



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DST

DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA
CENTRO DI COMPETENZA DEL
SERVIZIO NAZIONALE DELLA
PROTEZIONE CIVILE



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Procedure operative per valutazioni rapide in aree a rischio da frana

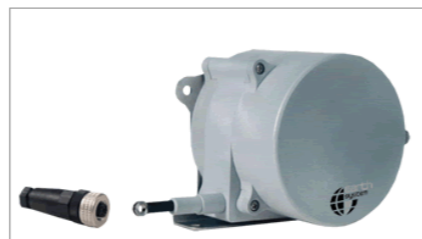
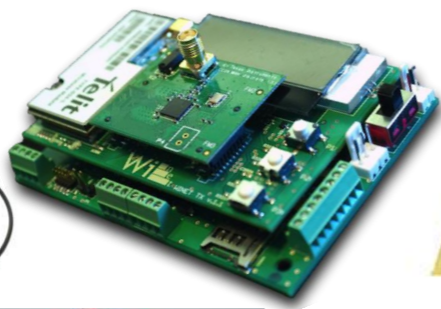
Giovanni Gigli

Obiettivo

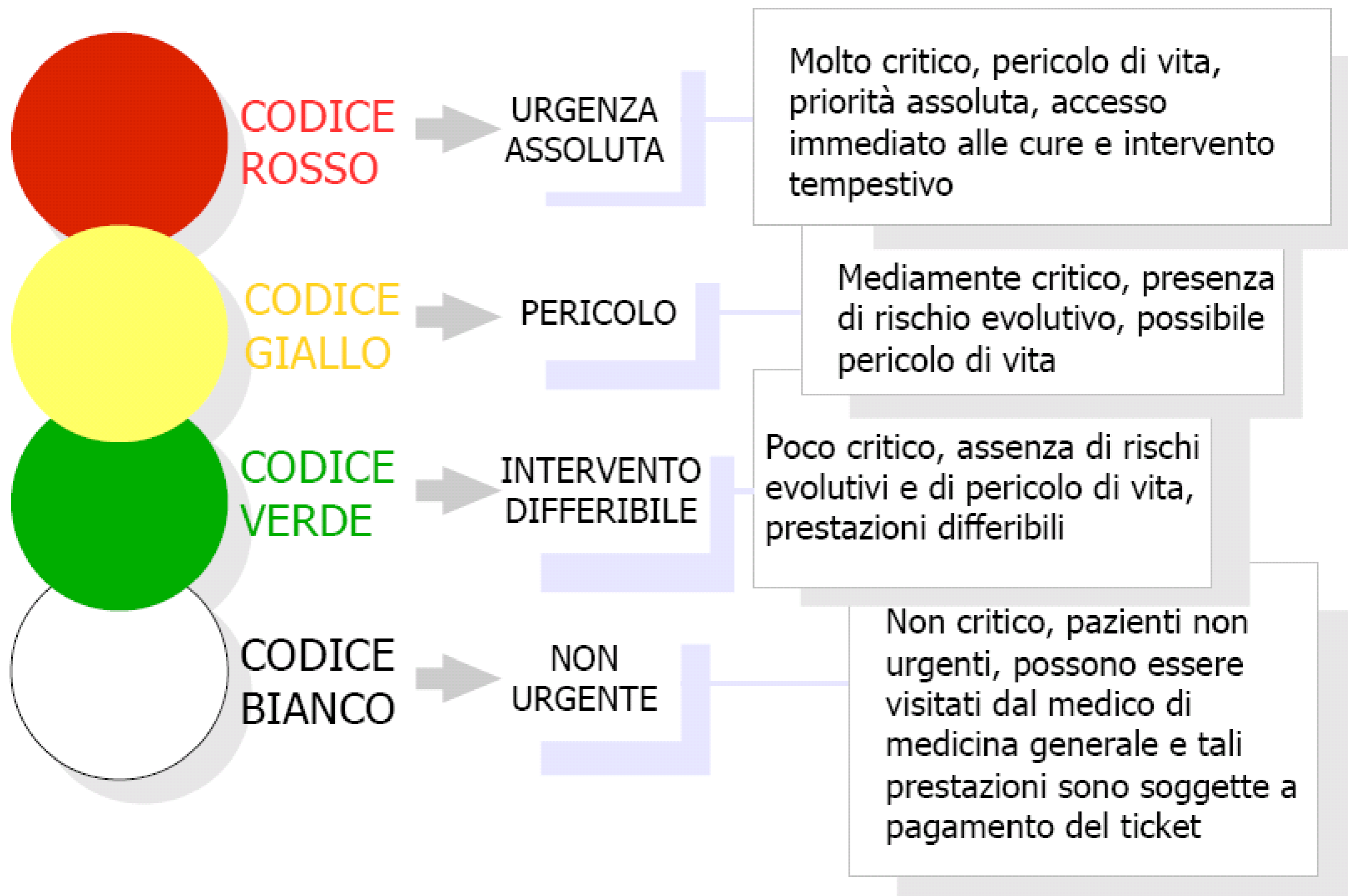
Definizione di procedure rapide per la valutazione del rischio da frana e subsidenza



Sensori




Triage




La scheda triage






UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA
CENTRO DI COMPETENZA DEL
SERVIZIO NAZIONALE DELLA
PROTEZIONE CIVILE



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



TRIAGE

Data

Ora

Località

Comune

Compilatore

Cordinate: sistema

Nord

Est

Annotazioni

Pericolosità

Caduta massi

Frana in roccia

Colata di detrito

Colata di terra

Frana per liquefazione

Scivolamento

Magnitudo

larghezza media (m)
 lunghezza media (m)
 spessore medio (m)

Lunghezza canale con pendenza > 15° - Le (m)
 Larghezza media canale - We (m)
 spessore medio detrito lungo canale - De (m)

volume iniziale (m³)
 Volume materiale eroso (m³)
 Volume finale (m³)

Accelerazione di innesco

Tipo di materiale

Roccia

 Materiale coesivo

Materiale non coesivo

 Materiale a resistenza residua

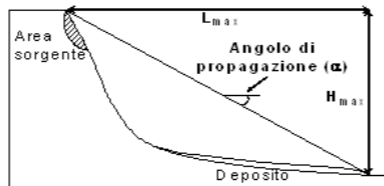
Materiale granulare sciolto saturo (frana per liquefazione)

Pendenza versante (area d'innesco) β* =

Intensità

Velocità nota (m/s)

distanza di runout nota (H/L)



Attenuatori

Pendenza versante decrescente

Presenza di opere antropiche mitigatorie

Percorso tortuoso (colate di detrito)

Presenza di vegetazione o ostacoli naturali

Versante opposto o deviazione >60°

Deposizione lungo il percorso (o presenza di aree di deposito a monte degli elementi a rischio)

Accentuatori

Pendenza versante crescente

Abbondante disponibilità di acqua

Fenomeno incanalato

Possibile sbarramento di un corso d'acqua

Materiale sciolto saturo lungo il percorso

Possibile generazione di tsunami

Elementi a rischio

a) esposizione della vita umana

n° persone		n° persone		n° persone	
<input type="checkbox"/> Costante (residenza)	<input type="checkbox"/> >=100 <input type="checkbox"/> 10 - 99 <input type="checkbox"/> 1 - 9	<input type="checkbox"/> Temporanea (luoghi di lavoro)	<input type="checkbox"/> >=100 <input type="checkbox"/> 10 - 99 <input type="checkbox"/> 1 - 9	<input type="checkbox"/> Passante (strade e ferrovie)	<input type="checkbox"/> >=100 <input type="checkbox"/> 10 - 99 <input type="checkbox"/> 1 - 9
<input type="checkbox"/> OCCASIONALE					

c) Censimento beni materiali esposti a rischio

<input type="checkbox"/> abitazioni n°	<input type="checkbox"/> dighe	<input type="checkbox"/> strade sterrate
<input type="checkbox"/> ospedali	<input type="checkbox"/> centrali energetiche	<input type="checkbox"/> cave
<input type="checkbox"/> scuole	<input type="checkbox"/> impianti tecnologici (discariche, depuratori, distributori/depositi carburante)	<input type="checkbox"/> impianti sportivi
<input type="checkbox"/> alberghi	<input type="checkbox"/> linee di servizi (oleo/metano/elettrodotti, fognature e acquedotti, telefonia)	<input type="checkbox"/> parchi/giardini pubblici
<input type="checkbox"/> insediamenti turistici (campeggi, villaggi)	<input type="checkbox"/> ferrovie principali (2 o più binari)	<input type="checkbox"/> serre / allevamenti
<input type="checkbox"/> beni architettonici storici e artistici	<input type="checkbox"/> ferrovie secondarie (1 binario)	<input type="checkbox"/> zone agricole di pregio
<input type="checkbox"/> edifici pubblici / uffici	<input type="checkbox"/> autostrade / superstrade	<input type="checkbox"/> zone agricole generiche
<input type="checkbox"/> caserme / carceri	<input type="checkbox"/> strade statali, regionali, provinciali, comunali	<input type="checkbox"/> boschi
<input type="checkbox"/> edifici commerciali/artigianali/industriali		<input type="checkbox"/> pascoli
<input type="checkbox"/> aree portuali / aeroportuali		<input type="checkbox"/> incolto

Calcola codice

Parametro X

P4	
P3	
P2	
P1	

Massimo scenario credibile



La scheda deve essere compilata sulla base del massimo scenario credibile previsto al momento del sopralluogo

Informazioni generali



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA
CENTRO DI COMPETENZA DEL
SERVIZIO NAZIONALE DELLA
PROTEZIONE CIVILE



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Data Ora Località Comune

Compilatore Coordinate: sistema Nord Est

Annotazioni

Pericolosità

Pericolosità

Caduta massi | **Frana in roccia** | Colata di detrito | Colata di terra | Frana per liquefazione | Scivolamento

- Continui distacchi di roccia e presenza di aree di accumulo
- Presenza di fratture perimetrali con evidenze di attività
- Presenza di fratture perimetrali senza evidenze di attività

OK



H4	Fase parossistica probabile/in corso	●
H3	Fase parossistica possibile	●
H2	Fase parossistica improbabile/esaurita	●
H1	Fase parossistica impossibile	○

Magnitudo

Magnitudo

larghezza media (m)

lunghezza media (m)

spessore medio (m)

volume iniziale (m³)

spessore noto

Lunghezza canale con pendenza > 15° - Le (m)

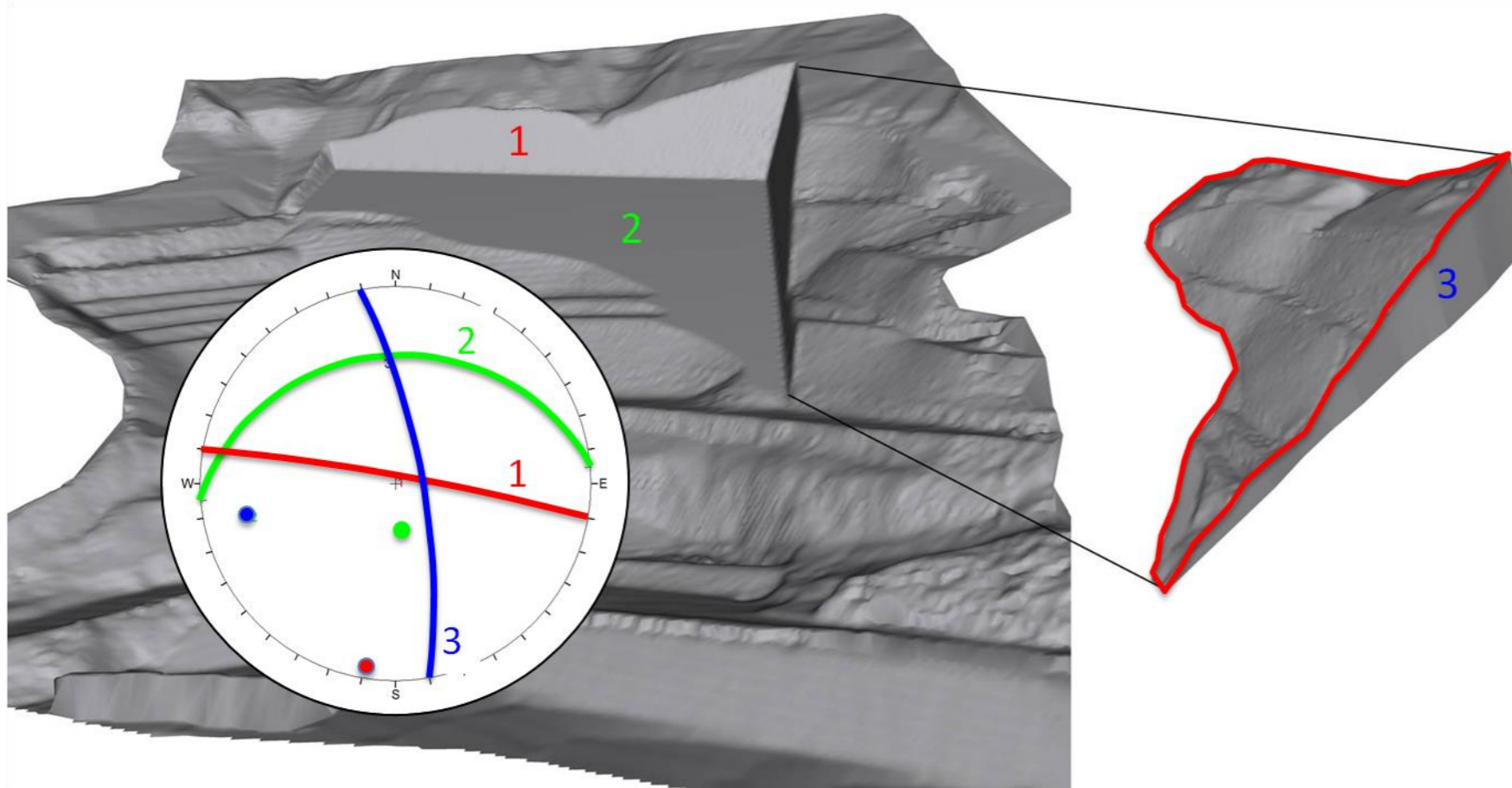
Larghezza media canale - We (m)

spessore medio detrito lungo canale - De (m)

Volume materiale eroso (m³)

calcola volume

Volume finale (m³)



Volume (m³)

M4	$M \geq 10^6$	●
M3	$10^6 > M \geq 10^3$	●
M2	$10^3 > M \geq 10$	●
M1	$M < 10$	○

Accelerazione

Accelerazione di innesco

Tipo di materiale

Roccia

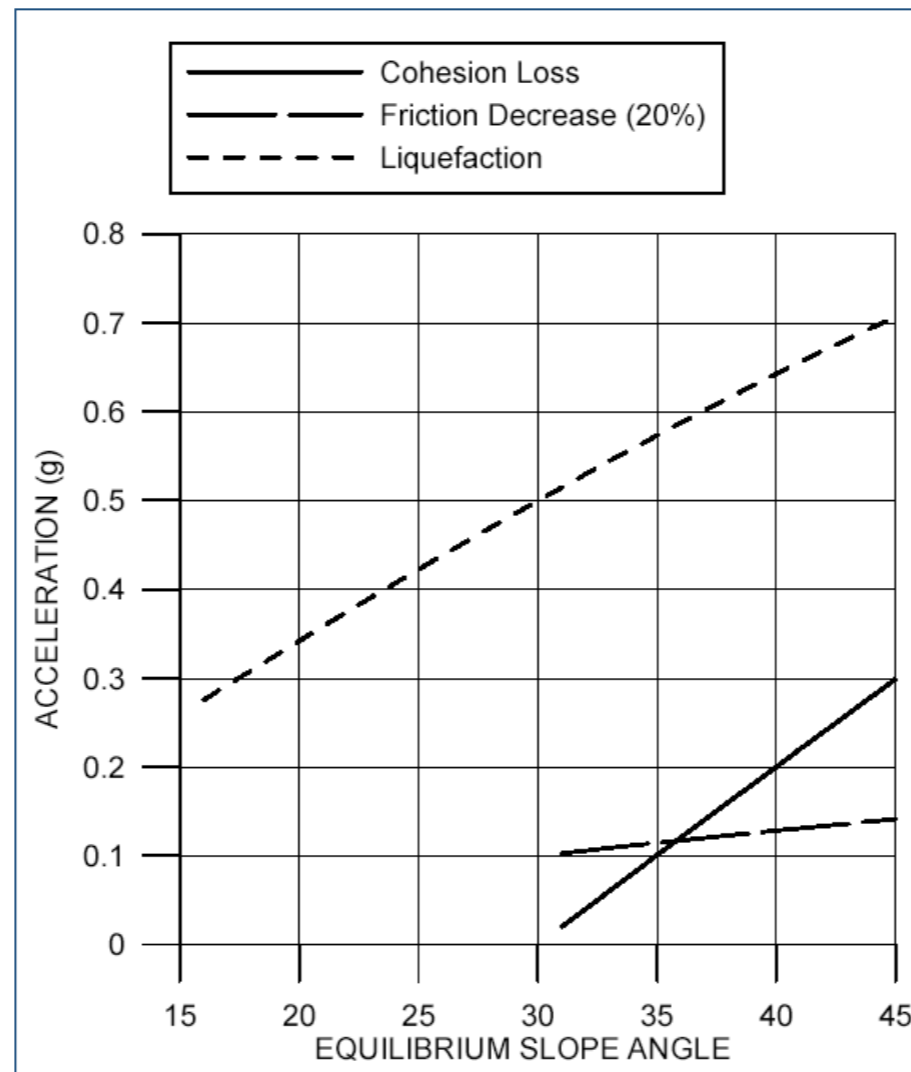
Materiale non coesivo

Materiale granulare sciolto saturo (frana per liquefazione)

Materiale coesivo

Materiale a resistenza residua

Pendenza versante (area d'innesco) β^* =



Accelerazione (g)

A4	$A \geq 0.2$	
A3	$0.2 > A \geq 0.1$	
A2	$0.1 > A \geq 0.05$	
A1	$A < 0.05$	

Hungr, 2003

Intensità - Velocità

	CLASSI DI VELOCITÀ						
	1	2	3	4	5	6	7
FRANE IN ROCCIA							
Crollo							
Ribaltamento							
collasso di roccia							
scivolamento traslativo (o di cunei) di roccia							
scivolamento rotazionale di roccia (rocce deboli)							
scivolamento composto di roccia (controllo strutturale)							
FRANE IN TERRA							
scivolamento di detrito							
scivolamento rotazionale di terra (neoformazione)							
scivolamento rotazionale di terra (riattivazione)							
scivolamento composto di terra							
espansione laterale							
COLAMENTI							
colata di materiale non coesivo asciutto							
valanga di roccia							
valanga di detrito							
Fenomeni di liquefazione–collasso strutturale (flow slides)							
colata di detrito (fango)							
colata di terra coesiva							

Velocità (m/s)

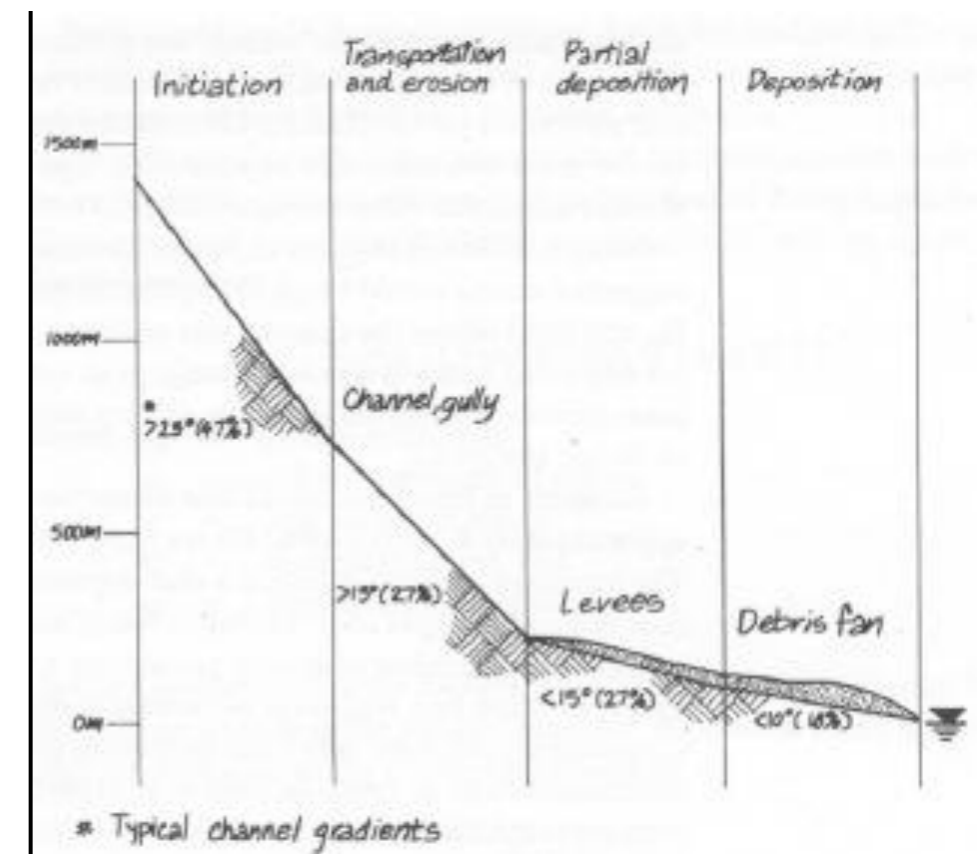
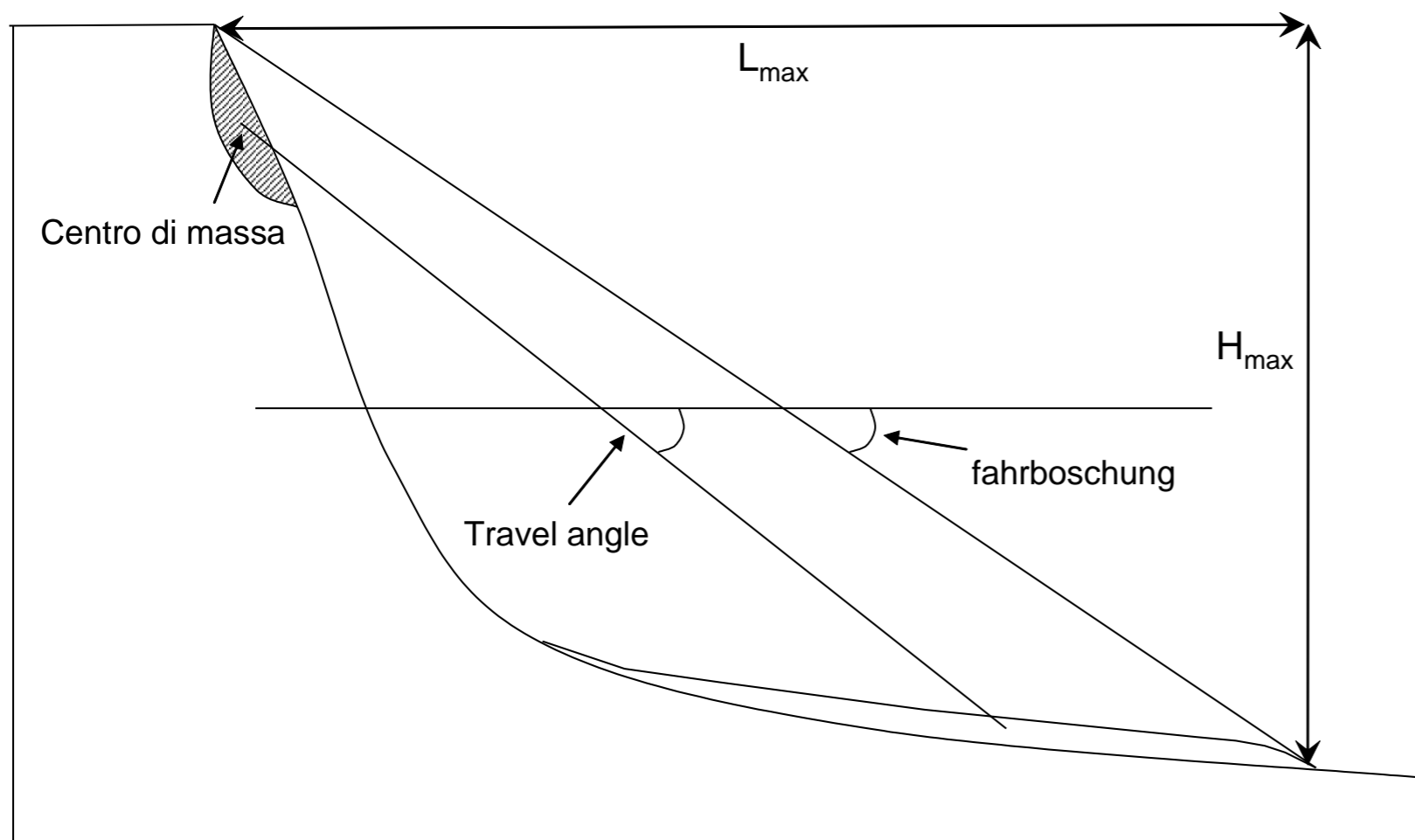
V4	$V \geq 10^{-2}$
V3	$10^{-2} > V \geq 10^{-4}$
V2	$10^{-4} > V \geq 10^{-6}$
V1	$V < 10^{-6}$

Intensità - Runout

Tipologia del fenomeno	Runout	Riferimento bibliografico
Caduta massi	$H_{\max}/L_{\max} = 0.70$	Hungr & Evans, 1997
Frana in roccia (< 250 000 m ³)	$H_{\max}/L_{\max} = 0.65$	Hungr, 2001 mod
Frana in roccia (> 250 000 m ³)	$H_{\max}/L_{\max} = 4.21M^{-0.15}$	Scheidegger, 1973 mod
Colata di detrito non incanalata	$H_{\max}/L_{\max} = 0.97M^{-0.105}$	Corominas, 1996
Colata di detrito incanalata	$L = 15M^{1/3}$	Rickenmann, 1999
Colata di terra	$H_{\max}/L_{\max} = 0.6M^{-0.07}$	Corominas, 1996
Flow slides	$H_{\max}/L_{\max} = 0.27$	Hutchinson, 1988; Dawson et al., 1998

Mobilità (°)

α4	α ≤ 25
α3	35 ≥ α > 25
α2	45 ≥ α > 35
α1	α > 45; BM

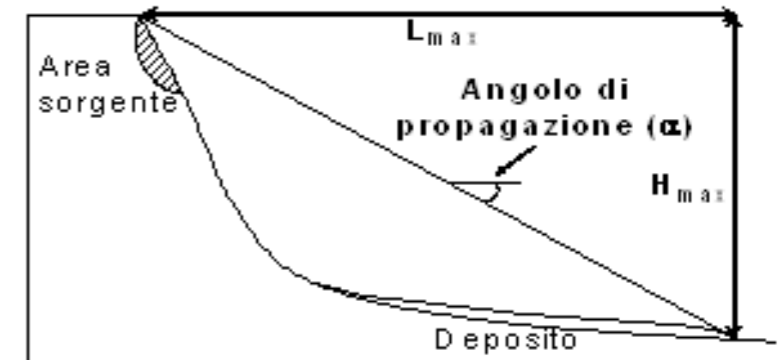


Intensità – sintesi

Intensità

Velocità nota (m/s)

distanza di runout nota (H/L)



Attenuatori

- Pendenza versante decrescente
- Presenza di opere antropiche mitigatorie
- Percorso tortuoso (colate di detrito)
- Presenza di vegetazione o ostacoli naturali
- Versante opposto o deviazione $>60^\circ$
- Deposizione lungo il percorso (o presenza di aree di deposito a monte degli elementi a rischio)

Accentuatori

- Pendenza versante crescente
- Abbondante disponibilità di acqua
- Fenomeno incanalato
- Possibile sbarramento di un corso d'acqua
- Materiale sciolto saturo lungo il percorso
- Possibile generazione di tsunami

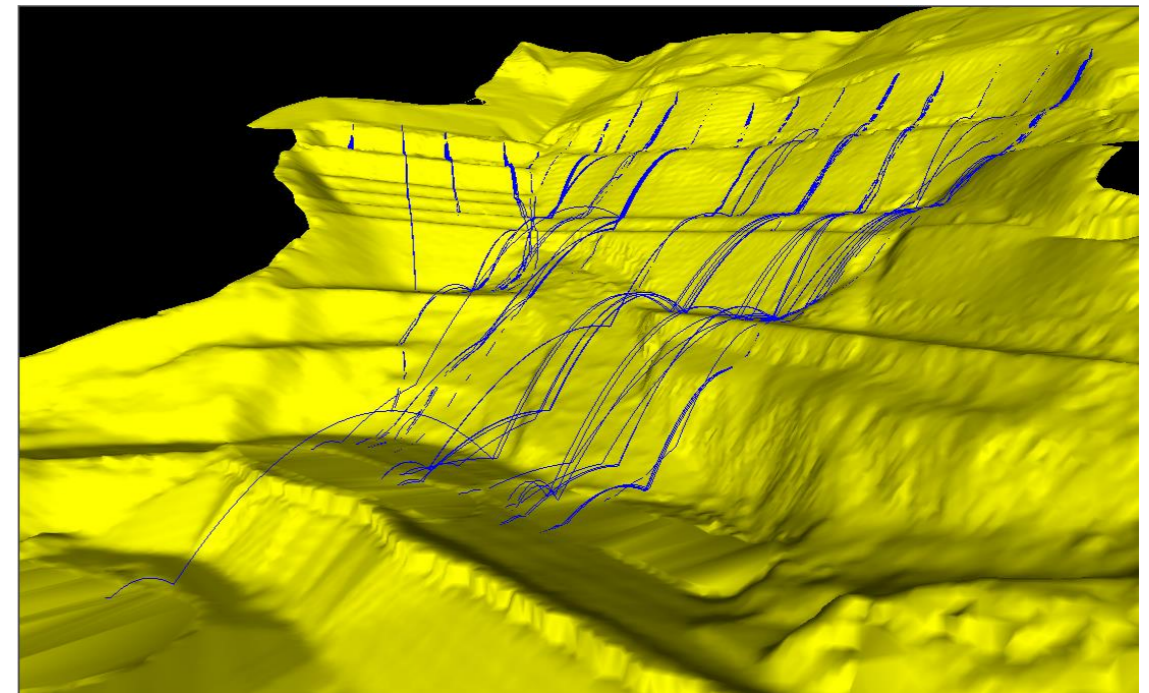
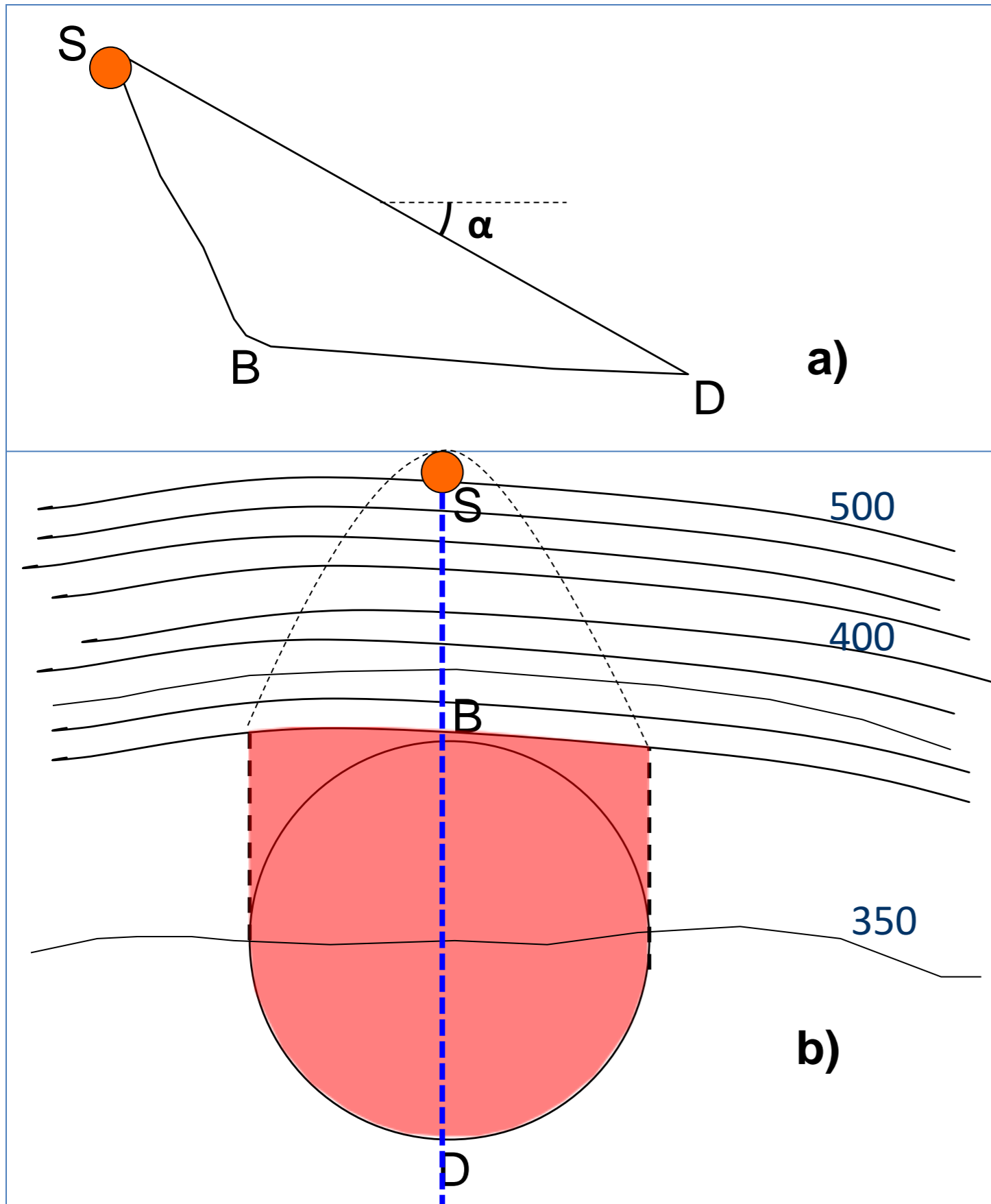
F4	Molto accentuato (>3)
F3	Accentuato (1-3)
F2	Attenuato (0, -1, -2)
F1	Molto attenuato (<-2)

		Classi di angolo di propagazione															
		$\alpha 1$				$\alpha 2$				$\alpha 3$				$\alpha 4$			
		F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
Classi di velocità	V1	I1	I1	I1	I2	I1	I1	I2	I3	I1	I2	I2	I3	I2	I2	I3	I4
	V2	I1	I1	I2	I3	I1	I2	I2	I3	I1	I2	I3	I4	I2	I3	I3	I4
	V3	I1	I2	I2	I3	I1	I2	I3	I4	I2	I3	I3	I4	I2	I3	I4	I4
	V4	I2	I2	I3	I4	I2	I3	I3	I4	I2	I3	I4	I4	I3	I4	I4	I4

Intensità

I4	molto elevata	●
I3	elevata	●
I2	media	●
I1	bassa	○

Possibile area di propagazione



Elementi a rischio

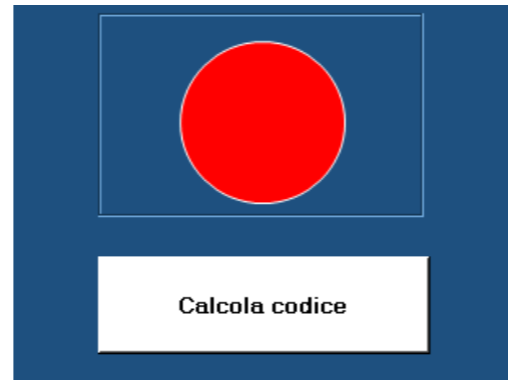
Elementi a rischio	Classe
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Esposizione della vita umana elevata (costante ≥ 10; temporanea/passante ≥ 100)</i> - <i>Beni materiali esposti</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ centri urbani ○ grandi insediamenti industriali/artigianali/commerciali ○ beni architettonici storici e artistici ○ infrastrutture viarie e ferroviarie strategiche ○ altre strutture sensibili (dighe, centrali energetiche, ospedali, caserme, scuole) 	E4
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Esposizione della vita umana media ($0 < \text{costante} < 10$; $10 < \text{temporanea/passante} < 100$)</i> - <i>Beni materiali esposti</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ nuclei abitati minori (o porzioni ridotte di centri urbani) ○ strade e ferrovie ○ linee di servizi (oleo-metano-elettrodotti, fognature e acquedotti, linee telefoniche) ○ impianti tecnologici (depuratori, discariche, cave) ○ insediamenti turistici (campeggi, villaggi) 	E3
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Esposizione della vita umana bassa ($0 < \text{temporanea/passante} < 10$)</i> - <i>Beni materiali esposti</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ case sparse ○ aree agricole ○ parchi/aree sportive ○ strade secondarie 	E2
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Esposizione della vita umana solo occasionale</i> - <i>Beni materiali esposti</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ aree boschive ○ aree incolte 	E1



Codice

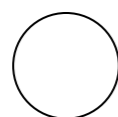

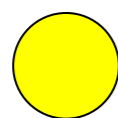
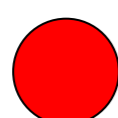
	M1	M2	M3	M4
A1	K1	K1	K2	K2
A2	K1	K2	K3	K3
A3	K1	K2	K3	K4
A4	K2	K3	K4	K4

	S1	S2	S3	S4
E1	D1	D1	D1	D1
E2	D1	D2	D3	D3
E3	D2	D3	D3	D4
E4	D2	D3	D4	D4



	K1	K2	K3	K4
I1	S1	S1	S2	S2
I2	S1	S2	S3	S3
I3	S2	S3	S3	S4
I4	S2	S3	S4	S4

	D1	D2	D3	D4
H1	R1	R1	R1	R2
H2	R1	R2	R2	R3
H3	R1	R2	R3	R3
H4	R2	R3	R4	R4

-  **Codice bianco** (nessuna urgenza): l'evento può essere gestito con strumenti di programmazione e manutenzione ordinari.
-  **Codice verde** (urgenza minore): l'evento non può determinare danni funzionali o strutturali a elementi a rischio di qualunque natura, ma richiede comunque interventi a breve/medio termine.
-  **Codice giallo** (urgenza moderata): l'evento può determinare danni funzionali di moderata gravità a elementi a rischio non di pubblico interesse e richiede interventi a breve termine.
-  **Codice rosso** (urgenza severa/emergenza): l'evento ha rilevanza per la pubblica incolumità e può determinare danni funzionali e strutturali a elementi a rischio di pubblico interesse, richiedendo interventi immediati.

Taratura

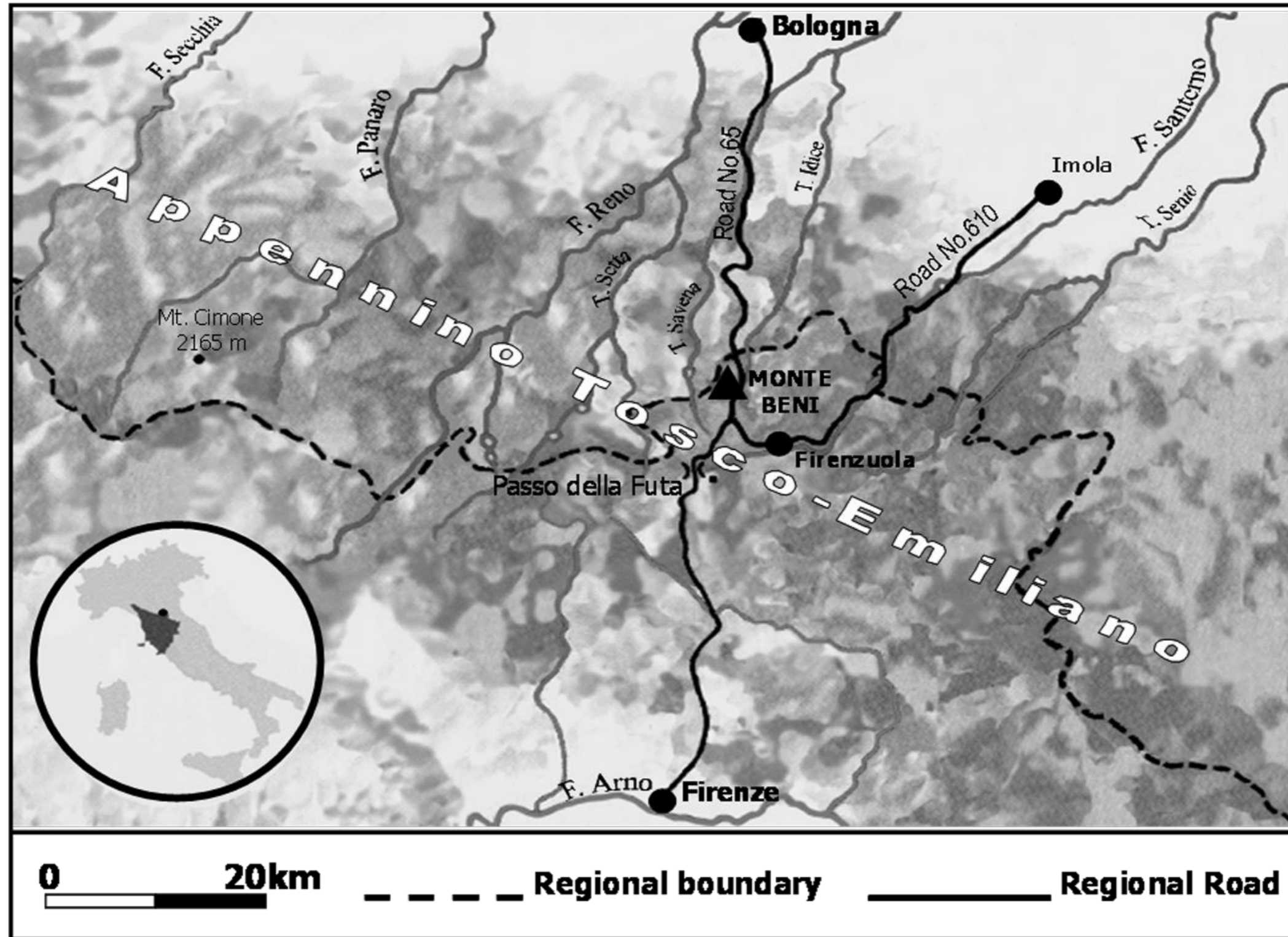


13 Febbraio 2015

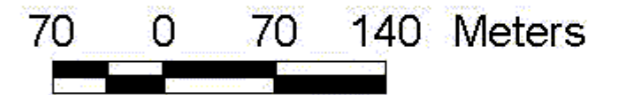
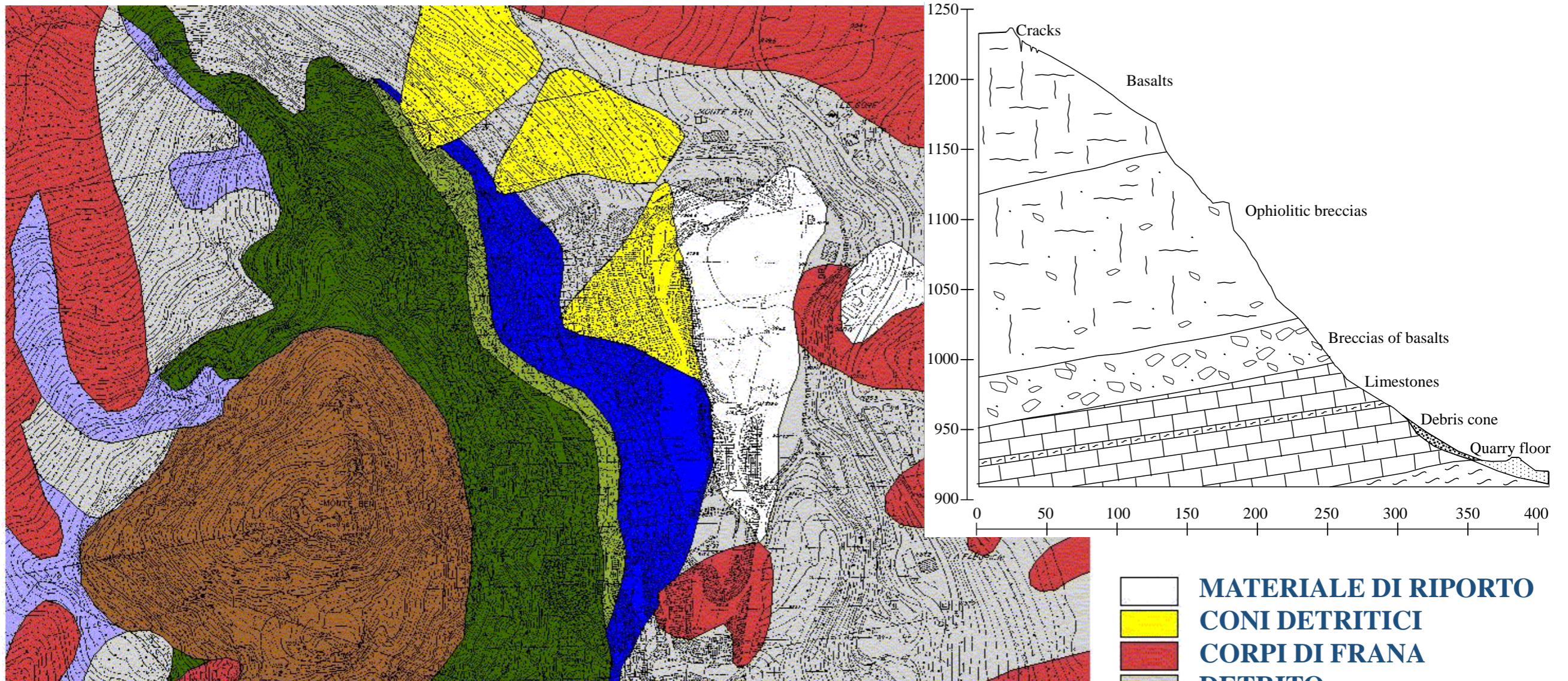
COMUNE	LOCALITÀ	CODICE
Villa Celiera	Contrada Vagnola	ROSSO
Civitella Casanova	Contrada Valle del Giardino	ROSSO
Carpineto della Nora	Contrada S. Lucia	GIALLO
Carpineto della Nora	Contrada Fratte	GIALLO
Carpineto della Nora	Contrada Fratte	GIALLO
Carpineto della Nora	S. Bartolomeo	VERDE
Carpineto della Nora	Fara	VERDE
Carpineto della Nora	Maddalena	GIALLO
Vicoli	La Penna	GIALLO
Civitaquana	Contrada Ginestre	GIALLO
Civitaquana	Contrada Ginestre	GIALLO



Applicazione - La frana di Montebeni



Inquadramento geologico



Agosto 2000



Area intensamente
fratturata

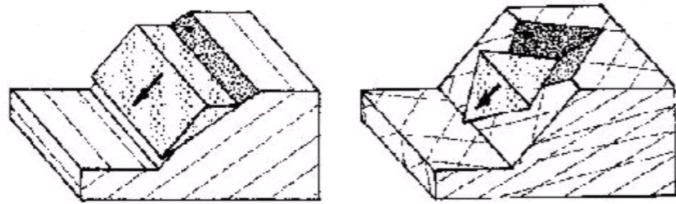
I fase:

- **Analisi cinematica**
- **Simulazioni di caduta massi**

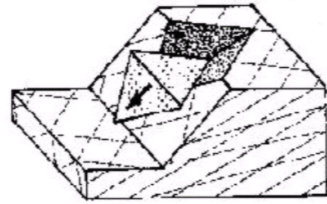
Superficie: 10 000 m²

Analisi cinematica

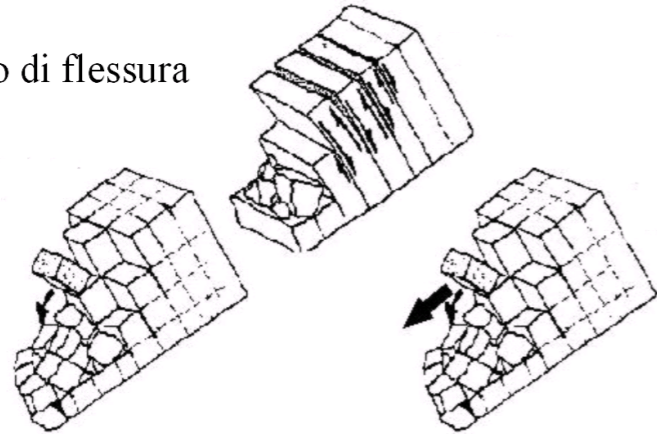
Scorrimento planare



Scorrimento di cunei



Ribaltamento di flessura



Ribaltamento diretto + scivolamento

Ribaltamento diretto

Indici di pericolosità

scivolamento planare: $C_{pf} = \frac{N_{pf}}{N} (\%)$

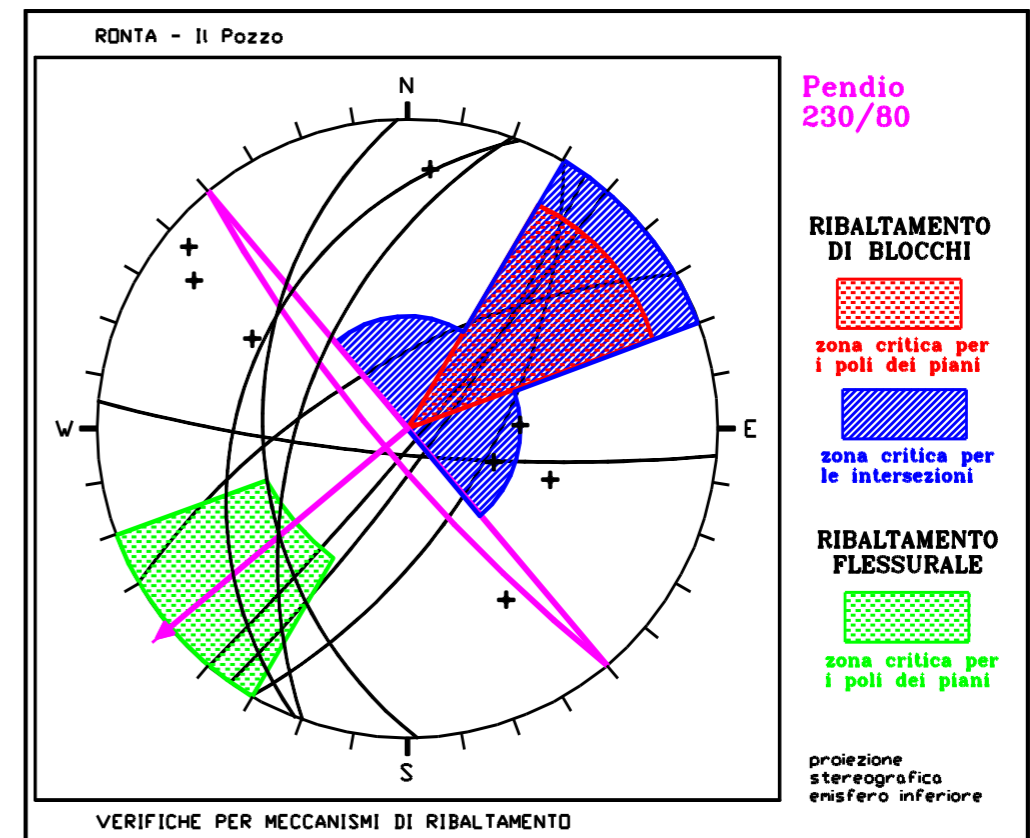
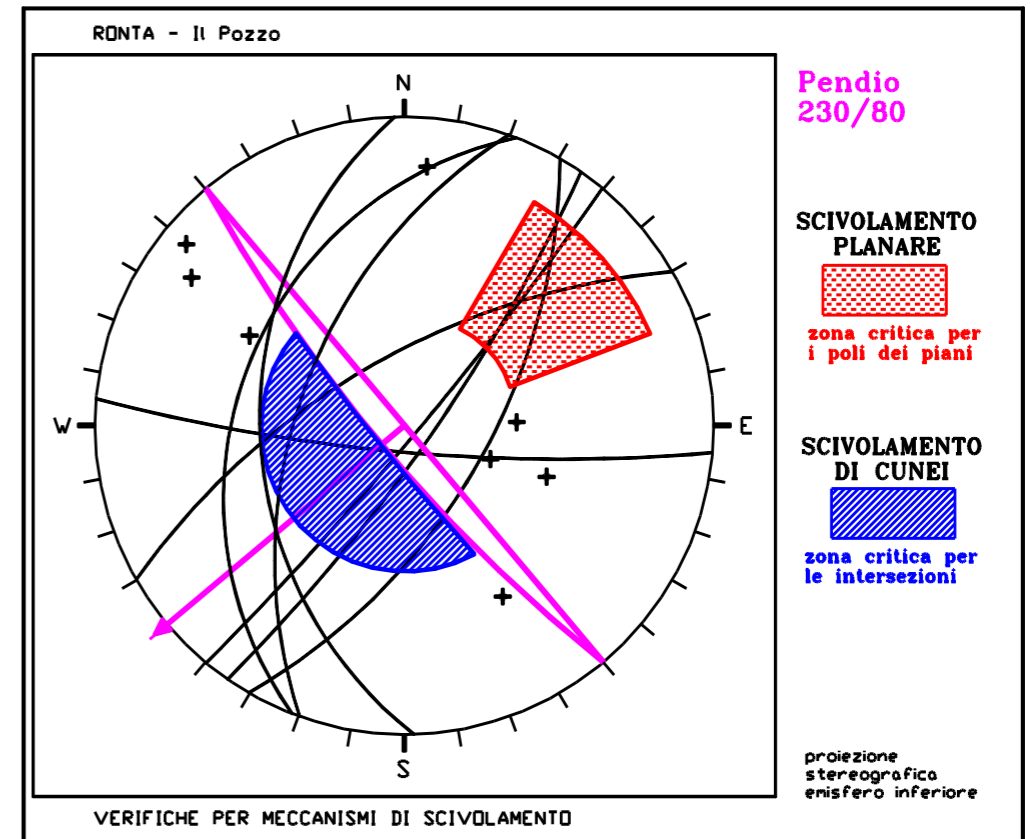
scivolamento di cunei: $C_{wf} = \frac{I_{wf}}{I} (\%)$

ribaltamento di flessura: $C_{ft} = \frac{N_{ft}}{N} (\%)$

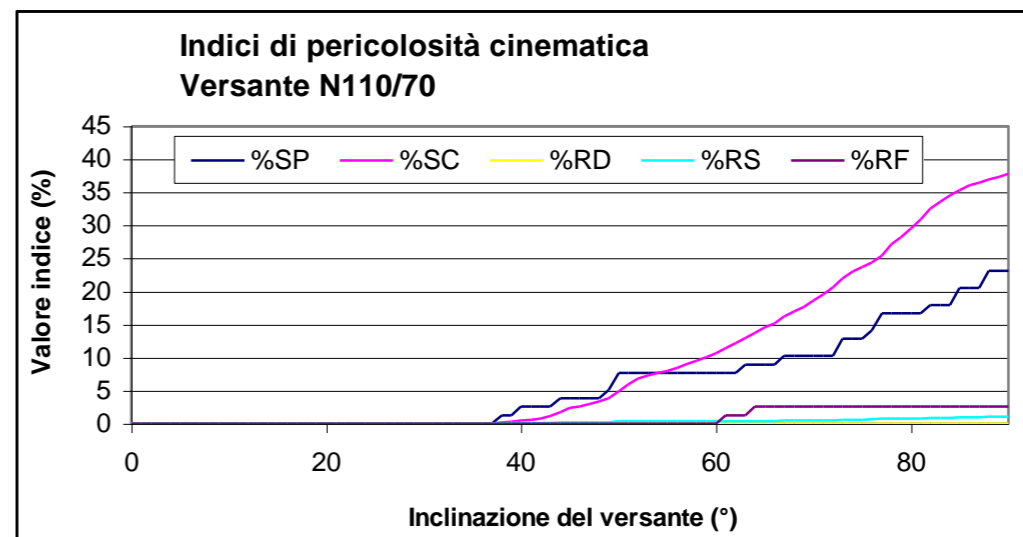
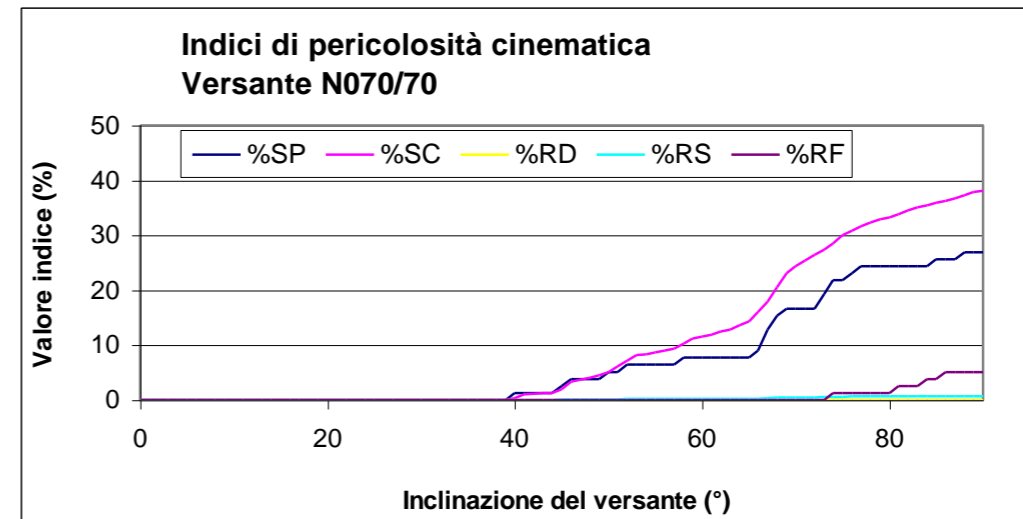
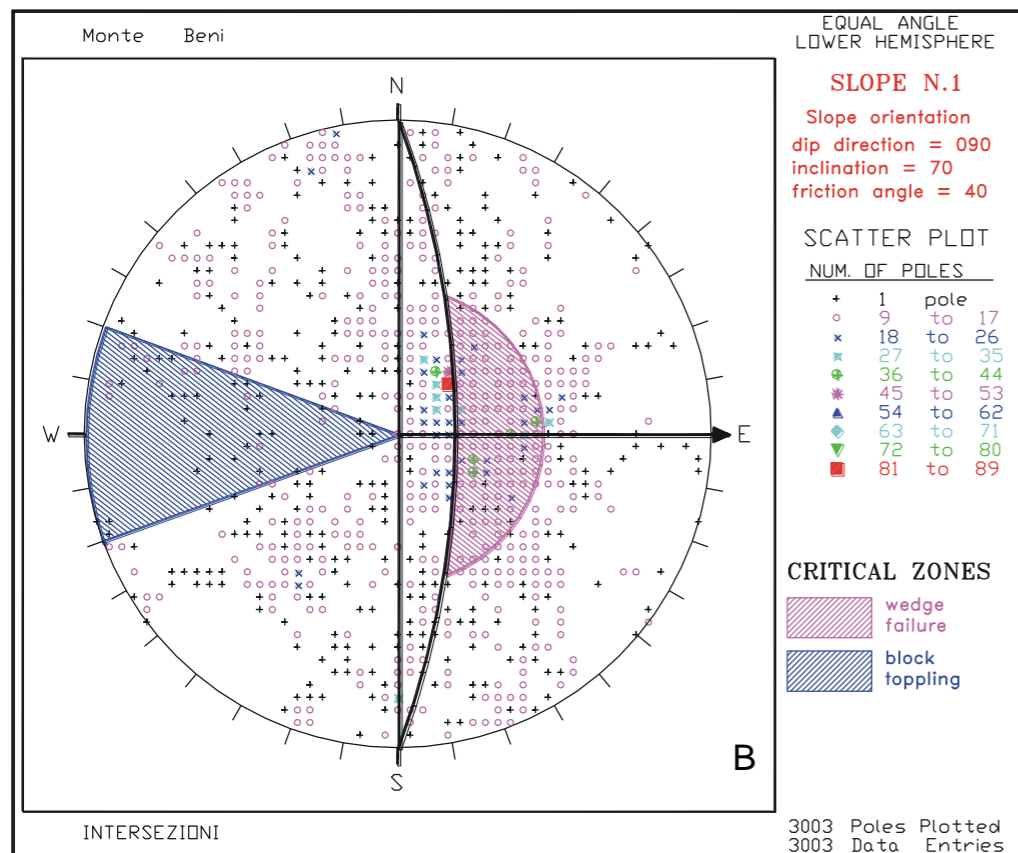
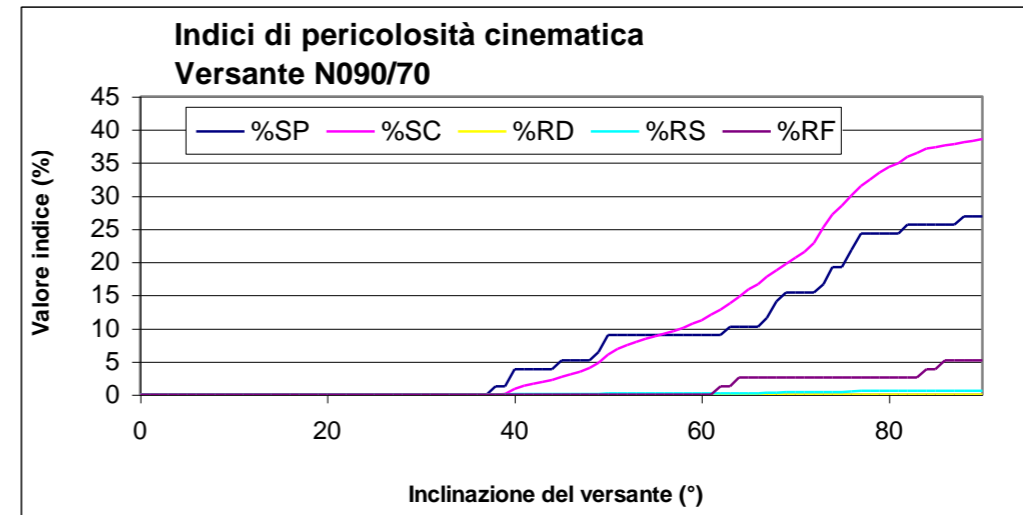
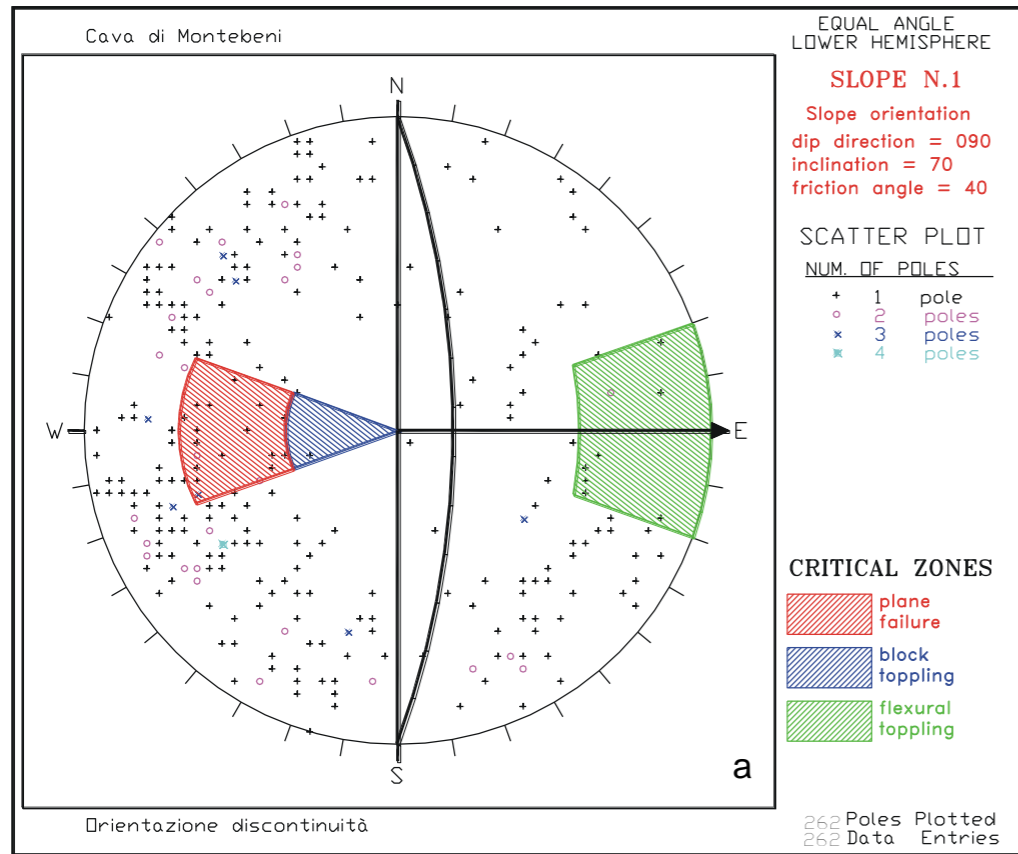
ribaltamento diretto: $C_{bt} = \frac{N_{bt}}{N} \frac{I_{bt}}{I} (\%)$

ribaltamento e scivolamento: $C_{ts} = \frac{N_{pf}}{N} \frac{I_{bt}}{I} (\%)$

Casagli e Pini, 1993



Analisi cinematica – Monte Beni





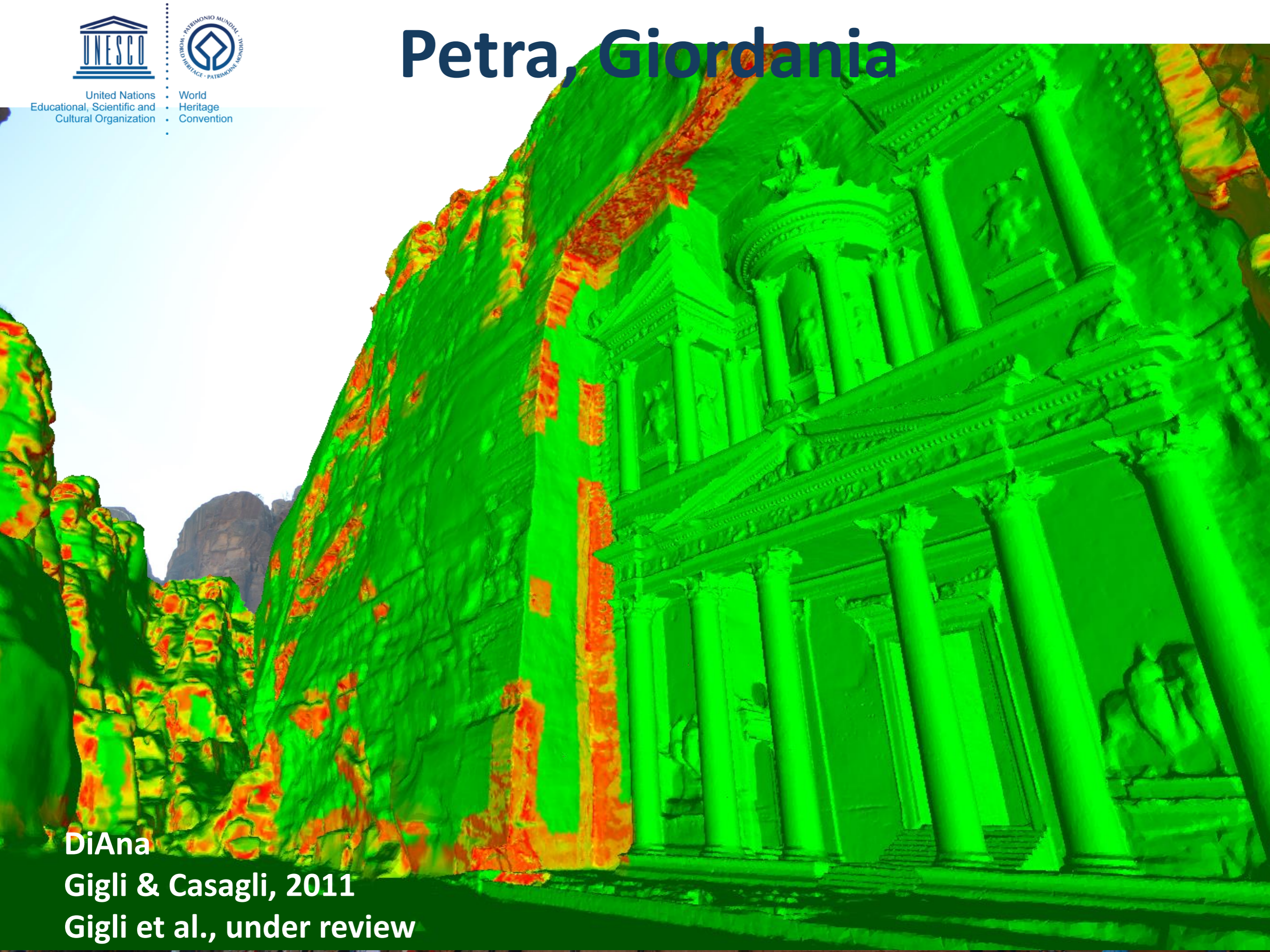
United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



World
Heritage
Convention

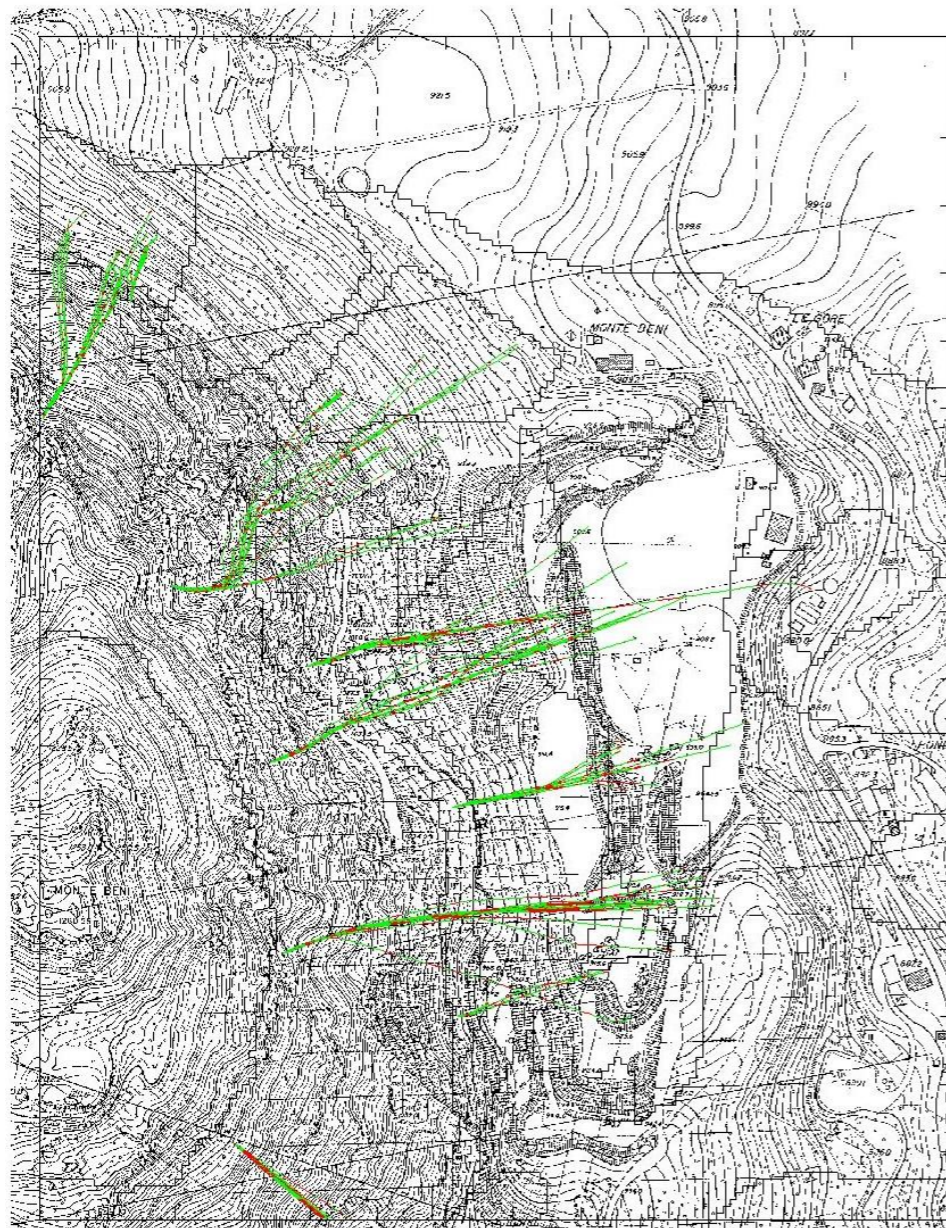
Petra, Giordania

DiAna
Gigli & Casagli, 2011
Gigli et al., under review



Simulazioni caduta massi – Monte Beni

Simulazione caduta massi



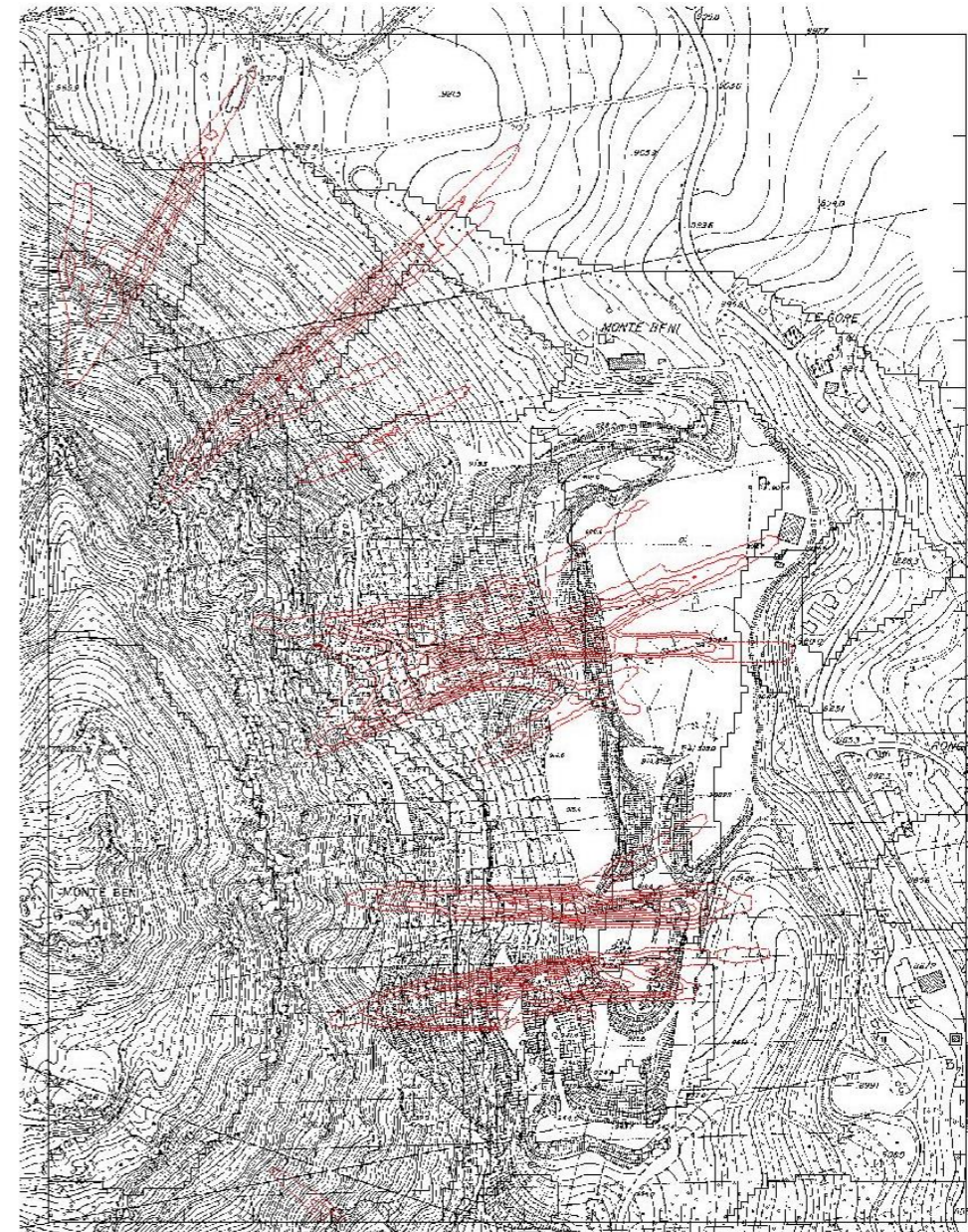
LEGENDA

- Percorsi (massa 1 t)
- Movimento per rimbalzo
- Movimento per rotolamento
- Limiti caratteristiche geomeccaniche



70 0 70 140 Meters

Simulazione caduta massi



LEGENDA

- Energie (massa 1 t)
- Linee isodensità energia
- Limiti caratteristiche geomeccaniche



70 0 70 140 Meters

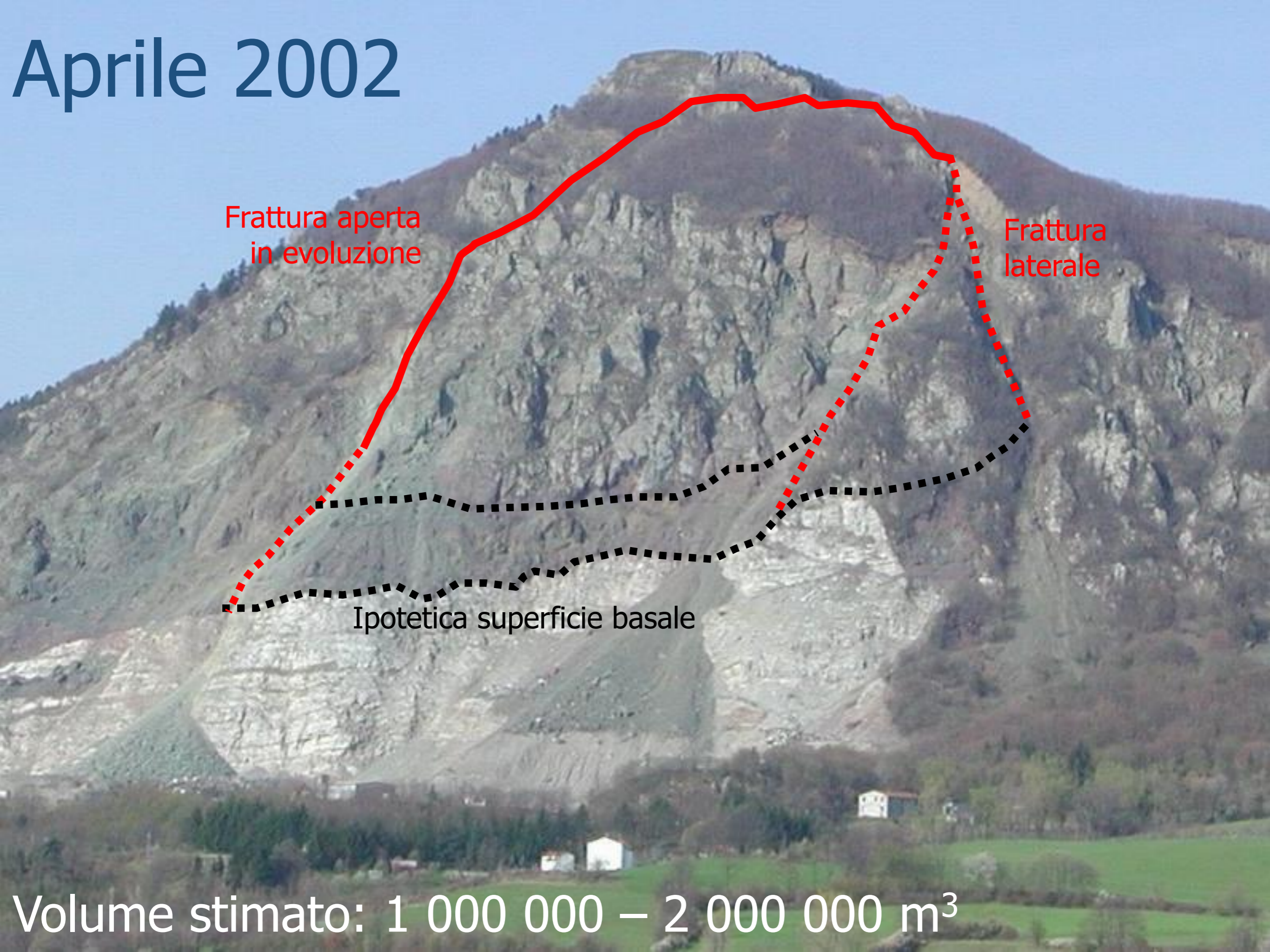
Aprile 2002

Frattura aperta
in evoluzione

Frattura
laterale

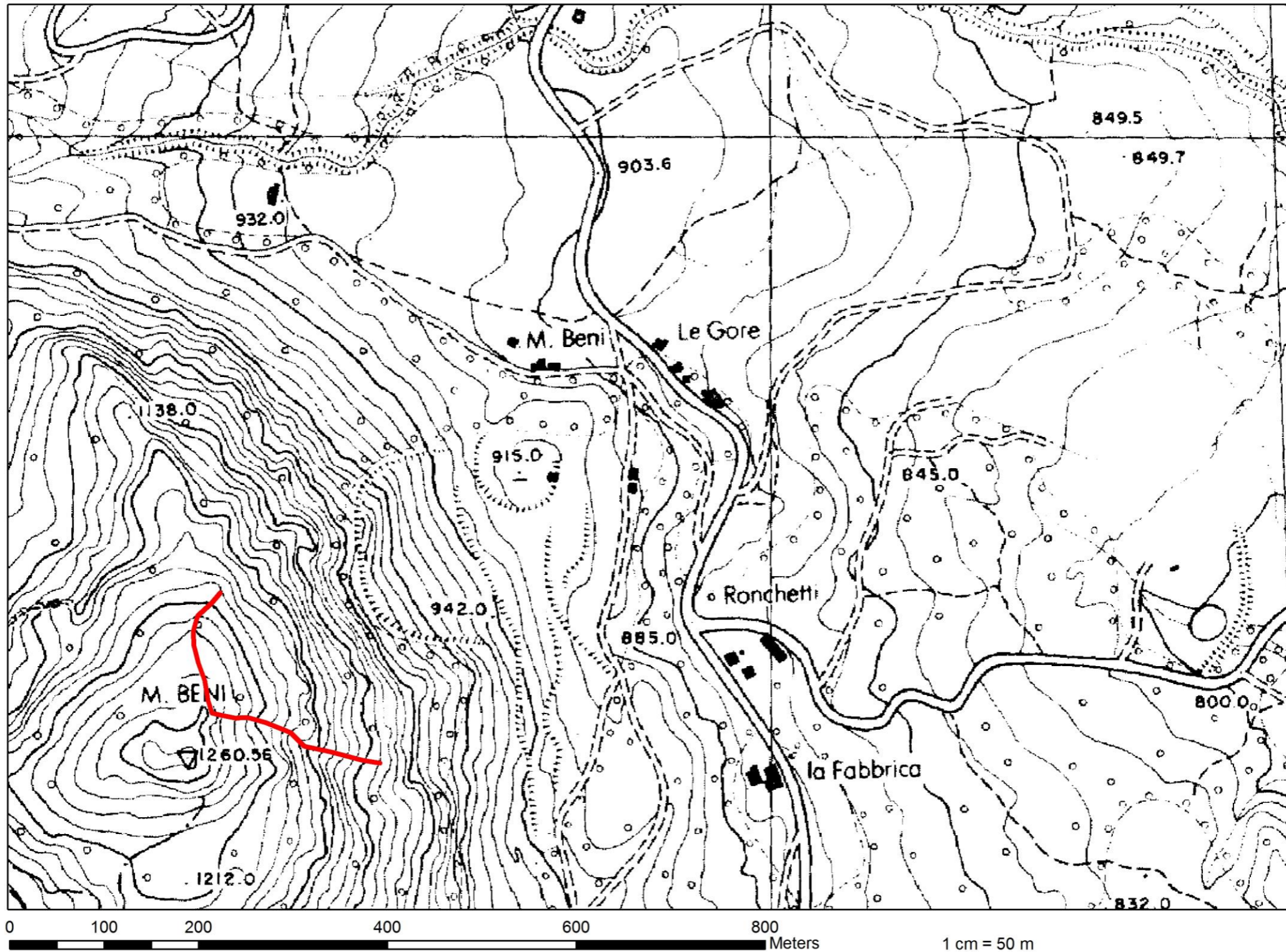
Ipotetica superficie basale

Volume stimato: 1 000 000 – 2 000 000 m³

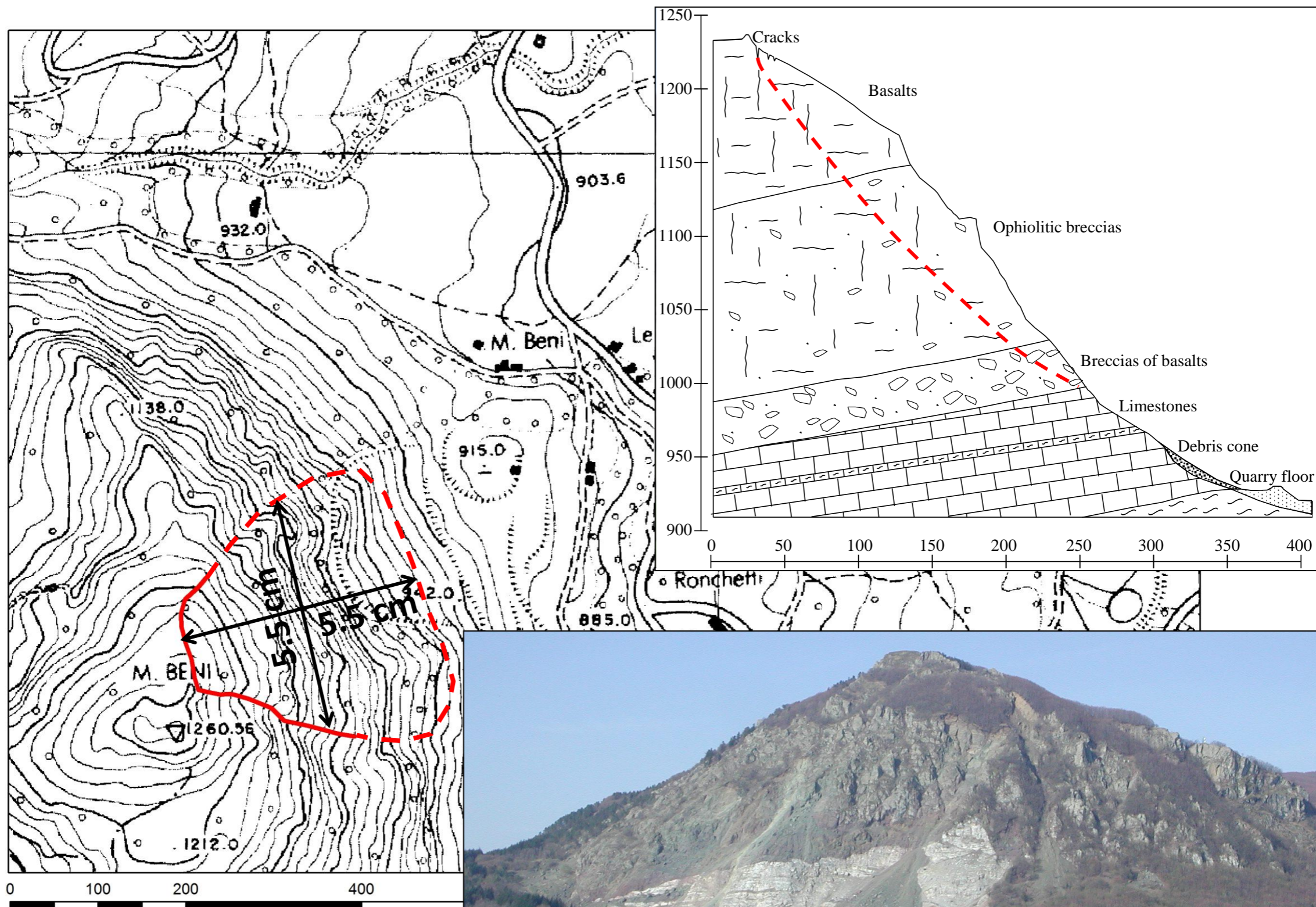




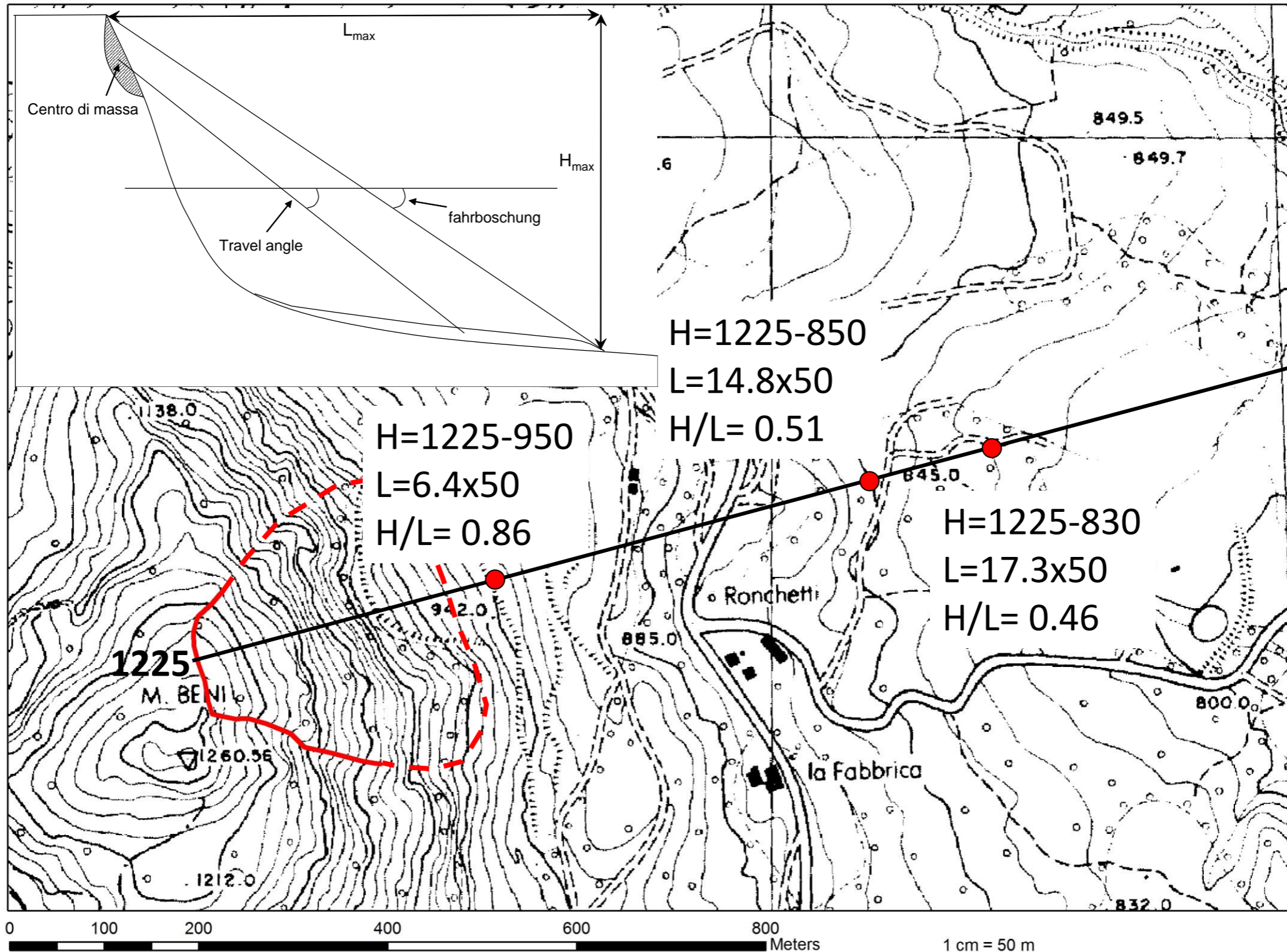
Cartografia base



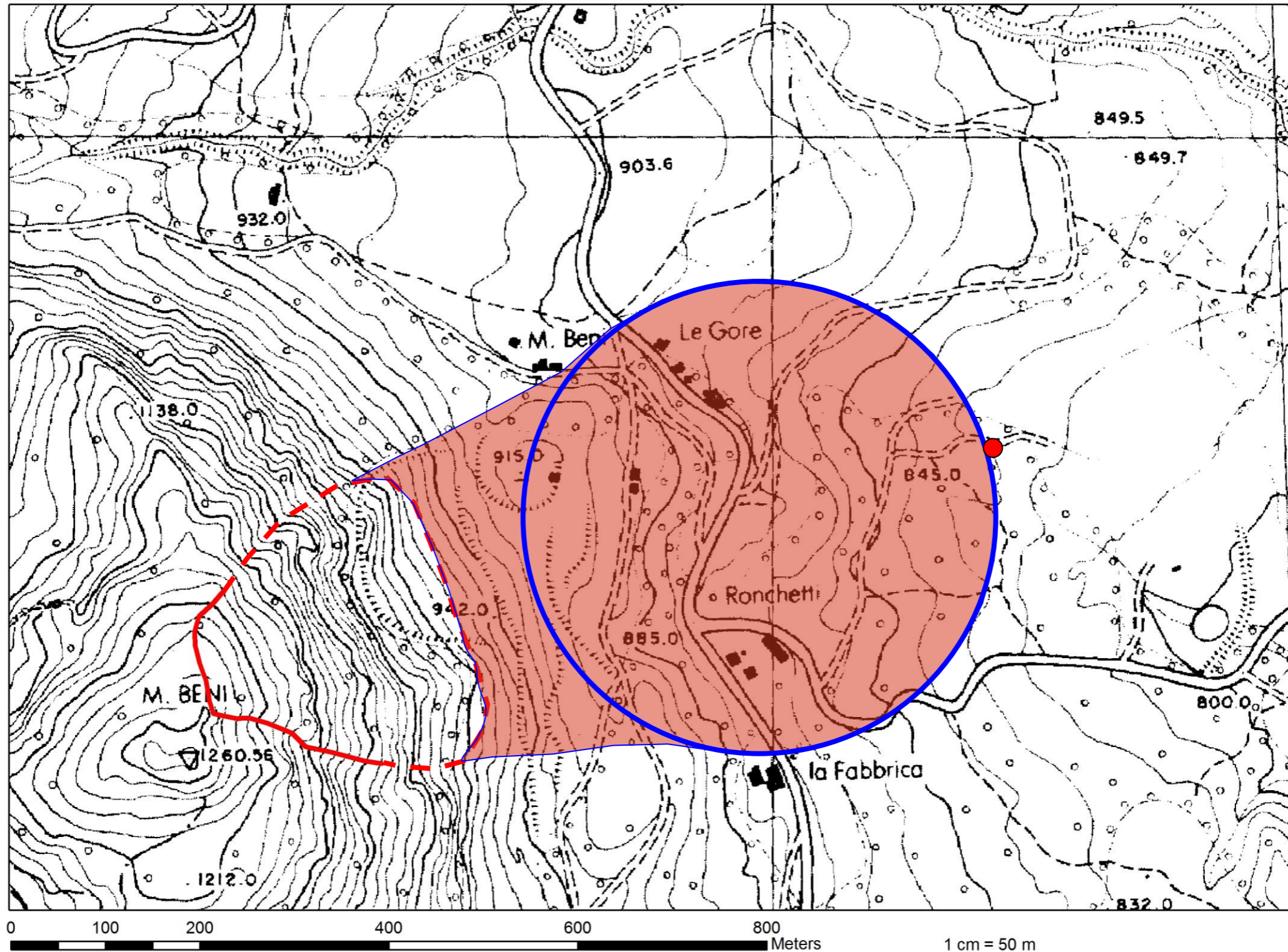
Massimo scenario credibile



Runout



Area interessata



Elementi a rischio



CHIUSURA STRADA ED EVACUAZIONE ABITAZIONI

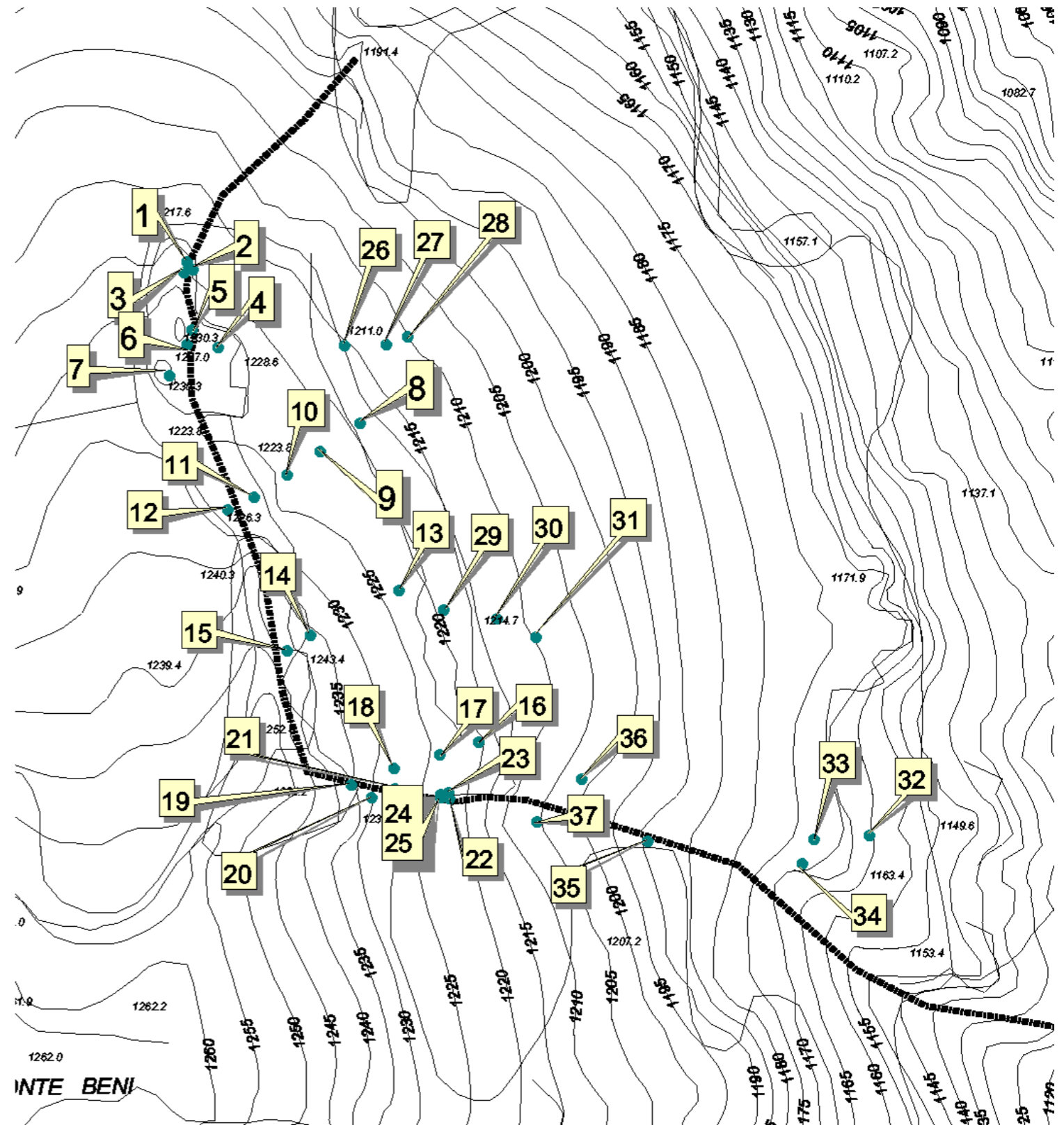
Analisi integrata

UTILIZZO INTEGRATO DI MONITORAGGIO, INDAGINI E MODELLISTICA:

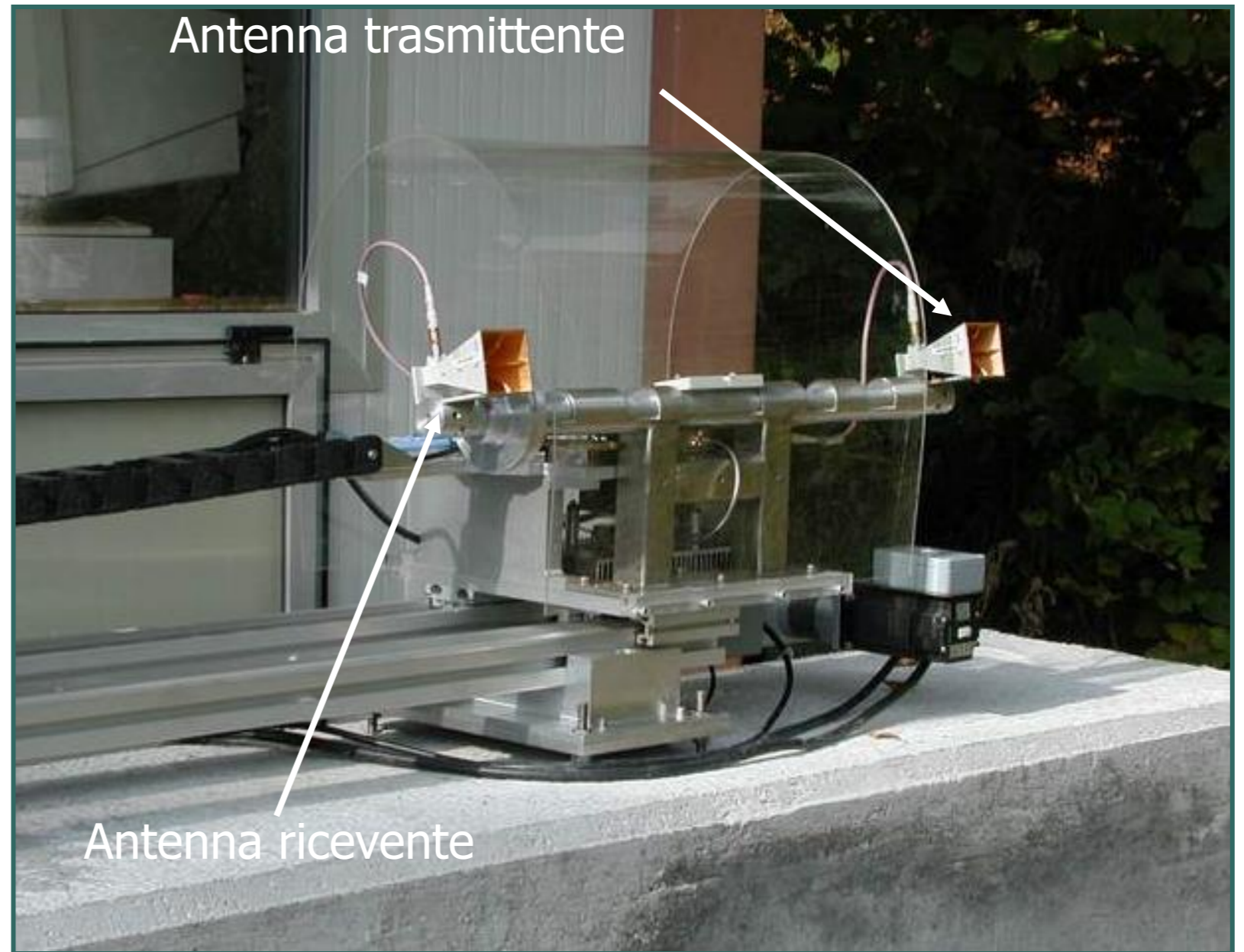
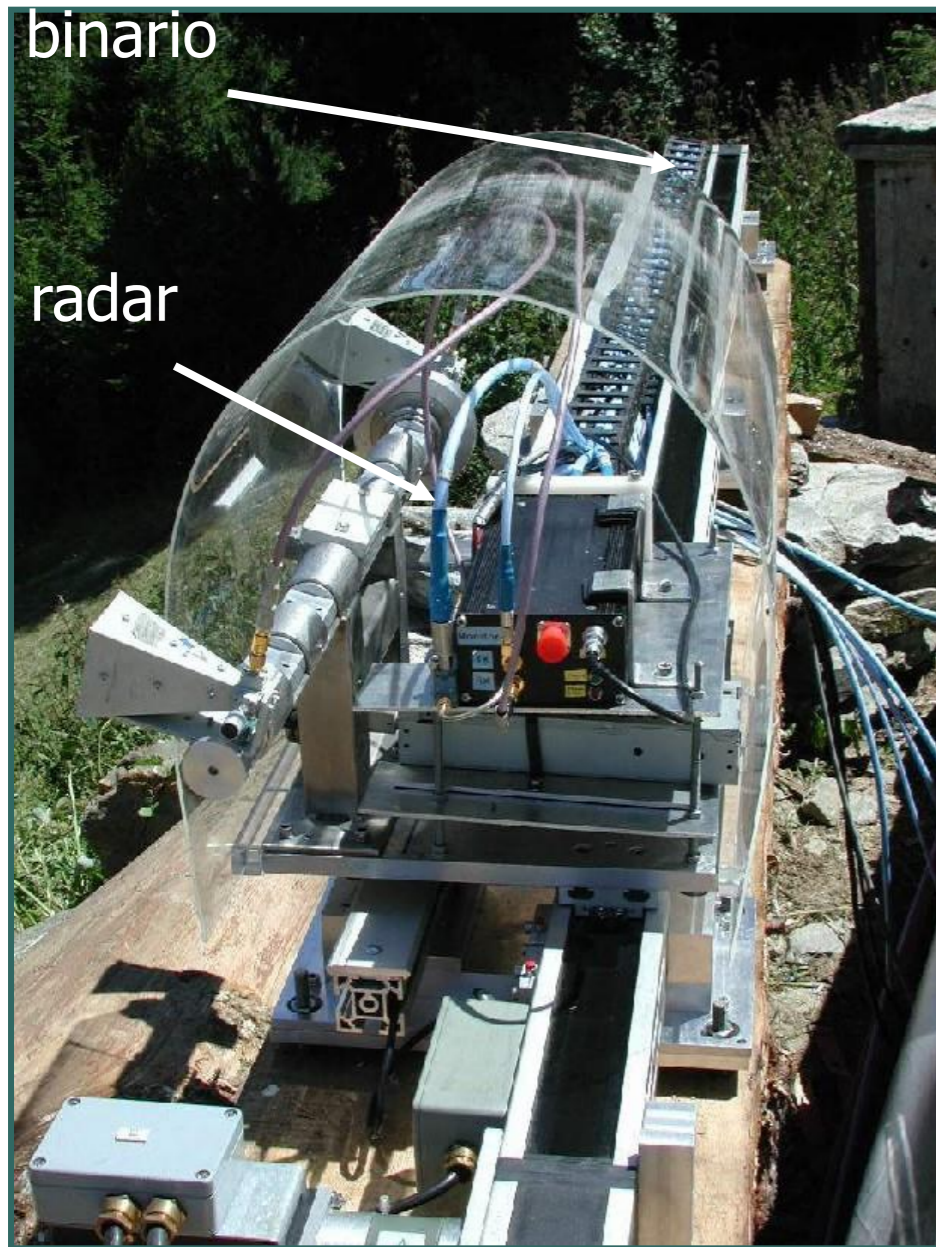
- Interferometria e indagini sismiche → magnitudo evento
- Modelli runout → scenari di rischio
- Modellistica e indagini sismiche → meccanismo di rottura
- Monitoraggio distometrico → istante di collasso

SUPPORTO TECNICO – SCIENTIFICO ALLE ATTIVITÀ DI PROTEZIONE CIVILE

Monitoraggio distometrico



GB-InSAR



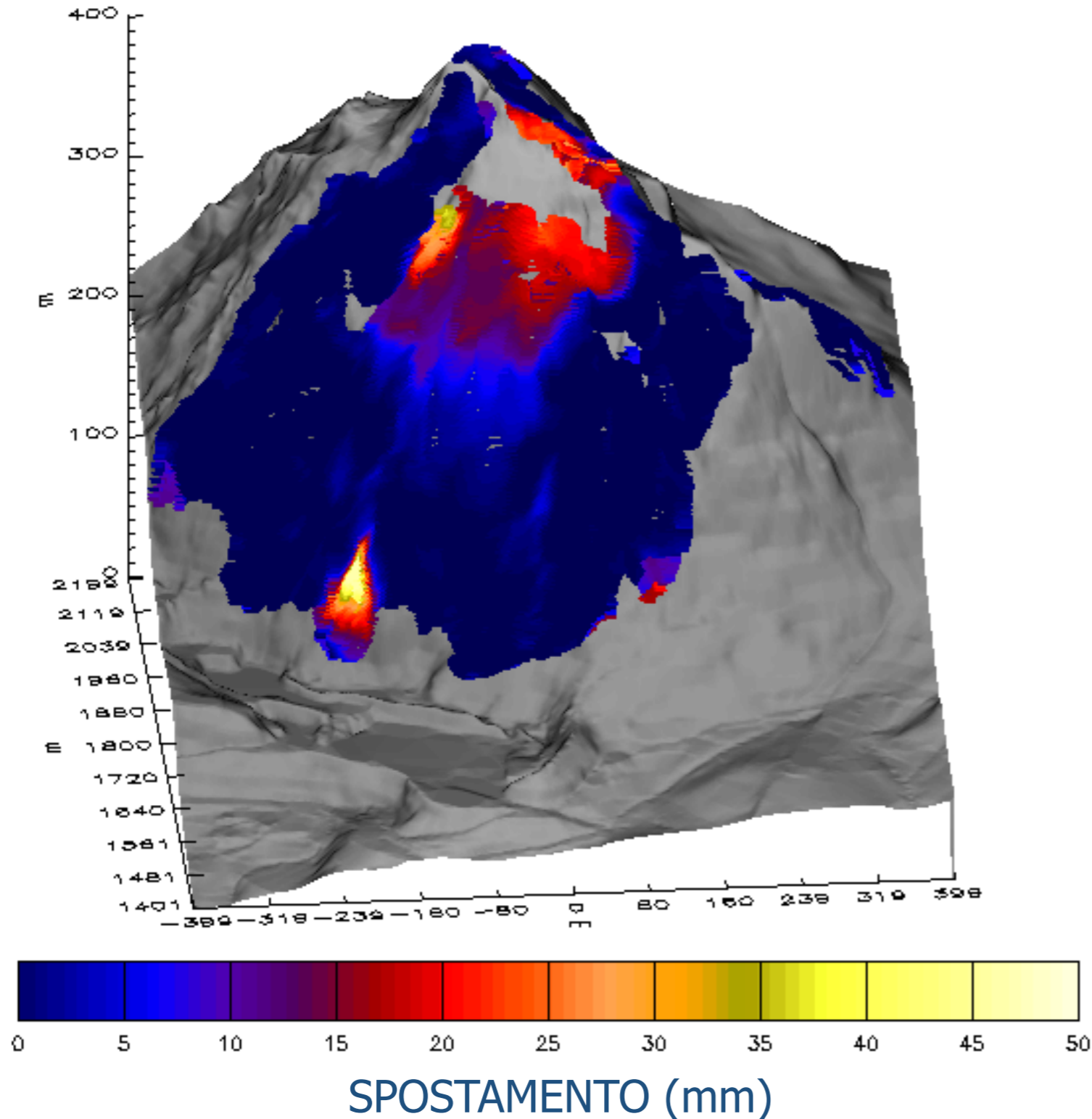
Commissione Europea
Centro Comune di Ricerca – Ispra
Istituto per la Sicurezza del Cittadino



Scenario osservato



Sequenza di lungo periodo



Start: 8/5/2002 13:59
End: 13/5/2002 18:12

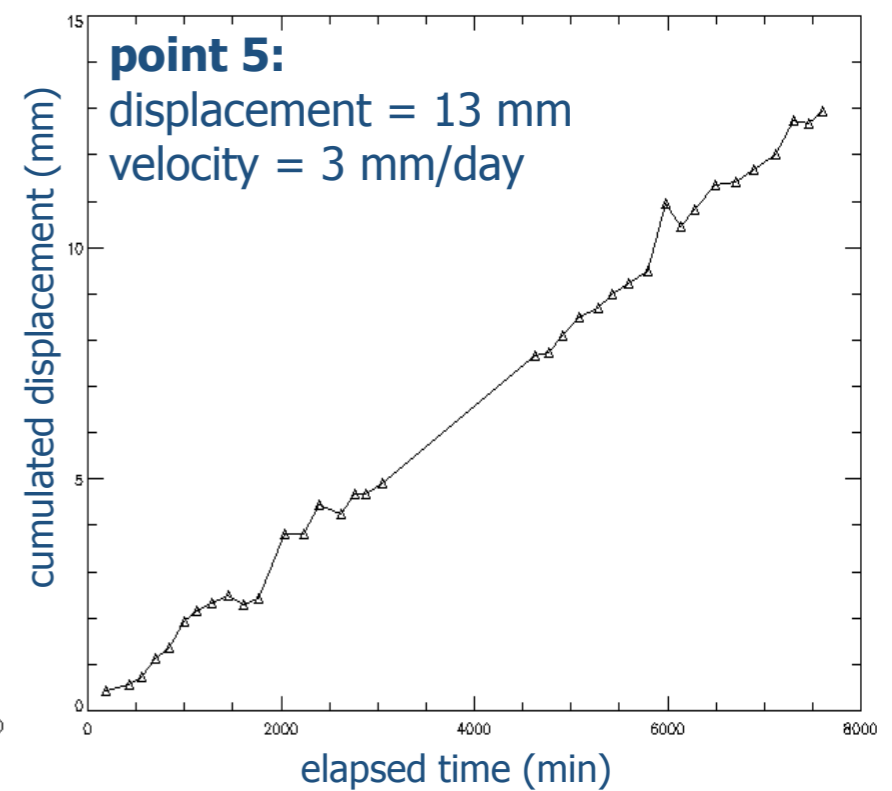
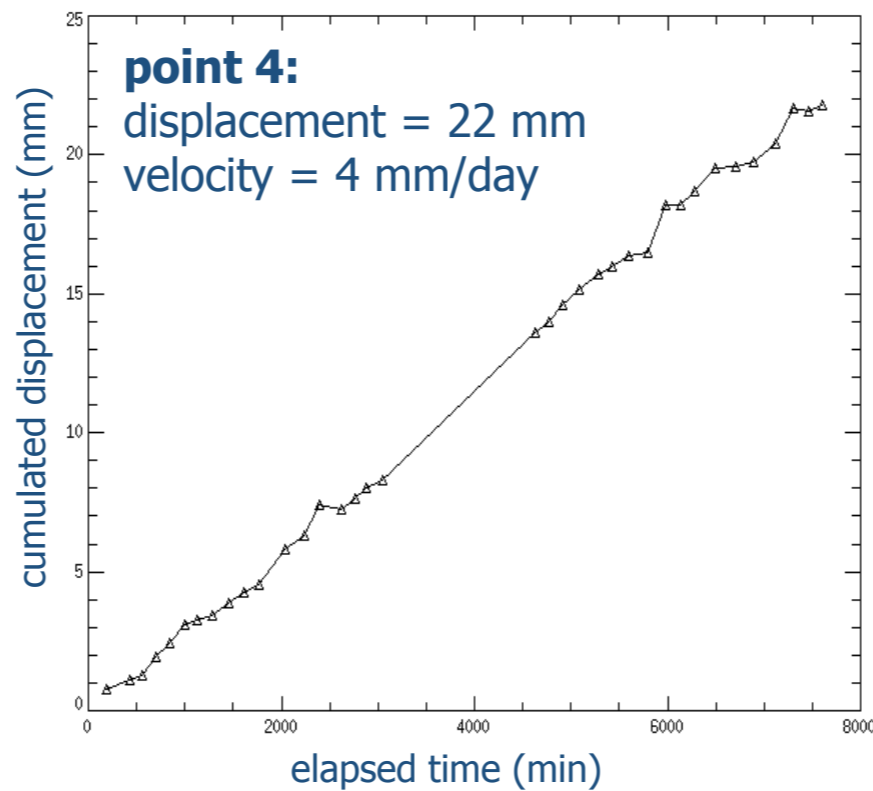
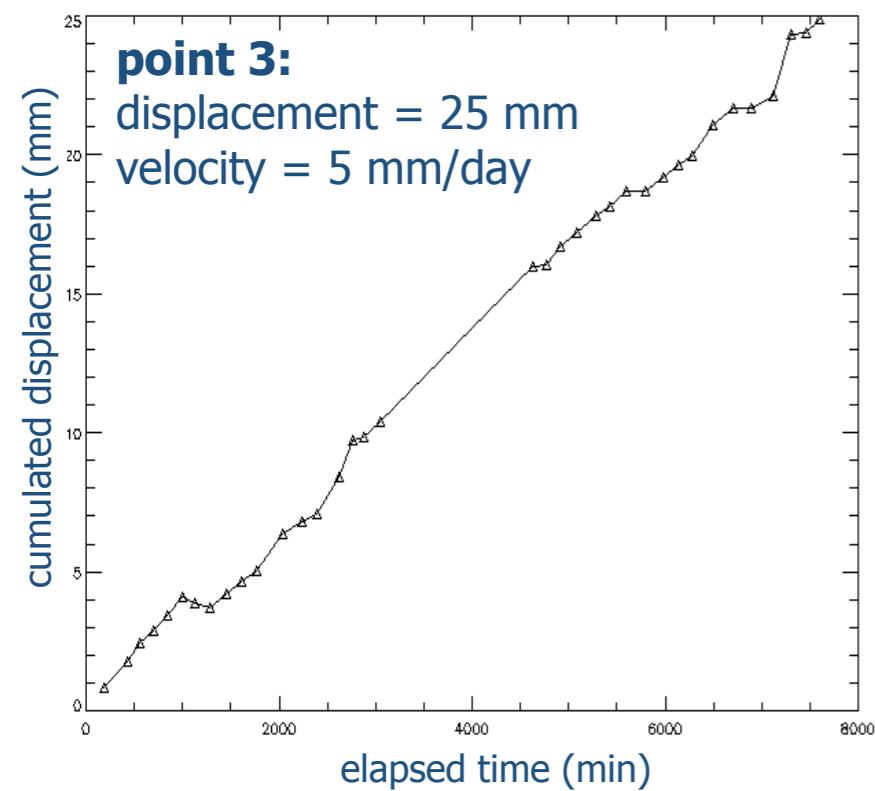
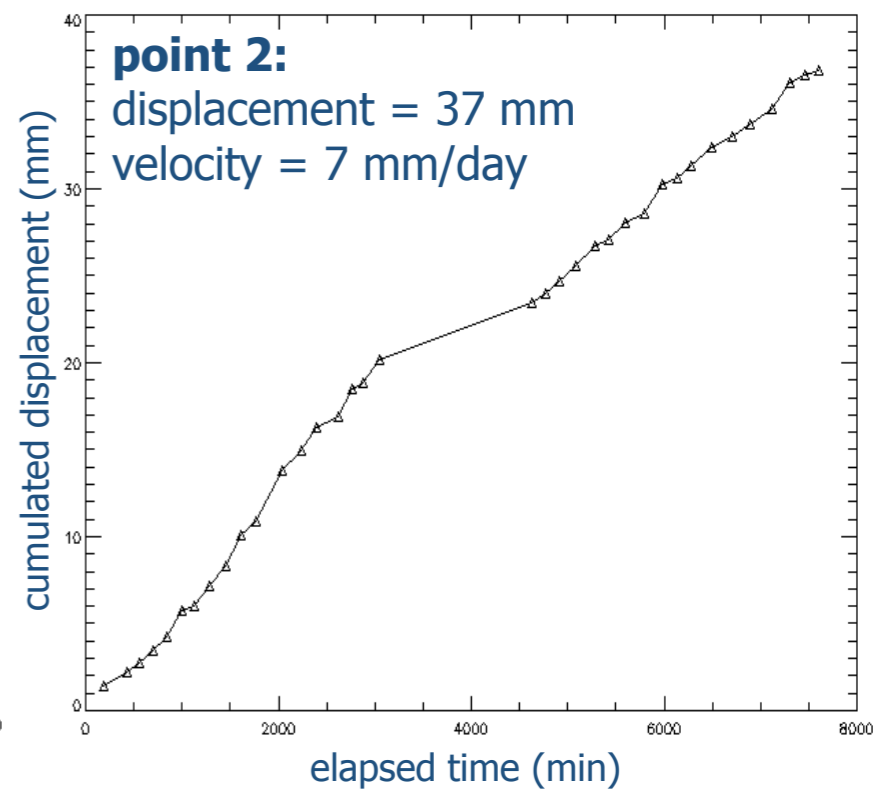
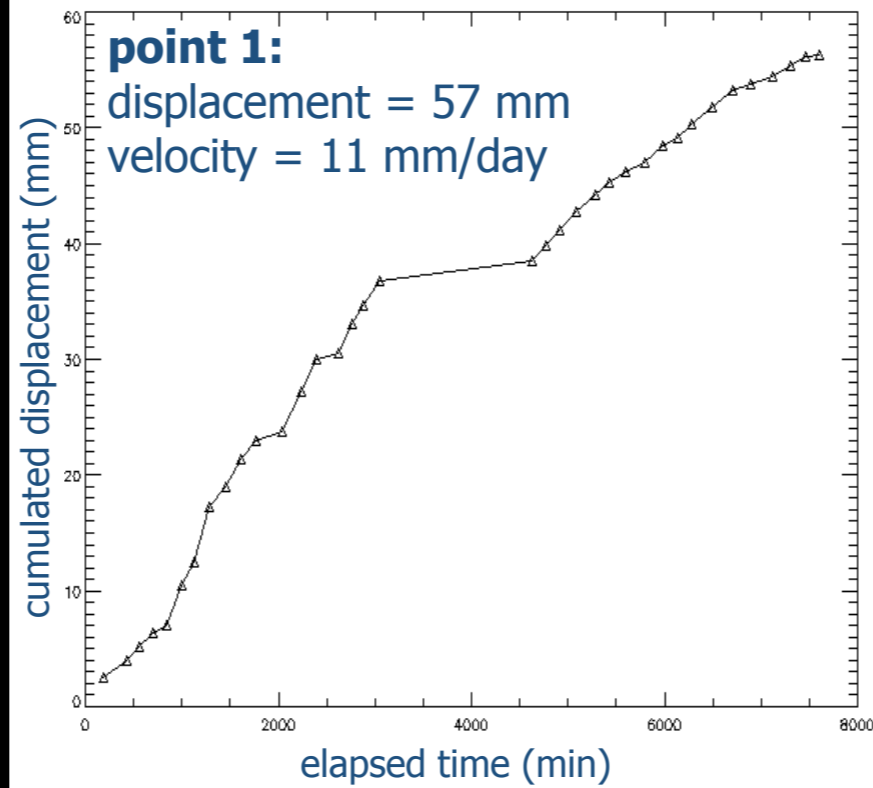
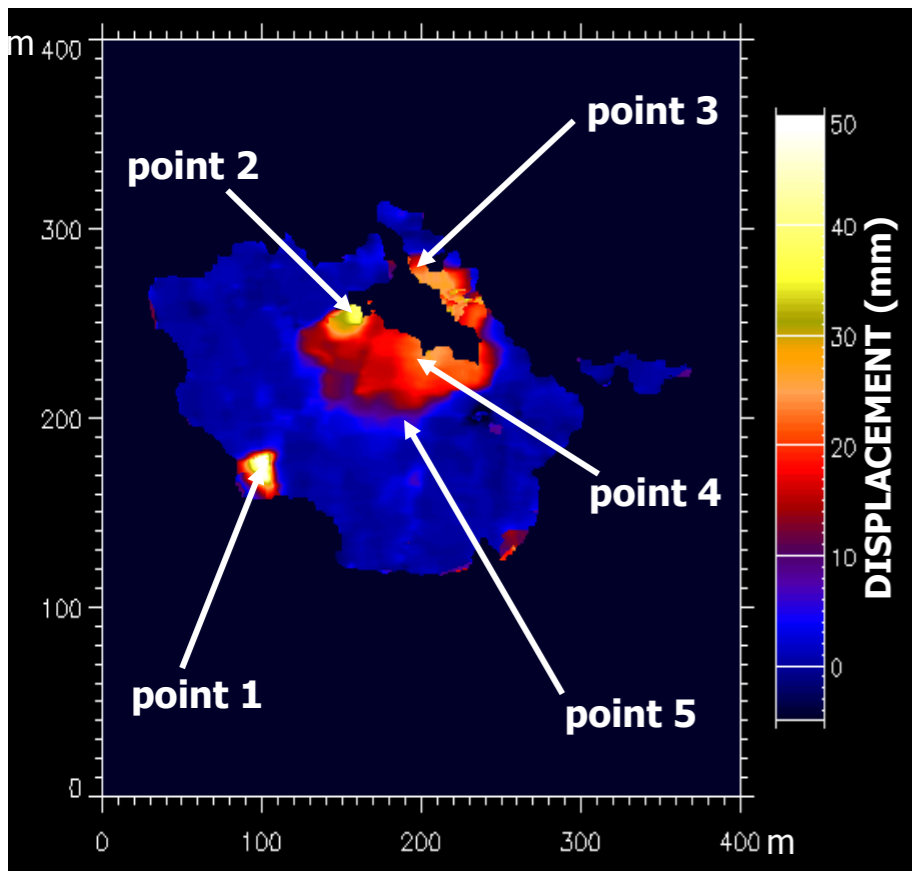
Intervallo di tempo:
124 h

Tempo di acquisizione:
40 min

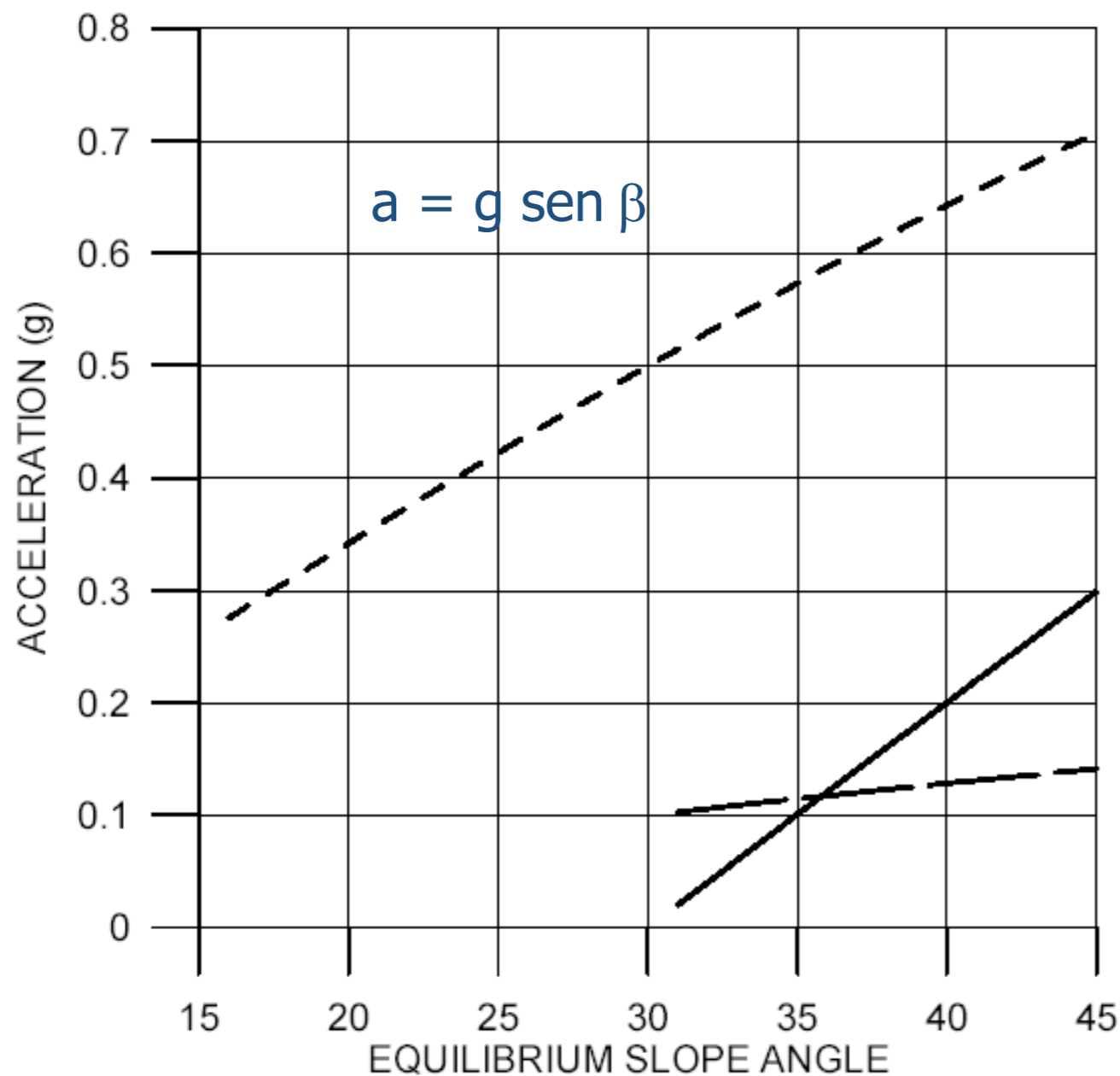
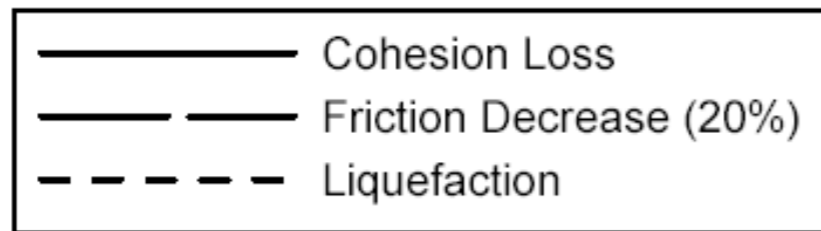
Velocità massima:
0.48 mm/h

Velocità media:
0.16 mm/h

Spostamenti puntuali



Meccanismo di rottura - perdita di resistenza



Pendio indefinito
Spessore: H
Inclinazione: β

$$\tau_a = \gamma H \text{ sen } \beta$$

$$S_r = c + \gamma H \text{ cos } \beta \text{ tan } \phi$$

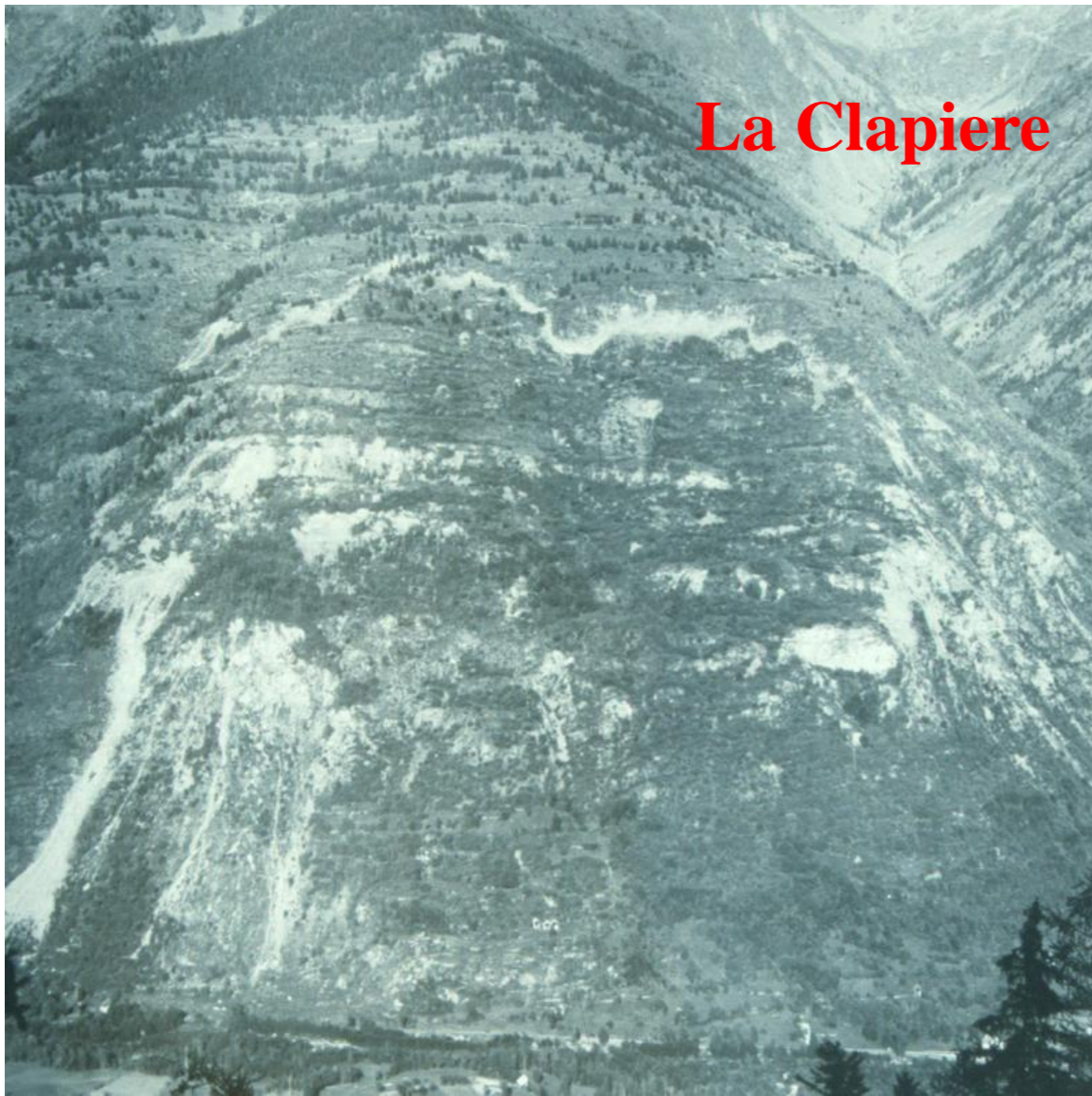
$$a = g c / (\gamma H)$$

$$a = g \text{ cos } \beta (\text{tan } \phi_p - \text{tan } \phi_r)$$

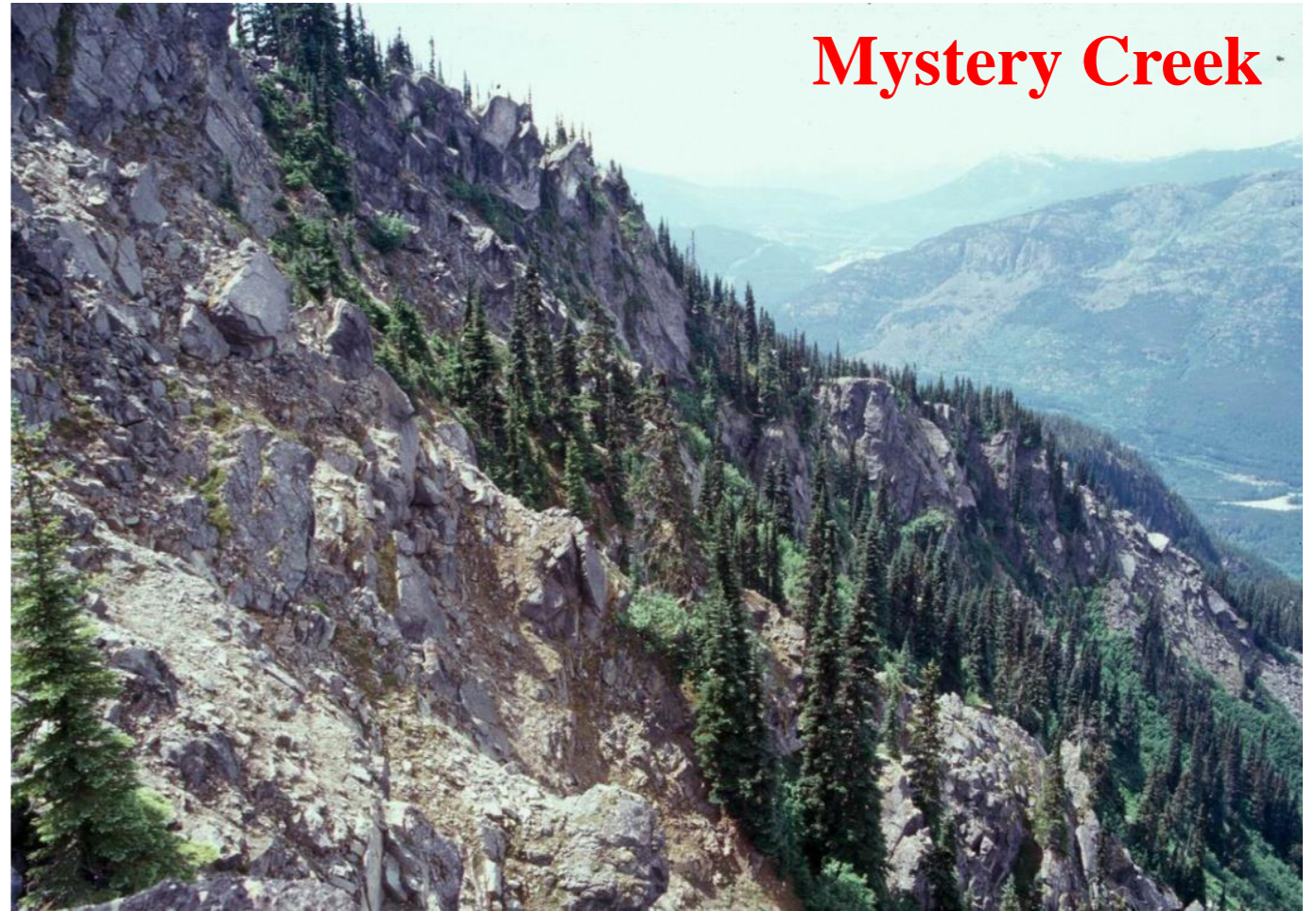
Influence of rock structure (Hungr and Evans, 2004)

Structural control Dominant mechanism Kinematics Constraint	No systematic structural control	Systematic structural control					
		Sliding			Toppling		
		Translational	Compound	Compound	Flexural	Block	Block
At toe	At scarp						
Mechanism Type	A Rock slump B Rock collapse	C Block slide Wedge slide	D Structurally defined compound slide	E Block slide with toe beakout	F Compound slide	G Flexural topple	H Block topple
Typical behaviour in weak rock	Slow, rotational movement (Plateau d'Assy)	Catastrophic (Mt. Granier)	–	Slow (Downie Slide)	Slow (Liard Plateau)	Slow (La Clapière)	–
Typical behaviour in strong rock	Catastrophic collapse, steep slopes, (Elm)	Catastrophic, limited pre-failure deformation (Goldau)	Catastrophic, large pre-failure deformation (Vaiont)	Catastrophic, (Madison)	–	–	Catastrophic (Mystery Creek)

La Clapiere



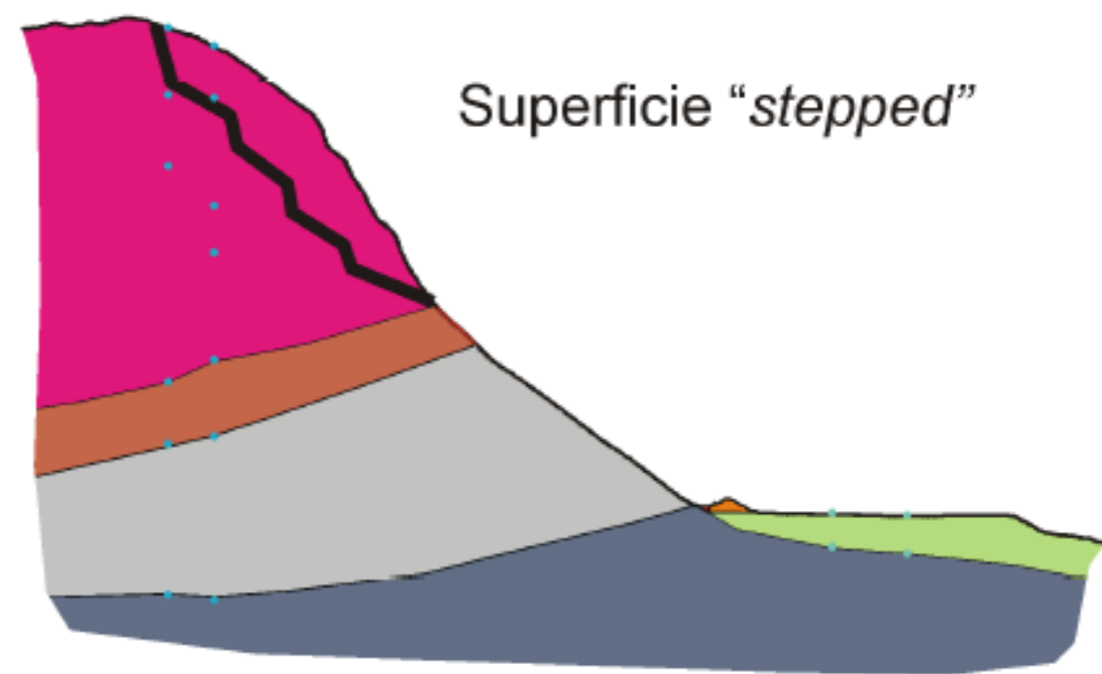
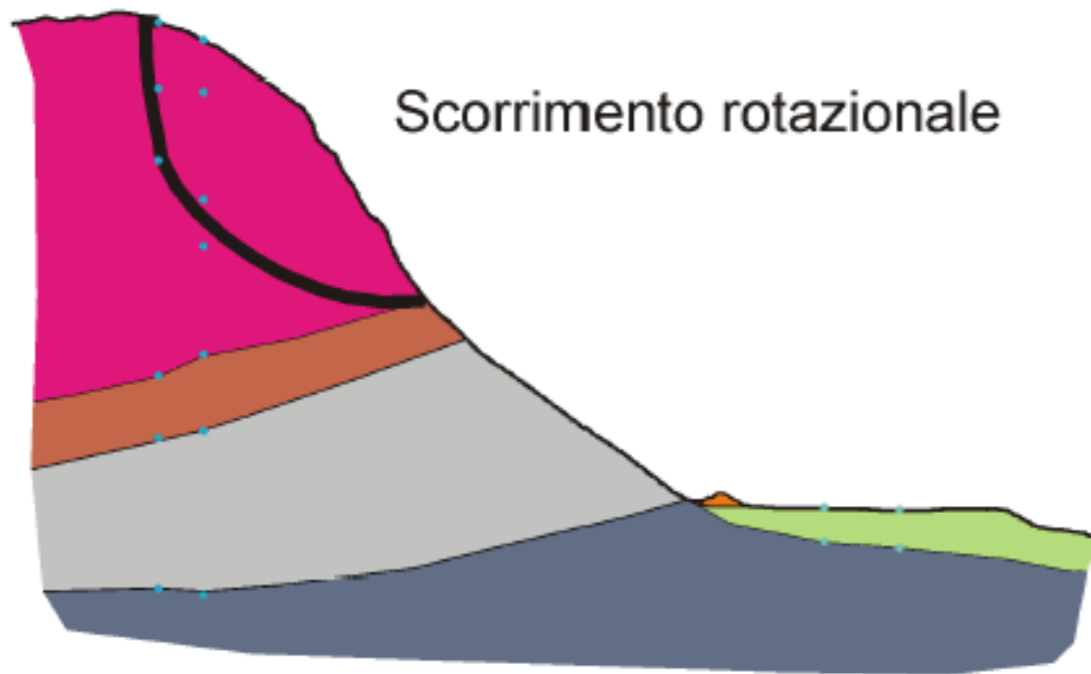
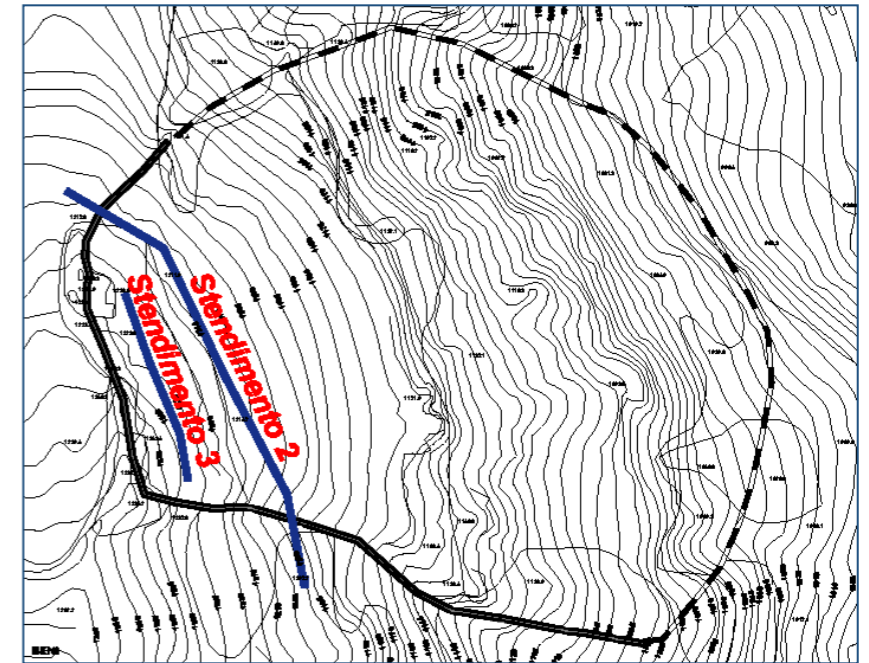
Mystery Creek



Meccanismo di rottura

Sismica a riflessione

Ubicazione
stendimenti



Basalti/Brecce
basaltiche



Brecce
tettonizzate



Calcari a
Calpionelle



Argille a
Palombini



Materiale di
riporto

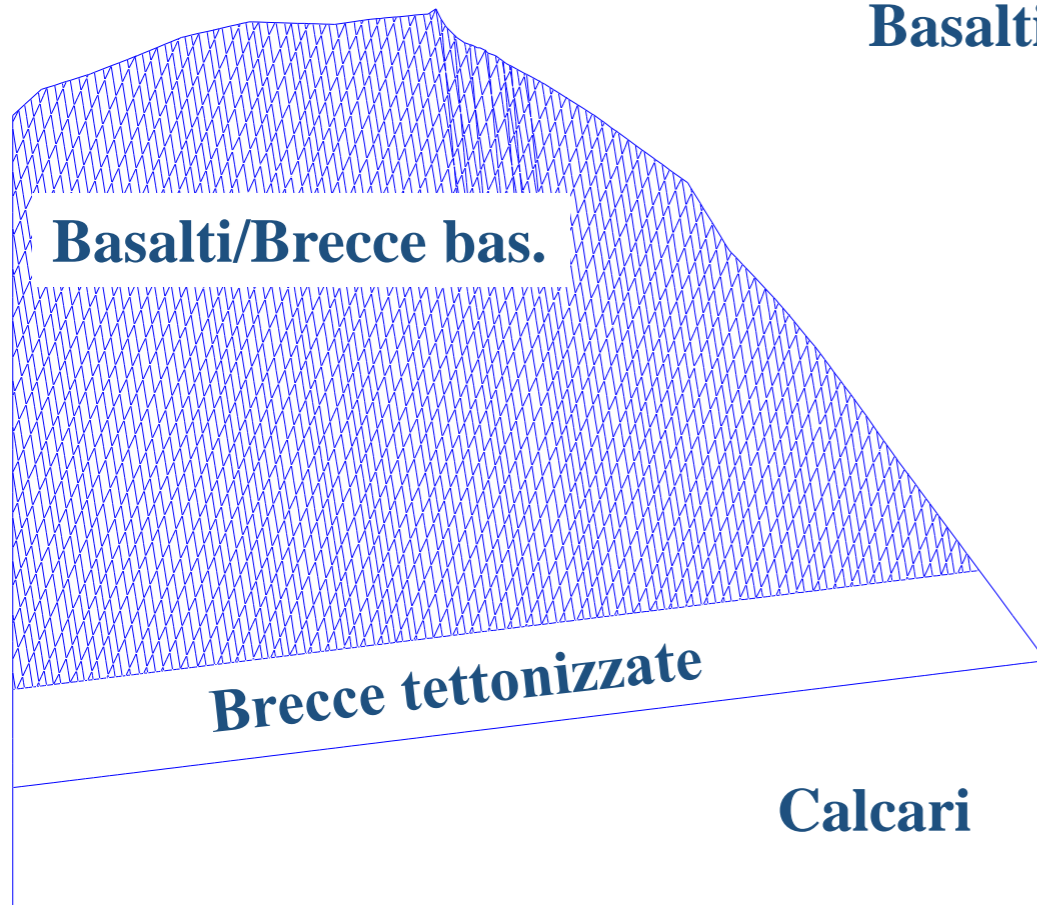


Barriera
paramassi

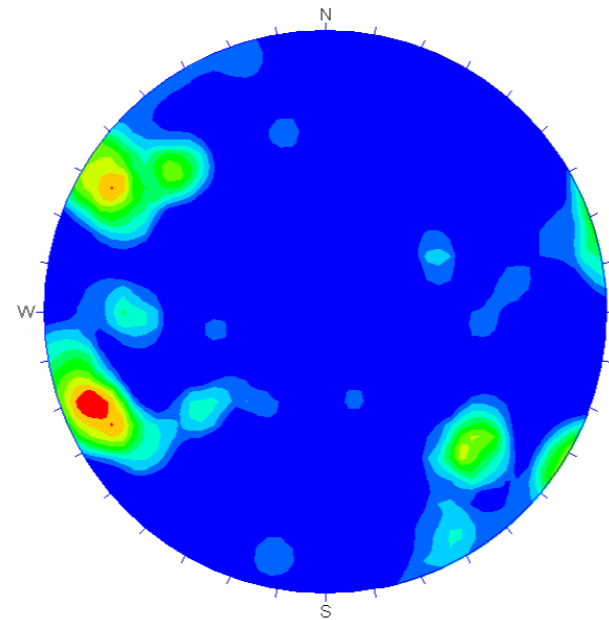


Analisi numerica agli elementi distinti

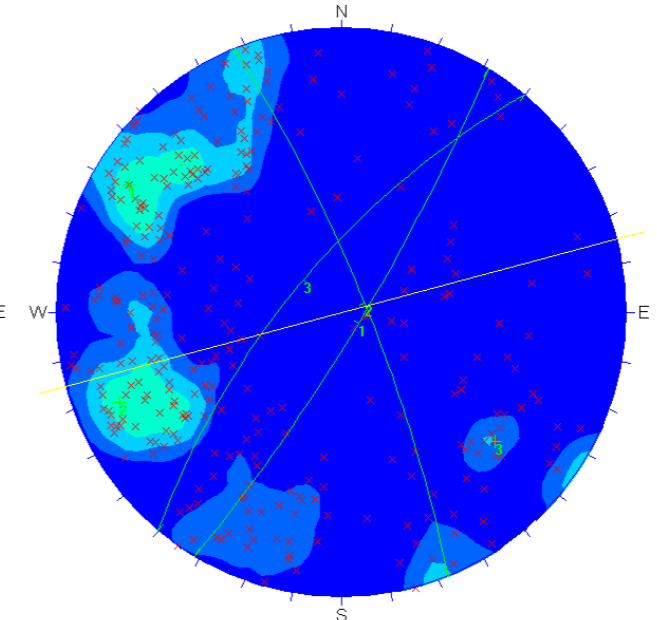
(UDEEC - Ver. 3.1, ITASCA, 2000)



Basalti



Totale

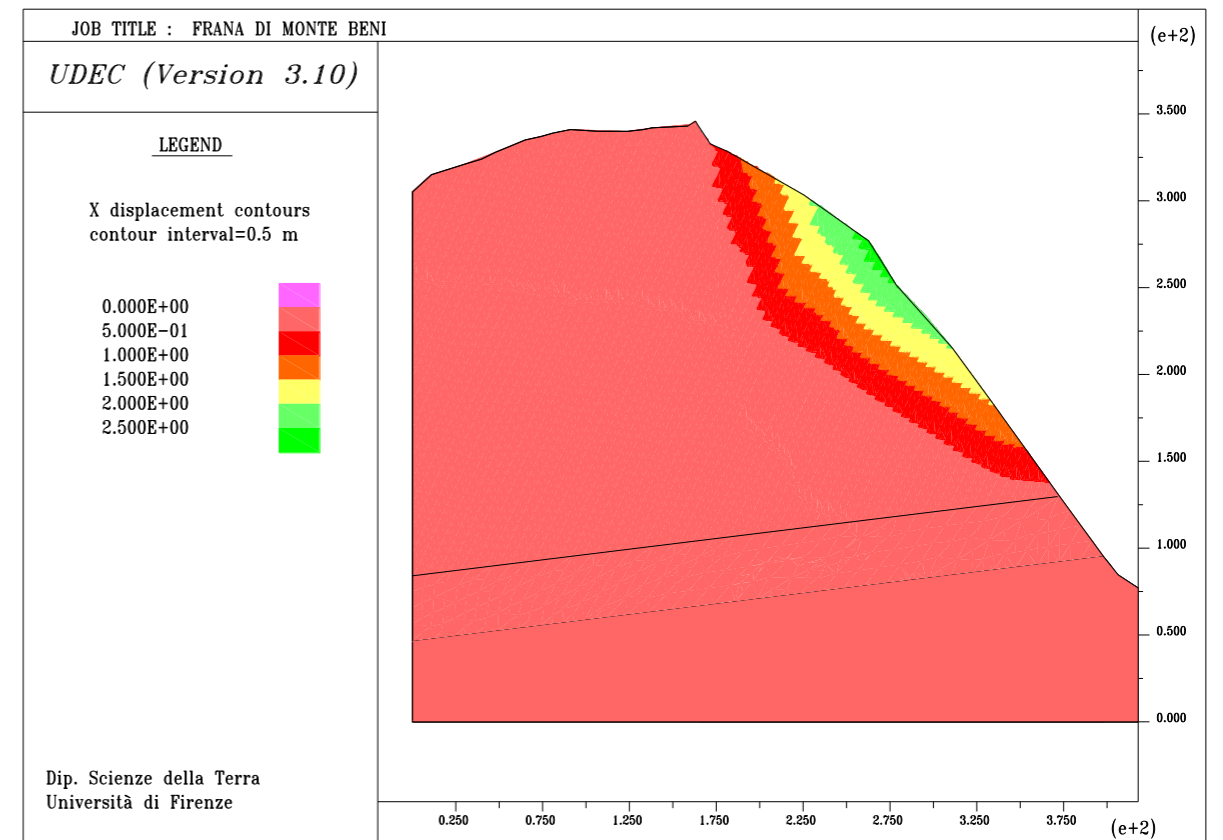
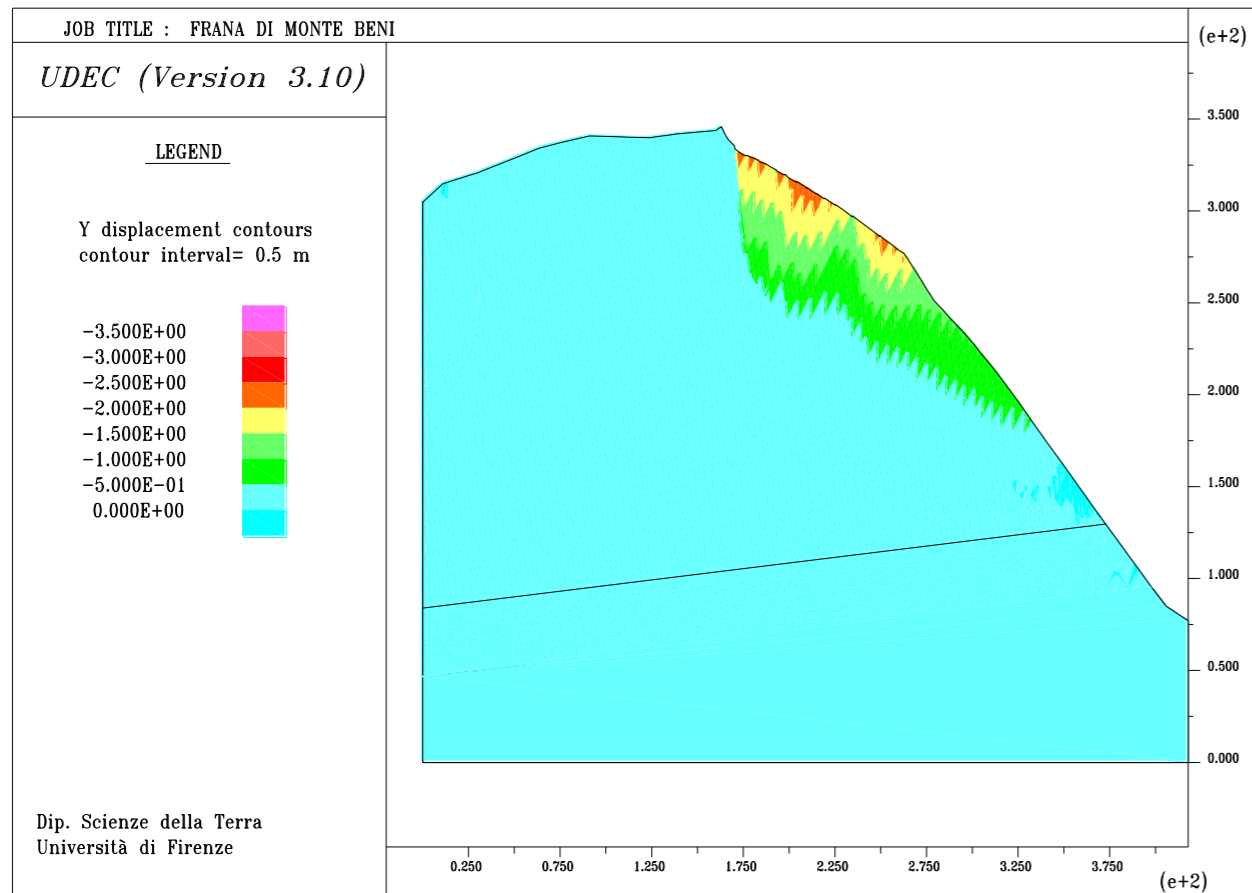
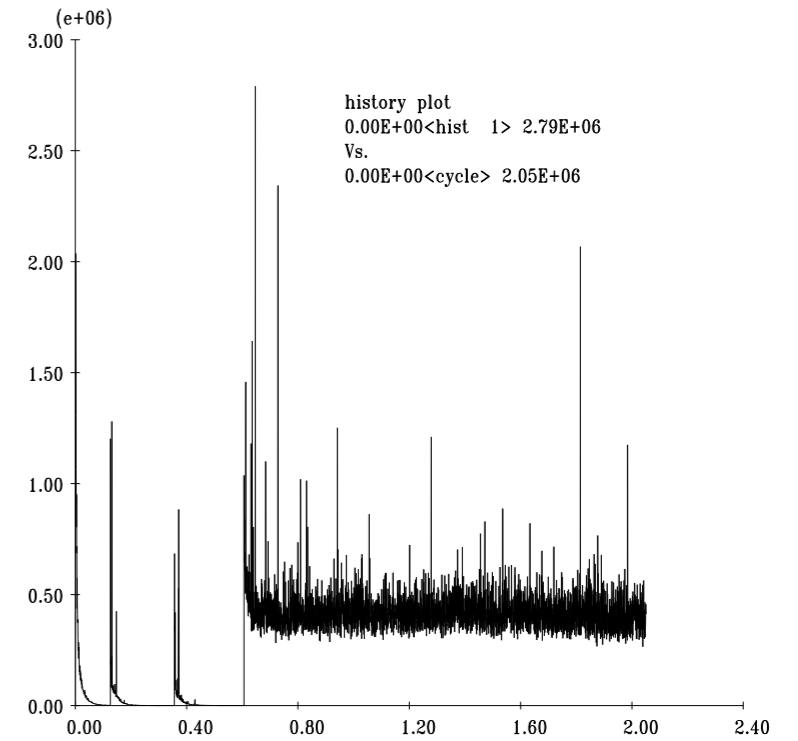
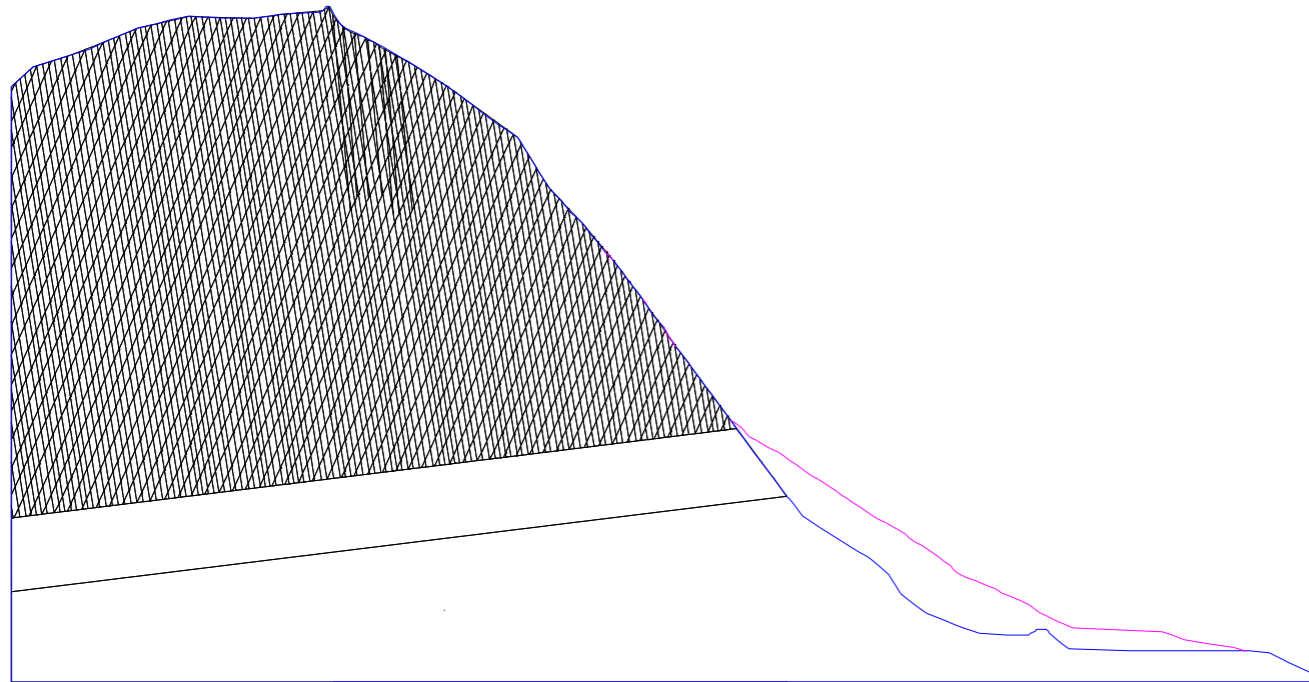


Parametri ammasso	c (MPa)	ϕ ($^{\circ}$)	σ_t (kPa)	K (GPa)	G (GPa)
Diabasi Brecce bas.	1.82	44.5	160	8.3	4.98
Breccie tett.	0.69	36.9	100	1.0	0.6

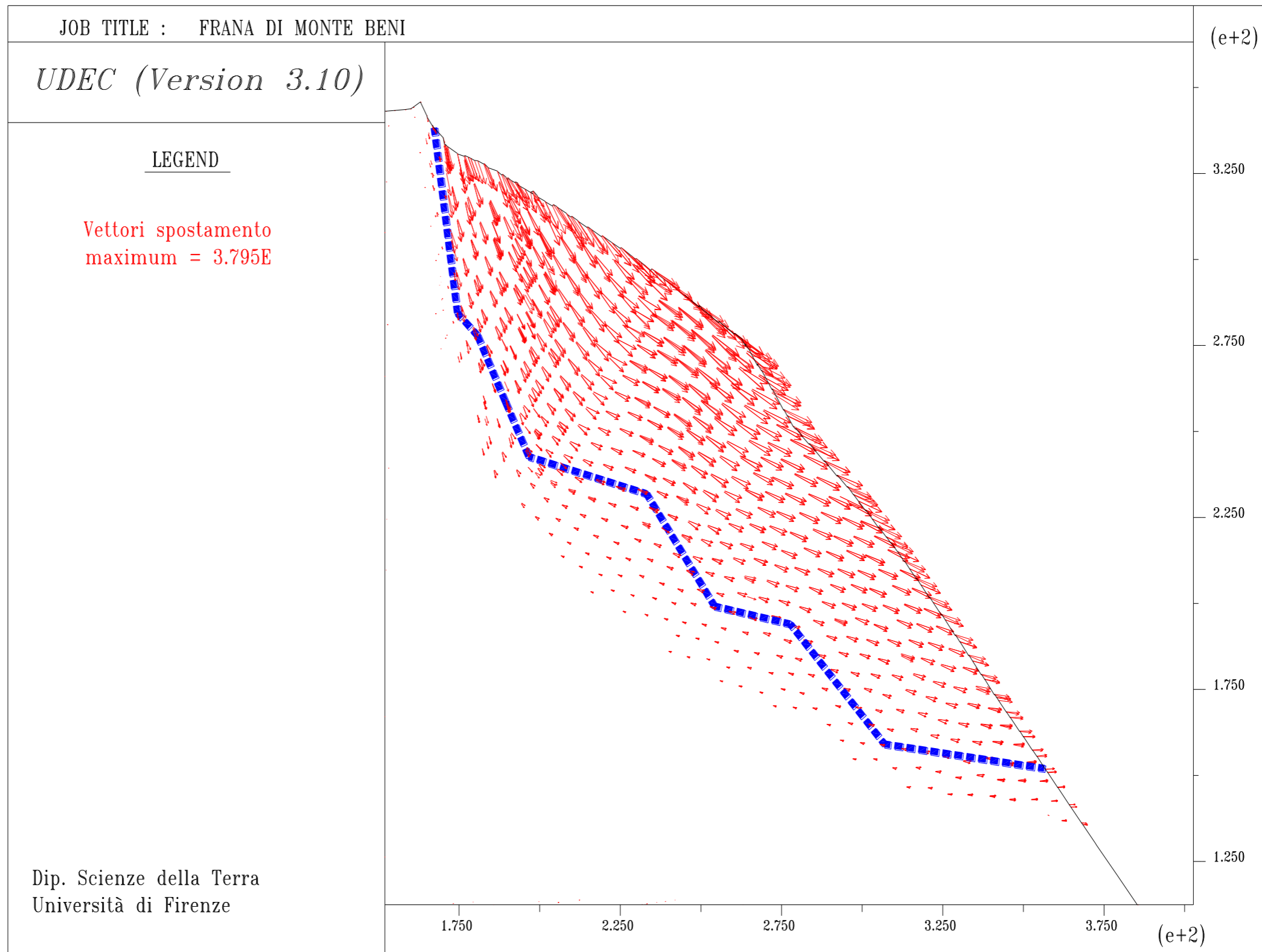
Parametri
discontinuità:

c (MPa)	ϕ ($^{\circ}$)	σ_t (kPa)	c_r (kPa)	ϕ_r ($^{\circ}$)	ψ ($^{\circ}$)	K_n (GPa/m)	K_s (GPa/m)
0.25	40.5	0	0	22	3.6	28.9	2.1

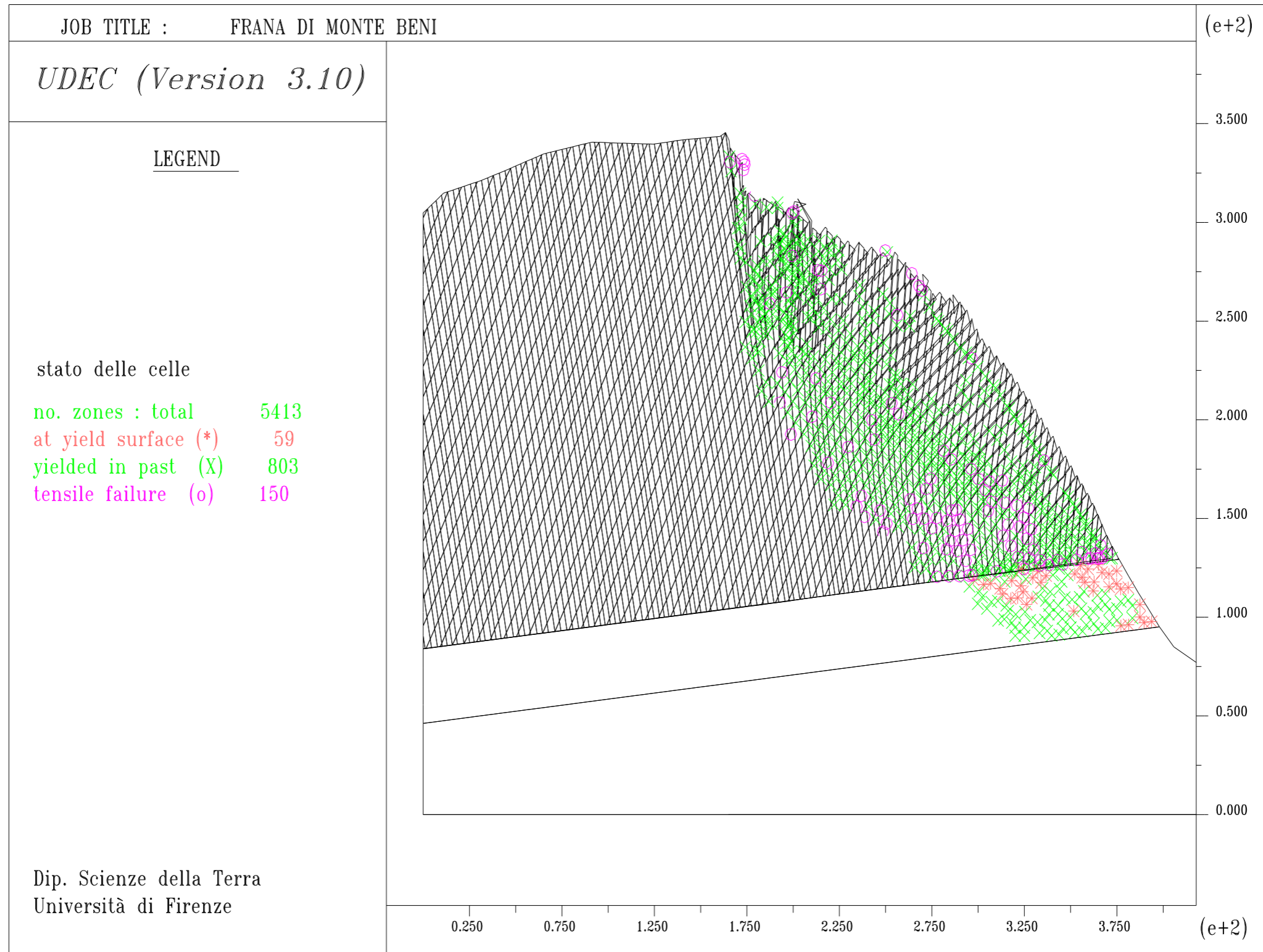
Modellazione numerica



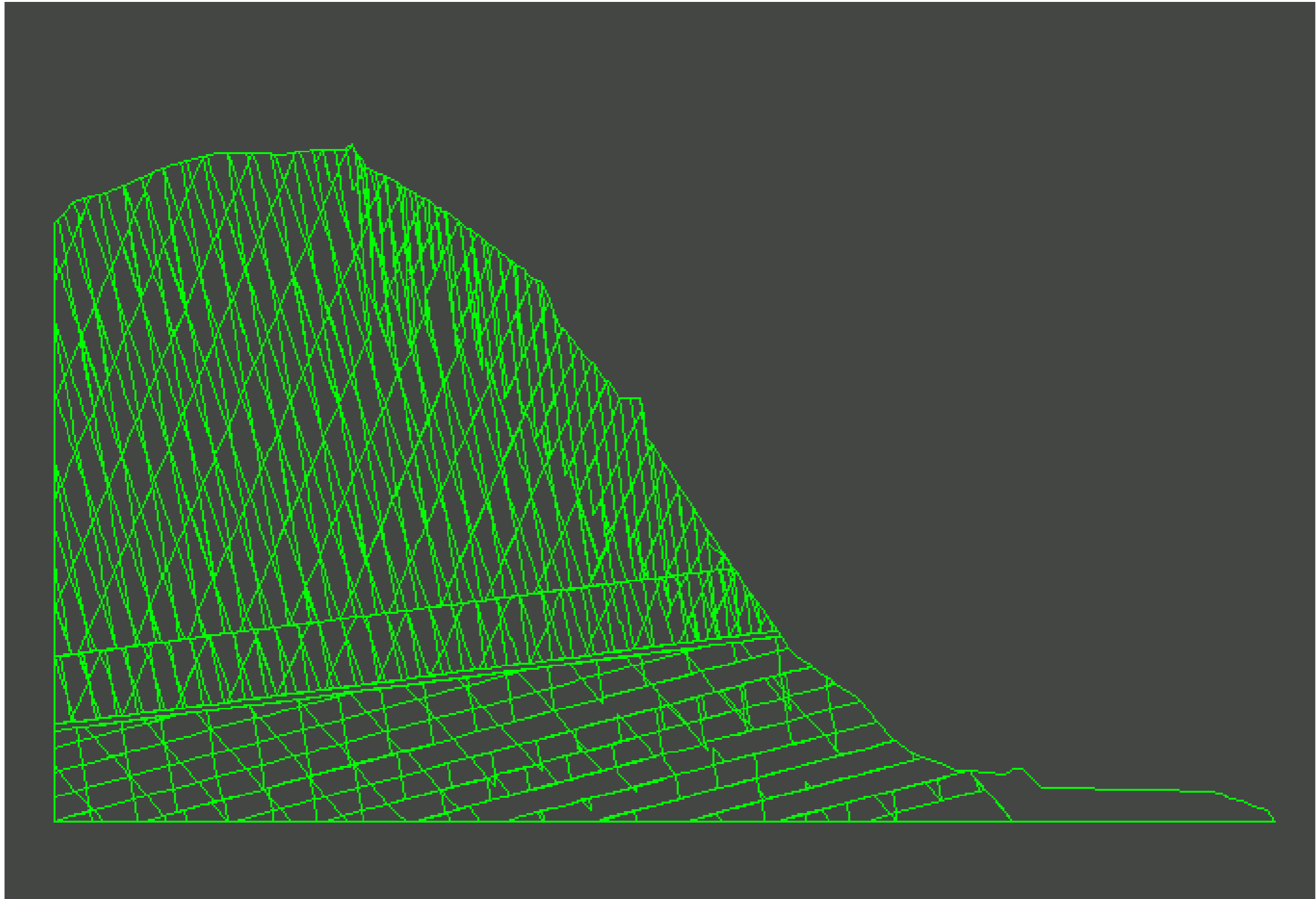
Modellazione numerica



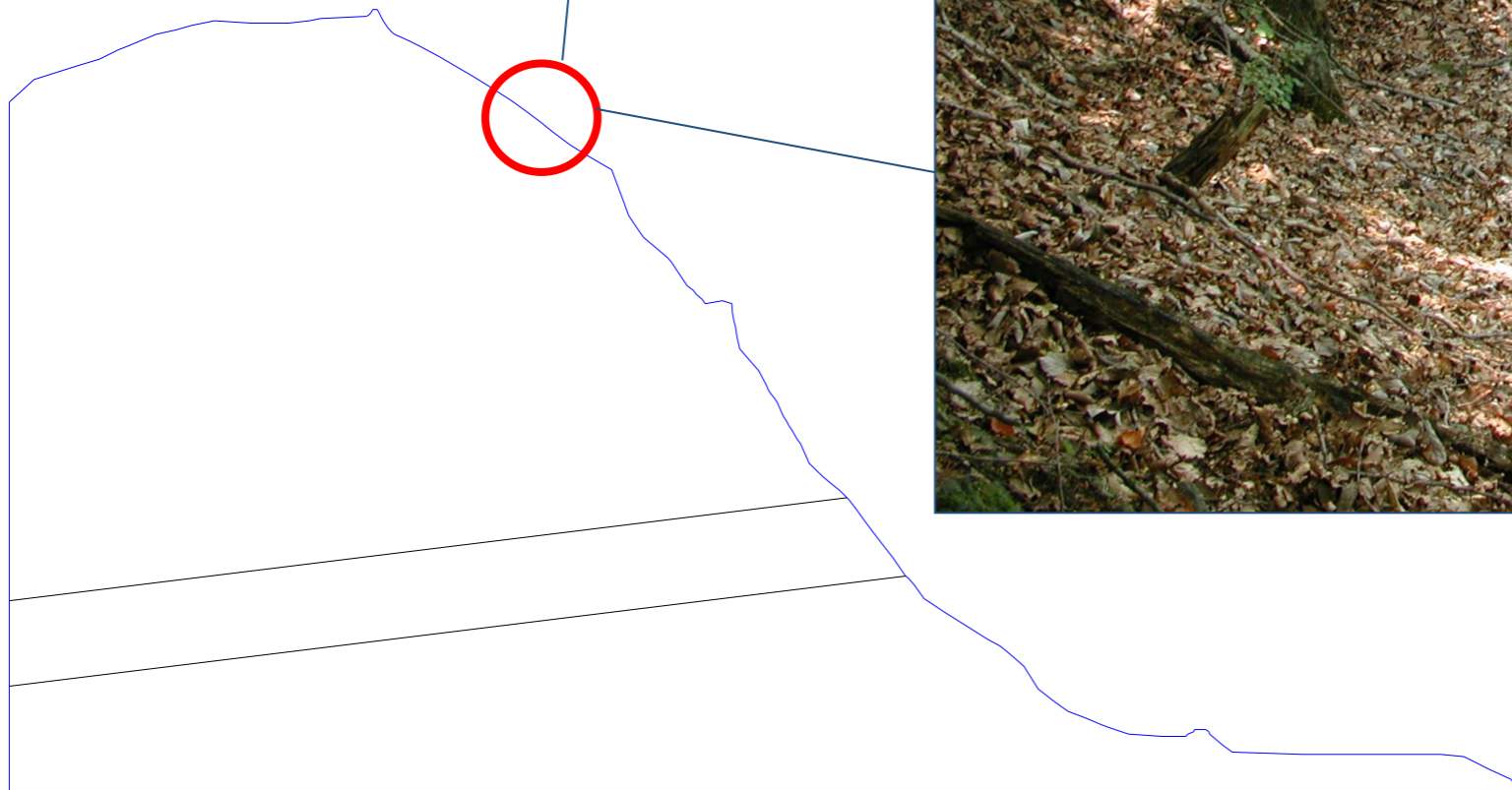
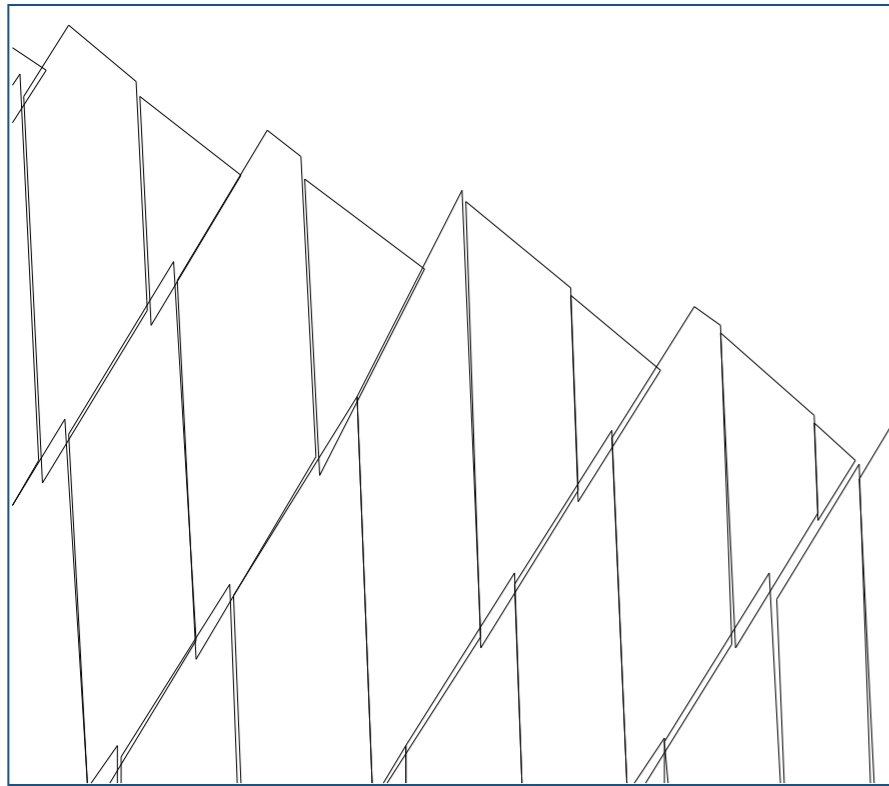
Modellazione numerica



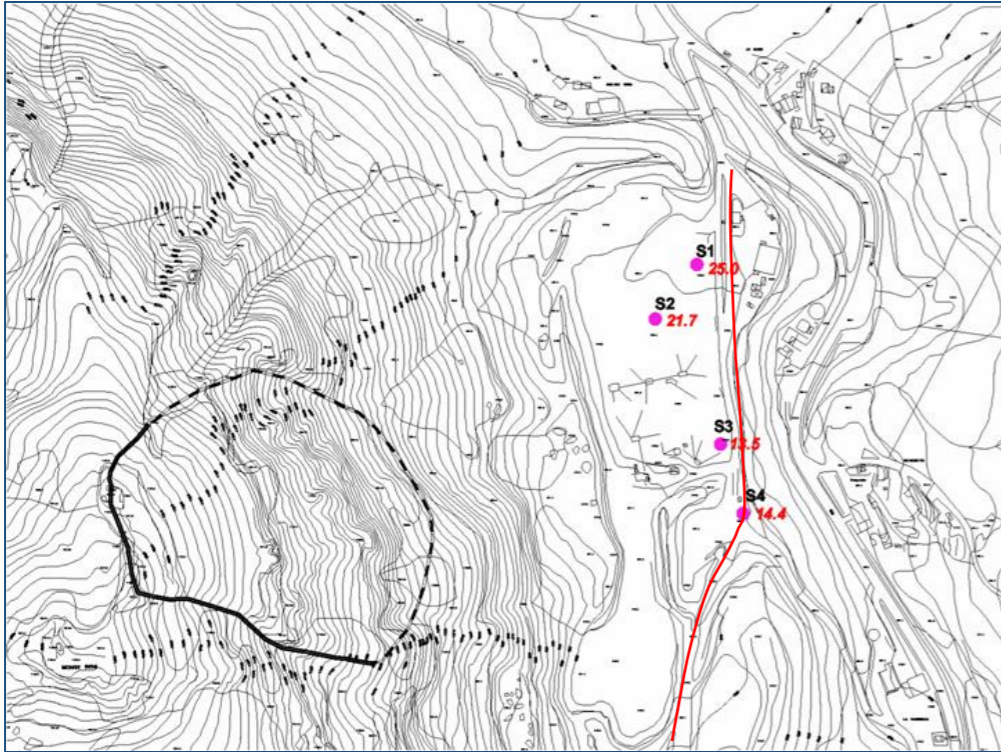
Simulazione collasso



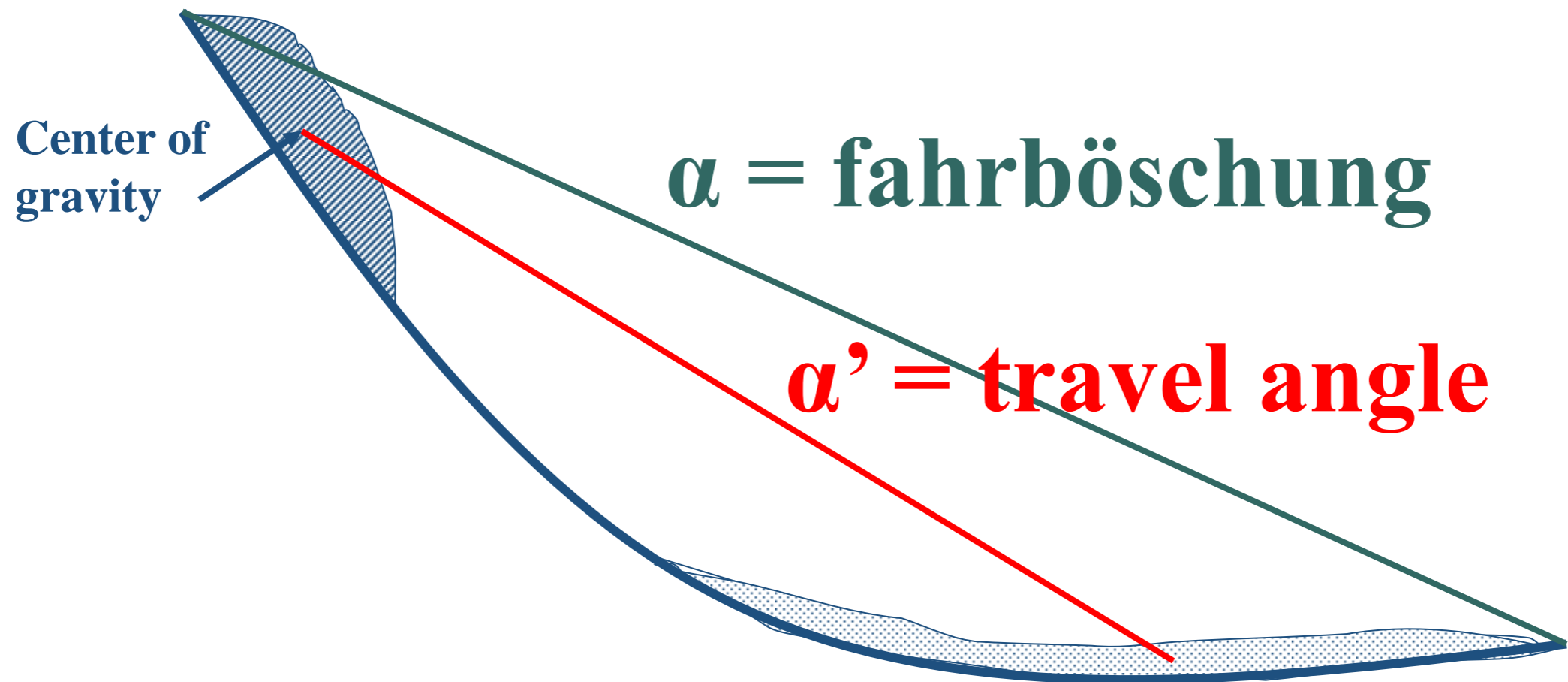
Confronto fra modello e situazione reale



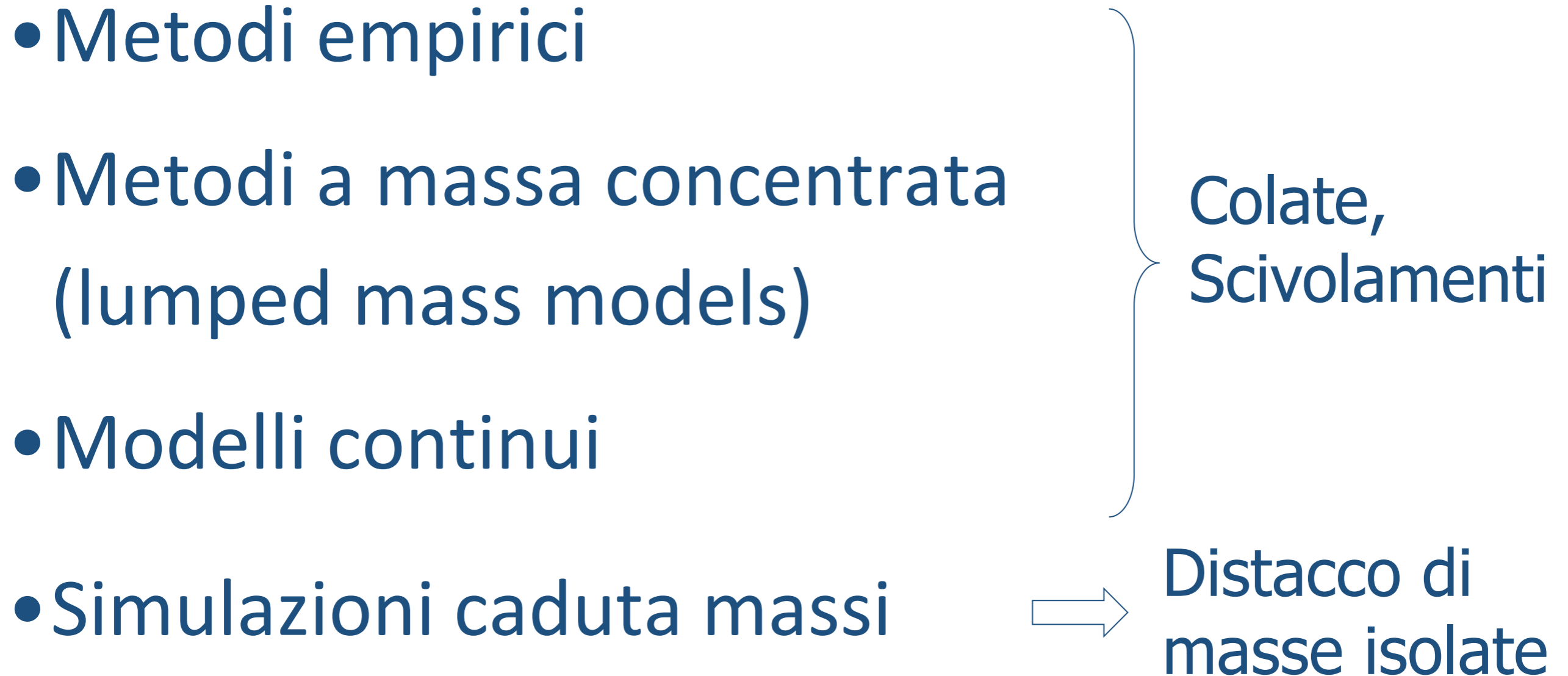
Caratterizzazione piazzale di cava



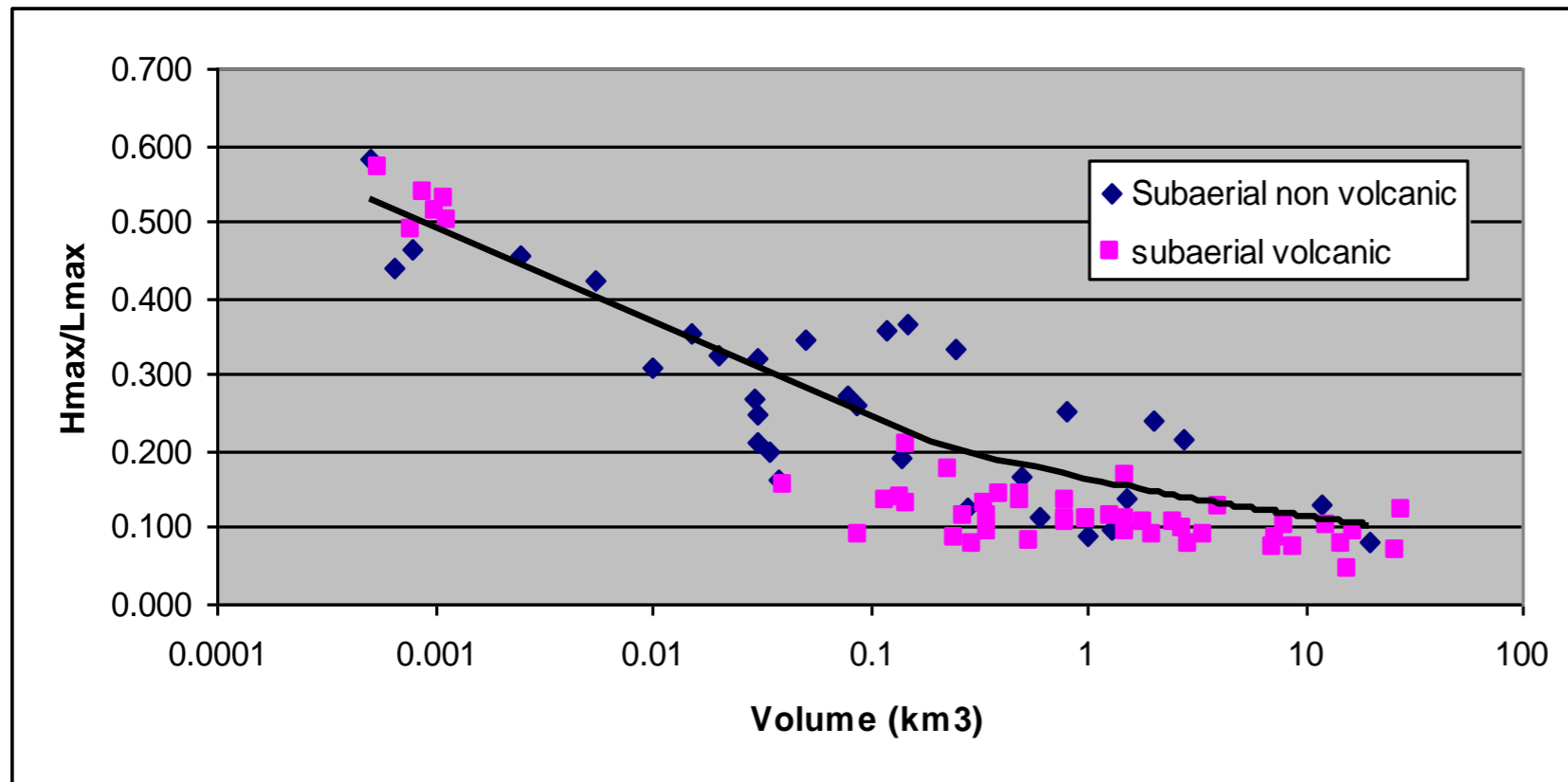
Valutazione runout



Principali metodi usati

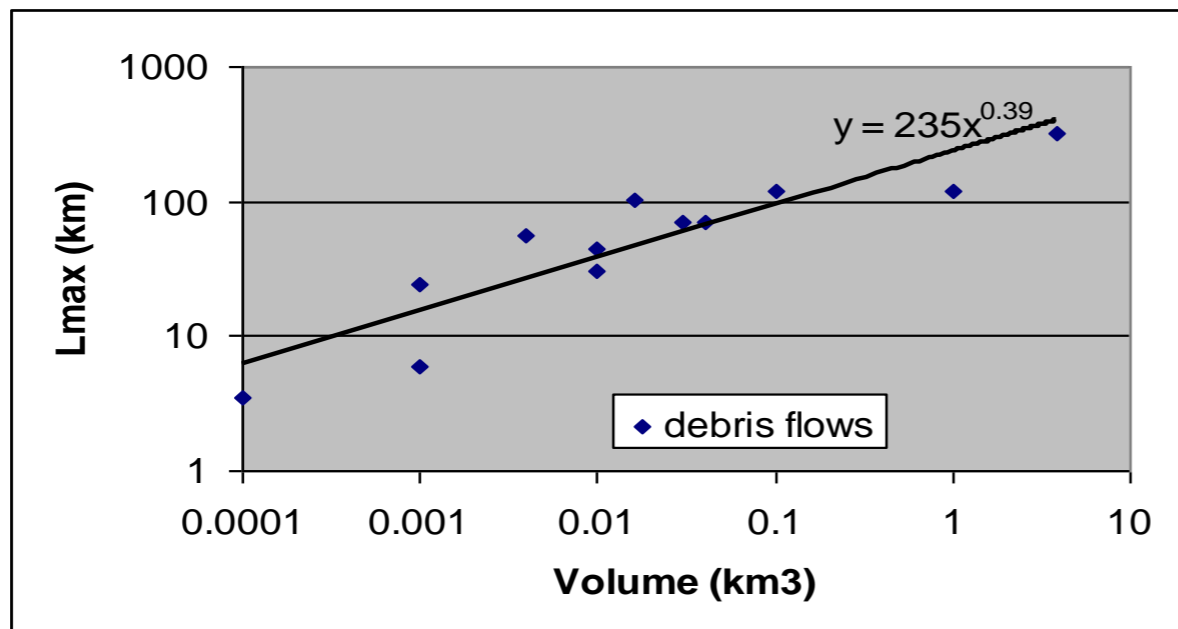
- Metodi empirici
 - Metodi a massa concentrata
(lumped mass models)
 - Modelli continui
 - Simulazioni caduta massi
- Colate,
Scivolamenti
- ⇒ Distacco di
masse isolate
- 

Relazioni empiriche (Legros, 2001)



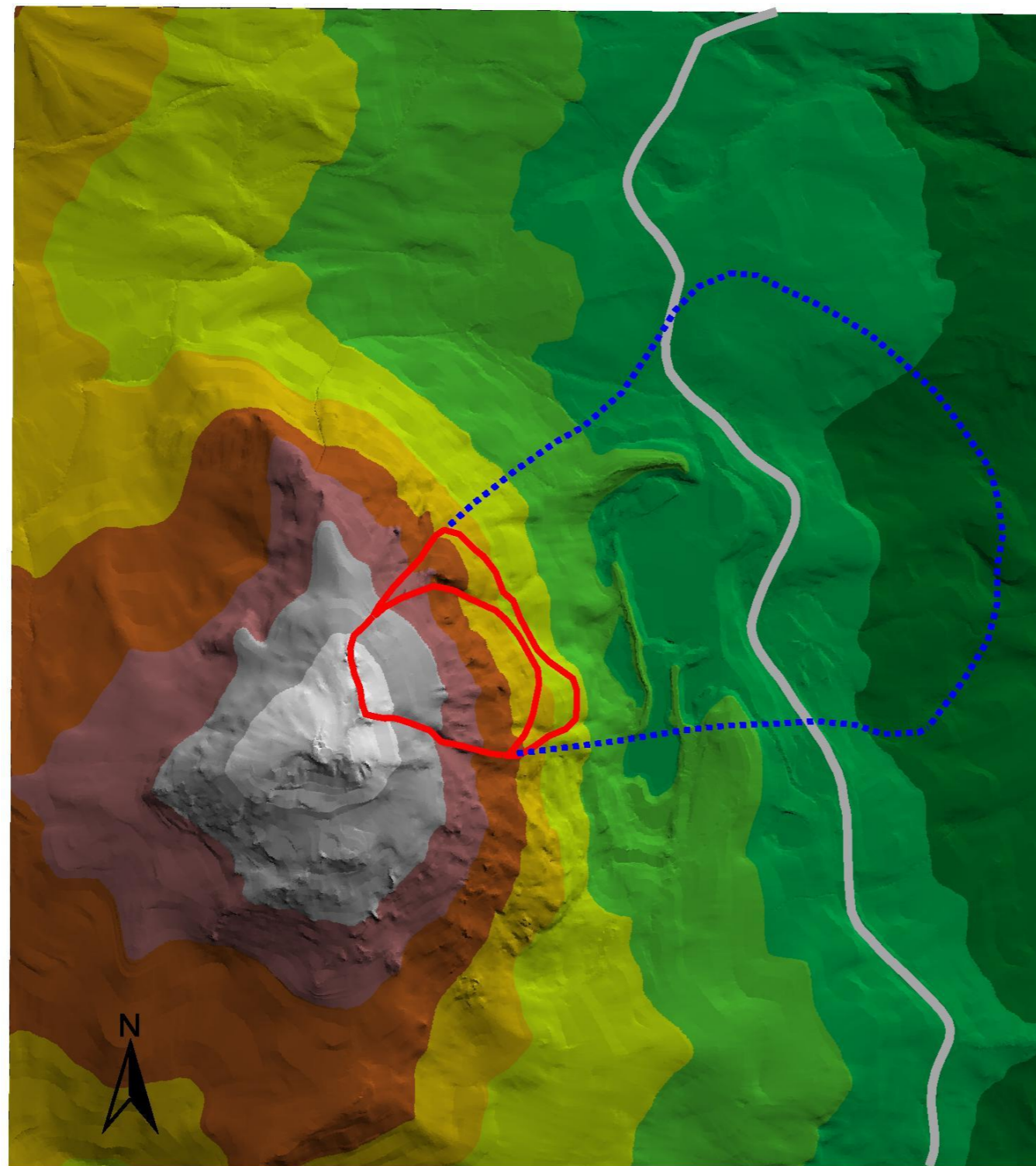
Non volcanic:
 $H_{max}/L_{max} = 0.16 V^{-0.15}$

Volcanic:
 $H_{max}/L_{max} = 0.11 V^{-0.19}$



Debris flows:
 $L_{max} = 235 V^{0.39}$

Previsione empirica della distanza di propagazione (massimo scenario credibile)



- Runout
- Strada Regionale 65
- Perimetro presunto

Elevation Range

1215 - 1264
1165 - 1215
1116 - 1165
1067 - 1116
1017 - 1067
968 - 1017
919 - 968
869 - 919
820 - 869

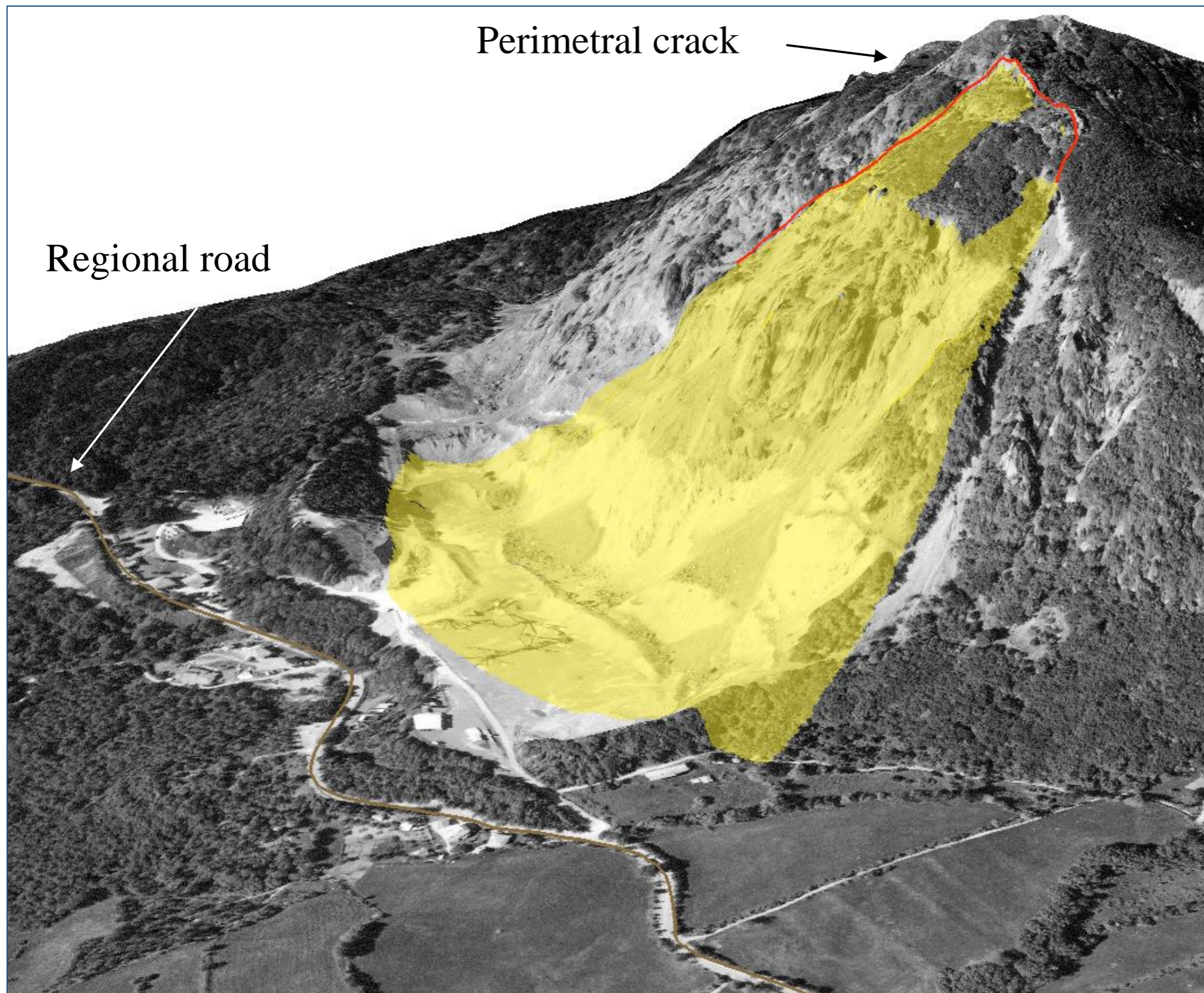
$$H/L = 0.16V^{-0.15}$$

(LEGROS, 2002)

$$V = 1.25E6 \text{ m}^3$$

300 0 300 Meters

Previsione empirica della distanza di propagazione (scenario minore)

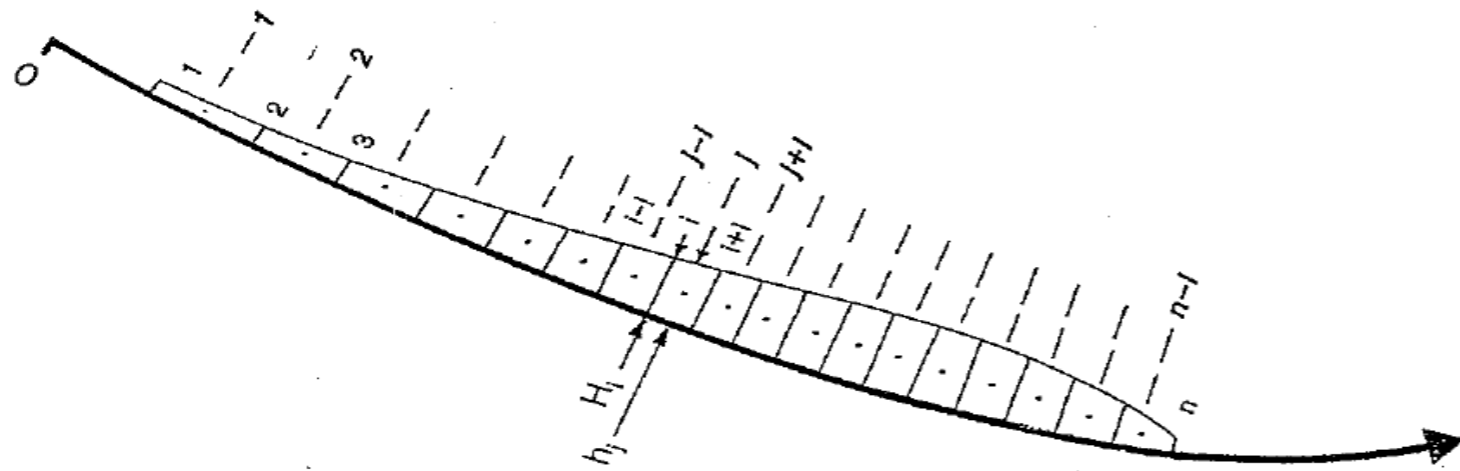


Landslide volume:
500 000 m³

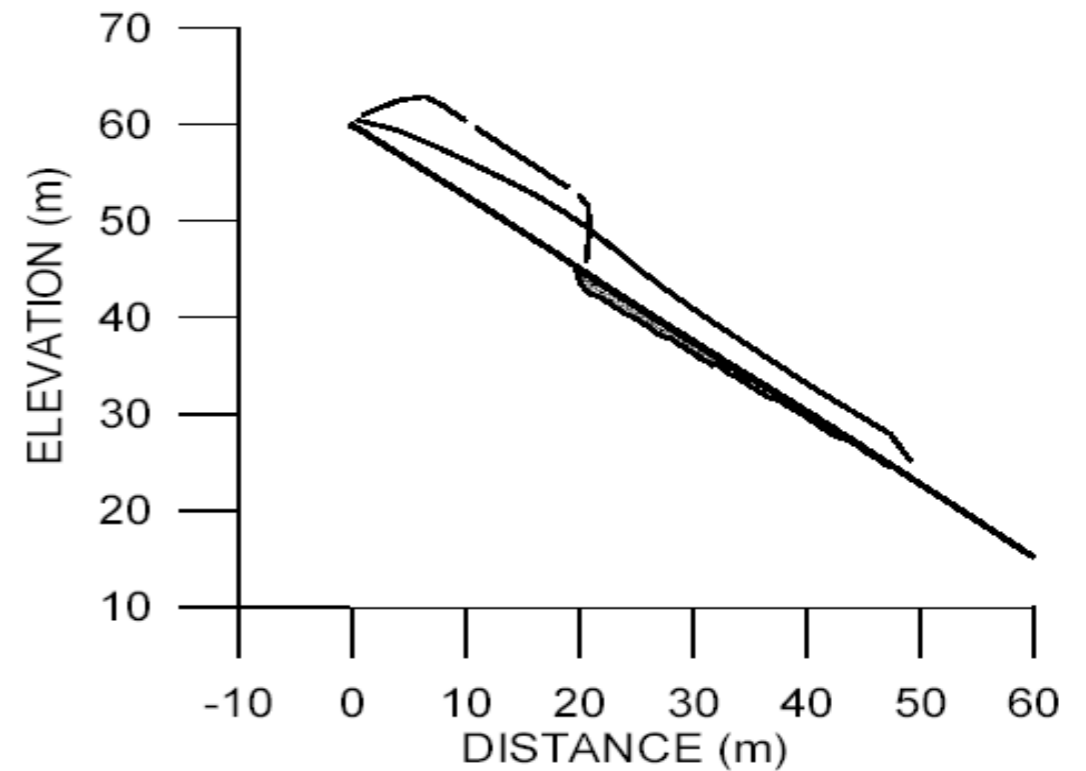
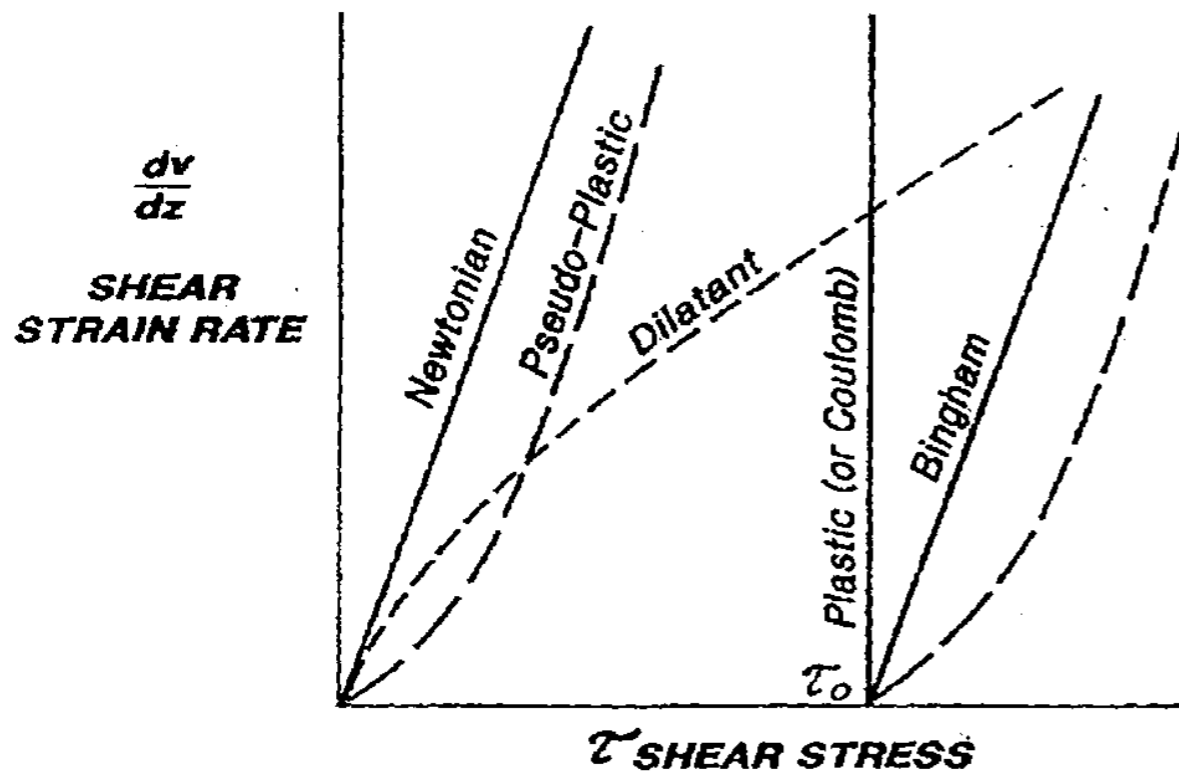
Angle of friction:
34°

Graphical elaboration:
Conefall program
(www.quanterra.org)

Modelli continui

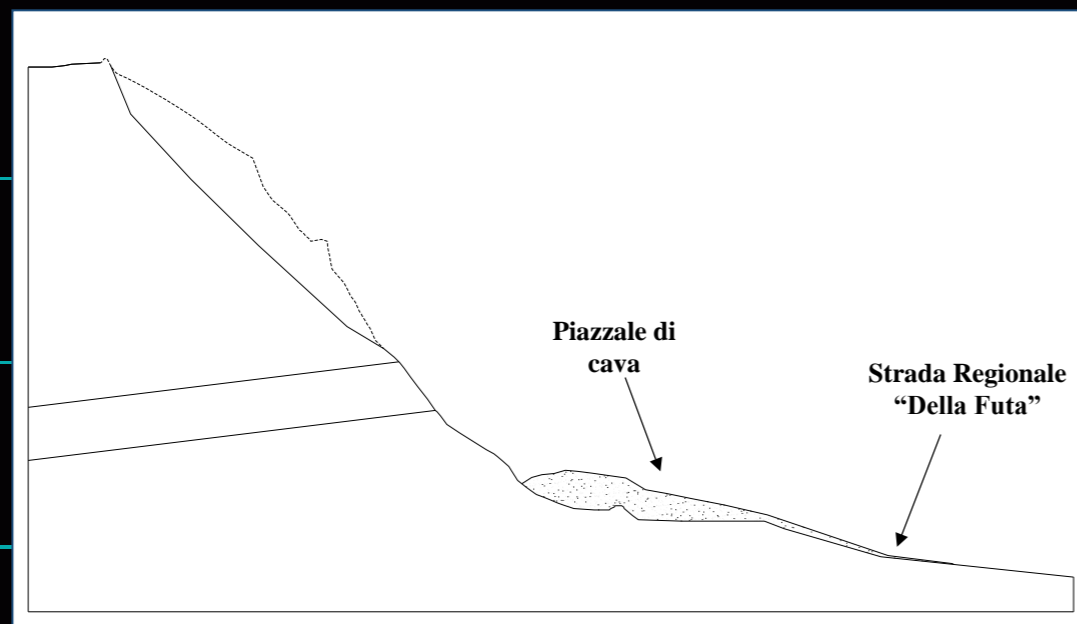
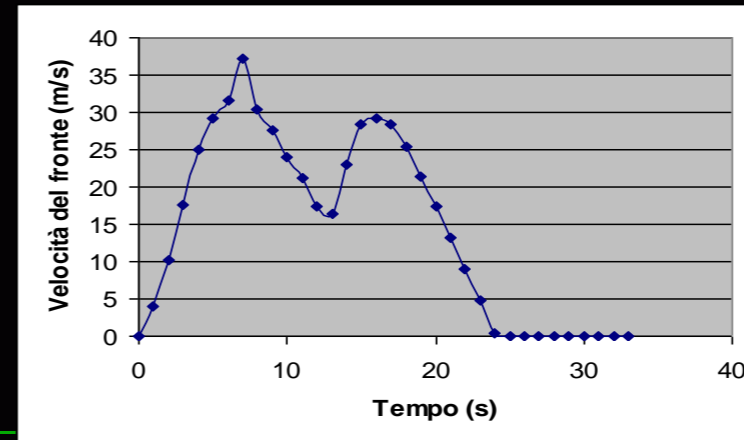
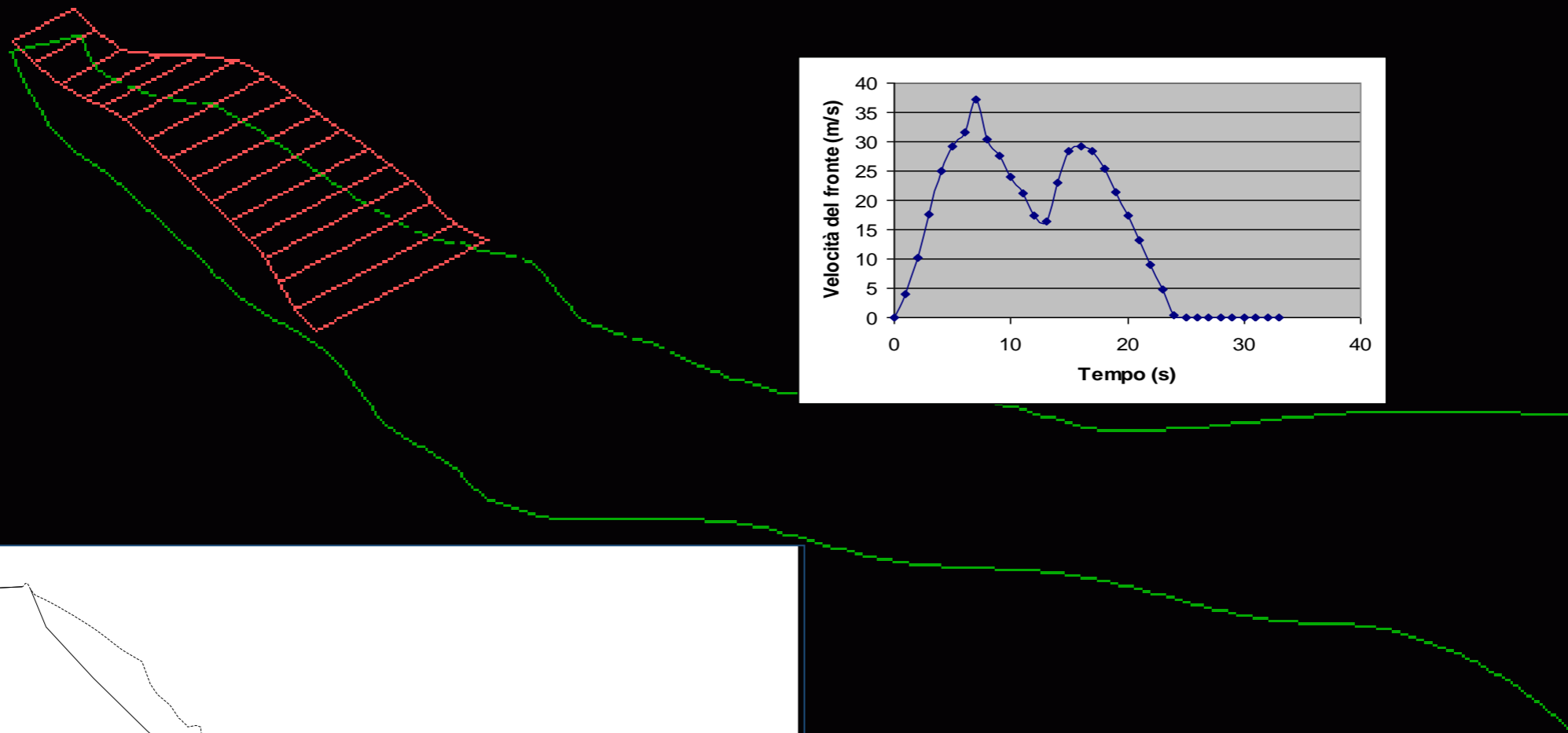


Programma:
DAN (Dynamic analysis)
(Hungry, 1995)



Analisi dinamica per il calcolo della distanza di propagazione (mcs)

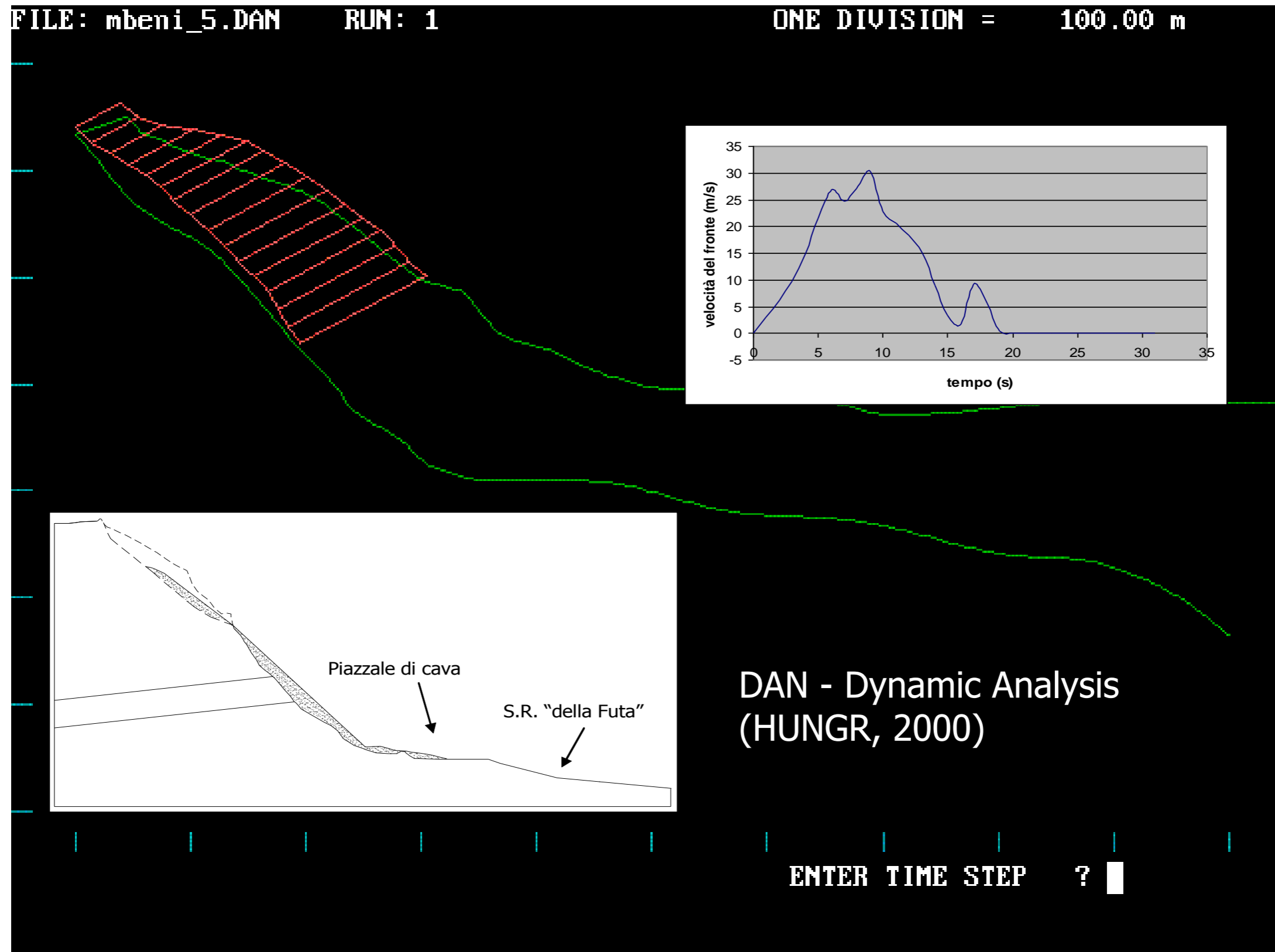
FILE: mbeni.DAN RUN: 1 ONE DIVISION = 100.00 m



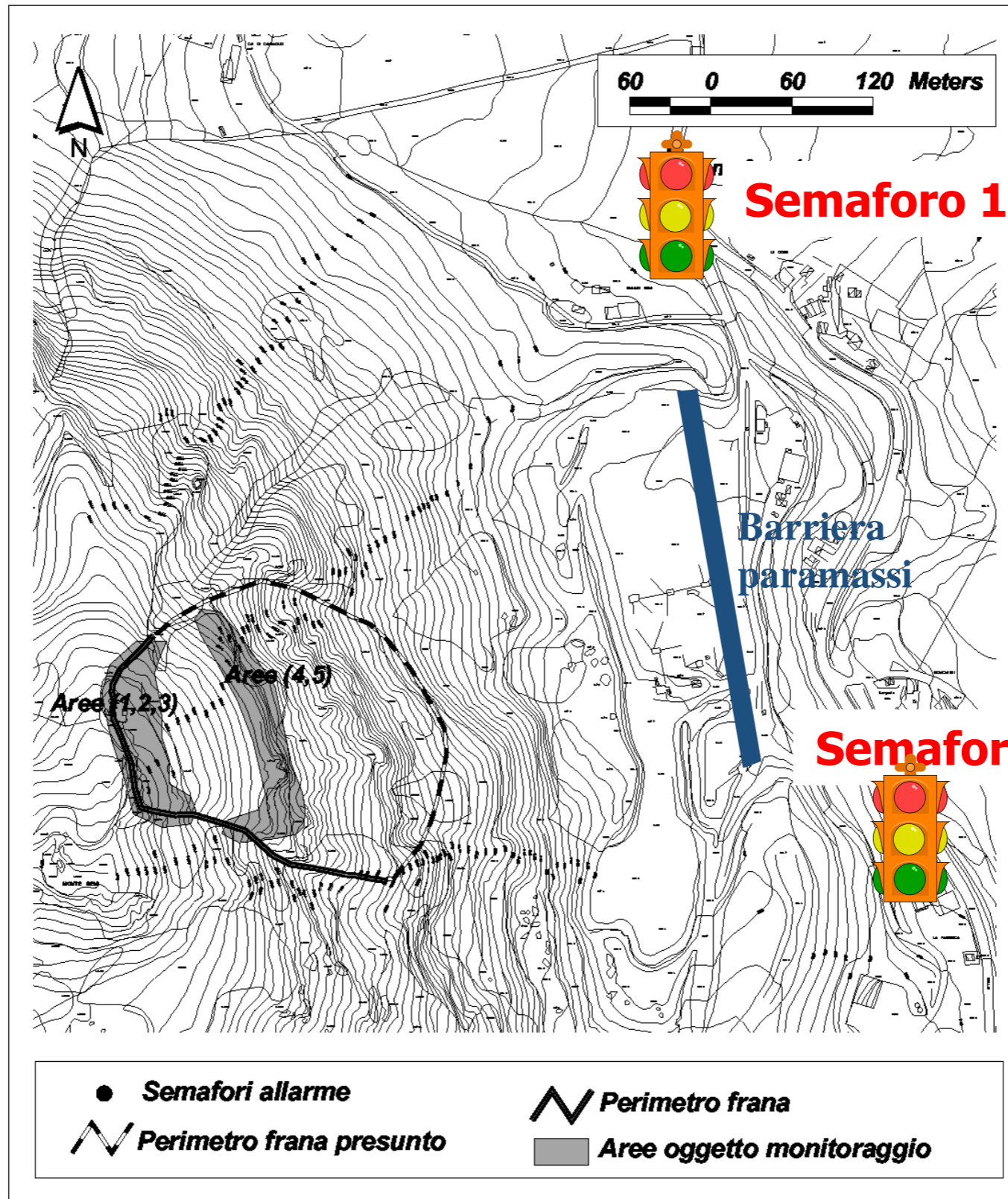
DAN - Dynamic Analysis
(HUNGR, 2000)

ENTER TIME STEP ? 0.005

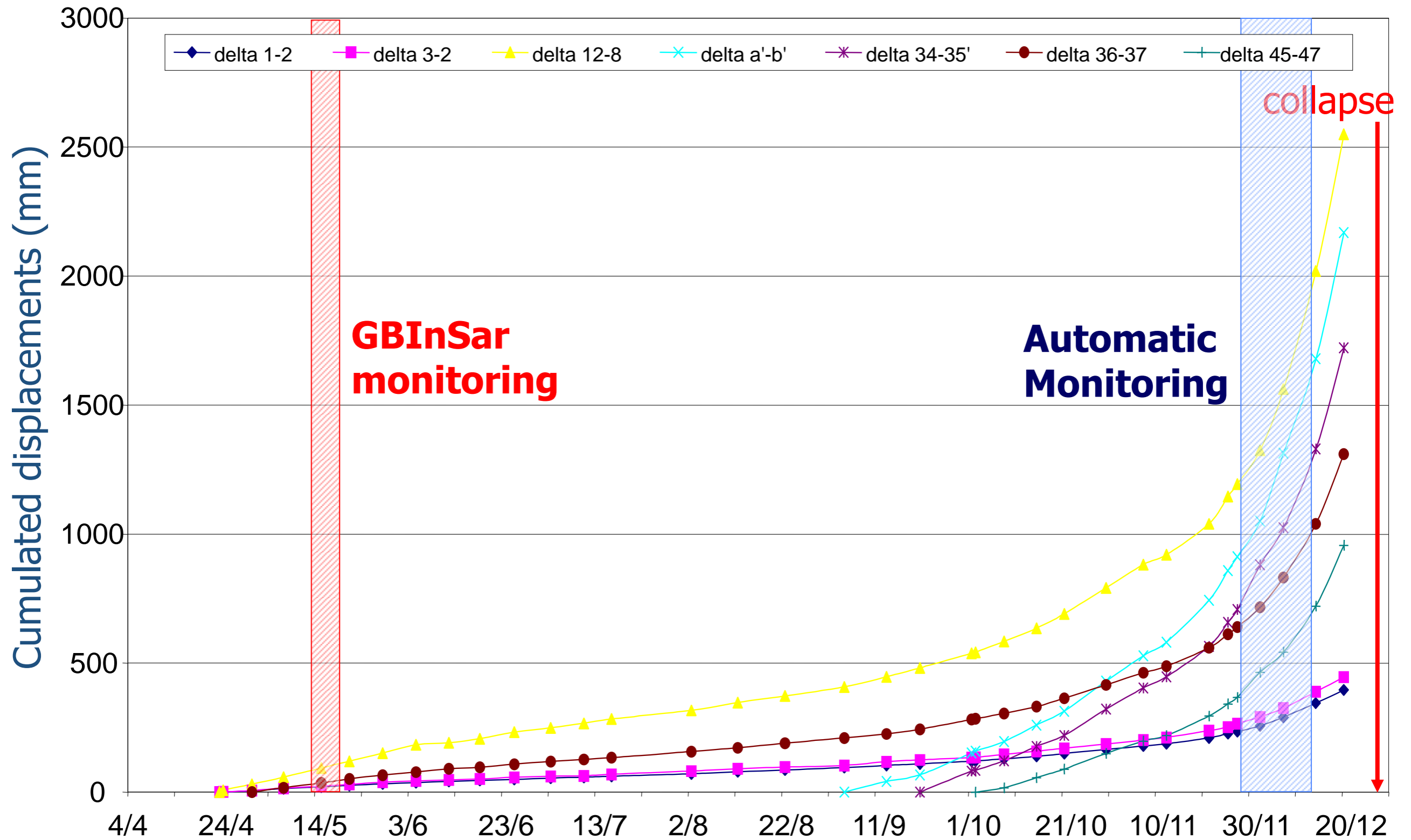
Analisi dinamica per il calcolo della distanza di propagazione (scenario minore)



Strategia adottata



Monitoraggio

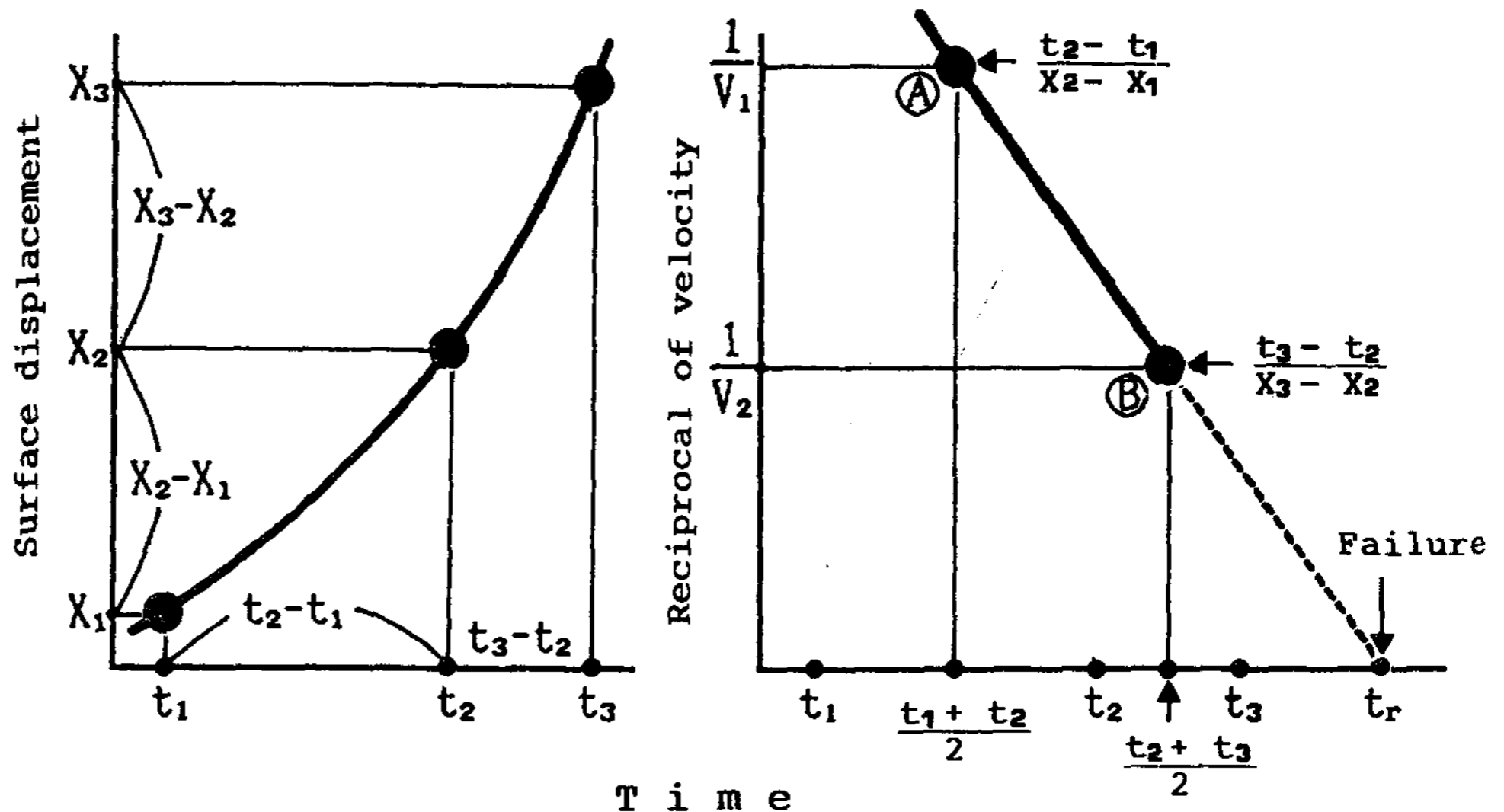


Previsione dell'istante di rottura (Fukuzono, 1985)

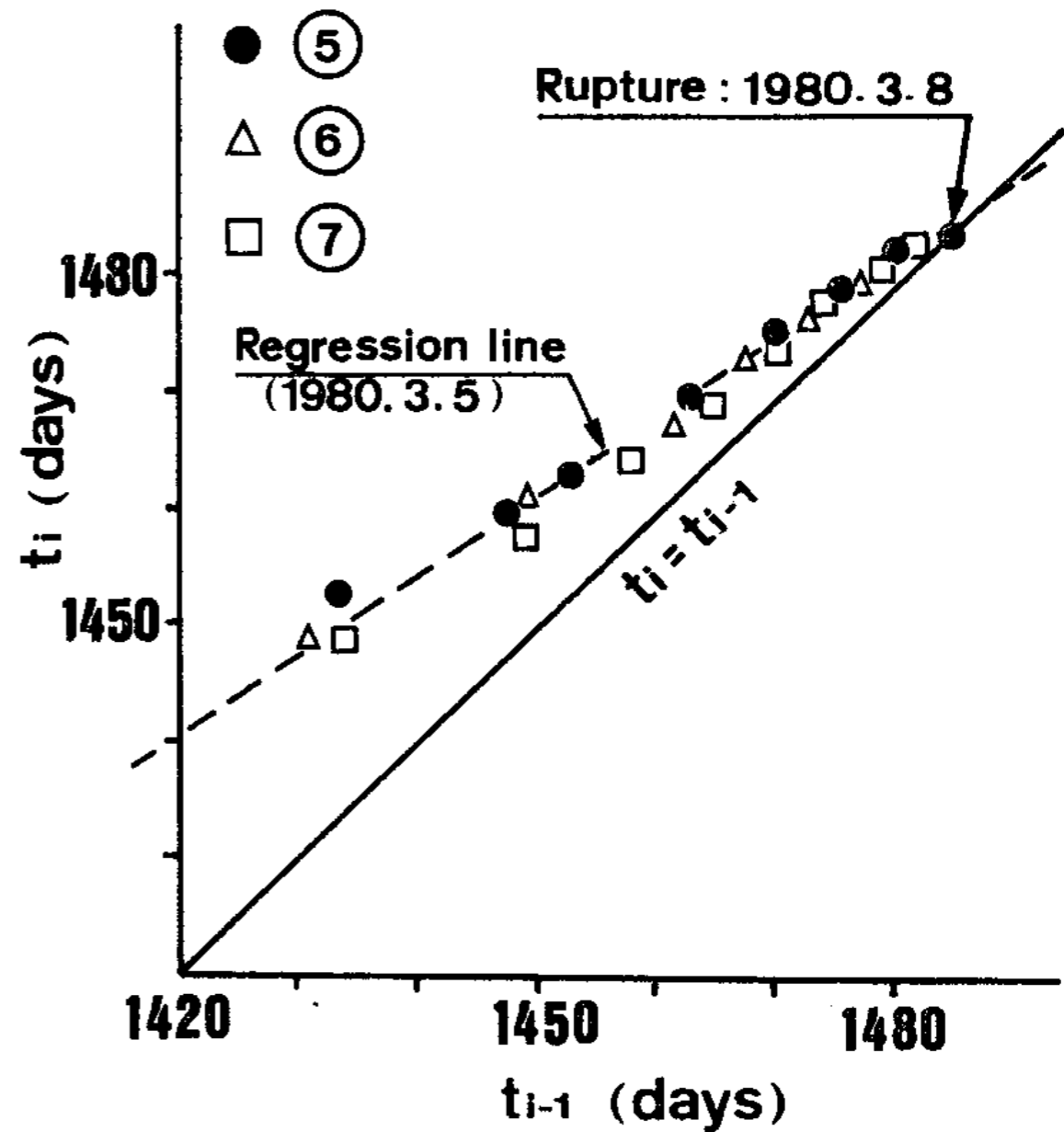
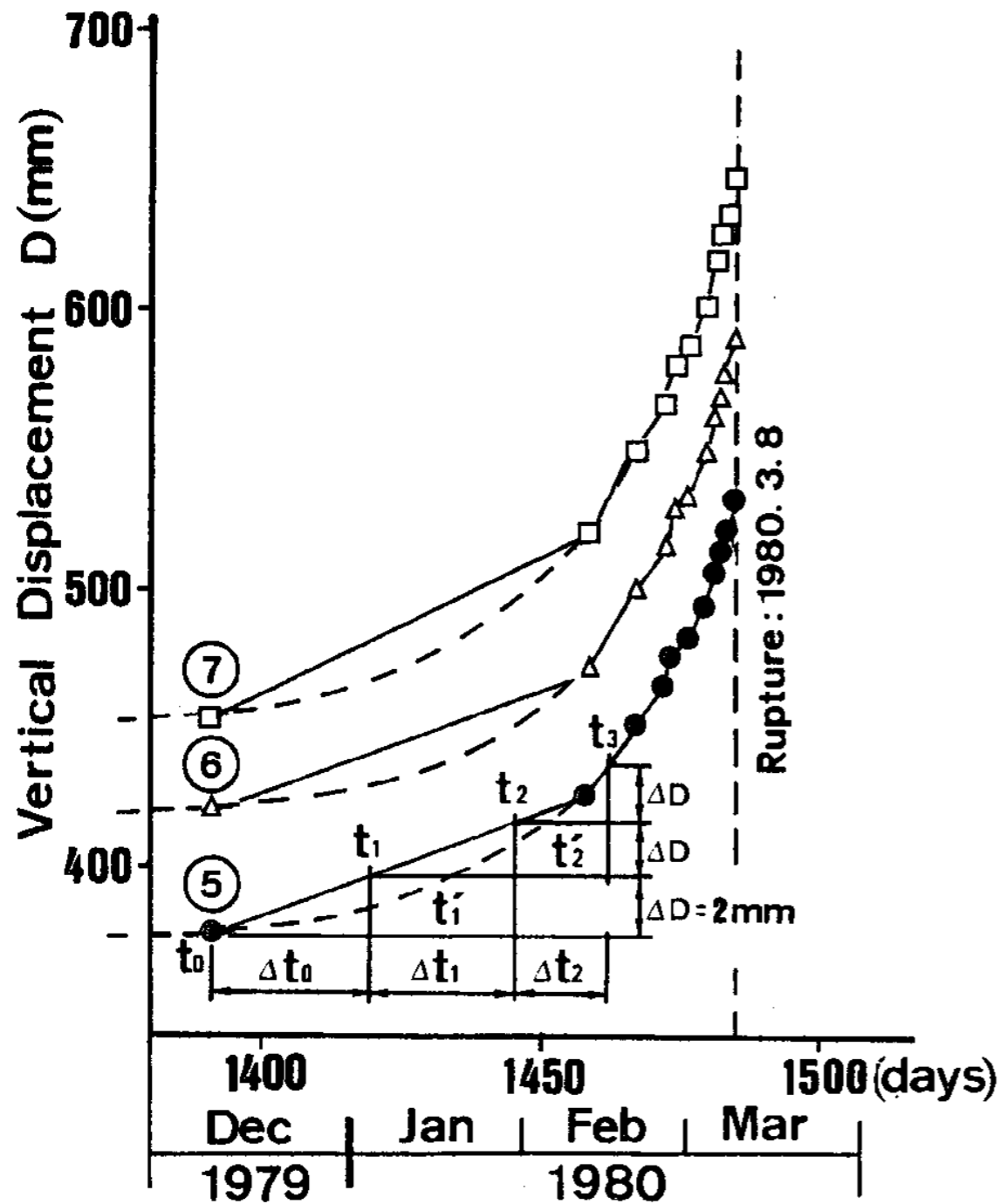
$$\frac{d^2 x}{dt^2} = A \left(\frac{dx}{dt} \right)^\alpha$$

$$v_f = \infty \Rightarrow \frac{1}{v_i} = [A(\alpha - 1)]^{\frac{1}{\alpha-1}} (t_f - t)^{\frac{1}{\alpha-1}}$$

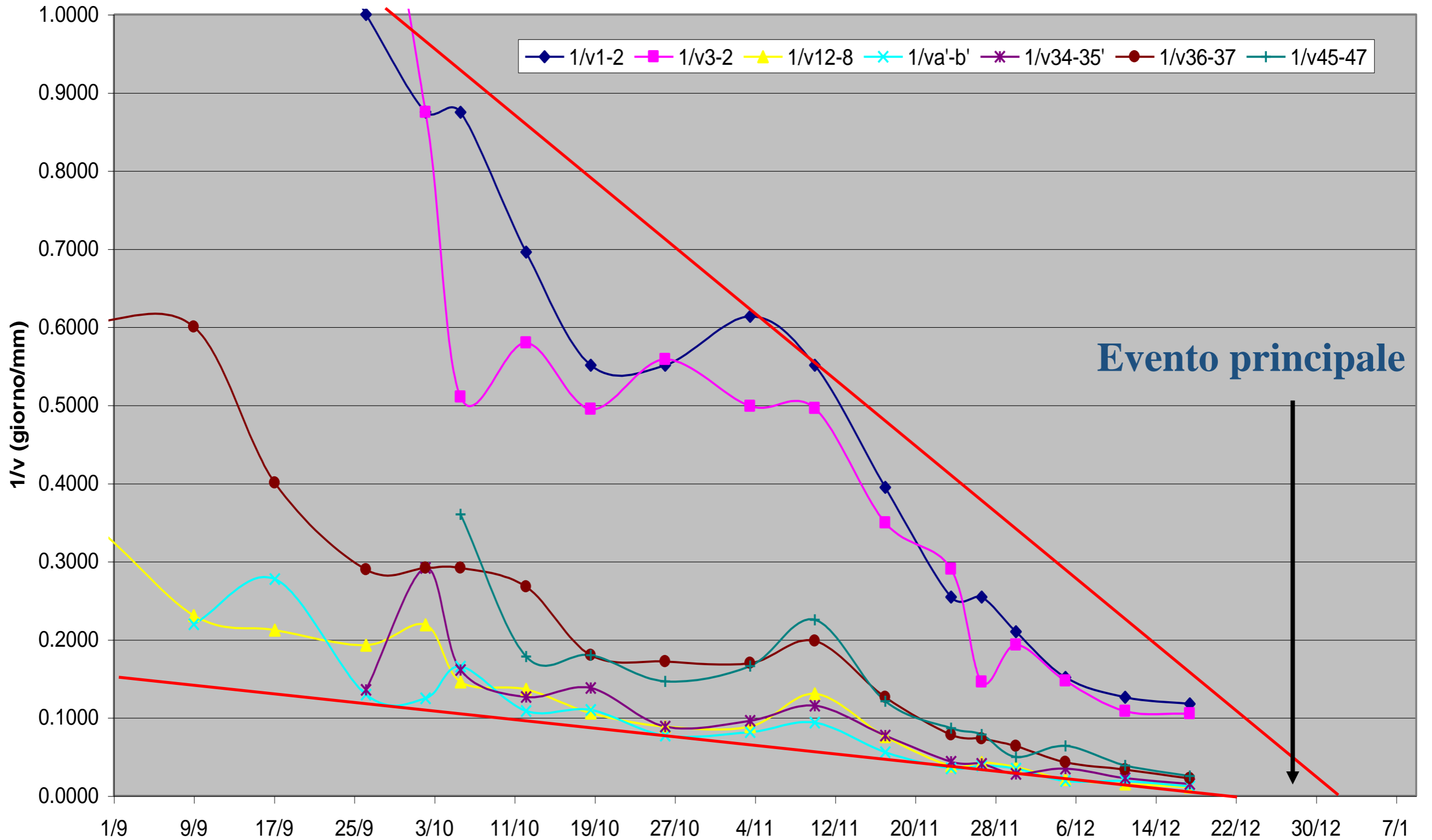
Per $\alpha = 2$:
 $1/v = A(t_f - t)$



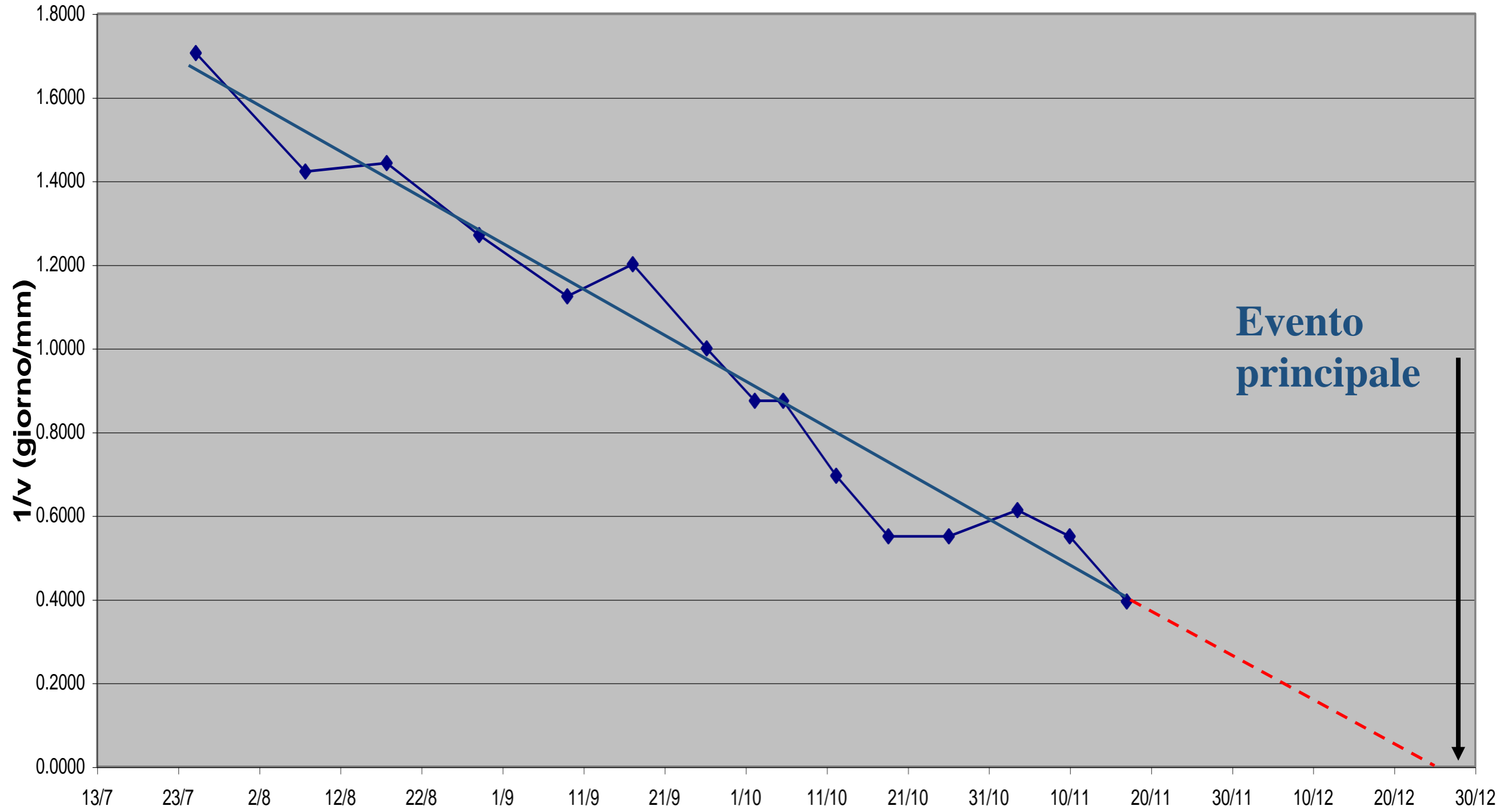
Previsione dell'istante di rottura (Azimi et al., 1988)



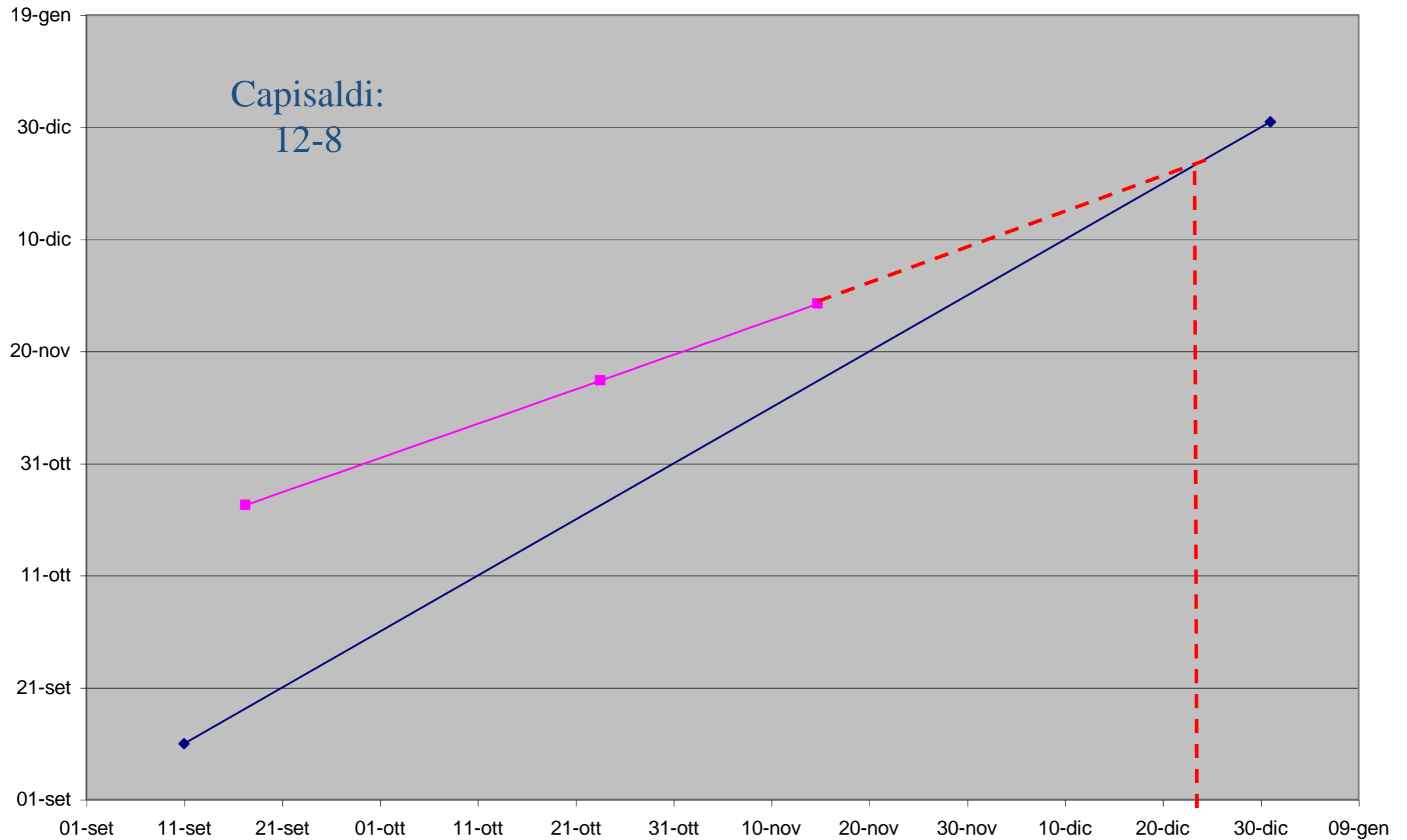
Previsione dell'istante di rottura (Fukuzono, 1985)



Monitoraggio distometrico (1-2)

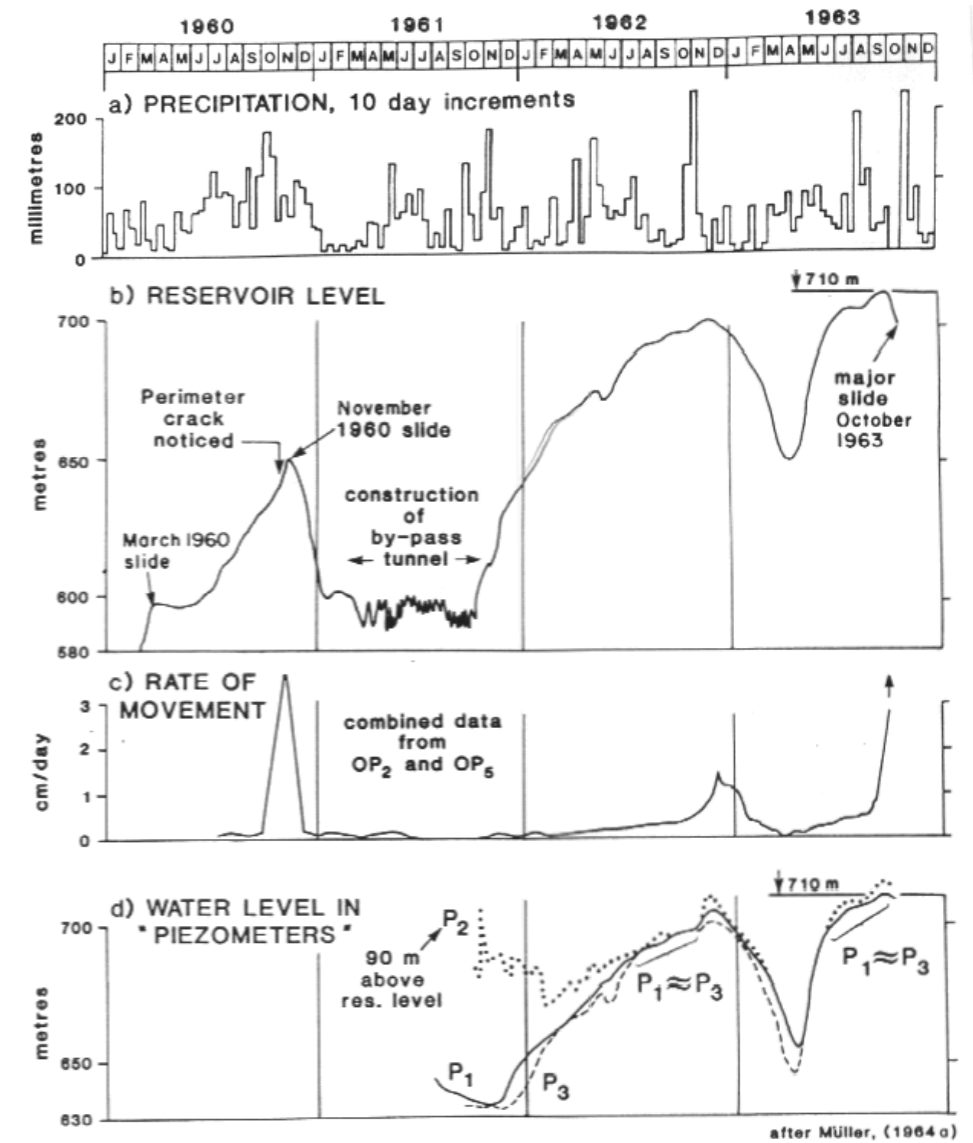
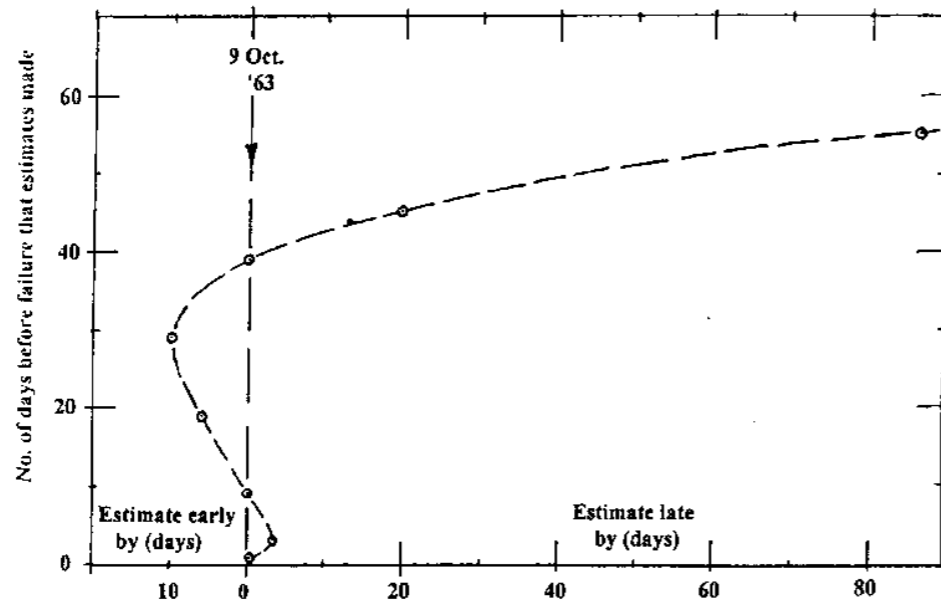
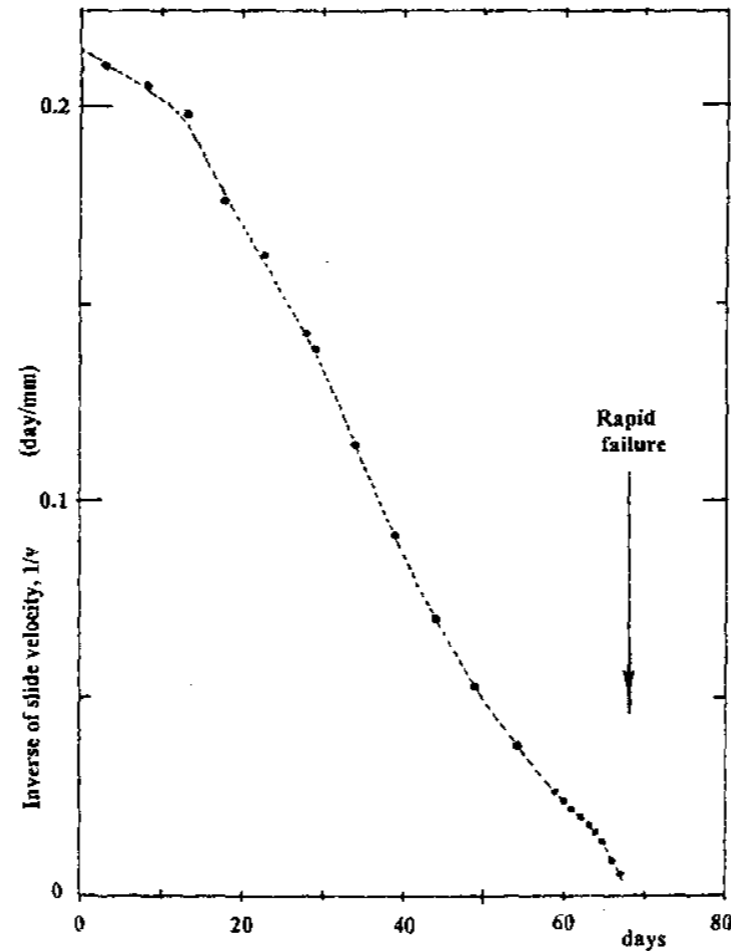
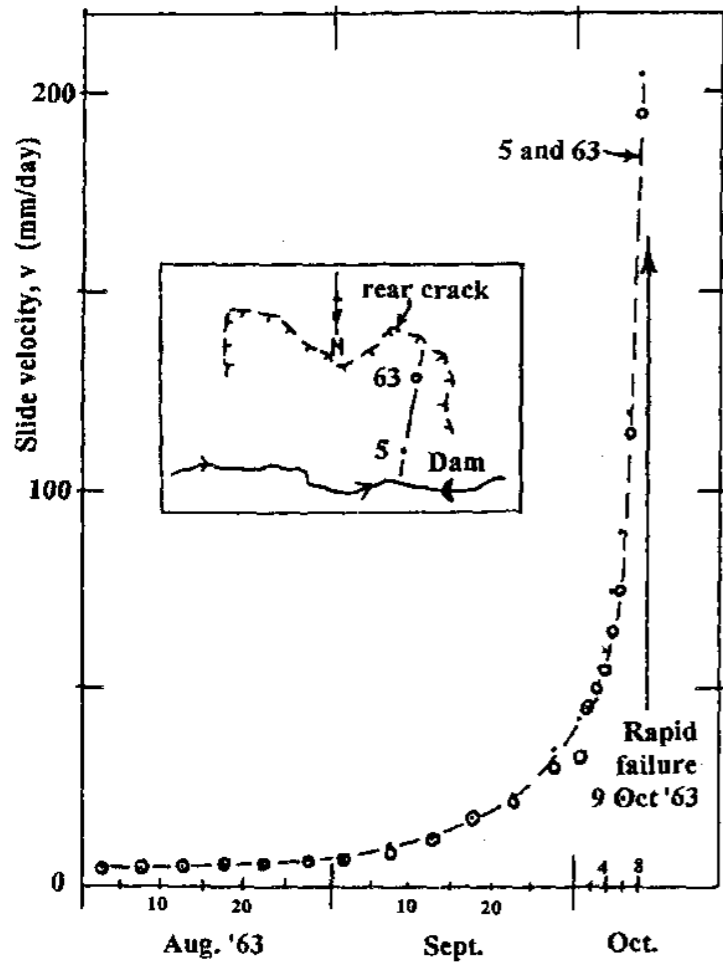


Previsione dell'istante di rottura



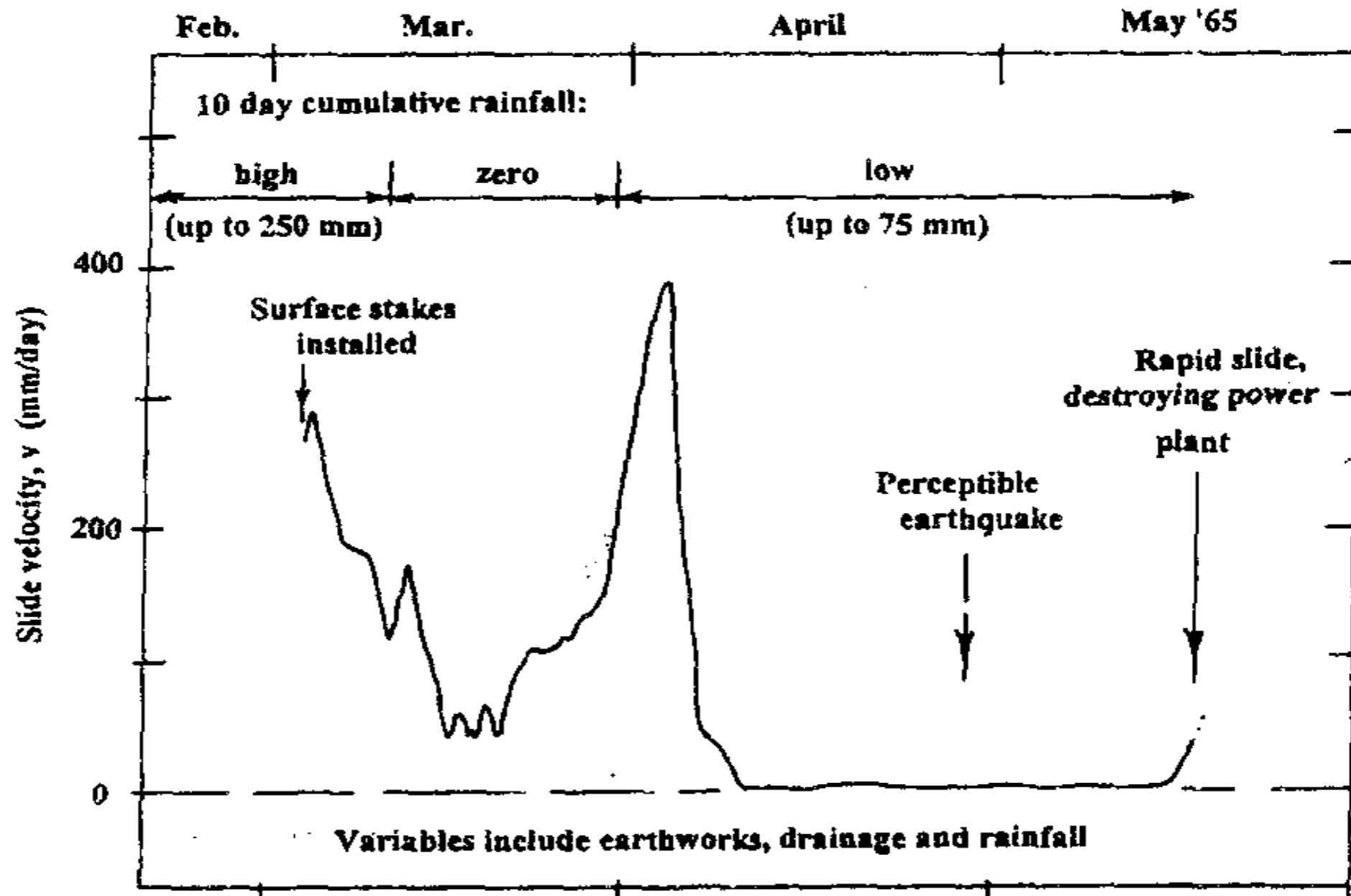
Metodo: Azimi et al., 1988

Applicazione alla frana del Vaiont



Hutchinson, 2001

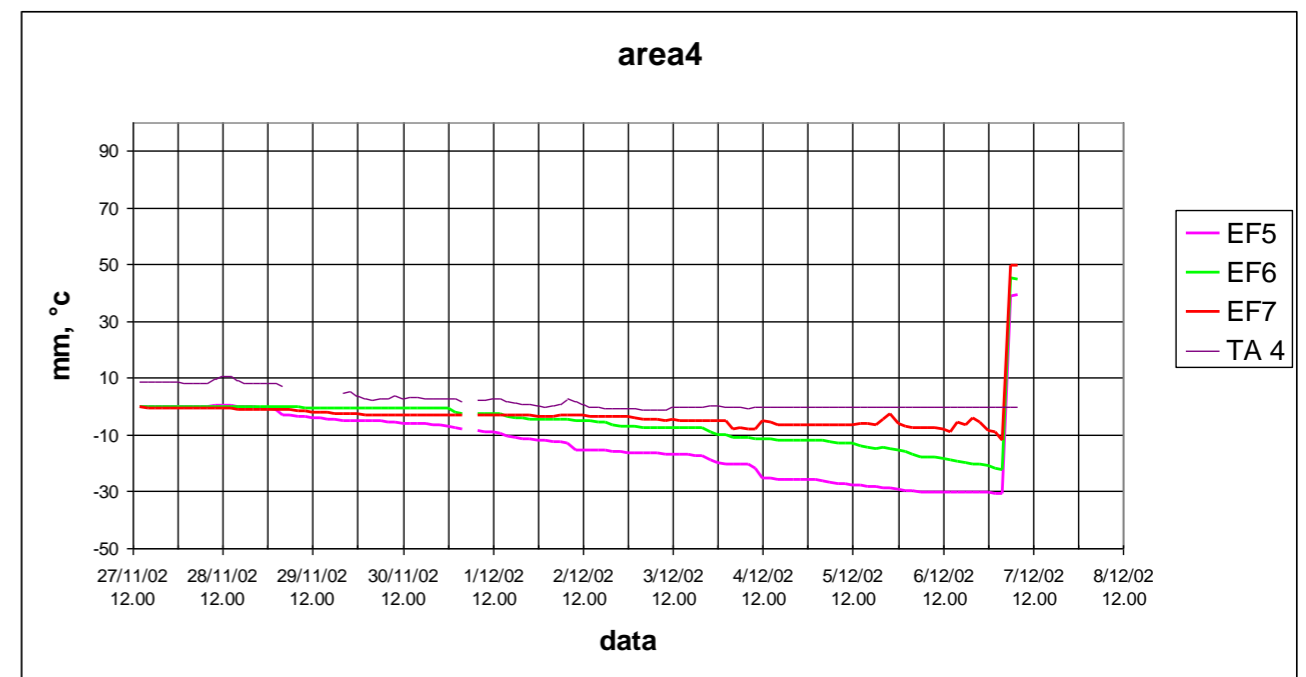
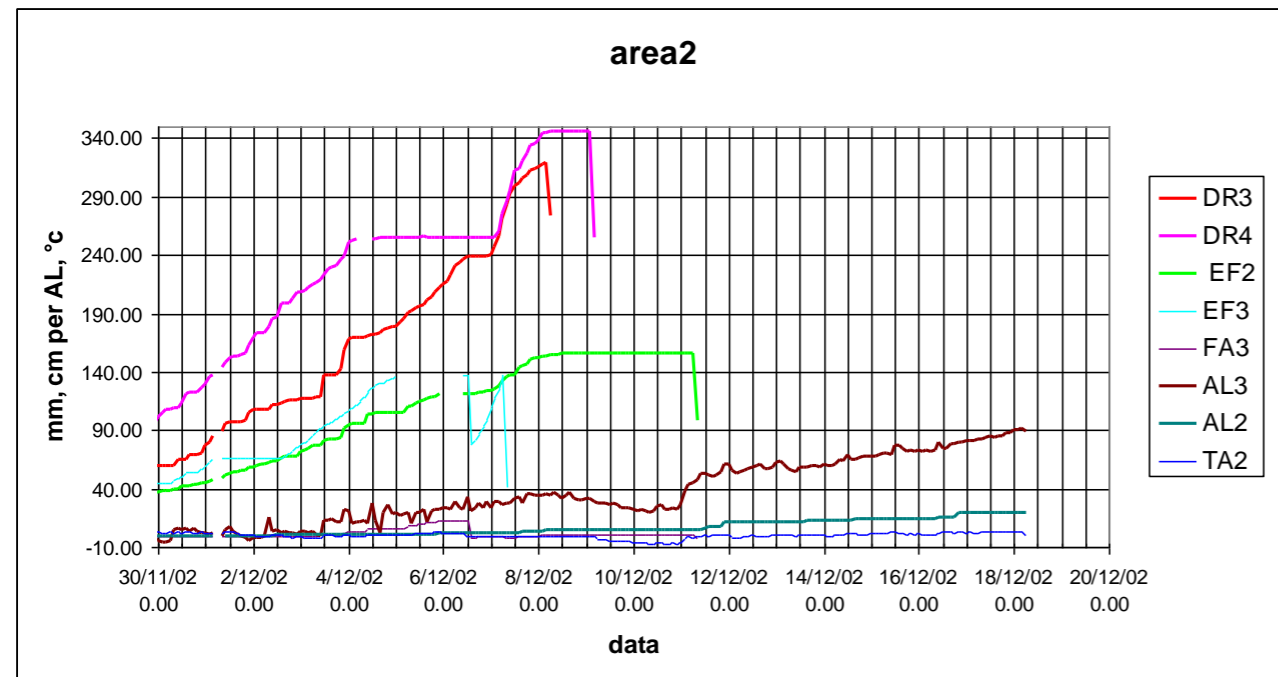
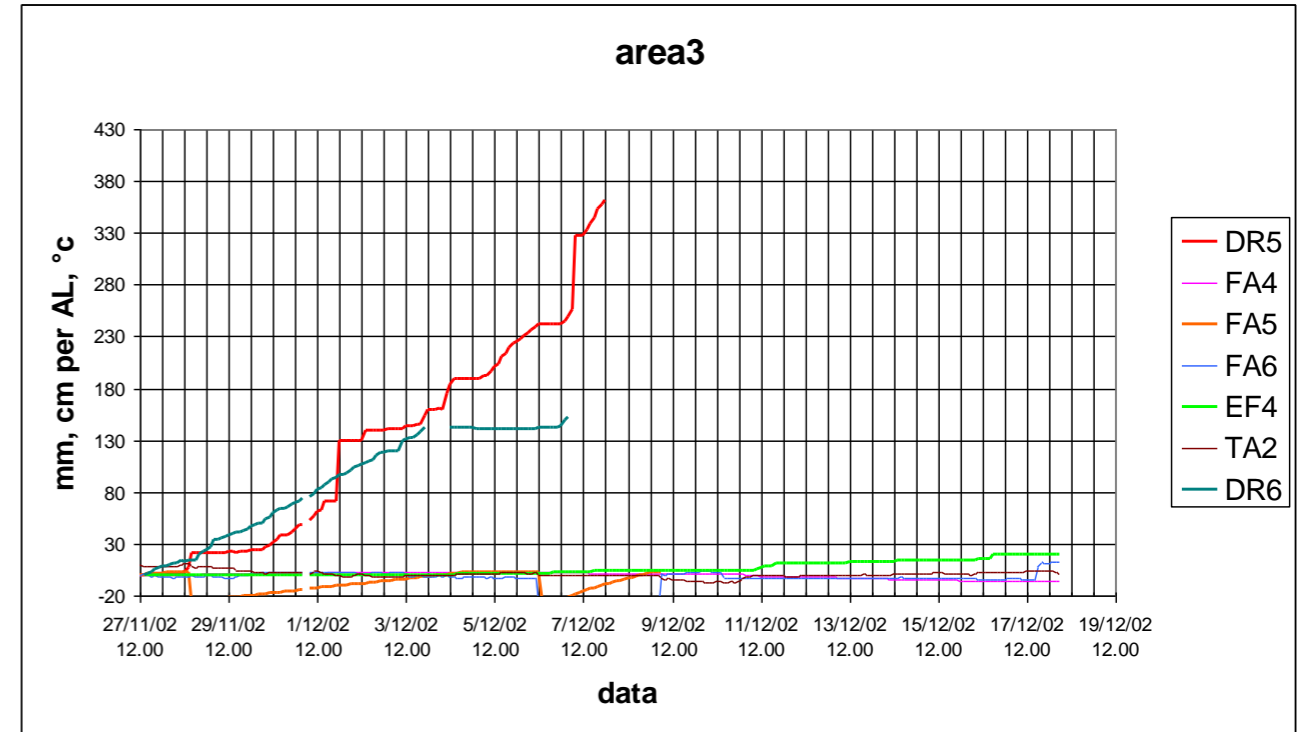
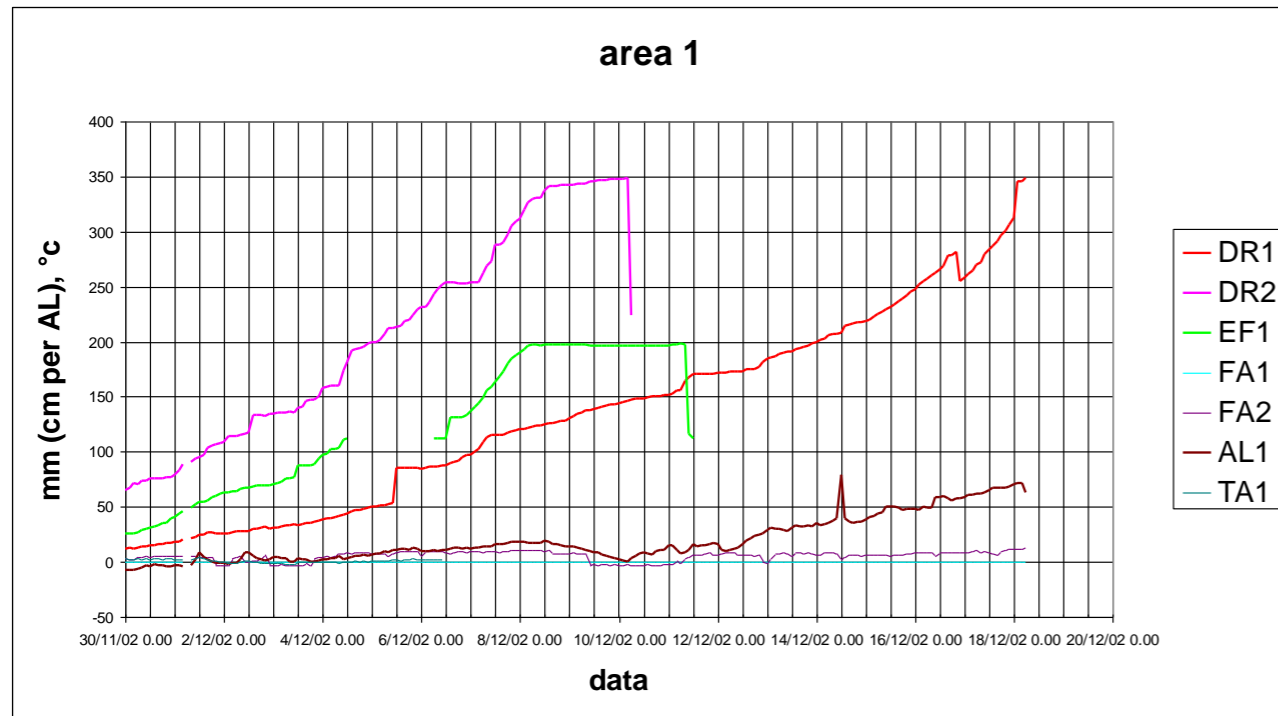
Collasso inaspettato (Hutchinson, 2001)



Comunicazioni

- ***“... la frana, fino ad oggi sensibile alle precipitazioni meteoriche, sembra avere subito questa accelerazione in modo indipendente dalle precipitazioni...”*** (lettera del Prof. Canuti al Sindaco di Firenzuola, 26/11/02)
- ***“... il temuto collasso della “massa grande” è ormai prossimo: porre attenzione che nelle festività natalizie sia rispettata l’ordinanza di evacuazione.”*** (lettera del Prof. Canuti al Sindaco di Firenzuola, 23/12/02)
- ***“... la “massa grande” collasserà entro i primi giorni di gennaio 2003.”*** (Presentazione del Prof. Canuti alla Commissione Monte Beni del 27/12/02)

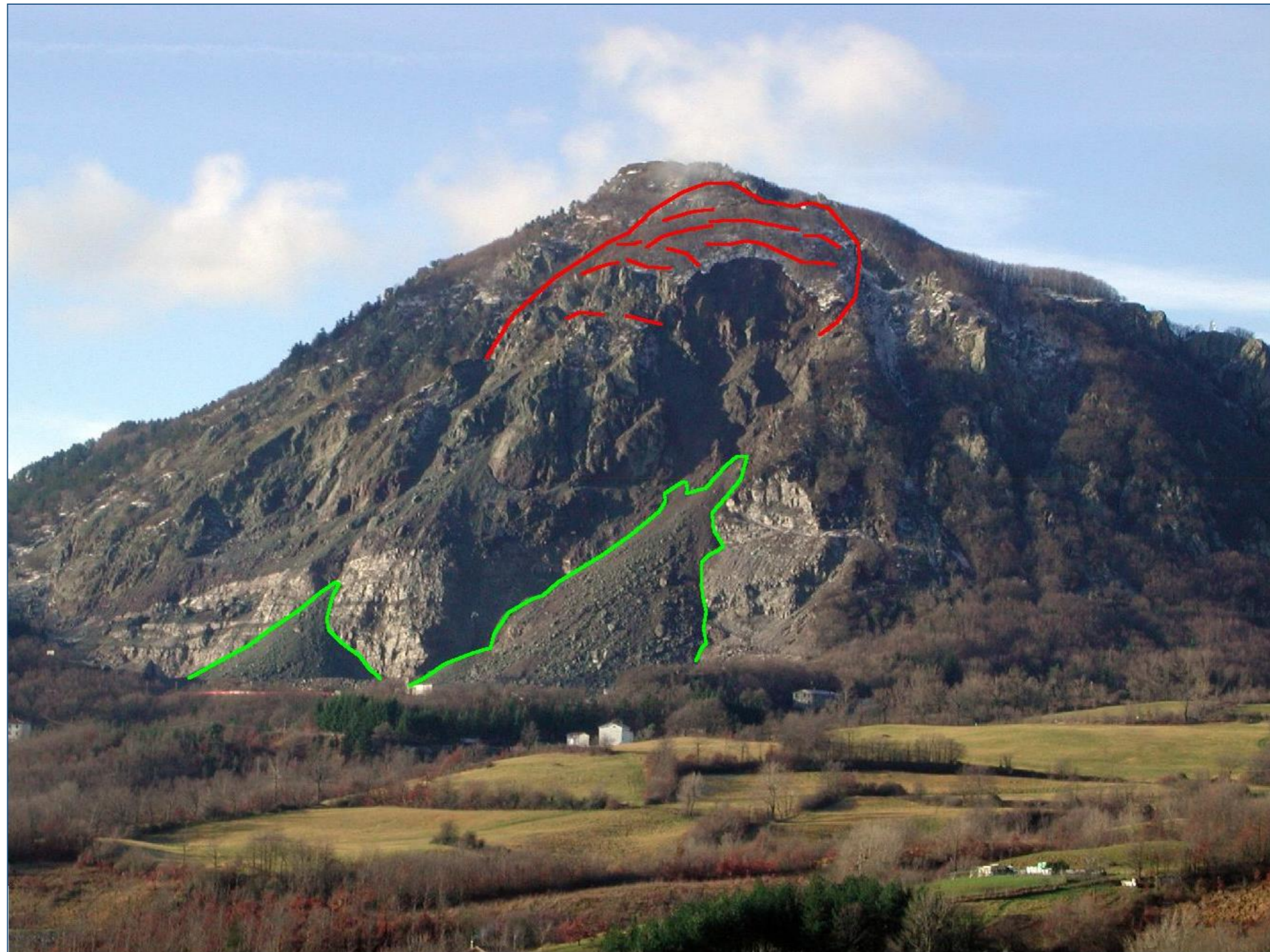
Inizio dicembre: rottura dei sensori automatici



14/12/02: 20 000 m³



Stato della fratturazione al 15/12/02



28/12/02: 450 000 – 500 000 m³



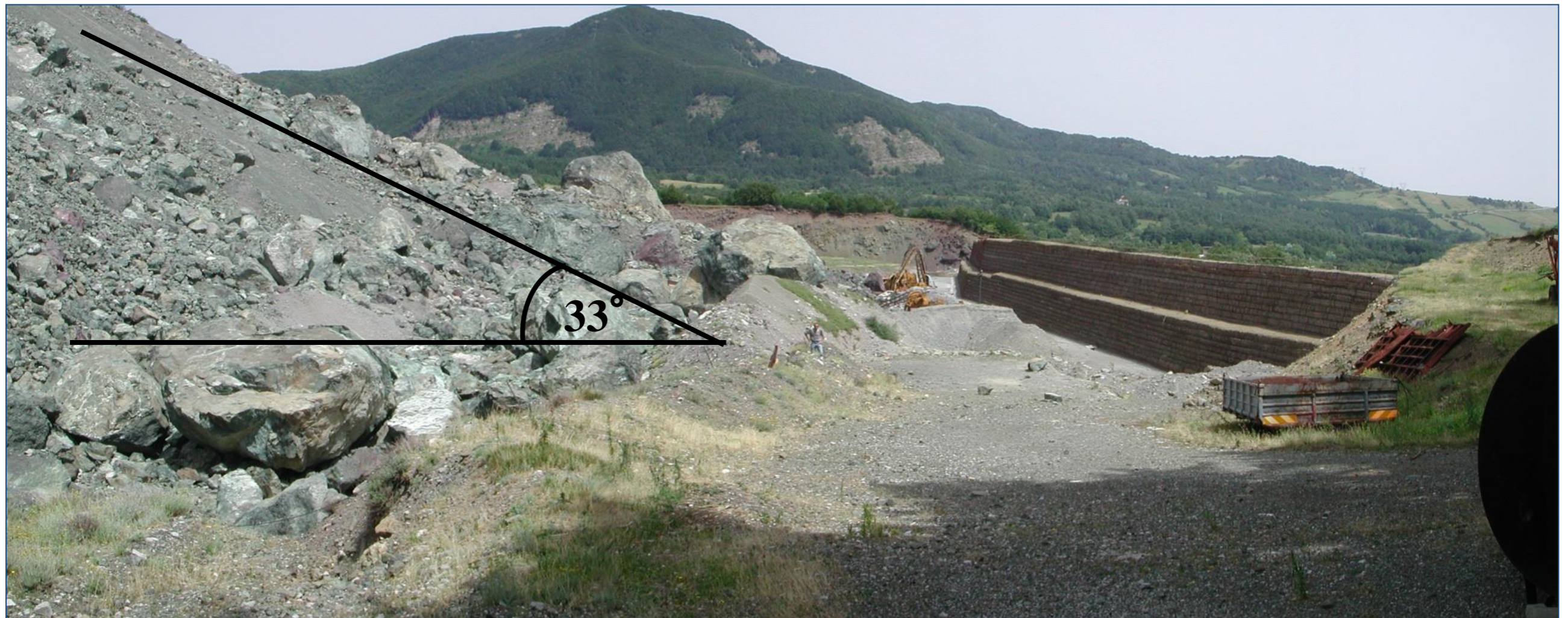
Parte superiore della superficie di scorrimento



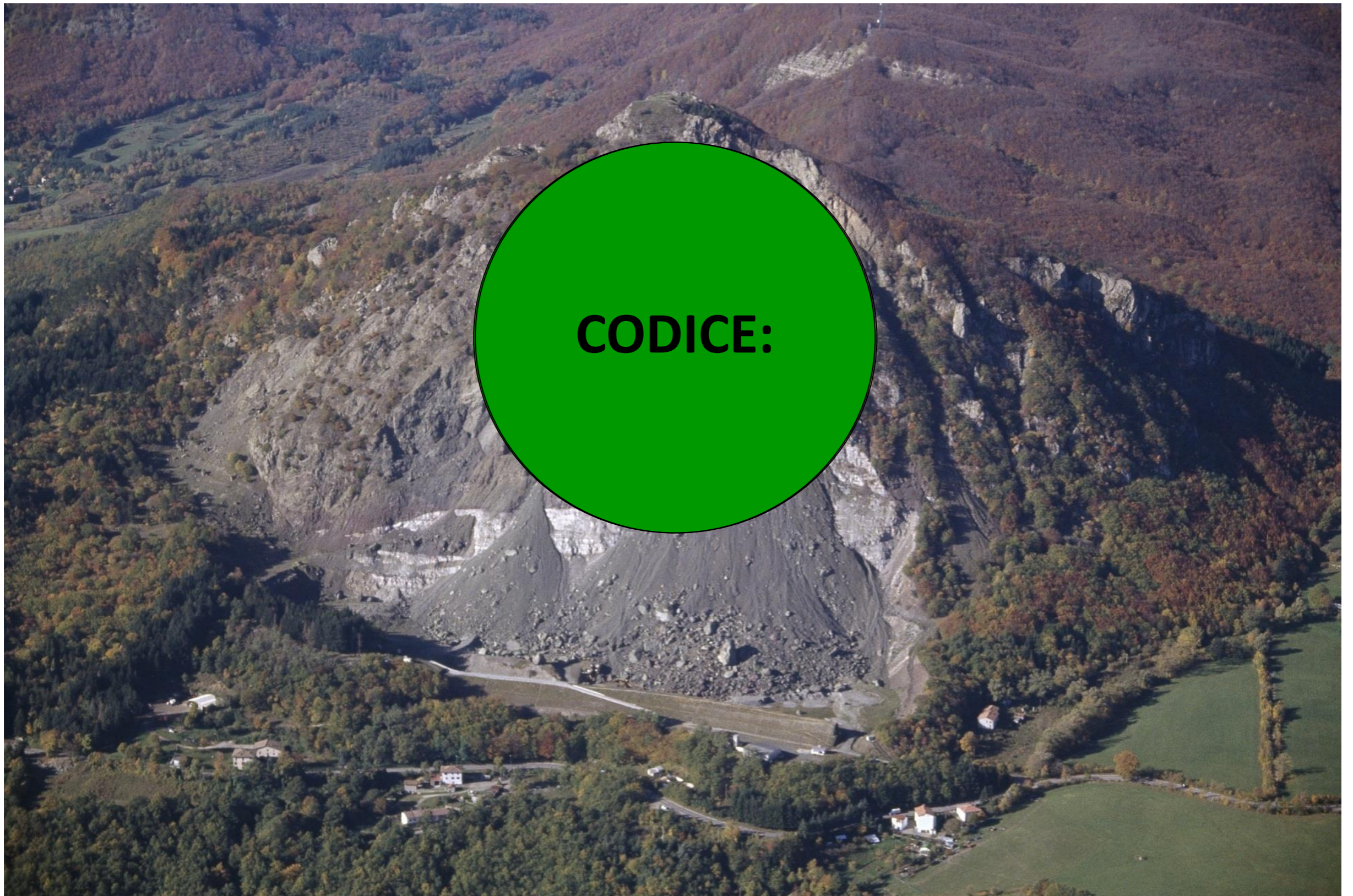


Superamento emergenza

- Monitoraggio automatico delle masse instabili (alcune migliaia m^3)
- Costruzione della barriera paramassi (14/04/03)



Rischio residuo



CODICE:

GRAZIE



giovanni.gigli@unifi.it