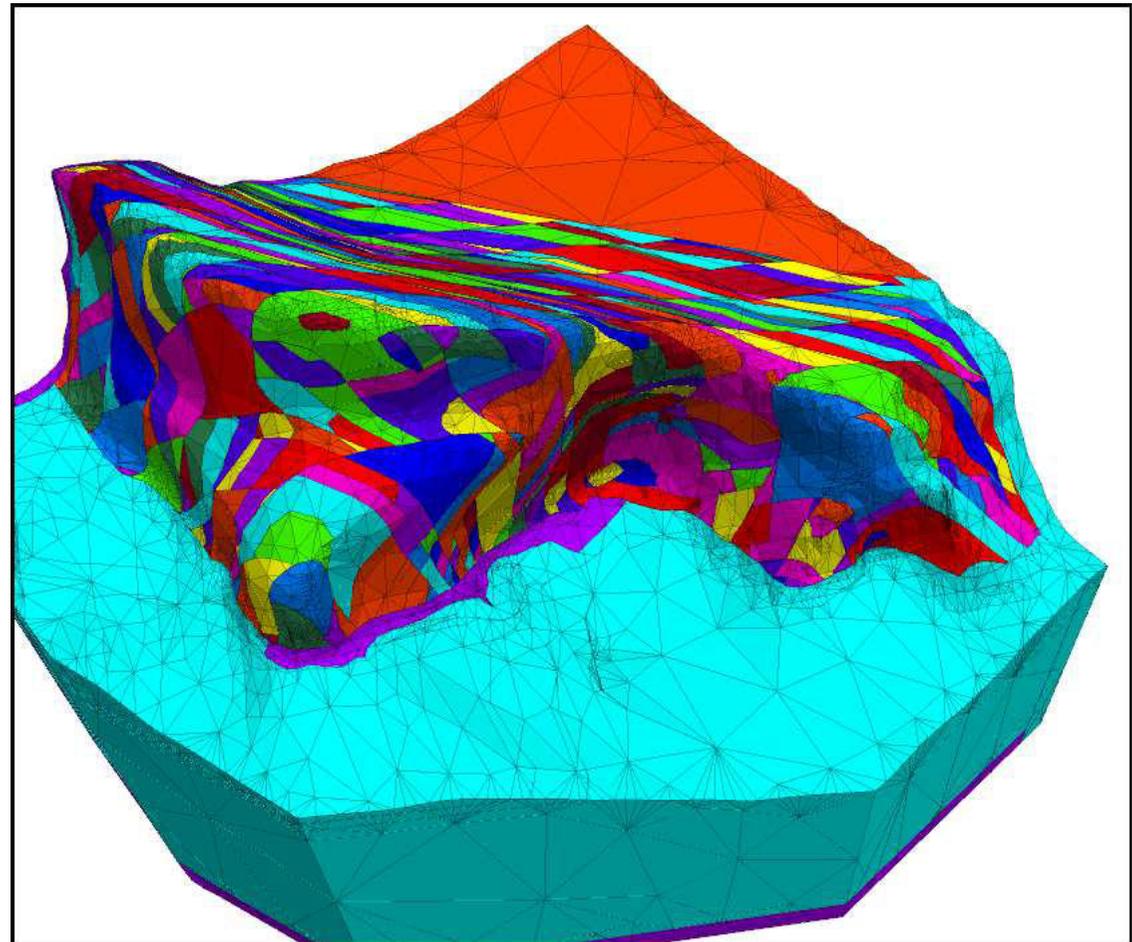
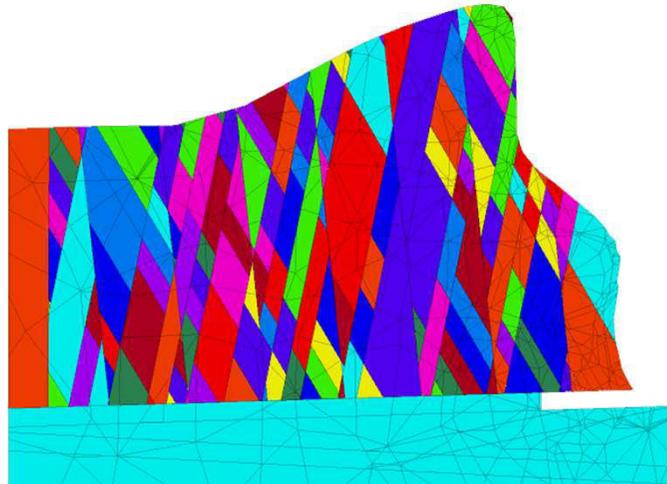
Fully persistent



Persistence: SL1, SL4=0.5
SL3=1



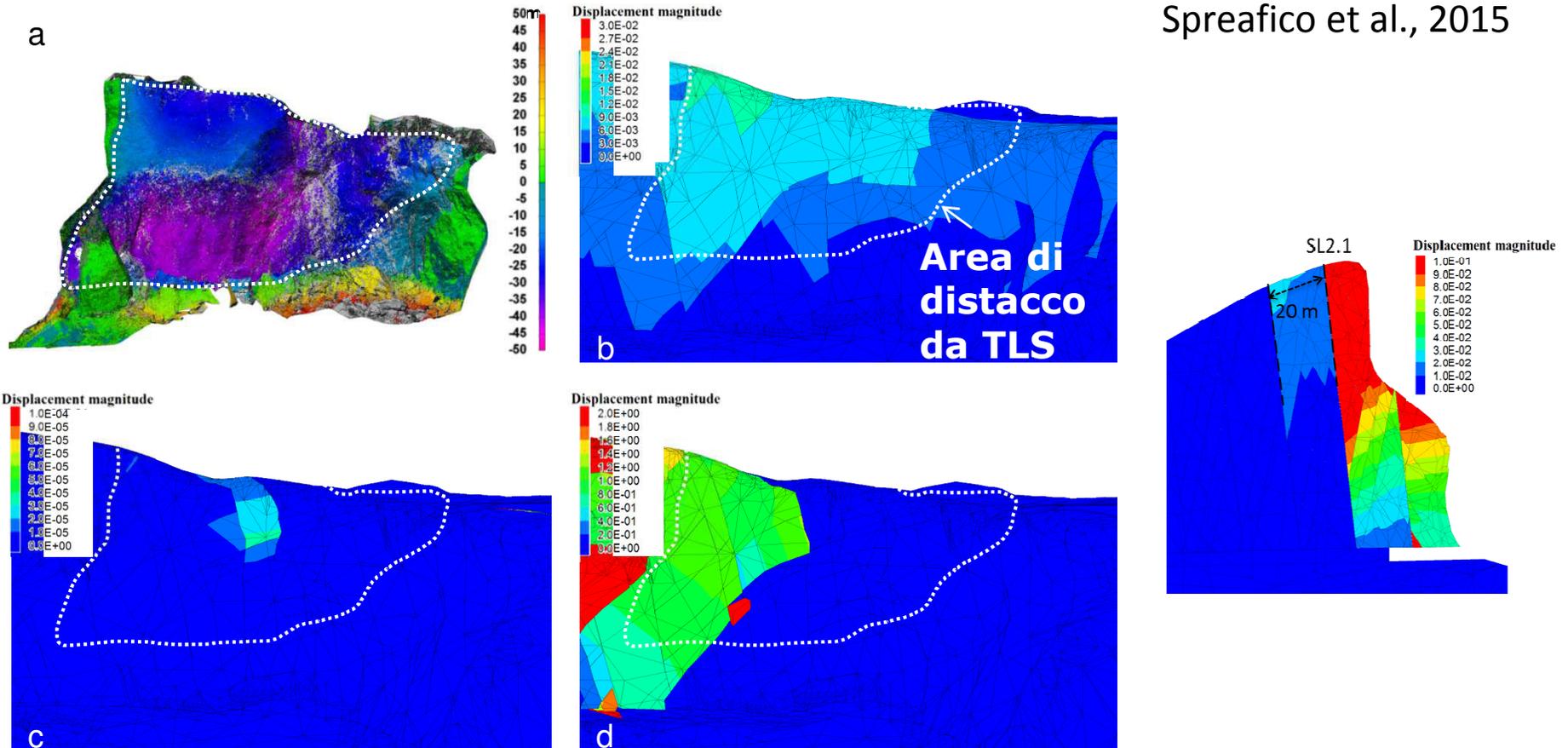
Modellazione numerica: 3DEC, costruzione della geometria



- BLOCCHI RIGIDI
- SEMPLIFICAZIONE DELLA GEOMETRIA DELLE DISCONTINUITA
- ASSENZA DELLA FALDA ACQUIFERA

Modellazione numerica: 3DEC, risultati

Spreafico et al., 2015

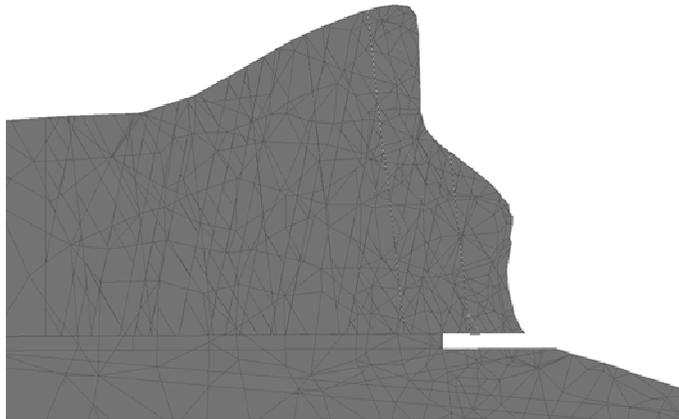


b) equilibrio; c) risultati con abbassamento dei parametri delle discontinuità; d) risultati inserendo area sottoescavata (170,000 cycles, spostamenti in metri)

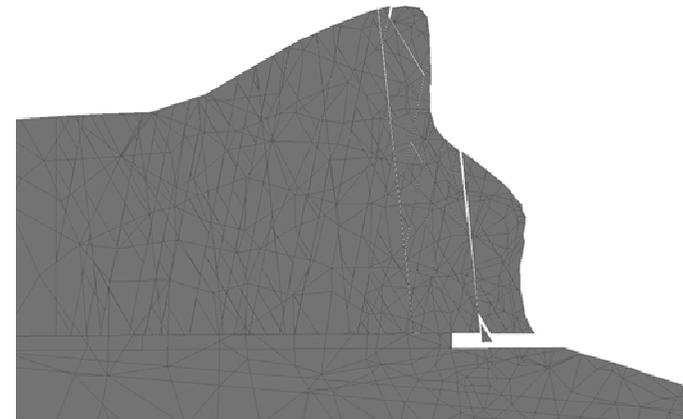


Modellazione numerica: 3DEC, risultati

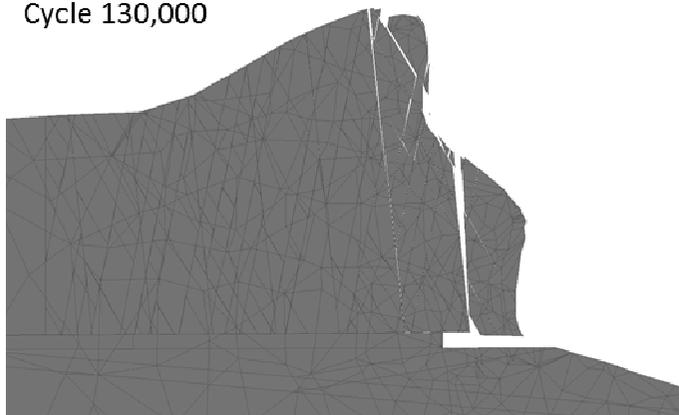
Cycle 50,000



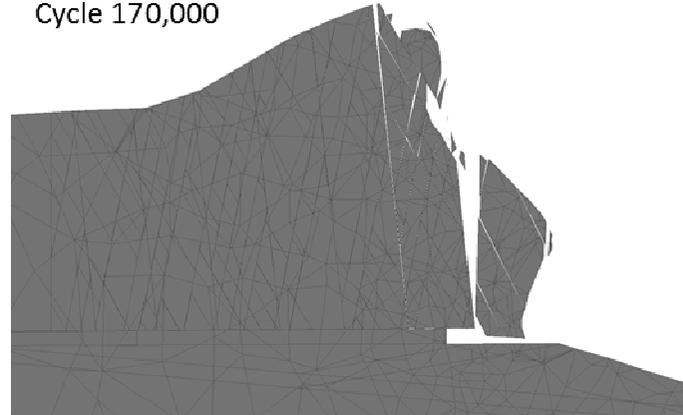
Cycle 90,000



Cycle 130,000



Cycle 170,000



Spreafico et al., 2015



Modellazione numerica: Phase2, parametri

RocLab (Rocscience)

Hoek-Brown Classification

sigci 99 Pa

GSI 50

mi 17

D 0

Ei 27225 MPa

MR 275

INPUT

sclerometro

valutazione delle condizioni della parete

materiale

fattore di disturbo

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification
intact uniaxial comp. strength (sigci) = 99 MPa
GSI = 50 mi = 17 Disturbance factor (D) = 0
intact modulus (Ei) = 27225 MPa
modulus ratio (MR) = 275

Hoek-Brown Criterion
mb = 2.851 s = 0.0039 a = 0.506

Mohr-Coulomb Fit
cohesion = 5.788 MPa friction angle = 35.08 deg

Rock Mass Parameters
tensile strength = -0.134 MPa
uniaxial compressive strength = 5.962 MPa
global strength = 22.277 MPa
deformation modulus = 8363.14 MPa

OUTPUT

Phase2 (Rocscience)

rock slab

Name: rock slab Material Color: [Green]

Initial Element Loading: Field Stress & Body Force Unit Weight: (MN/m3): 0.024

Elastic Properties

Elastic Type: Isotropic Poisson's Ratio: 0.25

Young's Modulus (MPa): 8300 Young's Modulus (resid) (MPa): 20000

E1 (MPa): 20000 E2 (MPa): 20000 Ez (MPa): 20000

ν_{12} : 0.2 ν_{13} : 0.2 ν_{23} : 0.2

Strength Parameters

Failure Criterion: Mohr Coulomb Material Type: Elastic

Tensile Strength (peak) (MPa): 0.13 Dilatation Angle (deg): 0

Fric. Angle (peak) (deg): 3 Fric. Angle (resid) (deg): 33.8286

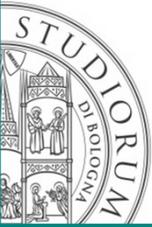
Cohesion (peak) (MPa): 5.8 Cohesion (resid) (MPa): 5.70803

Tensile Strength (resid) (MPa): 0.62

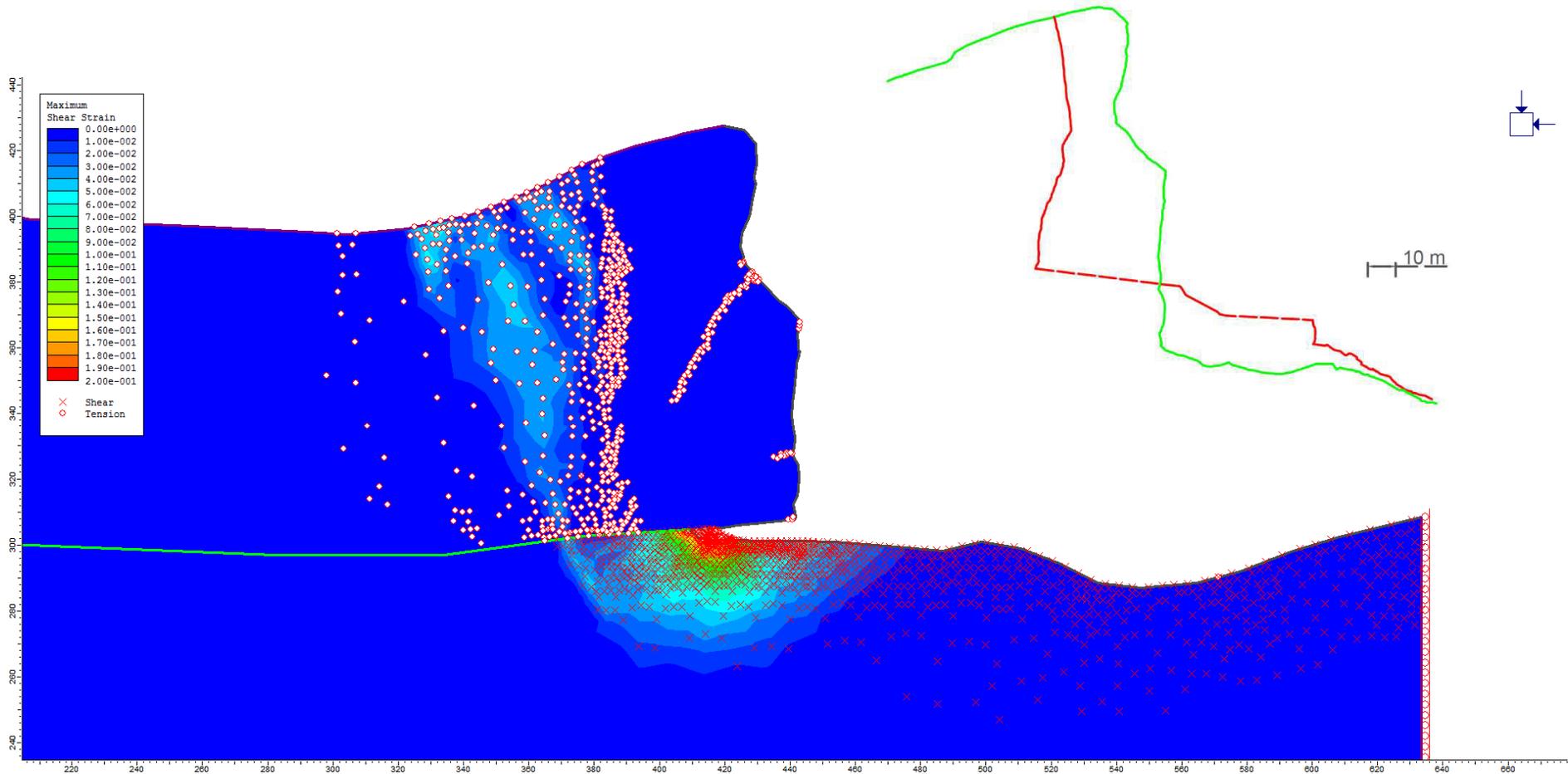
Stage Properties Datum Dependent Unsaturated Shear Strength

Define Factors... Define Properties... Phi b: 0 Air Entry (MPa): 0

- Controllare i parametri con dati da letteratura e/o prove di laboratorio on in situ disponibili
- I parametri che vengono inseriti come input nel modello sono un DATO DI PARTENZA, vengono calibrati in base ai risultati del modello stesso



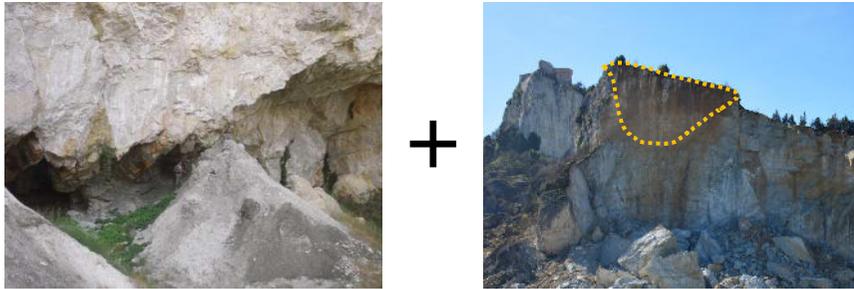
Modellazione numerica: Phase2, calibrazione



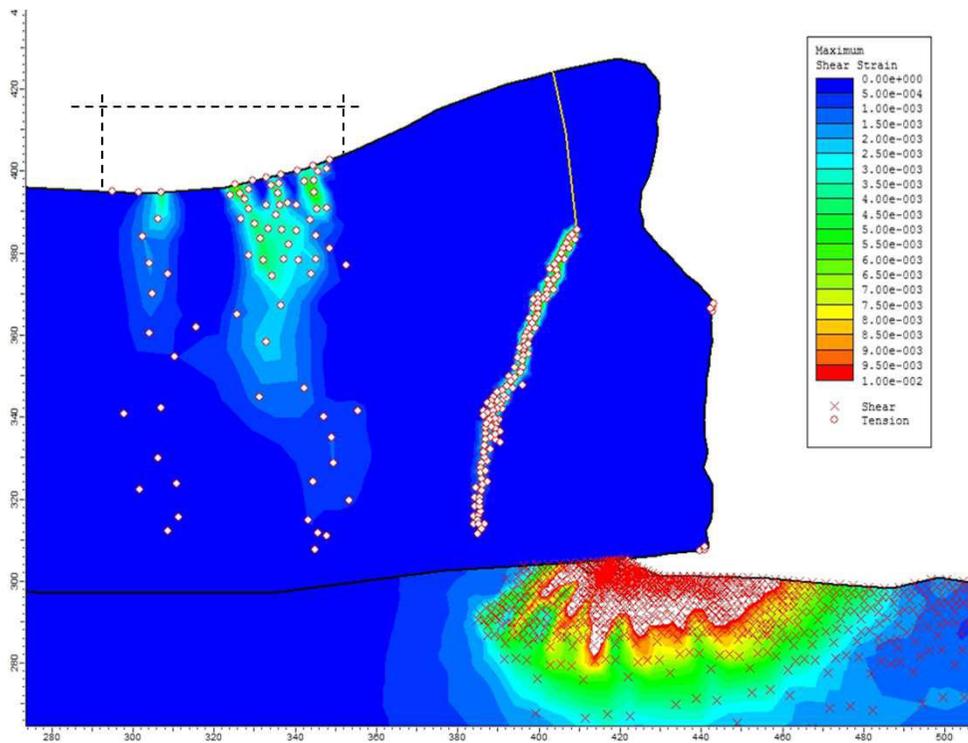
Sezione 3 – Modello base

Spreafico et al., in prep.

Esempio: San Leo con Phase2 (Rocscience)



- **Notare la forma della superficie di rottura e zone in tensione**
- **Notare la formazione di nuove discontinuità o apertura di discontinuità preesistenti?**





Fenomeni franosi in ammassi rocciosi strutturalmente complessi. Conclusioni:

- La progettazione richiede numeri.
- La naturale variabilità dei materiali geologici rende difficoltosa l'assegnazione di parametri affidabili.
- Esistono però metodi che possono essere usati dai geologi applicati per stimare i fattori geologici che hanno un impatto sulla progettazione.
- Questi metodi da un lato partono dai rilievi di campagna, dall'altro giungono alla elaborazione di analisi numeriche sofisticate della stabilità dei versanti etc.

"This requires close co-operation between engineering geologists and geotechnical engineers and a good measure of common sense and practical judgement" (Hoek, 2009)



**GEOLOGIA APPLICATA DEGLI AMMASSI
ROCCIOSI STRUTTURALMENTE
COMPLESSI**



Ordine dei Geologi Regione Emilia-Romagna

Consulta dei Geologi della Provincia di Rimini

Grazie della vostra attenzione

Prof.ssa Lisa Borgatti

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali

DICAM

ALMA MATER STUDIORUM Università di Bologna

Viale Risorgimento, 2 40136 Bologna

tel. 051-2093608 fax 051-2093114

skype lisaborgatti email lisa.borgatti@unibo.it

www.dicam.unibo.it