



Sezione Puglia

## NUOVI STUDI E RICERCHE PER LA DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA IN APPENNINO DAUNO

*Lucera, 7 Giugno 2013*

### APPLICAZIONE DEL METODO MULTI-SCALARE PER LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DA FRANA NELL'APPENNINO DAUNO

F. COTECCHIA\*, F. Santaloia °, P. Lollino °, C. Vitone\*, G. Mitaritonna\*

\*DICATECh, Politecnico di Bari

°Consiglio Nazionale Ricerche – IRPI



## Metodologia MULTISCALARE



Valutazione Quantitativa della Pericolosità da Frana (QHA)  
su base **GEOMECCANICA**, a qualsiasi scala

Si vuole **esportare**, dalla **scala del pendio** all'**area vasta** la conoscenza  
del **meccanismo di frana** per la valutazione della pericolosità

### Scala del pendio

1:2000

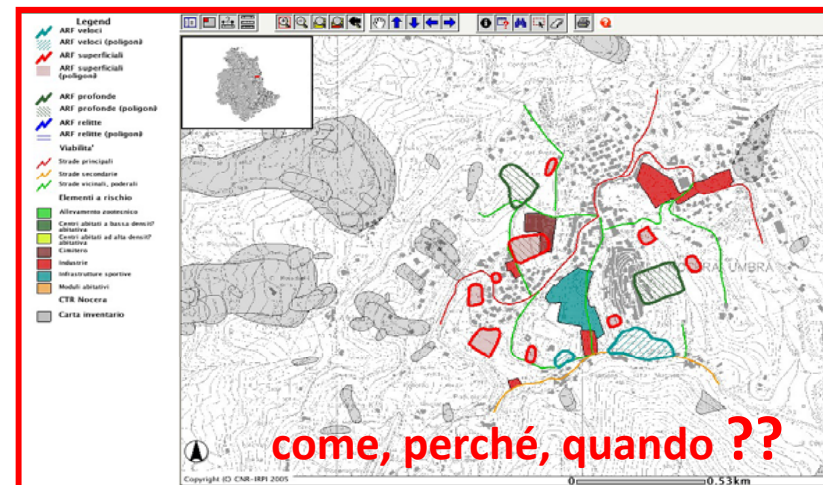
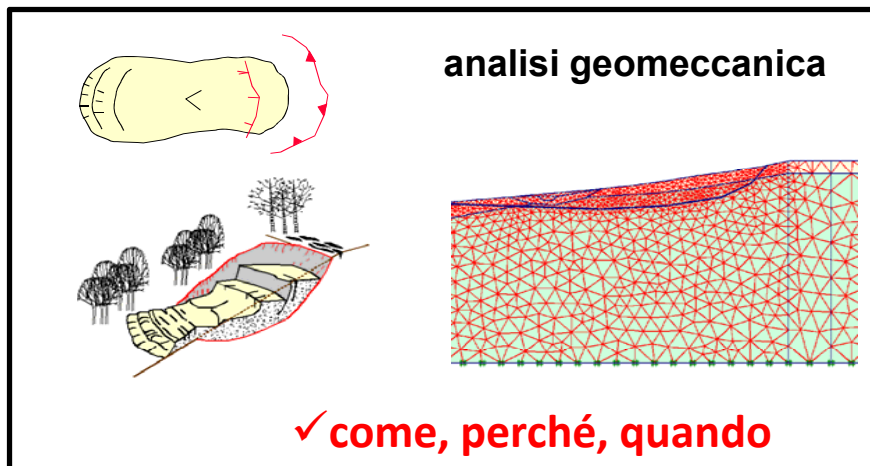
Complessità



### Scala intermedia/piccola

1:25000-1:50000

Schematizzazione





# INDICE

“Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno”

- Significato di un **APPROCCIO MULTISCALARE** alla **valutazione della pericolosità da frana**
- **METODOLOGIA MULTISCALARE** proposta
- Contesto di applicazione: **APPENNINO DAUNO**
- Conclusioni: Indirizzi di gestione del rischio evinti dall'applicazione della metodologia



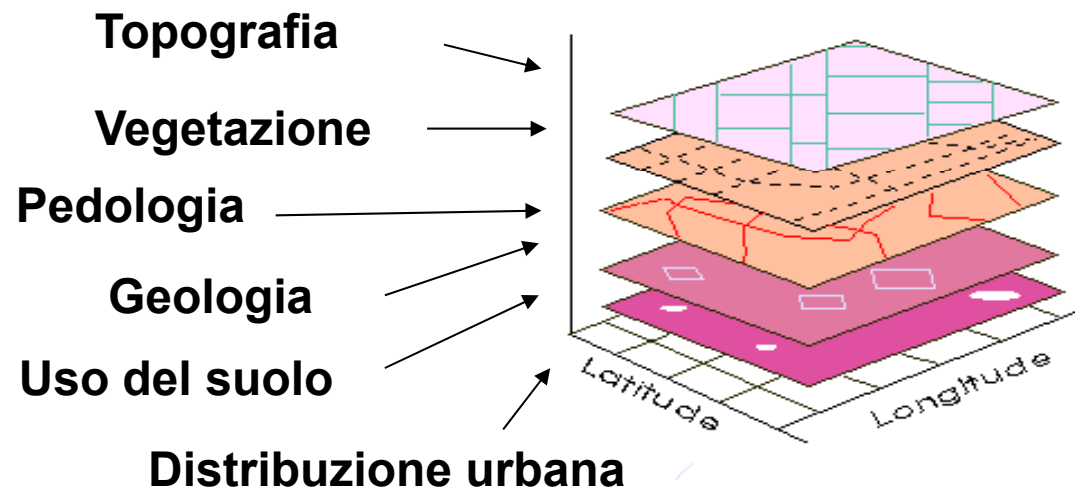


## L'attuale approccio alla zonazione della pericolosità su area vasta

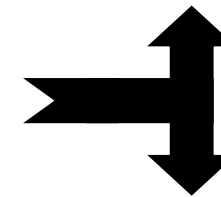
**Database GIS**



**Valutazione della Pericolosità da frana a scala Regionale**



Metodo euristico



Metodo statistico (QHA)

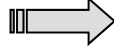


# Zonazione della pericolosità su area vasta

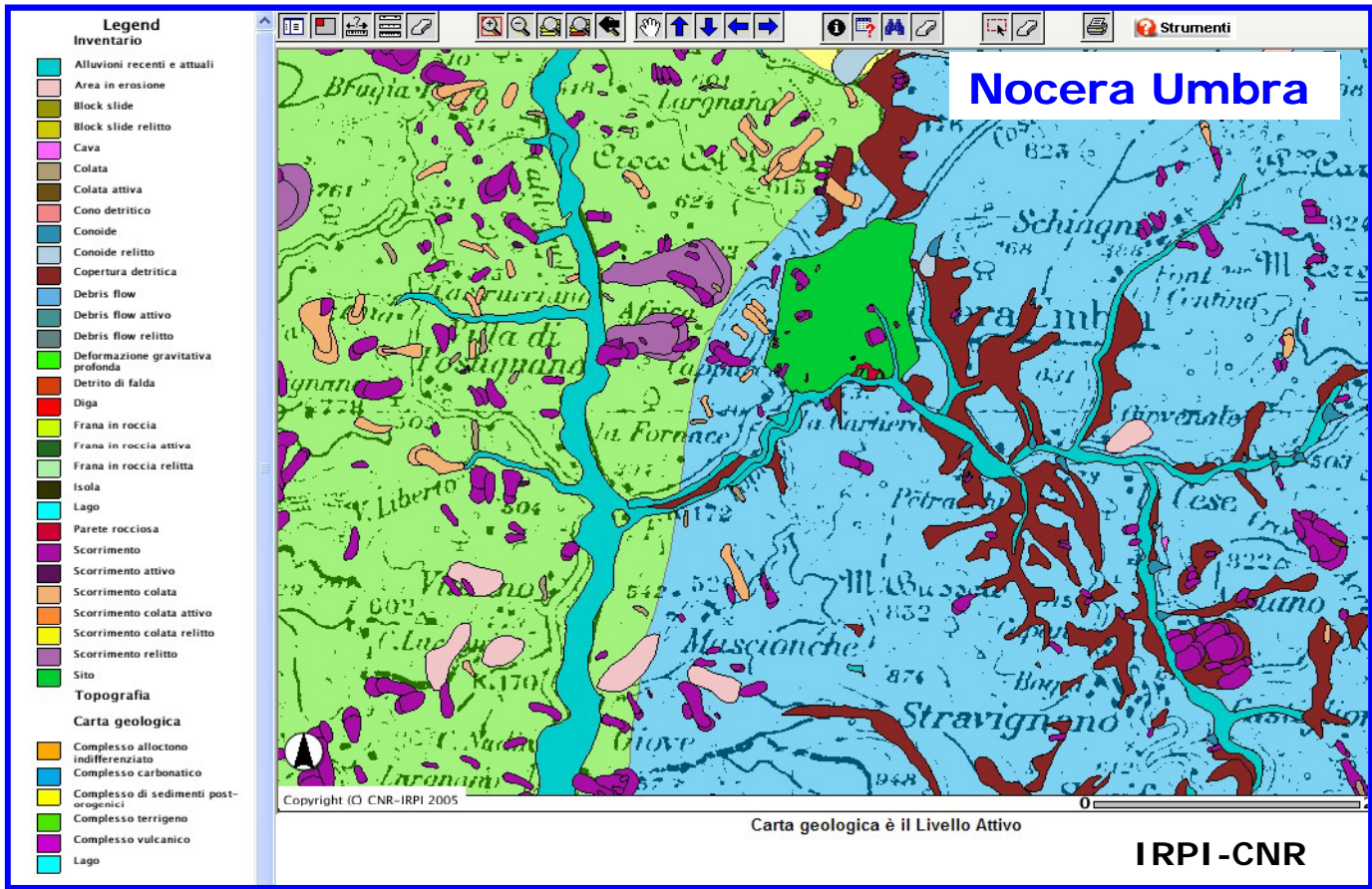
Analisi di base  
che adottano  
Fattori di Superficie  
disponibili in Continuo



**Metodi euristici**  
**Metodi Statistici**



MAPPE DELLA  
PERICOLOSITÀ

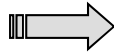


**Carta inventario  
multi-temporale  
dei movimenti  
franosi  
(fotografie aeree  
1941-2000),  
informazioni  
bibliografiche e di  
d'archivio, rilievi  
in sito)**



# Zonazione della pericolosità su area vasta

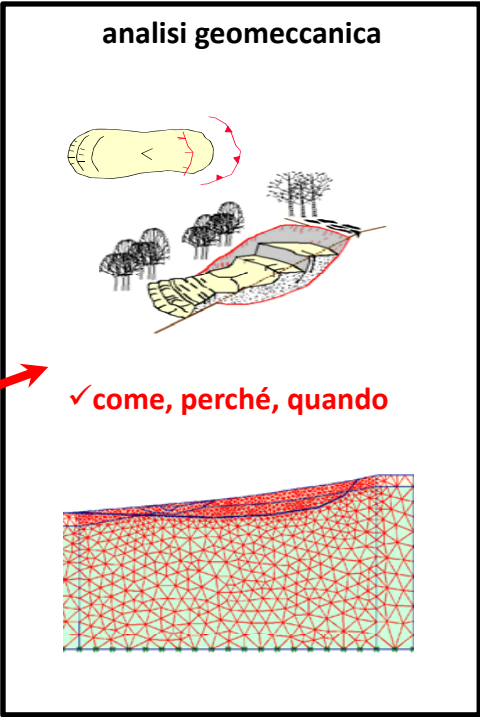
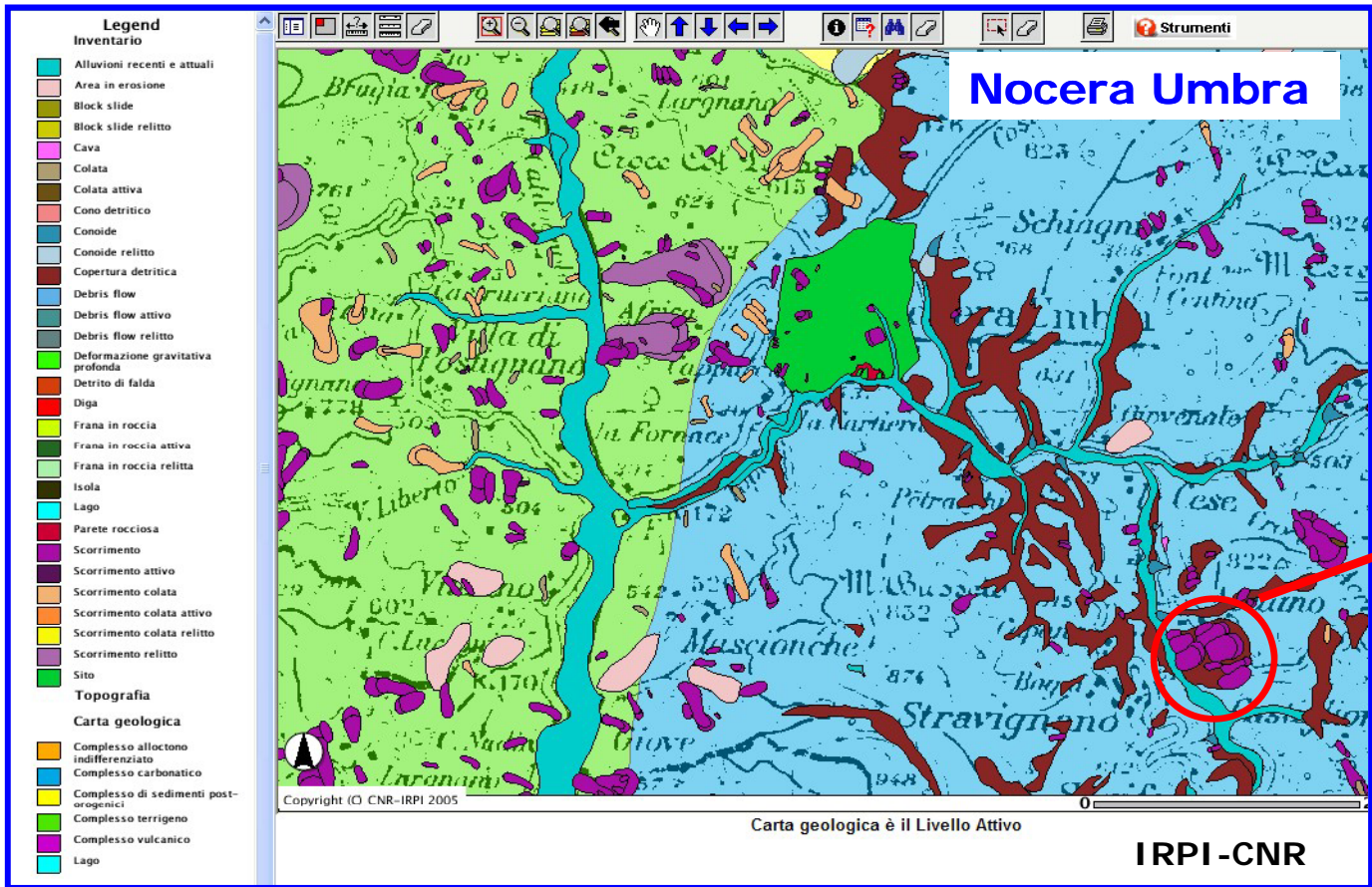
Analisi di base  
che adottano  
Fattori di Superficie  
disponibili in Continuo



**Metodi euristici**  
**Metodi Statistici**

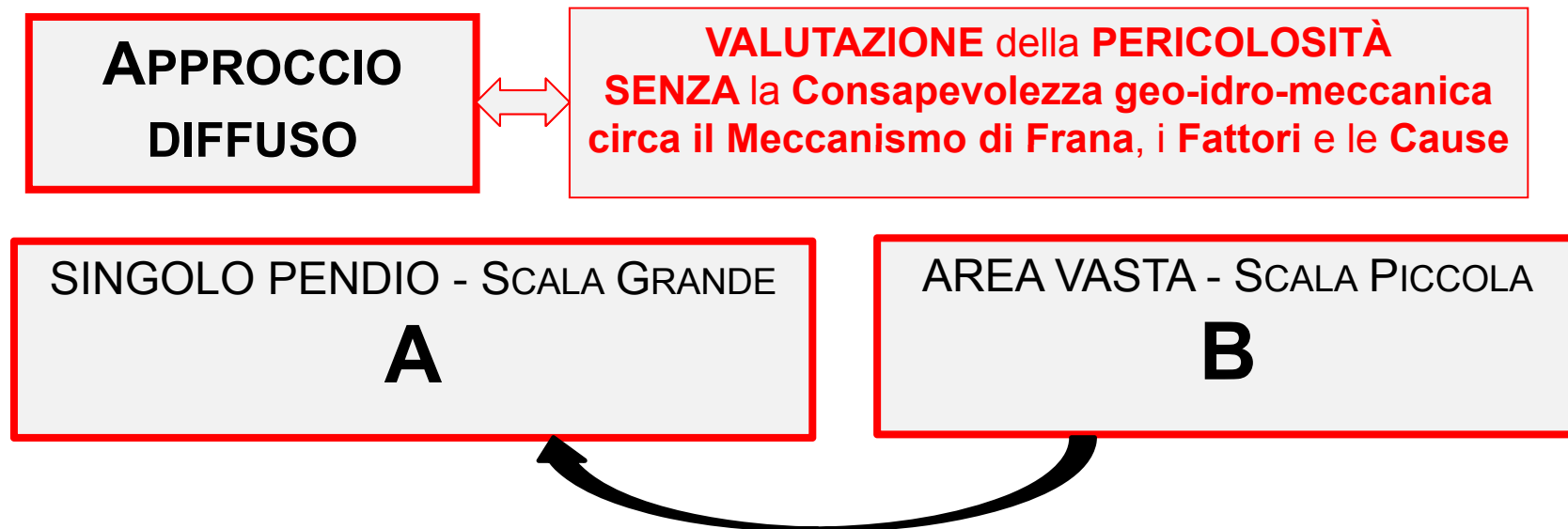


MAPPE DELLA  
PERICOLOSITÀ





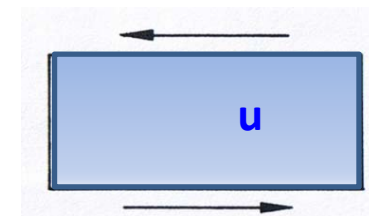
Convegno “Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno” - Lucera, 7 giugno 2013



## Meccanismo di Frana (Terzaghi, 1950)

### FATTORI INTERNI

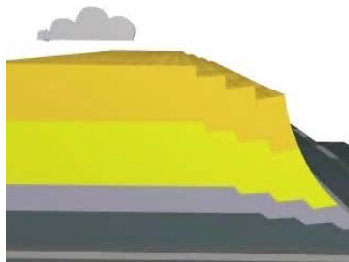
- **Assetto Geo-strutturale** (*litologia, morfologia, tettonica*)
- **Comportamento meccanico dei terreni** (*resistenza e rigidità*)
- **Regime Idraulico del pendio**



Variazione dell'Equilibrio



Collasso



### FATTORI ESTERNI

• **Clima**



Cambio delle condizioni idrauliche al contorno  
→ Variazioni delle pressioni dell'acqua

• **Terremoti**



Cicli di carico/scarico ad alte frequenze

• **Azioni Antropiche**



Carico/Scarico/Variazione delle condizioni al contorno

• **Naturale variazione delle morfologia**



Carico/Erosione weathering



# Meccanismo di Frana (Terzaghi, 1950) a scala elementare

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + W_x &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + W_y &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + W_z &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Equazioni d'equilibrio

## Legge Costitutiva

Elasto-plastica

$$\sigma'_{ij} \leftrightarrow \epsilon_{ij} = \epsilon_{ij}^e + \epsilon_{ij}^p$$

$$\begin{bmatrix} \delta \epsilon_p \\ \delta \epsilon_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ \frac{\partial f}{\partial p'} \left[ \frac{\partial p_0'}{\partial \epsilon_p'} \frac{\partial g}{\partial p'} + \frac{\partial p_0'}{\partial \epsilon_q'} \frac{\partial g}{\partial q} \right] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial p'} \frac{\partial g}{\partial p'} & \frac{\partial f}{\partial q} \frac{\partial g}{\partial p'} \\ \frac{\partial f}{\partial p'} \frac{\partial g}{\partial q} & \frac{\partial f}{\partial q} \frac{\partial g}{\partial q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta p' \\ \delta q \end{bmatrix}$$

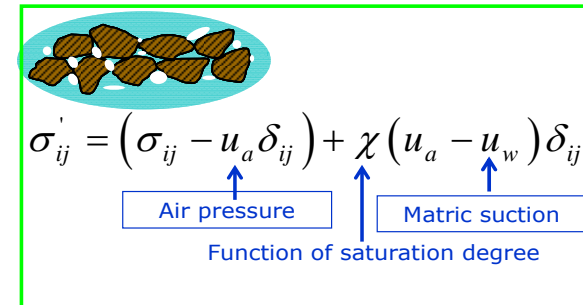
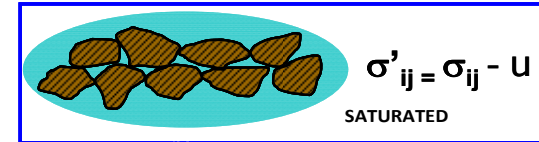
$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial x^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial y^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z} \\ \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial z^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{xz}}{\partial x \partial z} \end{aligned} \right\}$$

Equazioni di  
congruenza

## Accoppiamento idro-meccanico

$$\Sigma K_i \frac{\partial^2 u}{\partial^2 x_i} = - \frac{\partial \epsilon_{VOL}}{\partial t}$$

Completamente  
accoppiato



Equazione di Richards'  
Non accoppiato

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ k_x(u_w) \frac{\partial u_w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ k_y(u_w) \frac{\partial u_w}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ k_z(u_w) \left( \frac{\partial u_w}{\partial z} + 1 \right) \right] = \frac{\partial \theta_w}{\partial t}$$

$$\theta_w = nS_r$$

# Meccanismo di Frana (Terzaghi, 1950)

## FATTORI INTERNI

- **Assetto Geo-strutturale**

*(litologia, morfologia, struttura tettonica)*

Condizioni al contorno  
interne e esterne

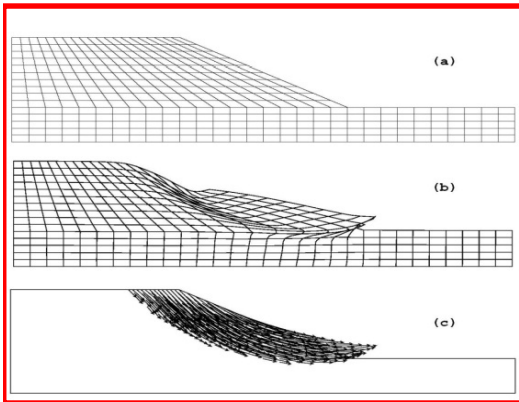
- **Comportamento meccanico dei terreni** *(resistenza e rigidezza)*

$$\begin{bmatrix} \delta \varepsilon_p' \\ \delta \varepsilon_q' \end{bmatrix} = \frac{-1}{\begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial p_0'} \left[ \frac{\partial p_0'}{\partial \varepsilon_p'} \frac{\partial g}{\partial p'} + \frac{\partial p_0'}{\partial \varepsilon_q'} \frac{\partial g}{\partial q} \right] \right]} \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial p'} \frac{\partial g}{\partial p'} & \frac{\partial f}{\partial q} \frac{\partial g}{\partial p'} \\ \frac{\partial f}{\partial p'} \frac{\partial g}{\partial q} & \frac{\partial f}{\partial q} \frac{\partial g}{\partial q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta p' \\ \delta q \end{bmatrix}$$

- **Regime Idraulico del pendio**

$$\frac{\partial h_m}{\partial t} \frac{d\theta_w}{dh_m} + \text{div} [K_w(\theta_w) \text{grad} h_m] - \frac{\partial K(\theta_w)}{\partial z} = 0$$

$$\theta_w = nS_w$$



## FATTORI ESTERNI

- **Piogge**



Cambio delle condizioni idrauliche al contorno  
→ Pressione dell'acqua

- **Terremoti**



Cicli di carico/scarico a d alte frequenze

- **Azioni Antropiche**



Carico/Scarico/Variatione delle  
condizioni al contorno

- **Naturale variazione delle morfologia**



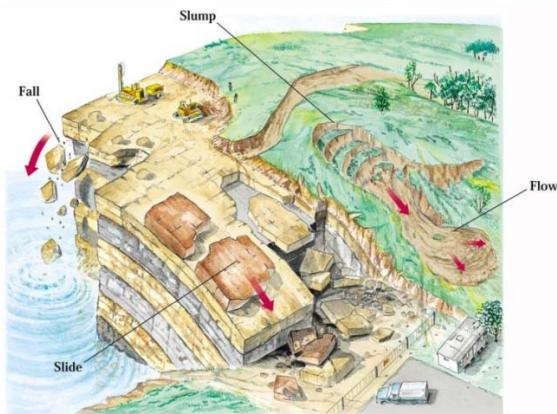
Carico/Scarico/  
weathering



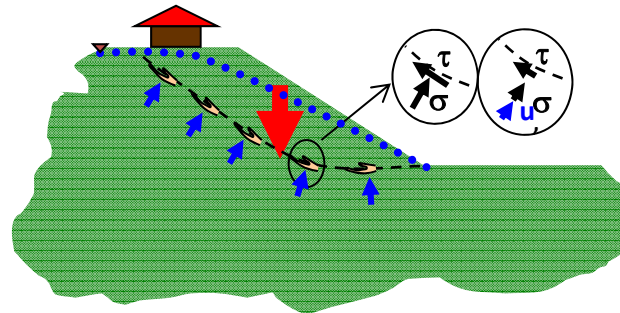
# CENTRALITÀ del MECCANISMO DI FRANA nelle VALUTAZIONI DI PERICOLOSITÀ

## ANALISI

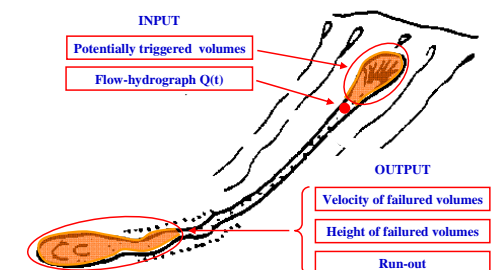
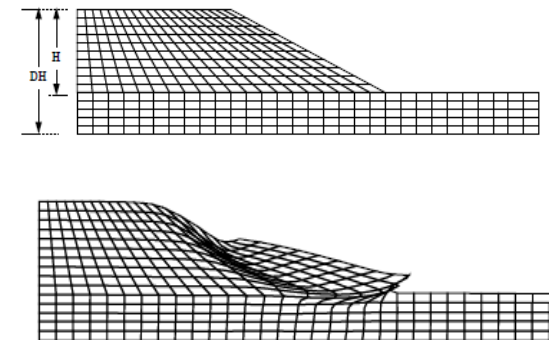
**I LIVELLO**  
*Fenomenologico*



**II LIVELLO**  
*Equilibrio Limite*



**III LIVELLO**  
*Modellazione numerica*  
*Indagini, Monitoraggio*





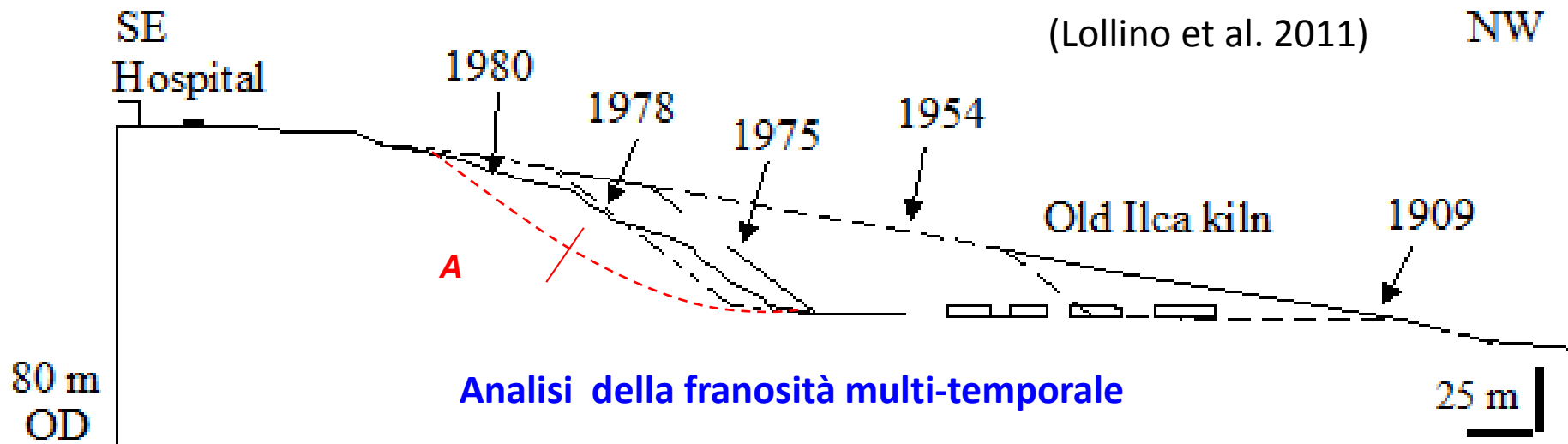
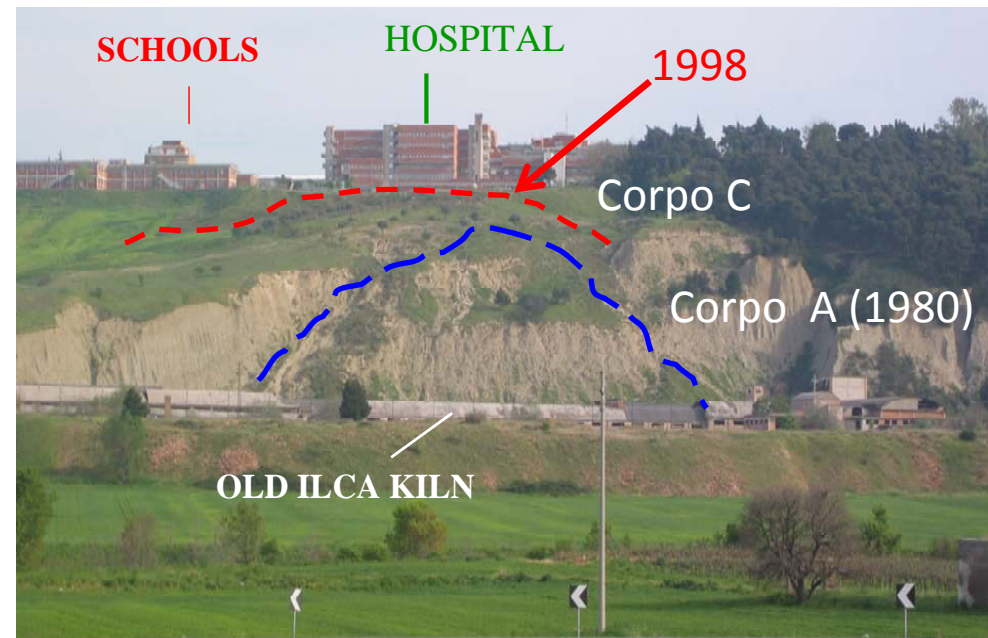
# Frana di Lucera

Rototraslativa multipla in Argille Subappennine

CF = 41%, PI = 24%, CI = 1.0

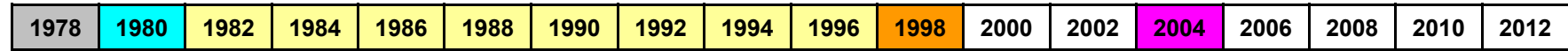
$c'_p = 30 \text{ kPa}$ ,  $\phi'_p = 22^\circ$

Analisi di I, II e III Livello





“Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno”



Termine dello scavo

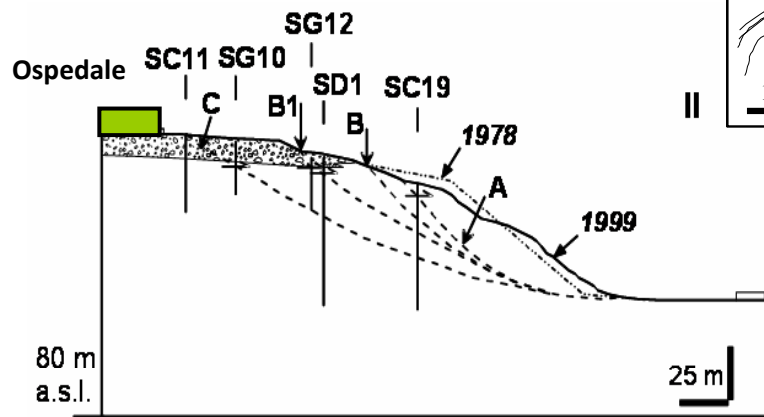
Frana A

Frane B-B1

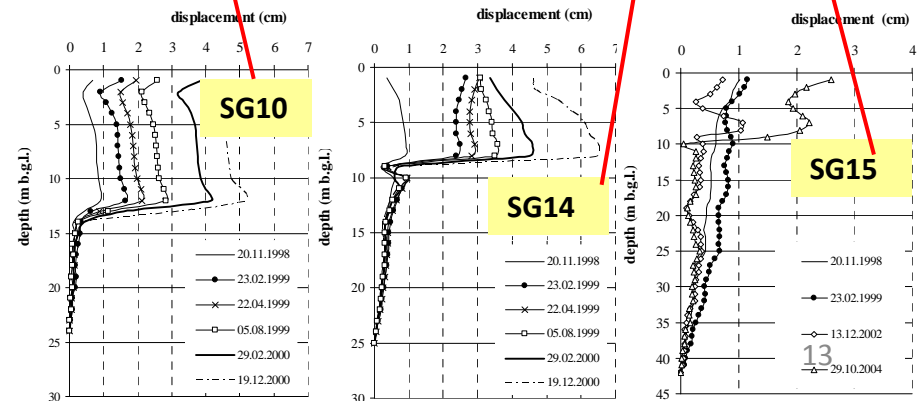
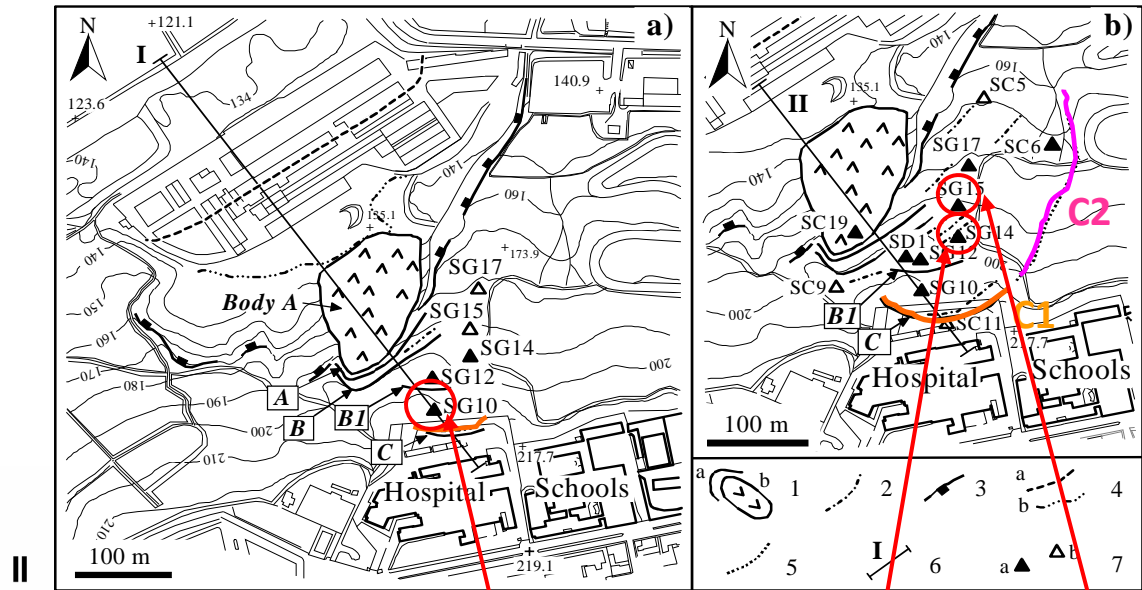
Frana C1

Frana C2

Inizio I intervento di consolidamento



Tempo di rottura controllato da consolidazione negativa



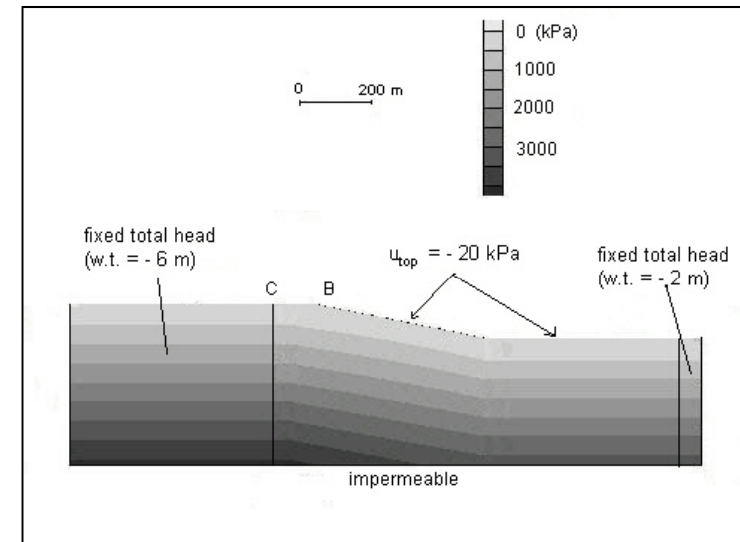
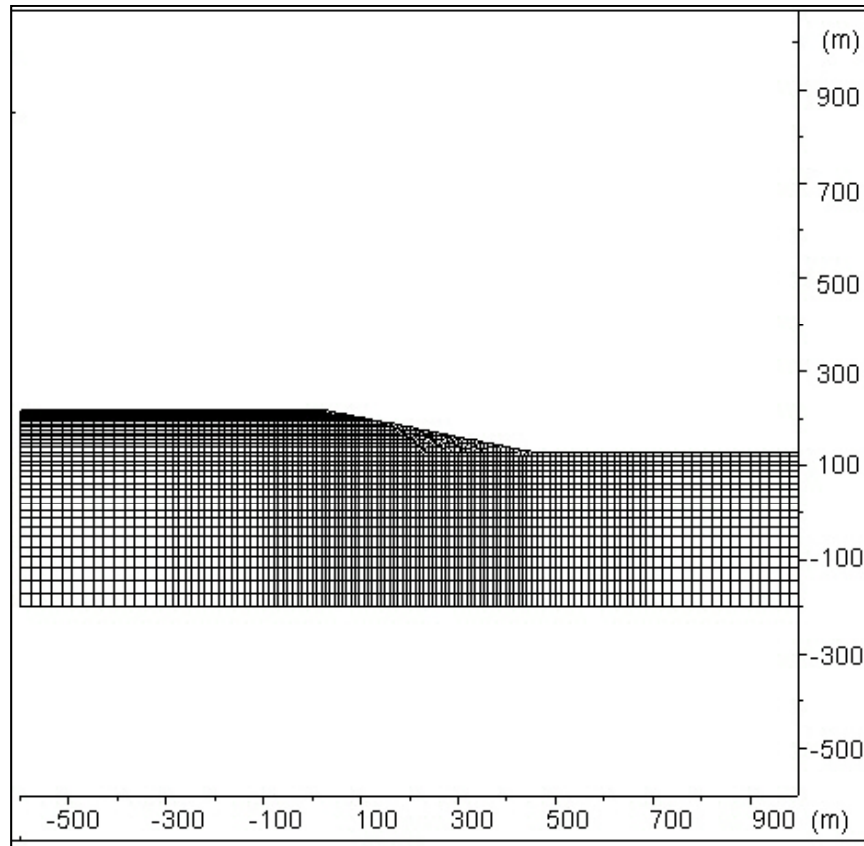


## Frana di Lucera

### ANALISI FDM (FLAC<sup>2D</sup>)

### Parametri del modello

$\gamma$	$w_n$	CF	IP	e	YSR	G	$\nu$	$c'_p$	$\phi'_p$	k	$\psi$
kN/m <sup>3</sup>	%	%	%			kPa		kPa	°	m/s	°
20.9	20.5	40.8	24.3	0.56	4.5	$2 \times 10^4$	0.25	30	22	$7 \times 10^{-11}$	0



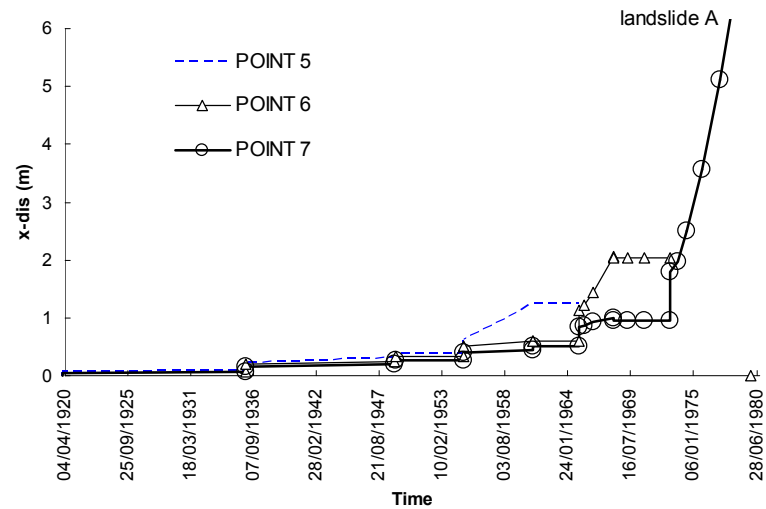
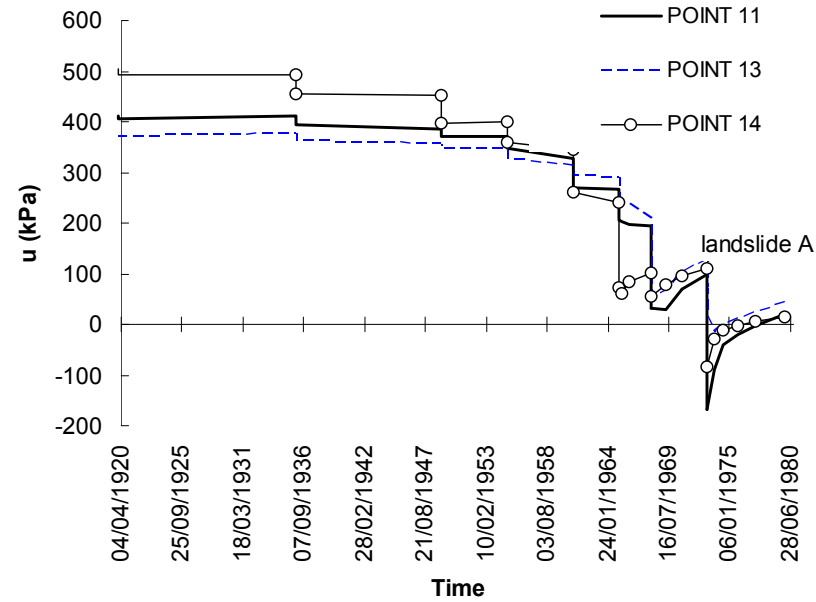
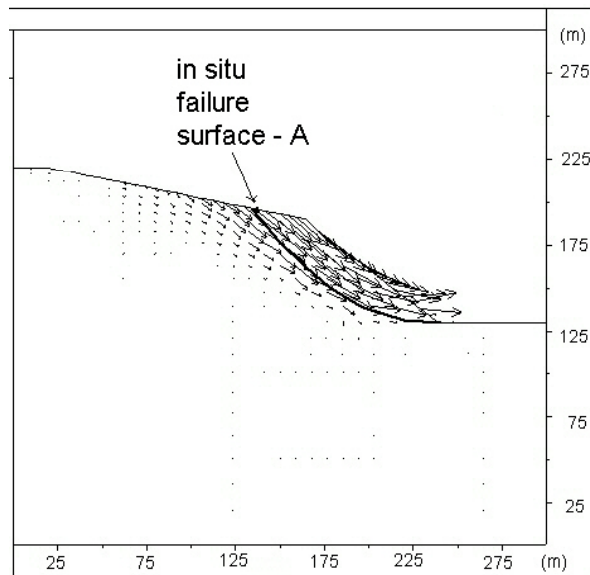
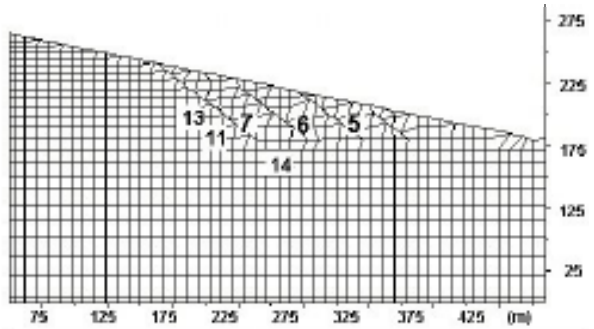
(Lollino et al. 2011)



# Convegno "Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno" - Lucera, 7 giugno 2013

## Frana di Lucera

### ANALISI FDM (FLAC<sup>2D</sup>)



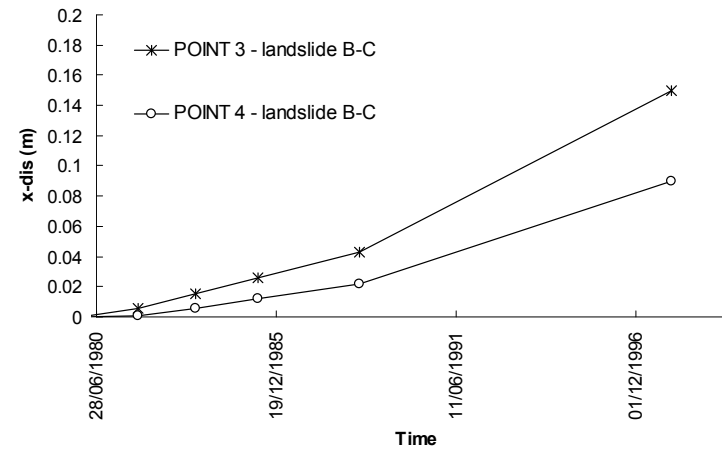
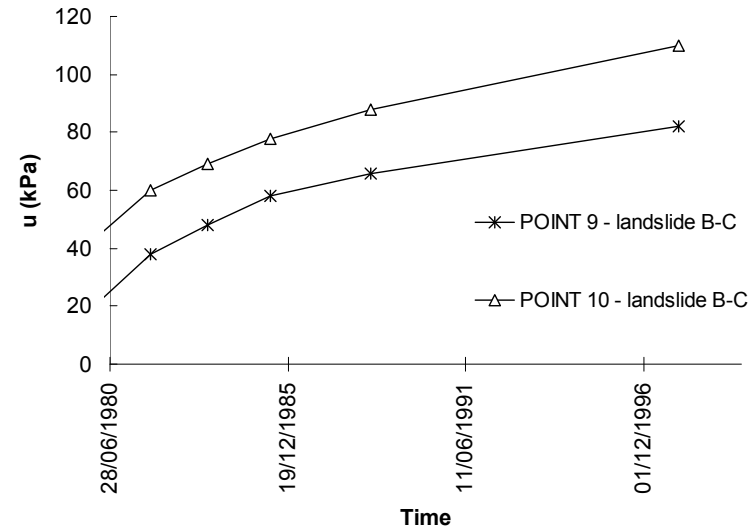
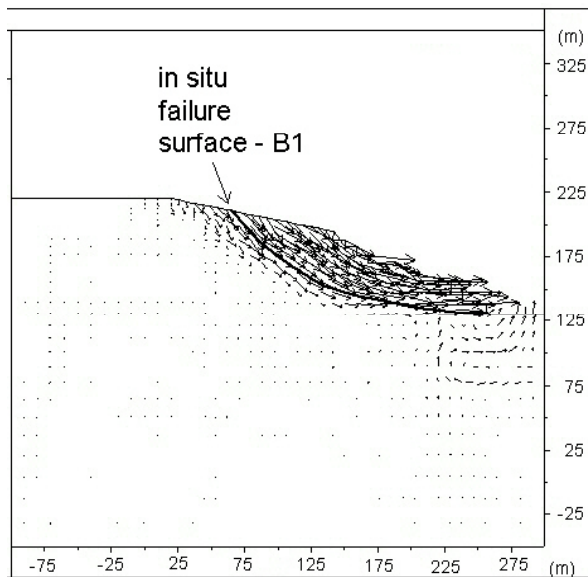
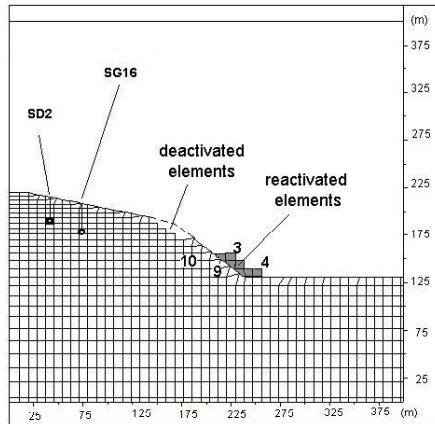
(Lollino et al. 2011)



# Convegno "Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno" - Lucera, 7 giugno 2013

## Frana di Lucera

### ANALISI FDM (FLAC<sup>2D</sup>)

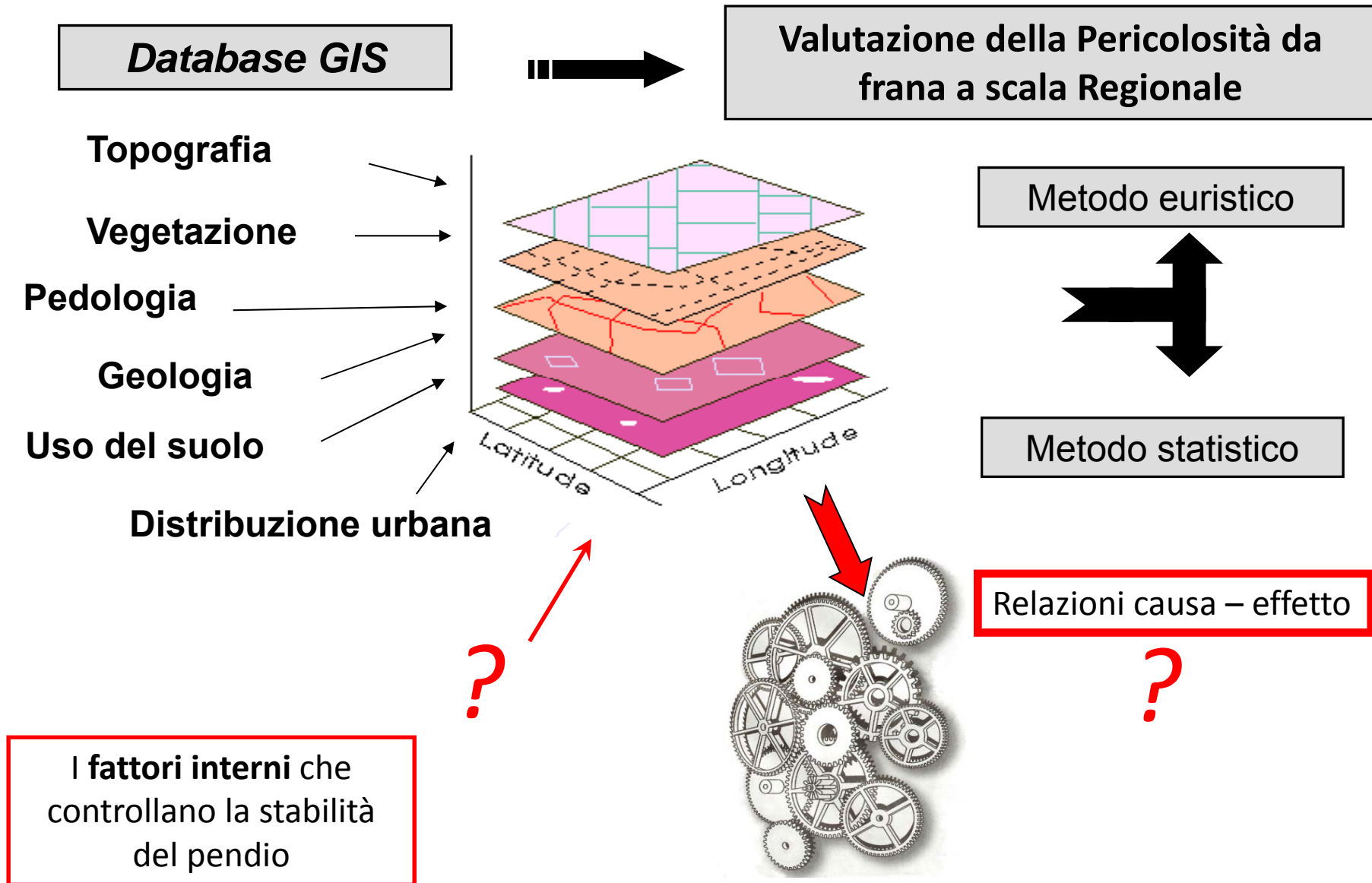


(Lollino et al. 2011)



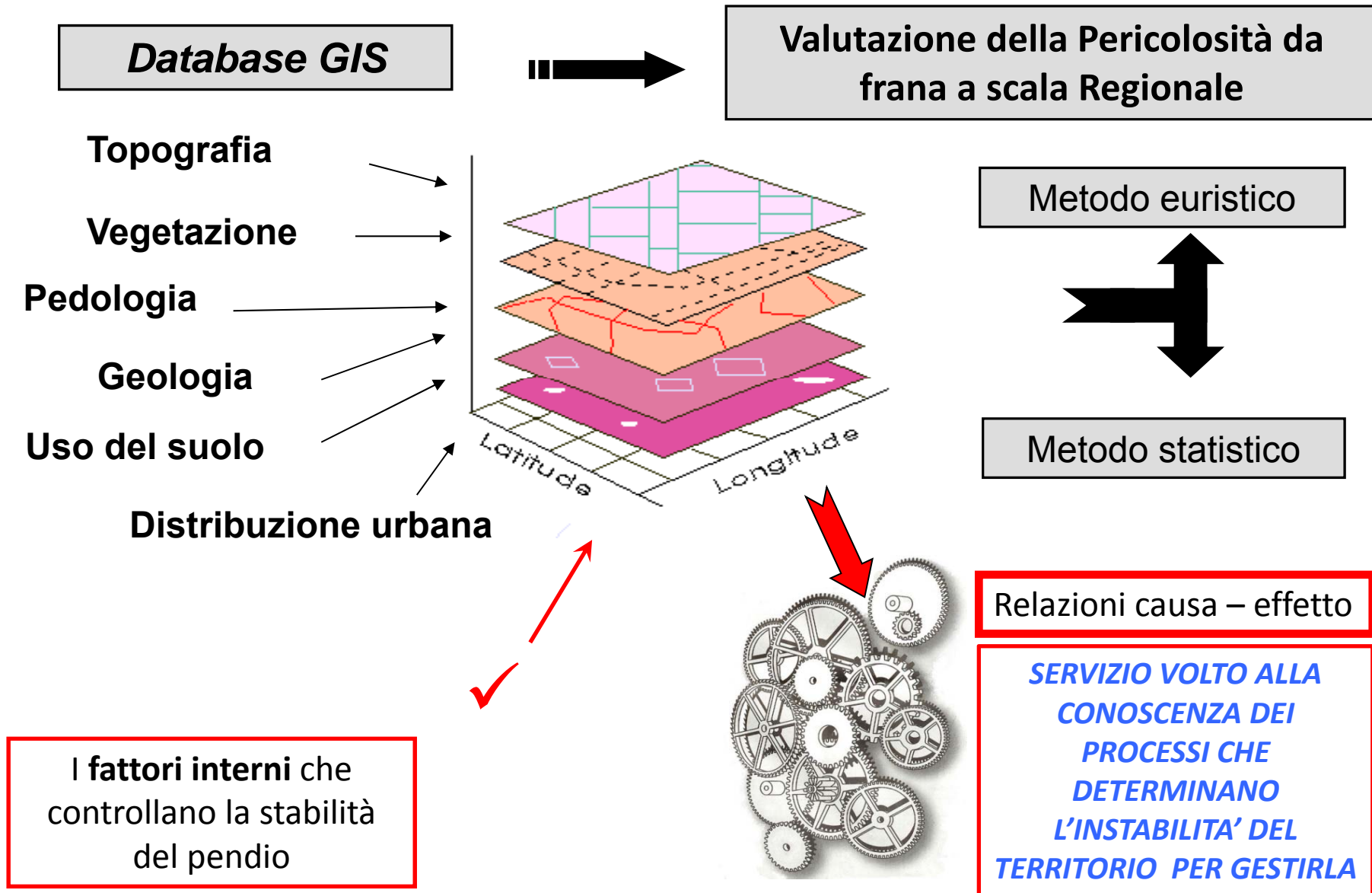


Convegno “Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno” - Lucera, 7 giugno 2013





Convegno “Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno” - Lucera, 7 giugno 2013





- 1 Interpretazione dei meccanismi su base geo-idro-meccanica
- 2 Valutazione della Pericolosità con la Consapevolezza geo-idro-meccanica del Meccanismo di Frana, dei Fattori e delle Cause

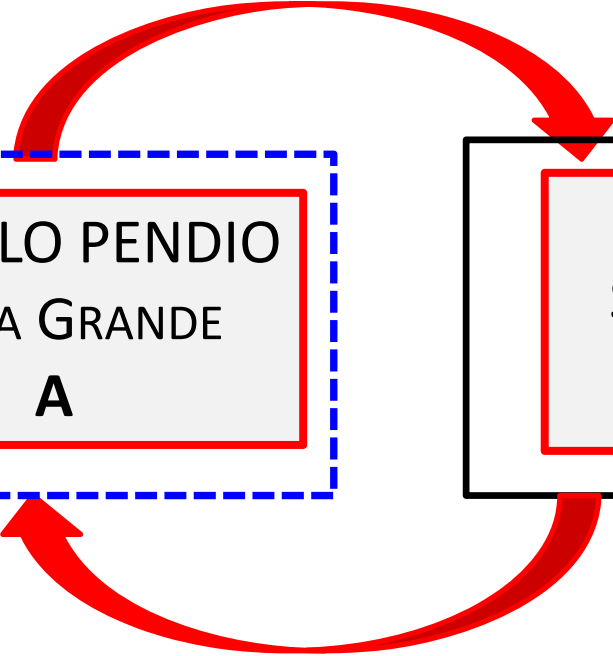
**APPROCCIO PROPOSTO**

SINGOLO PENDIO  
SCALA GRANDE  
**A**

AREA VASTA  
SCALA PICCOLA  
**B**

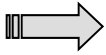
4  
**Interventi**

**Pianificazione** 3



# Approccio MULTISCALARE al QHA

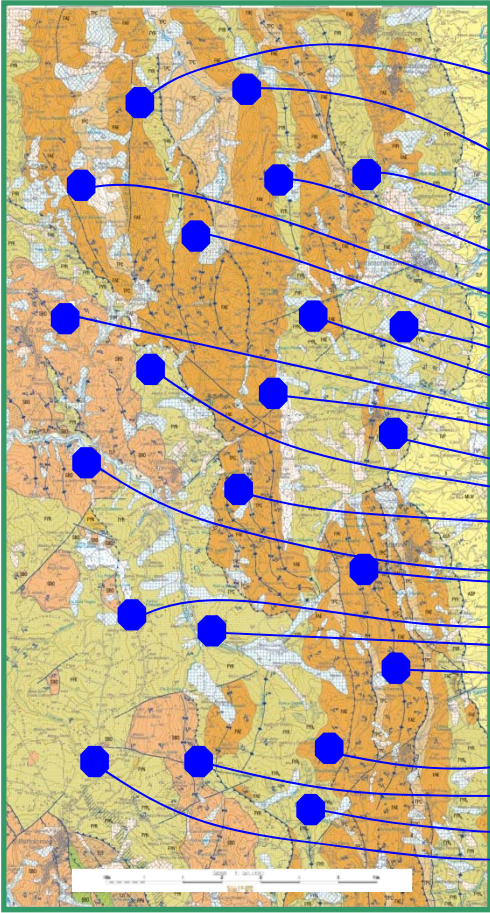
Complessità e variabilità



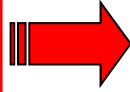
**RIDUZIONISMO**



Campione degli  
elementi  
rappresentativi



**STUDI A SCALA DI  
SINGOLO PENDIO  
I, II, III LIVELLO**

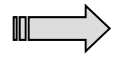


$R_1$   
 $R_2$   
 $R_3$   
...  
...  
...  
 $R_n$

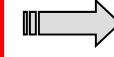
Realizzabile se  $n$  è più  
basso del numero dei  
casi indagati

# Approccio MULTISCALARE al QHA

Complessità locale



Ricerca per le  $R_i$



Campione degli  
elementi  
rappresentativi



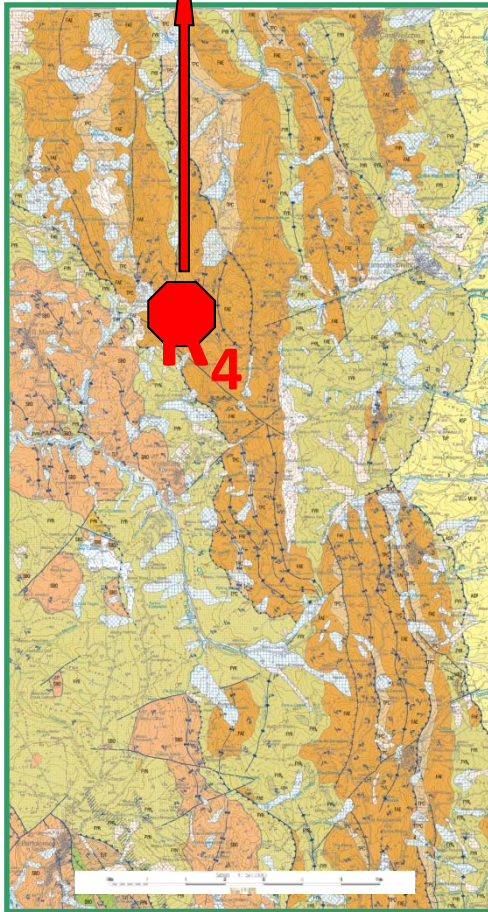
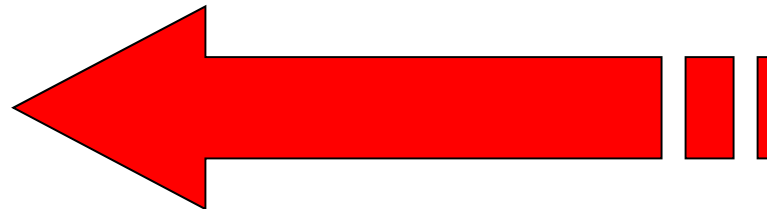
$R_1$

$R_2$

$R_3$

$R_4$

$R_5$

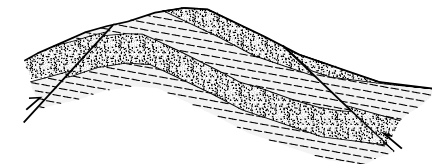
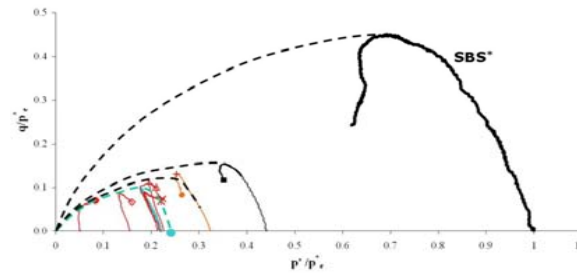
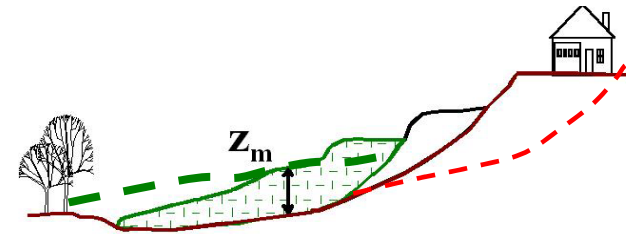
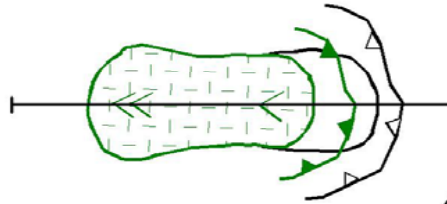


Studi di I, II, III livello svolti estensivamente nella regione



valutazione dei **MECCANISMI DI FRANA**

- ✓ Tipo di frana
- ✓ Profondità e geometria del corpo di frana
- ✓ Stile dell'attività
- ✓ Fattori “Predisponenti”
- ✓ Fattori “Innescanti”



## La metodologia **MULTISCALARE** è plausibile?

### **Ipotesi 1**

Un **limitato numero di assetti geo-idro-meccanici rappresentativi** ( $GM_i$ ) può essere identificato in ogni **regione sufficientemente omogenea**, nonostante la variabilità geologica

### **Ipotesi 2**

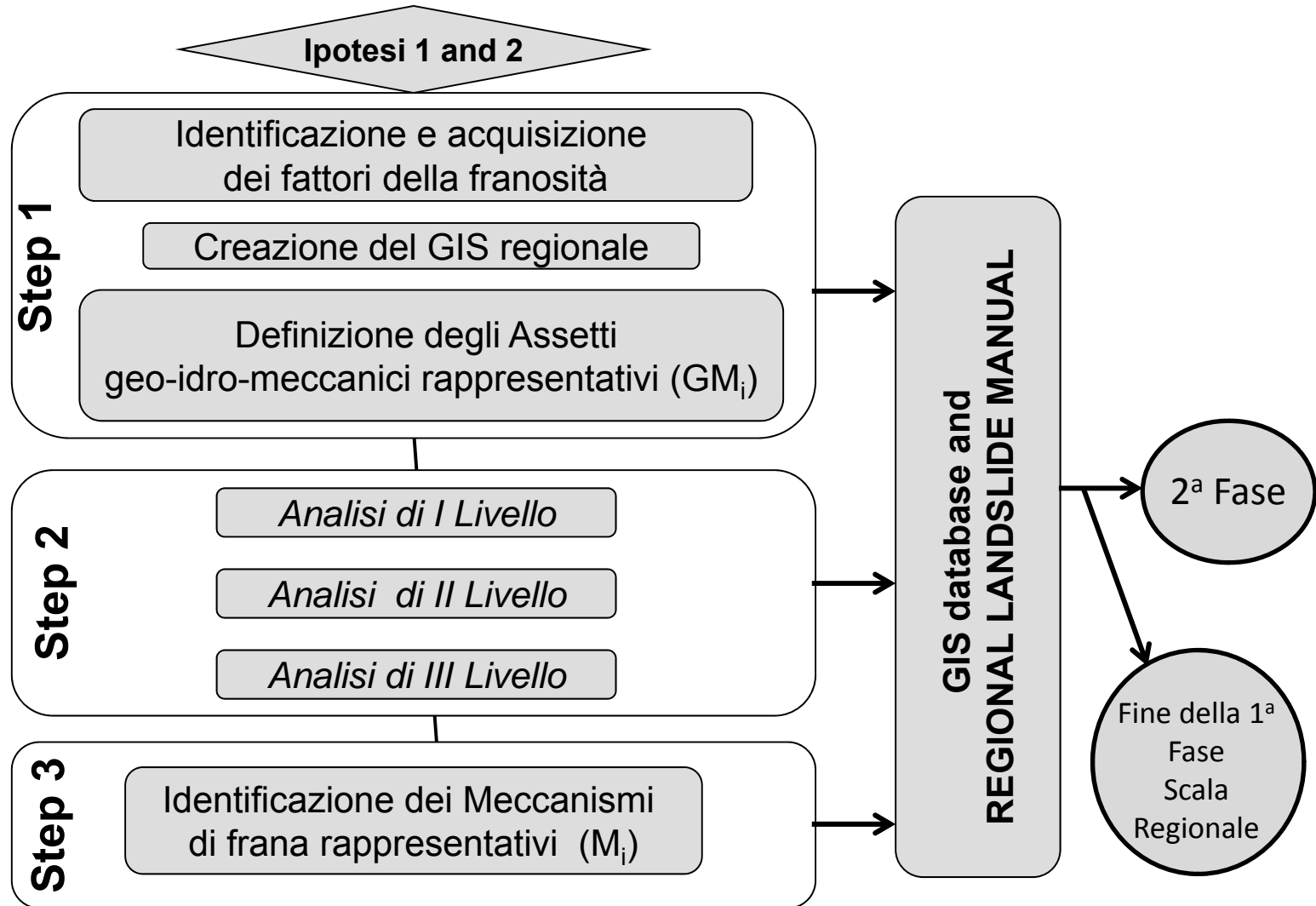
Un **limitato numero di meccanismi di frana rappresentativi** ( $M_i$ ) possono essere identificati in **ogni regione sufficientemente omogenea**

- La **risposta** dell'ammasso naturale è controllata dai **parametri idro-meccanici**
- Successioni geologiche differenti possono esibire un comportamento complessivo simile dovuto alle **similitudini nei parametri meccanici dei materiali**
- Finanche in contesti **geologicamente variabili** avvengono **rotture schematizzabili in poche classi**

**LA MECCANICA SEMPLIFICA LA  
CARATTERIZZAZIONE DEL PAESAGGIO**

# Metodologia **MULTISCALARE** per la Valutazione del QHA

**1<sup>a</sup>**  
**FASE**





# Metodologia **MULTISCALARE** per la Valutazione del QHA

## 1<sup>a</sup> FASE

### Step 1

Identificazione e acquisizione  
dei fattori della franosità

Creazione del GIS  
regionale

Definizione degli Assetti  
geo-idro-meccanici  
rappresentativi ( $GM_i$ )

GIS database and  
**REGIONAL  
LANDSLIDE  
MANUAL**



# Metodologia **MULTISCALARE** per la Valutazione del QHA

## 1<sup>a</sup> FASE

- ❖ studio delle **relazioni** tra i **fattori interni**, caratterizzanti le classi  $Gm_i$ , i **fattori esterni** e le **rotture** di pendio.
- ❖ interpretazione dei **meccanismi di rottura**.

### Step 2

Analisi di I Livello

Analisi di II Livello

Analisi di III Livello

GIS database  
and  
**REGIONAL  
LANDSLIDE  
MANUAL**



# Metodologia **MULTISCALARE** per la Valutazione del QHA

## 1<sup>a</sup> FASE

### Step 3

Identificazione dei  
Meccanismi  
di frana  
rappresentativi ( $M_i$ )

GIS database and  
**REGIONAL  
LANDSLIDE  
MANUAL**



# Metodologia **MULTISCALARE** per la Valutazione del QHA

**2<sup>a</sup> FASE: Cella  
territoriale**



## **I Stadio**

*Identificazione ed  
archiviazione dei fattori*

## **II Stadio**

*Creazione di un database  
specifico  
Inserimento dei livelli  
informativi nel GIS*

## **III Stadio**

*Analisi interattiva tra il GIS  
locale ed il Manuale  
Regionale della franosità*

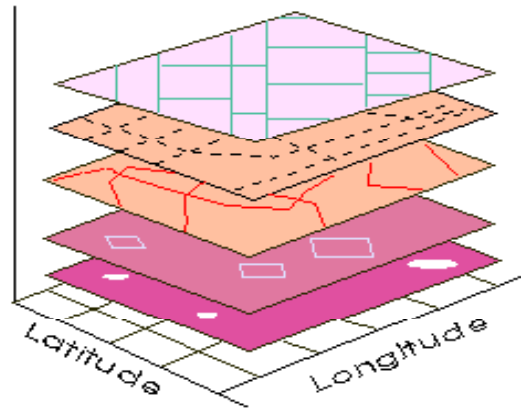
## **IV Stadio**

*Validazione di  
I, II e III Livello*

**Previsione della  
pericolosità da  
frana a livello  
urbano**

# Metodologia **MULTISCALARE** per la Valutazione del QHA

CELLA TERRITORIALE: **Pericolosità locale?**



**GIS LOCALE**

Possibili assetti geomeccanici,  $GM_i$

Possibili meccanismi di rottura,  $M_i$

Possibili fattori predisponenti ed innescanti

Prime **RISPOSTE** alle domande: **COME, PERCHÉ.. (QUANDO)?**

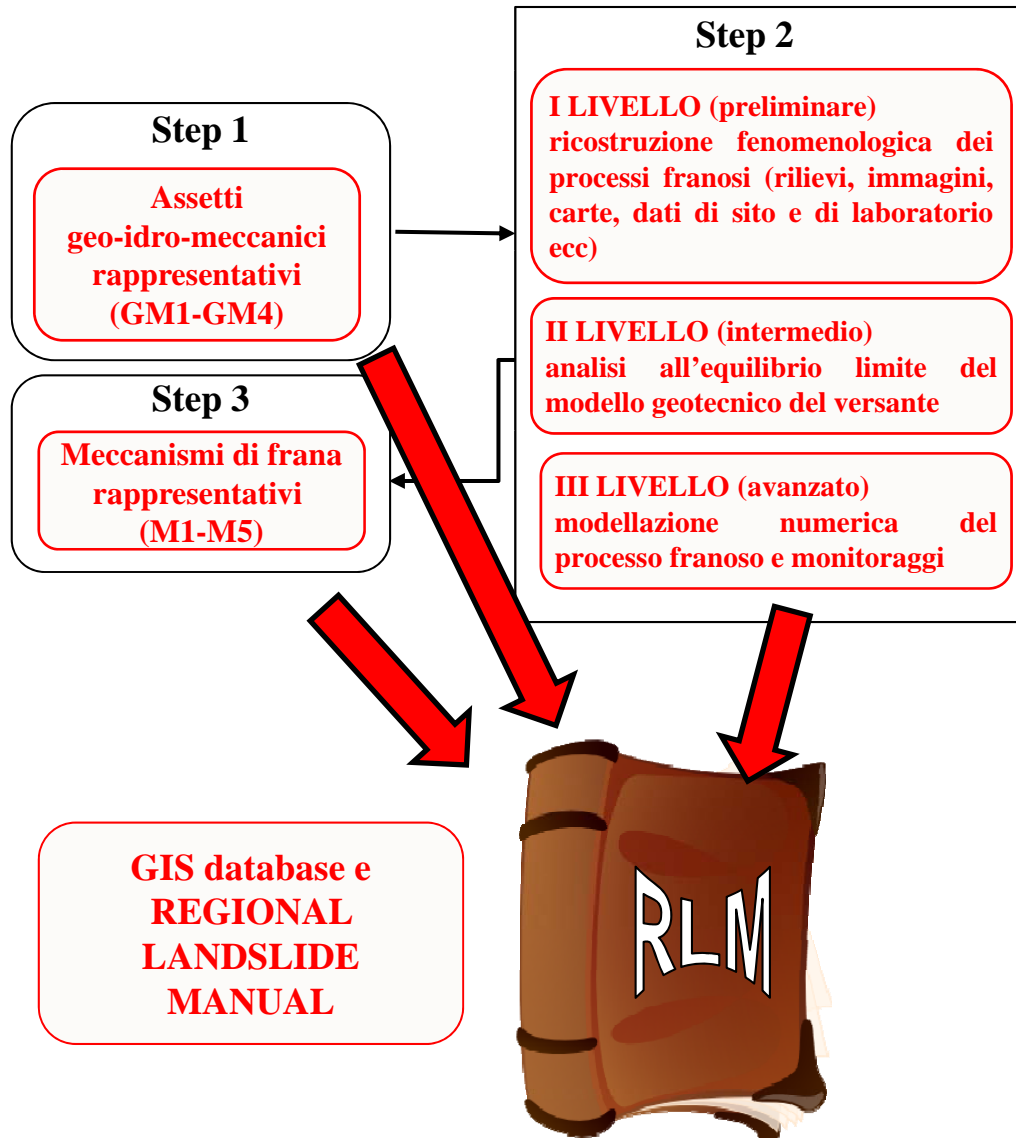
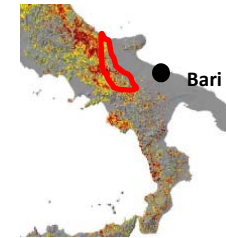
2a FASE, Stadio 3:  
**Analisi interattive**

Ricerca del  $R_i$

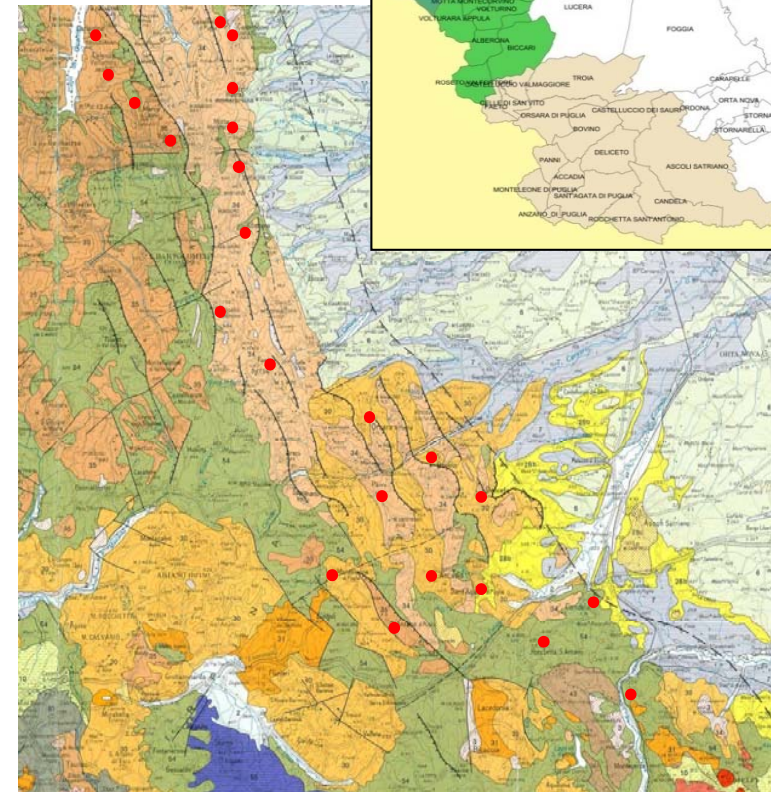




# APPLICAZIONE: Appennino Dauno



Settore esterno dell'Appennino meridionale:  
25 centri urbani





## “Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno”

- **Contesto geomeccanico: processi di frana profondi a cinematica lenta e superficiali a cinematica moderata**
- **Danneggiamento diffuso di strutture ed infrastrutture**





# “Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno”

**Le Frane soffocano i centri abitati “recintati”**







## TABELLA DI ARCHIVIO PER OGNI AREA URBANA ESAMINATA

Convegno “Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno”

CENTRO URBANO							
Zona	Materiali		Strutture tettoniche		Frane		
A (NO)	CG		CG		CG		PN
	S100	S50	S100	S50	S100	S50	
	Argilla con calcareniti (1) <i>Sigla formazione</i>	Argilla limosa (1) <i>Sigla formazione</i>	no	no	Frana (1)	Deposito di frana (1)	Scorrimento (1)
	Molasse (2) <i>Sigla formazione</i>	Arenaria (2) <i>Sigla formazione</i>	no	no	Frana (2)	Deposito di frana antico (2)	Scorrimento rotazionale (2)

CENTRO URBANO						
Zona	Parametri geotecnici	Condizioni idrauliche		Cause, danni, lesioni, interventi	Informazione eventi	
A (NO)			CG	PN	PN	PN
		S50				
	no	Sorgente perenne	4 m p.c. (TA)	Lesioni strada statale	1975, 1996, 2001	1996, 2001
	no			nessun danno	nessuno	nessuna

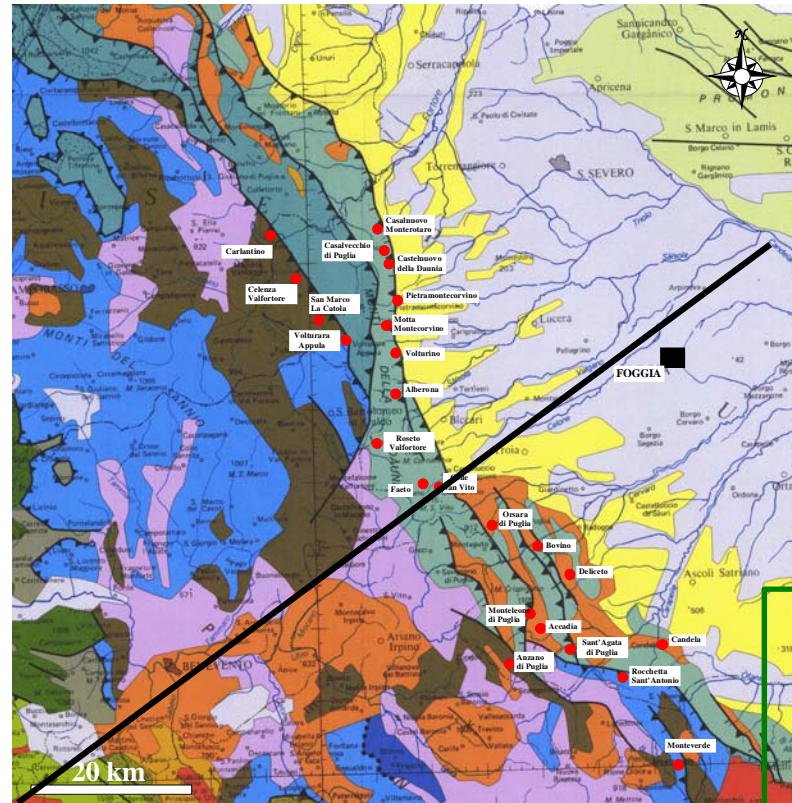
(CG: cartografia geologica, S100- scala 1:100.000, S50-scala 1:50.000; PN: progetto nazionale).

- ✧ **Accurata analisi dei dati raccolti**
- ✧ **Rilievi in sito (scala grande e di dettaglio)**



# Applicazione

Successioni torbiditiche,  
depositi pelagici di  
pendio–scarpata,  
depositi deltizi e di  
piattaforma



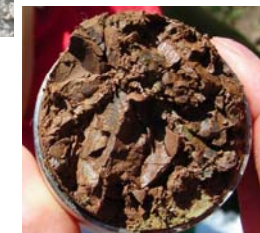
## Unità Dauna



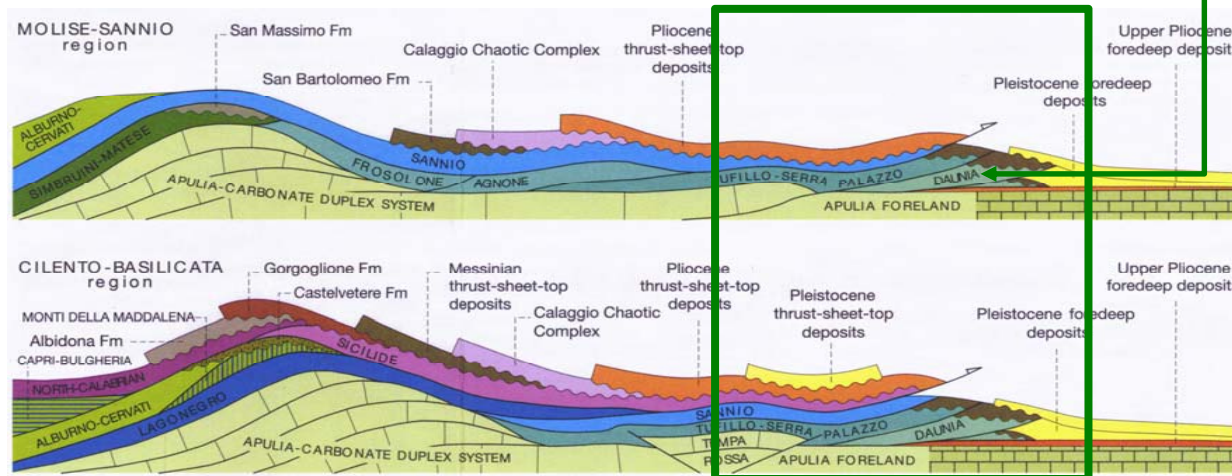
Marne di  
Toppo  
Capuana



Flysch di  
Faeto

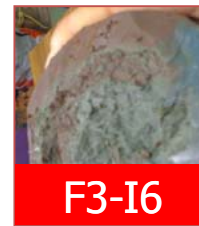
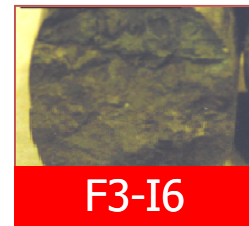


Flysch  
Rosso





## Caratterizzazione mesotessiture delle argille fessurate (Vitone & Cotecchia 2011)

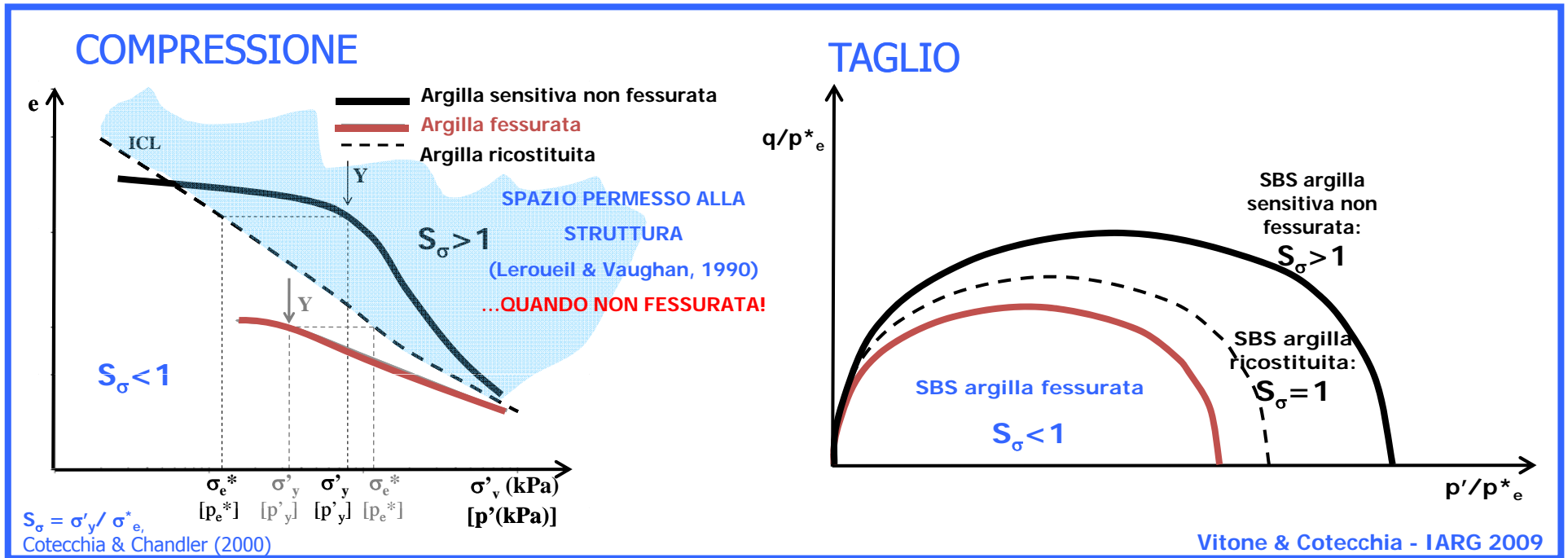


	TERRENO INTEGRO		NATURA DELLE DISCONTINUITÀ			ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ	GEOMETRIA DELLE DISCONTINUITÀ		
	Principale natura del sedimento <b>A</b>	Resistenza non drenata° <b>B</b>	Tipo <b>C</b>	Scabrezza* <b>D</b>	Stato <b>E</b>	<b>F</b>	Forma <sup>-</sup> <b>G</b>	Continuità <sup>-</sup> <b>H</b>	Intensità <sup>+</sup> <b>I</b>
1	Argilla	Argillite	Deposizionali	Molto scabre	Inalterate	Singola	Piane	Continue	Molto bassa: < 3 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> - > 1 m <sup>3</sup>
2	Limo	Argilla consistente	Rilascio-tensionale	Scabre	Poco alterate	Diverse	Curve	Molte intersezioni	Bassa: 3÷10 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> - 0.027÷1 m <sup>3</sup>
3	Argilla limosa	Argilla mediamente consistente	Indotte da azioni di taglio	Leggermente scabre	Molto alterate	Casuali	Piane e curve	Alcune intersezioni	Medio-bassa: 10÷30 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> - 0.001÷0.027 m <sup>3</sup>
4	Limo argilloso	Argilla soffice		Lisce	Ossidate		Concave e convesse	Pochissime intersezioni	Media: 30÷100 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> - 27÷1000 cm <sup>3</sup>
5	Argilla marnosa			Molto lisce	Ricoperte		Concoidale		Mediamente elevata: 100÷300 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> - 1÷27 cm <sup>3</sup>
6				Estremamente lisce e traslucide					Elevata: > 300 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> - < 1 cm <sup>3</sup>

categorie primarie: orientazione (F) -intensità (I)

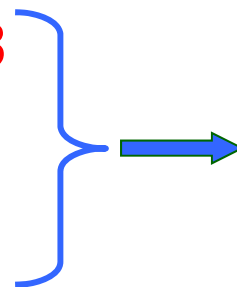


# comportamento meccanico elemento di volume



Orientazione: F1/0°-F3

Intensità: I6-I4



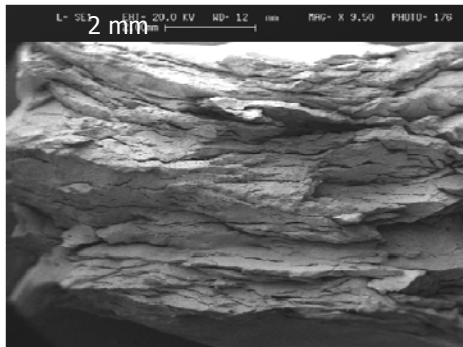
Meccanica dei terreni (continuo)

fessurazione quale nuova variabile interna

## misure di campo (DIC)



### ARGILLA SCAGLIOSA



**I6 F1**

*Oligocene*  
 PI = 52%;  $w_{LL}$  = 82%;  
 CF = 91%; A = 0.6;  
 e = 0.78-0.98;  
*Illite/Smectite* = 80%



### BENTONITE

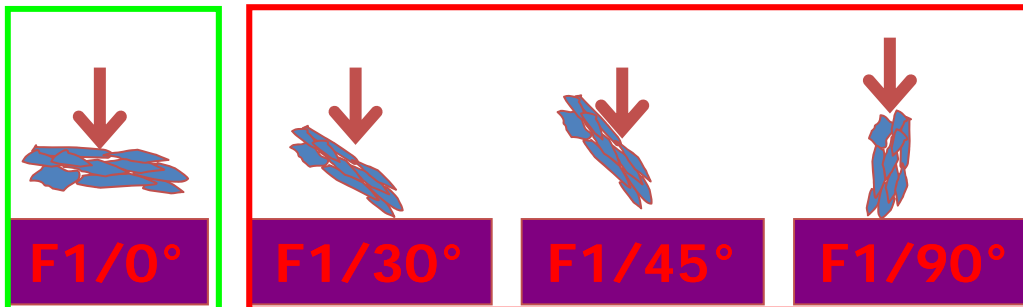


**I5-I3 F3**

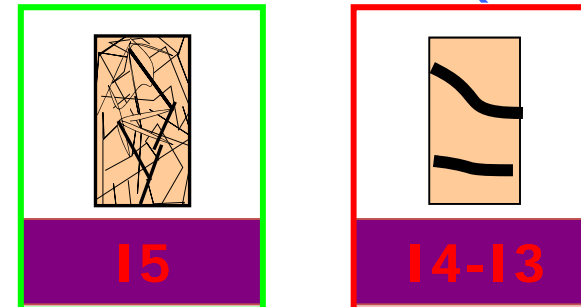
CF = 66%, A = 1.5,  
 e = 1.55-1.80;  
*Smectite* = 92%



### influenza orientazione (varia F)



### influenza intensità (varia I)



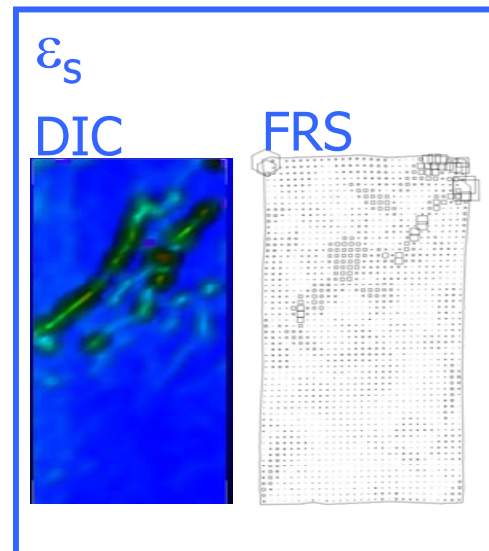
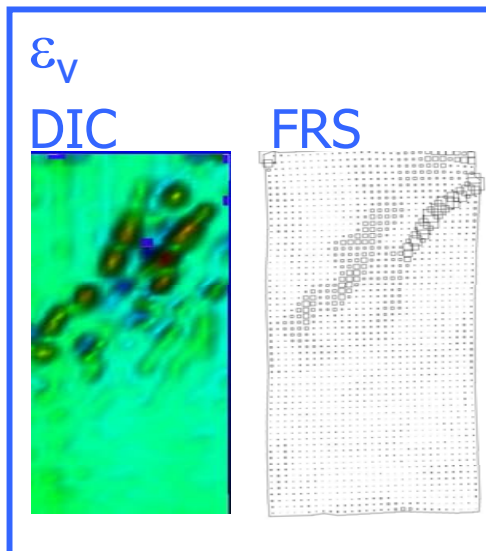
## misure di campi di deformazione: tecniche

### Prove in cella piana: analisi dell'evoluzione dei campi di deformazione

- Tecniche di elaborazione:

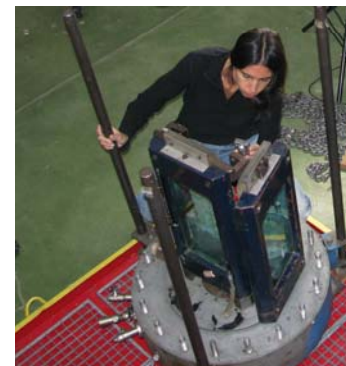
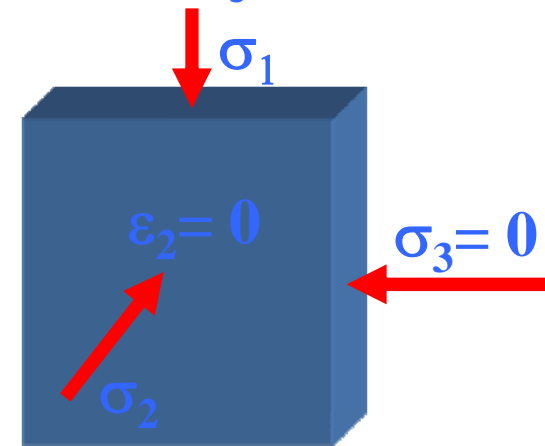
- FRS**: Stereofotogrammetria del Falso Rilievo (Butterfield et al., 1970; Desrues, 1984)

- DIC**: Correlazione di Immagini Digitali (Rechenmacher & Finno, 2004; Viggiani & Hall, 2008)



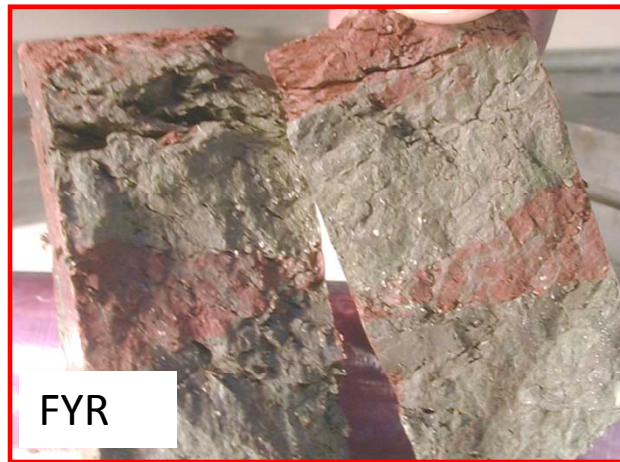
- Condizioni al contorno:

- prove senza confinamento laterale ( $\sigma_3=0$ ) e risaturazione



# MECCANICA DEI MATERIALI: la classe "terreni"

Applicazione



FLYSCH di FAETO

Argille plastiche

$CF \cong 65-75\%$

$w_L \cong 100\%$

$PI \cong 60-70\%$

$A \cong 0.75-1$

$c_p' = 0-25 \text{ kPa}, \phi_p' = 18-22^\circ$

$\phi_r' = 8-9^\circ$

FLYSCH ROSSO

Argille scagliose

$CF \cong 55-70\%$

$w_L \cong 60-140\%$

$PI \cong 40-100\%$

$A \cong 0.75-1.4$

$c_p' = 0-20 \text{ kPa}, \phi_p' = 15-25^\circ$

$\phi_r' = 5-9^\circ$

ARGILLE di TOPPO CAPUANA

Argille mediamente fessurate

$CF \cong 50-60\%$

$w_L \cong 30-75\%$

$PI \cong 30-40\%$

$A \cong 0.5-0.7$

$c_p' = 0-50 \text{ kPa}, \phi_p' = 18-20^\circ$

$\phi_r' = 9-10^\circ$



# DEFINIZIONE dei GM<sub>i</sub>

Applicazione

**unità  
argillosa  
(UA)**



**unità lapidea (UL)**



**unità conglomeratico-  
sabbiosa (UCS)  
o sabbioso-  
conglomeratica (USC)**



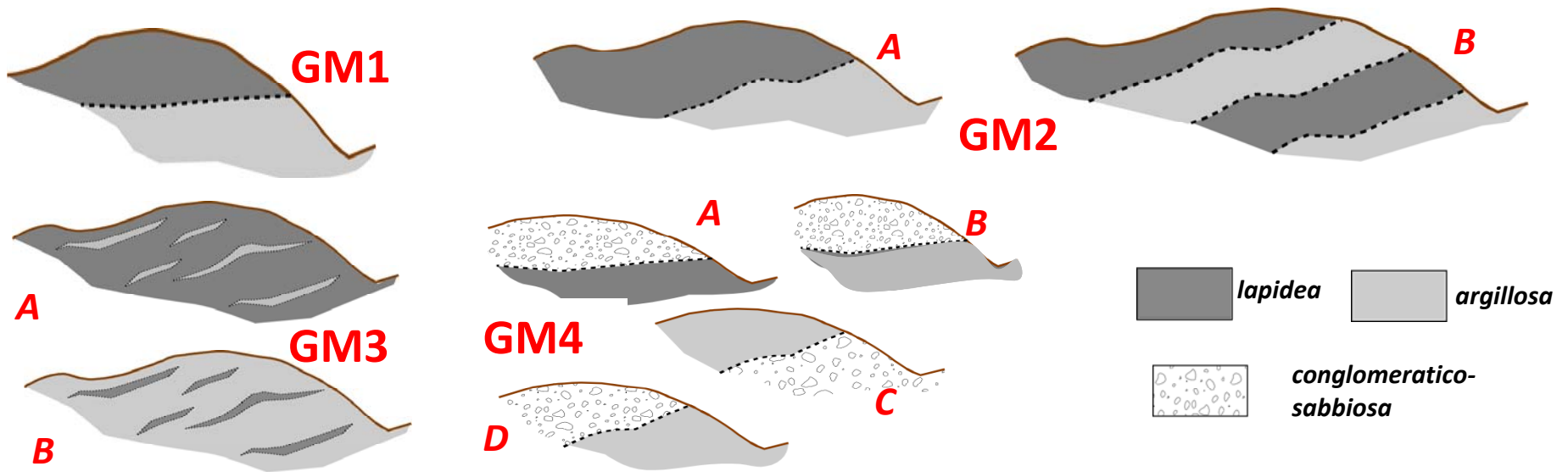




# DEFINIZIONE dei GM<sub>i</sub>

Applicazione

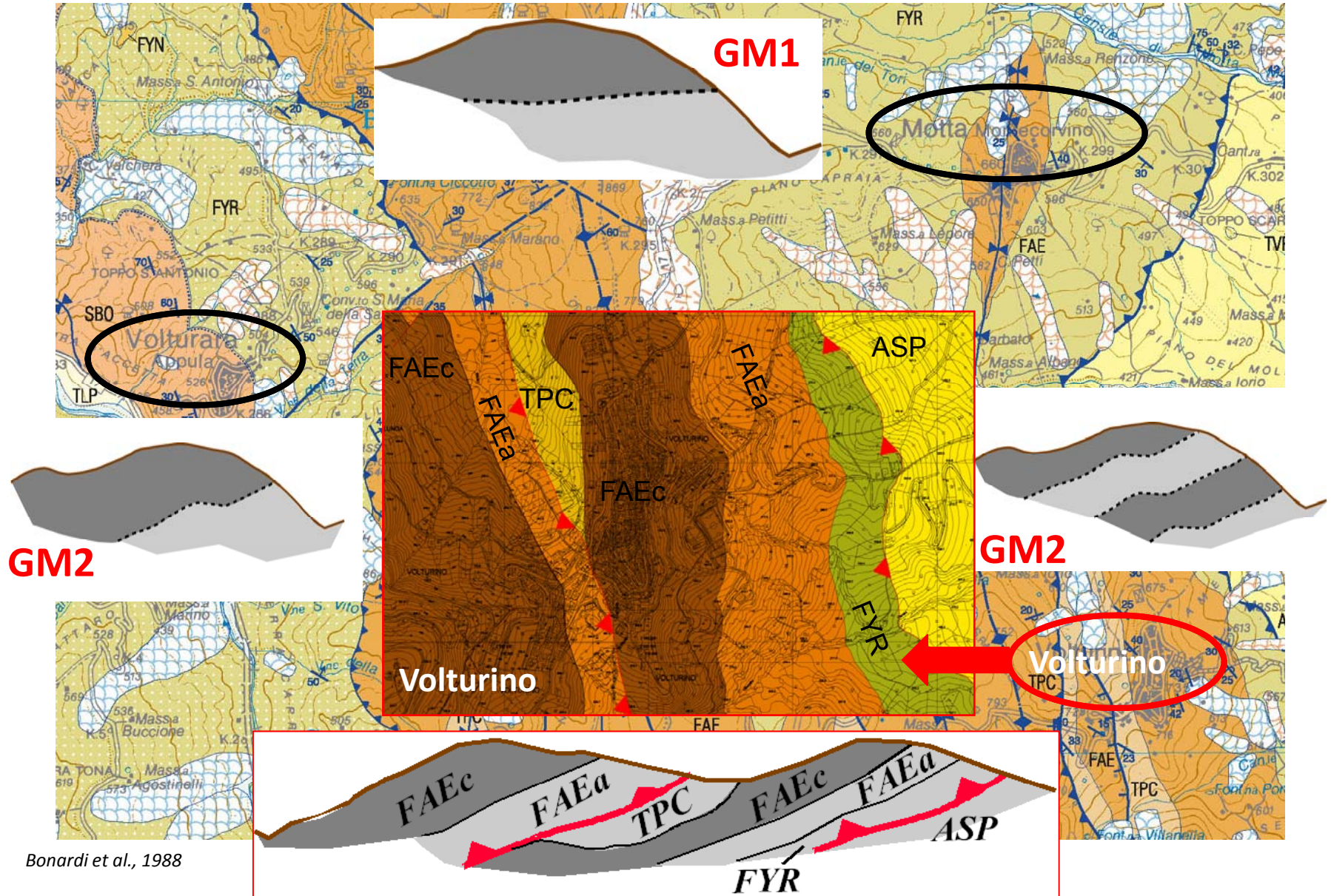
La scala di riferimento delle diverse unità = scala del versante (> decine di metri)



GM2>>GM3>GM1>> GM4



**CONFIGURAZIONE SPAZIALE DELLE UNITÀ**

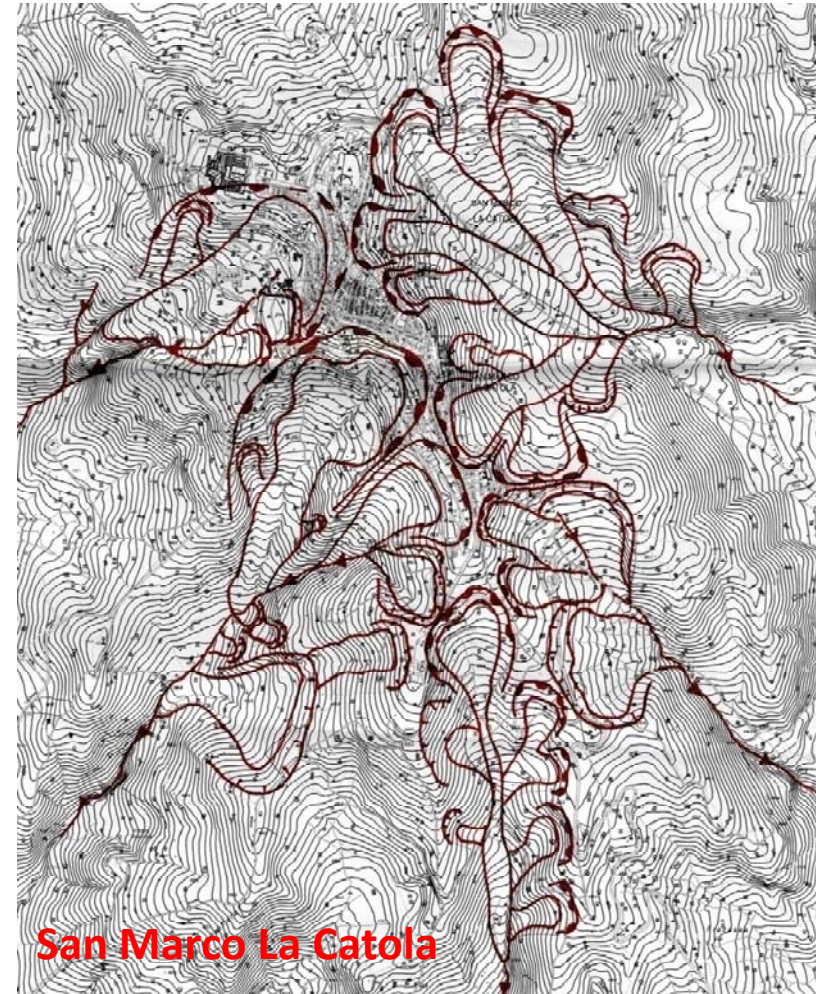
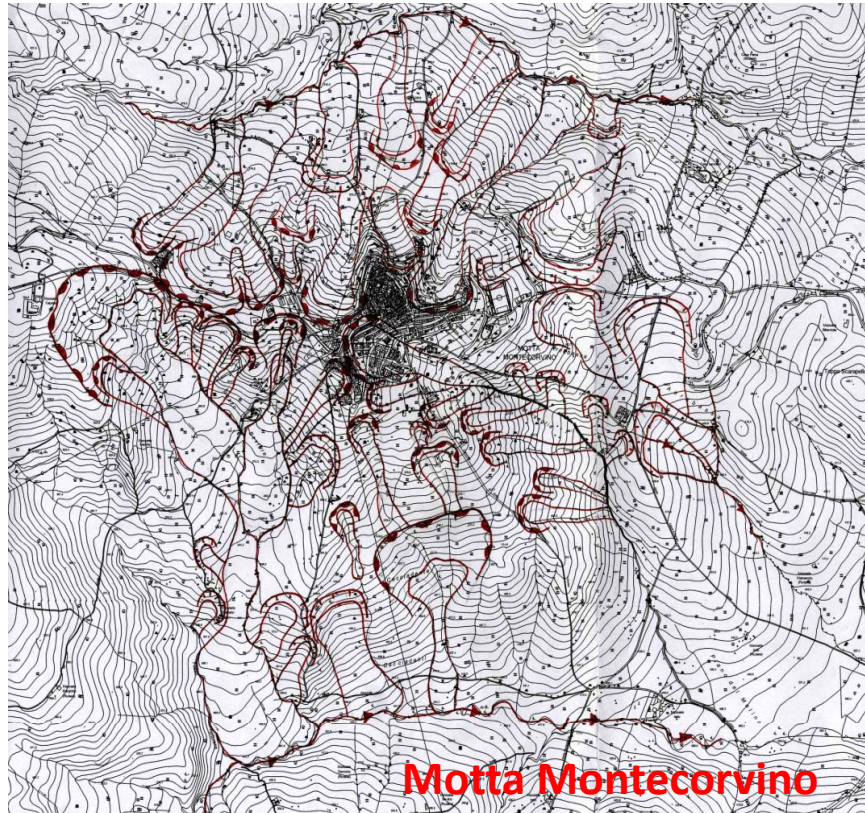


Bonardi et al., 1988



**Evoluzioni di FRANE ANTICHE**  
la cui presenza ha “condizionato”  
l’assetto urbano limitando  
l’espansione urbana

Applicazione



Ipotesi 1 and 2

Step 1

Identificazione e acquisizione dei fattori della franosità

Creazione del GIS regionale

Definizione degli Assetti geo-idro-meccanici rappresentativi (GMi)

Step 2

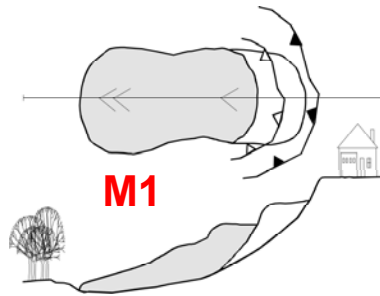
Analisi di I Livello

Analisi di II Livello

Analisi di III Livello

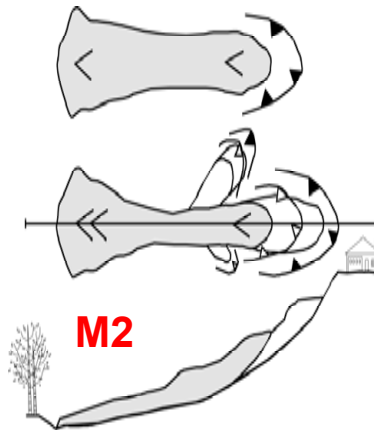
Step 3

**Identificazione dei Meccanismi di frana rappresentativi ( $M_i$ )**



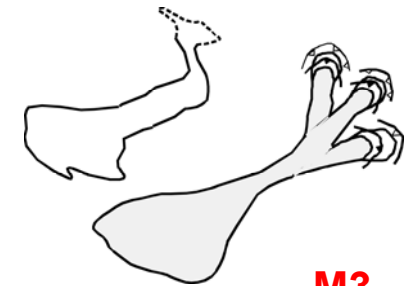
**M1**

**Scorrimenti composti o rototraslativi**



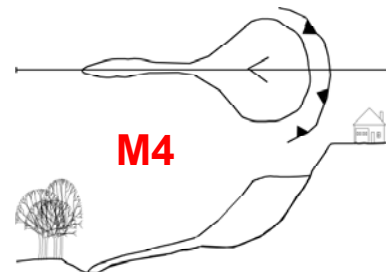
**M2**

**Scorrimenti di argilla**



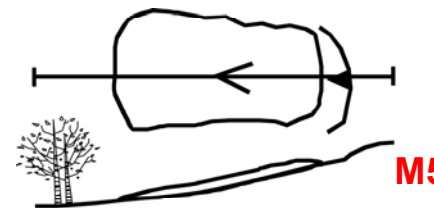
**M3**

**Scorrimenti-colate  
Clay slide flow**



**M4**

**Scorrimenti rotazionali evolventi a colata**



**M5**

**Scivolamenti traslativi superficiali**

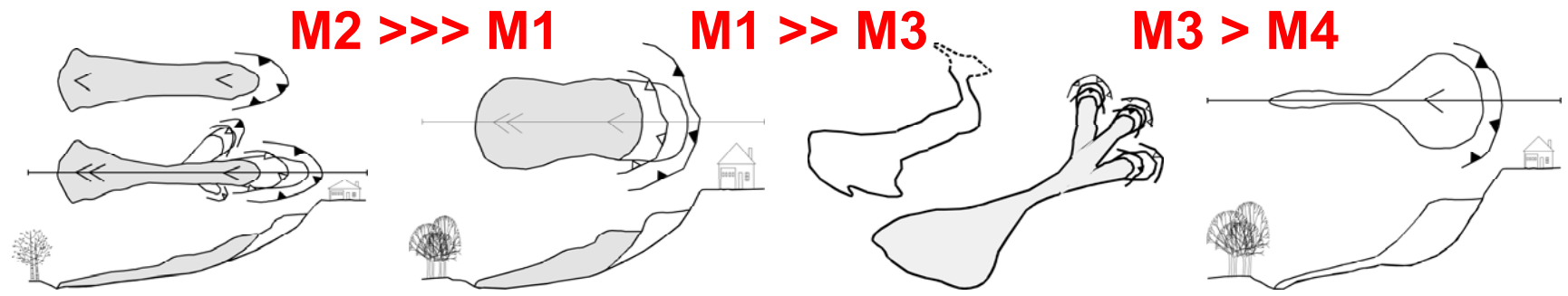
**Meccanismi secondari:**

- scorrimenti rotazionali
- Crolli, ribaltamenti



# CORRELAZIONI tra $M_i$ e fattori

Applicazione



Scorrimenti di argilla	Scorrimenti composti	Scorrimenti-colate	Scorrimenti rotazionali a colata
<b>Profondità (m)</b>			
≥20	≥30-40	Alquanto variabile	≥30-40 (scorrimento)
<b>Energia del rilievo del versante</b>			
Medio-bassa	Medio-alta	Bassa	Alta
<b>Interazione con impluvi</b>			
Piede o fianchi corpo	Piede corpo (trasversale)	Piede o fianchi corpo	Piede corpo (parallelo)
<b>Assetti geomeccanici principali</b>			
GM1-GM3	GM1-GM2	GM2	GM1-GM2A
Confinati lateralmente	Confinati lateralmente	Non confinati	

Unità argillosa del Flysch di Faeto

Presenza di sorgenti a monte



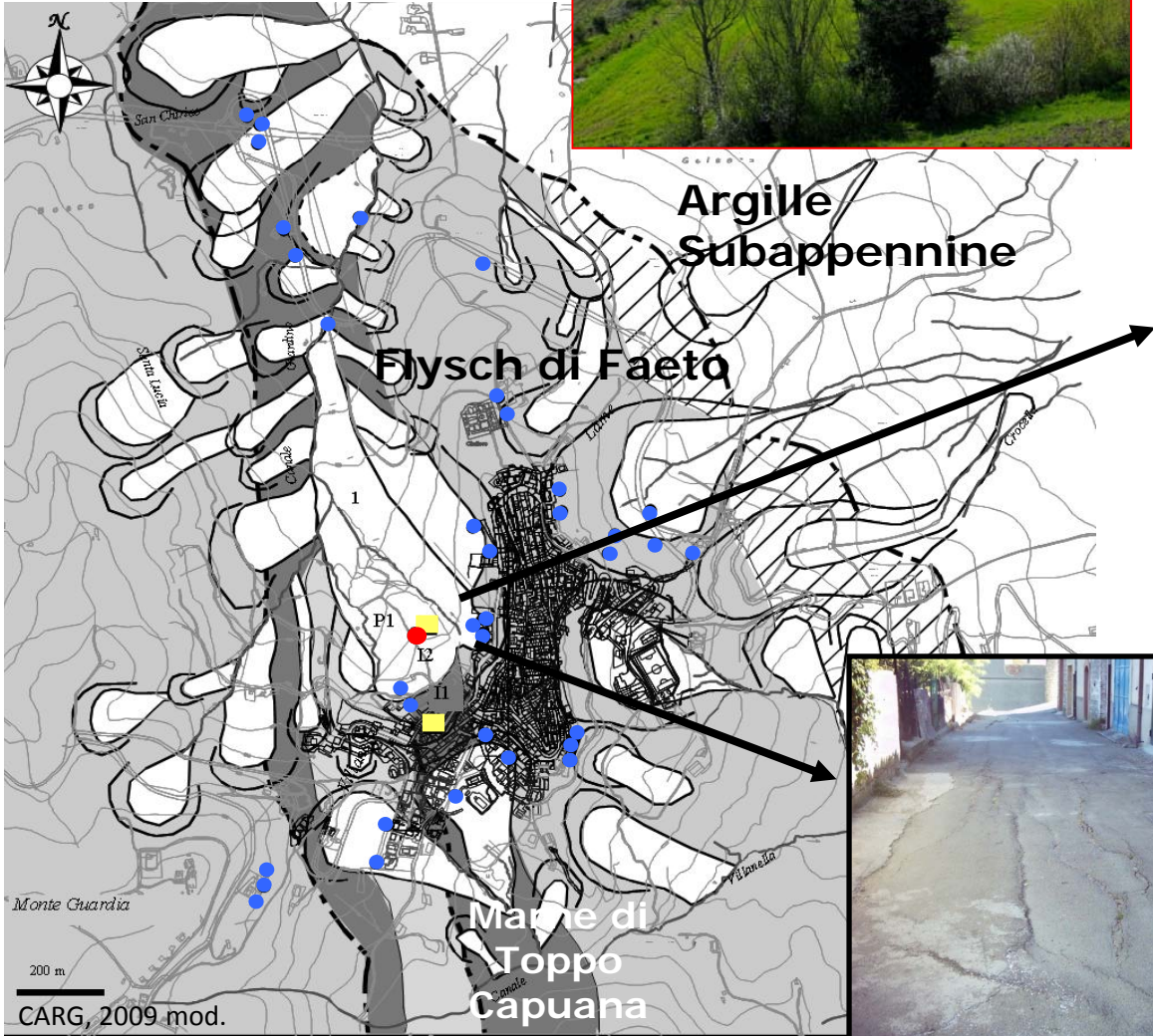
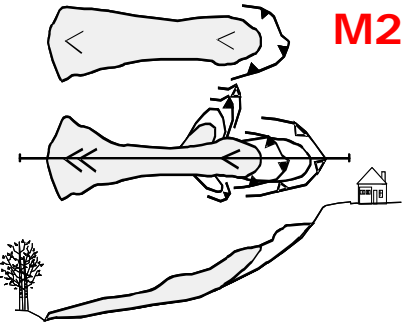
# VOLTURINO

## Applicazione: I-II-III Livello

### Frana Giardino



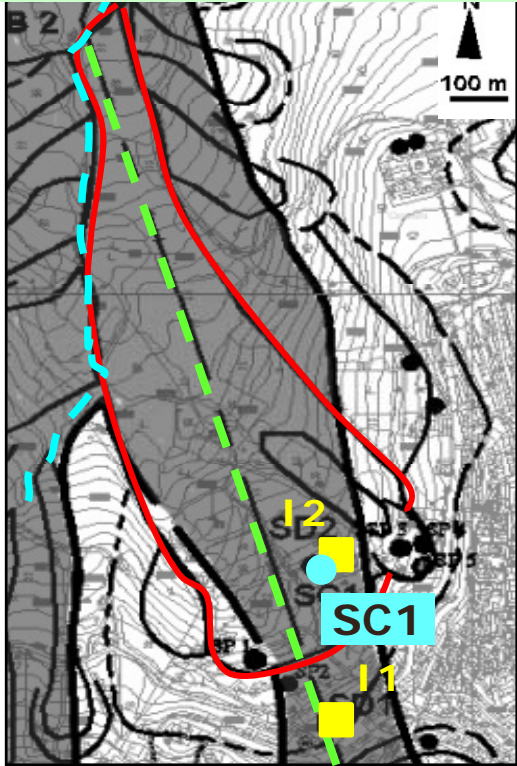
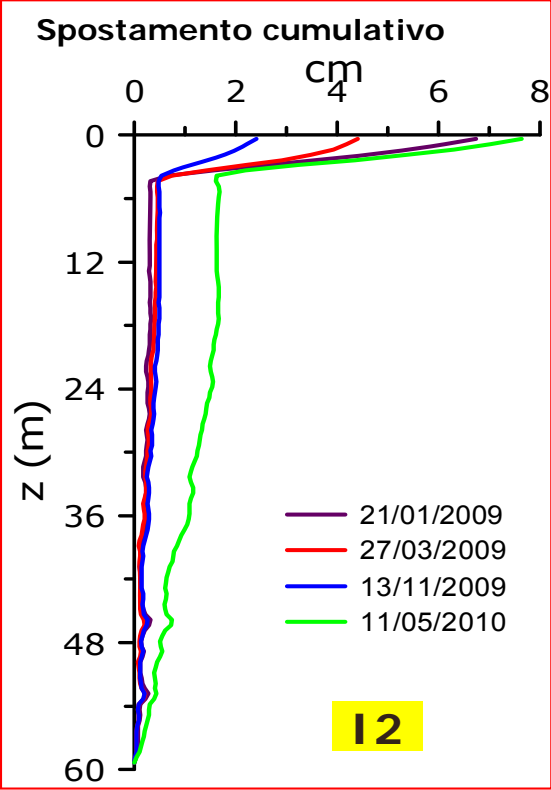
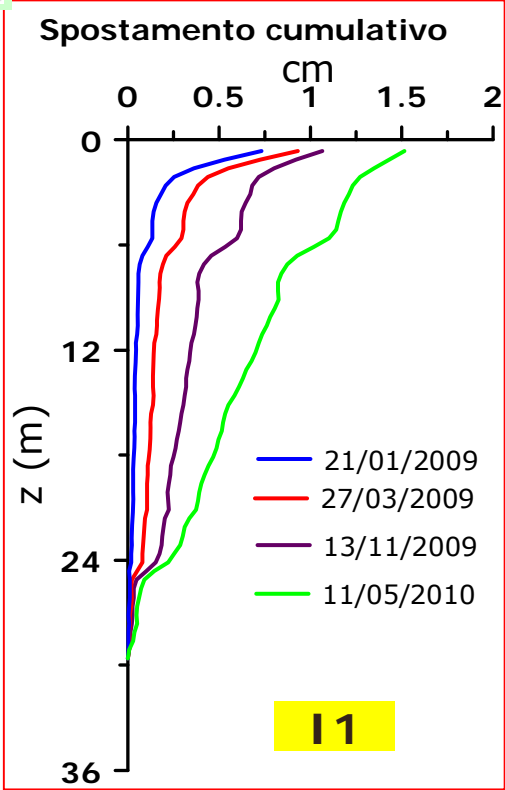
Scorrimento di argilla



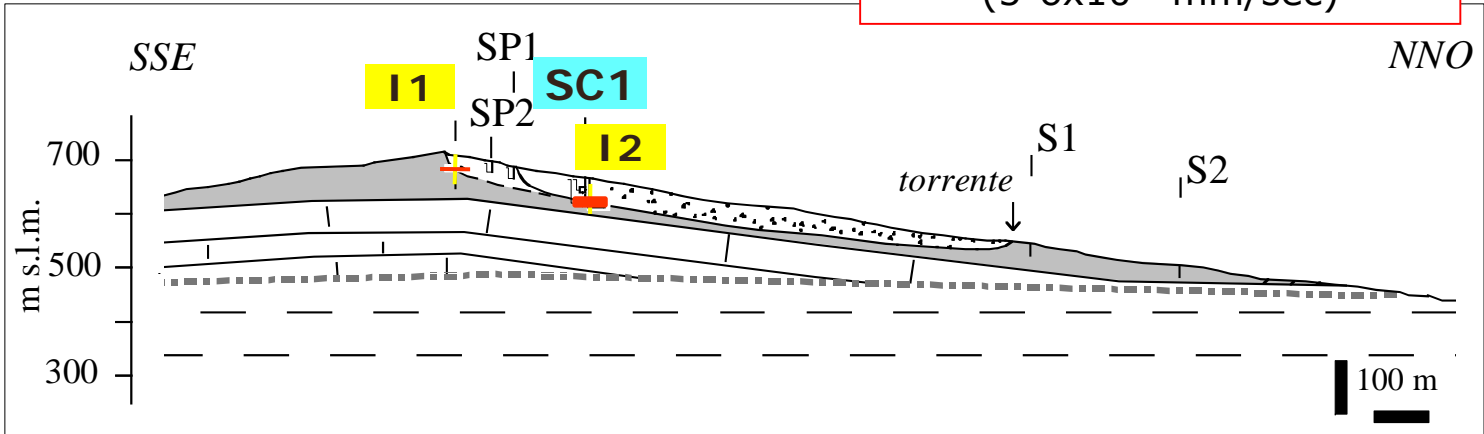
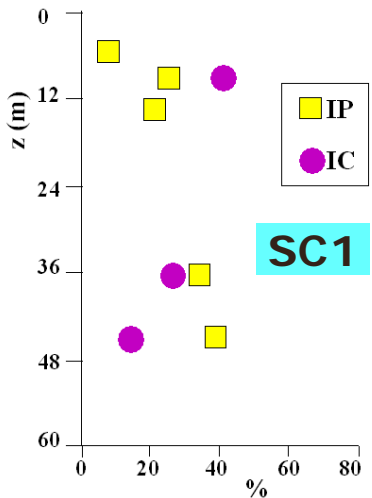


# Frana Giardino

## Applicazione: I-II-III Livello



Velocità di spostamento:  
estremamente lento  
( $5-6 \times 10^{-8}$  mm/sec)

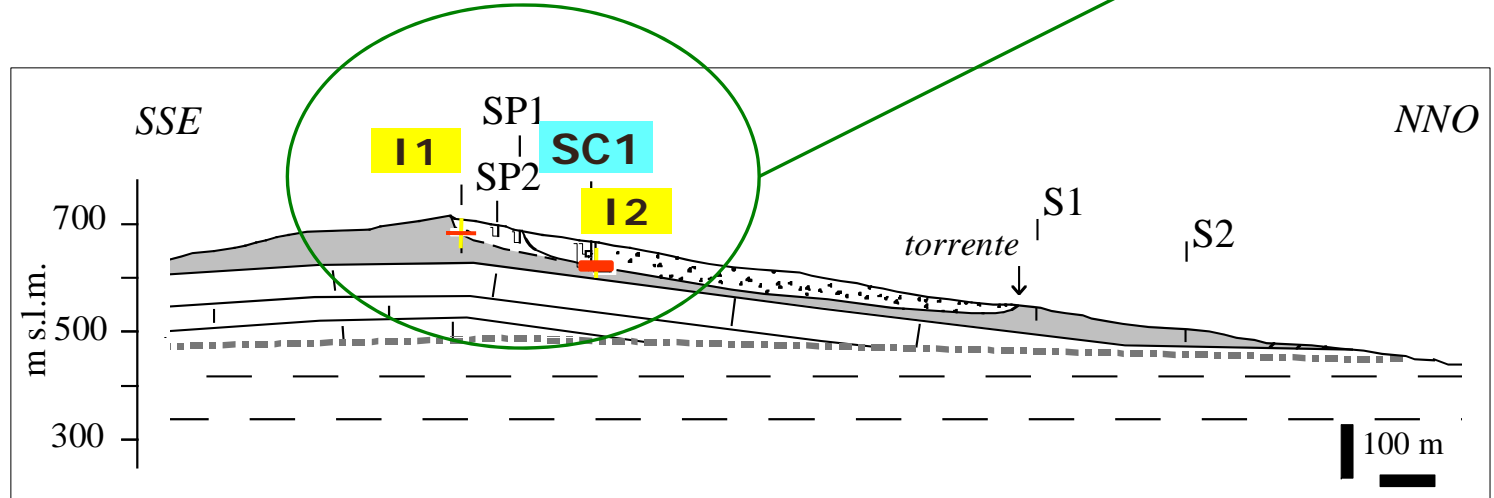
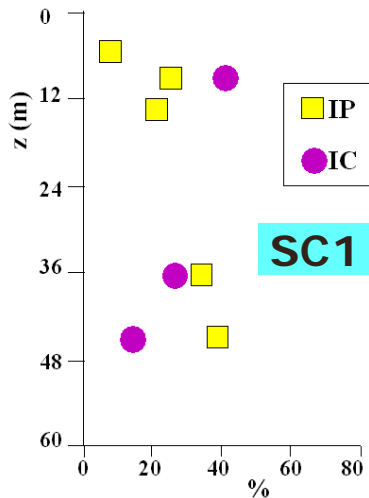
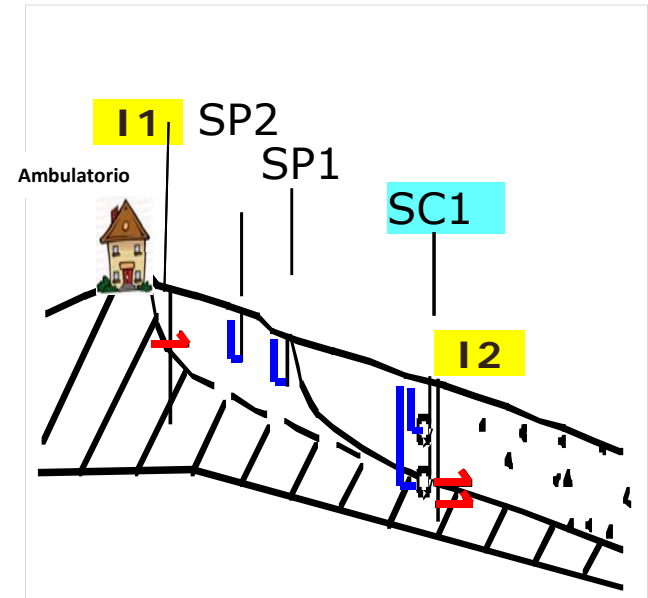
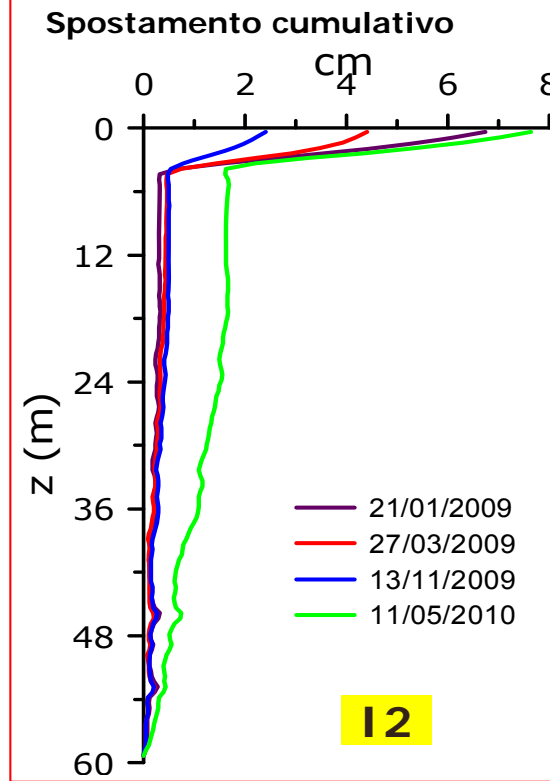
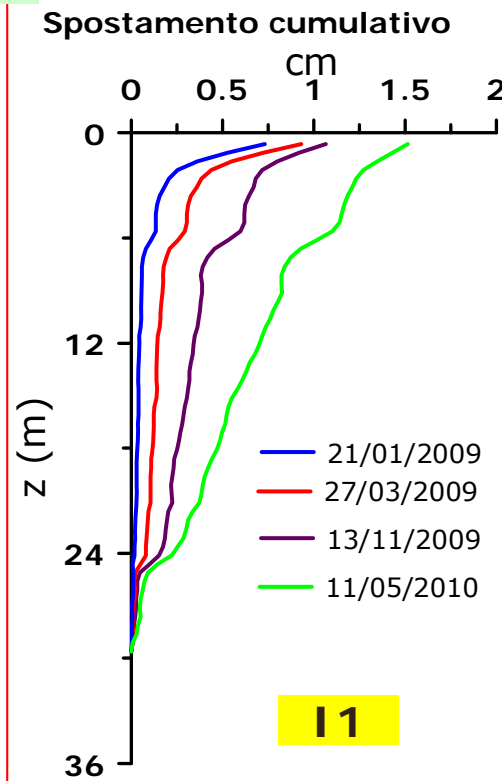




# Frana Giardino (Vulturino)

## Applicazione: I-II-III Livello

PS\_119

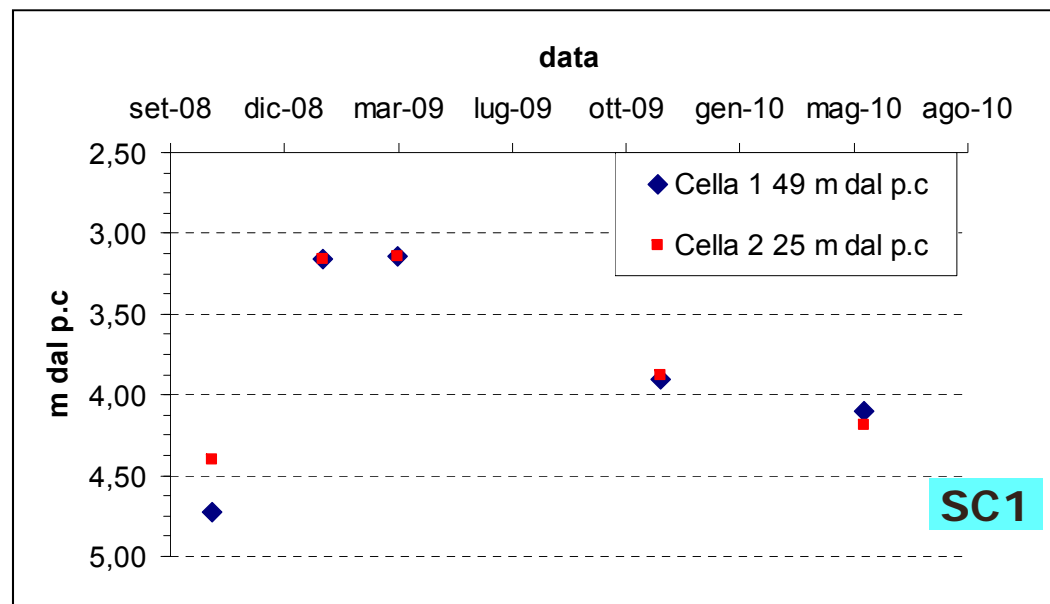
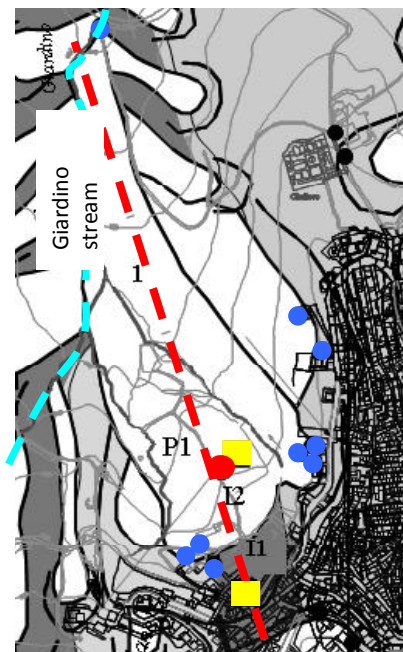




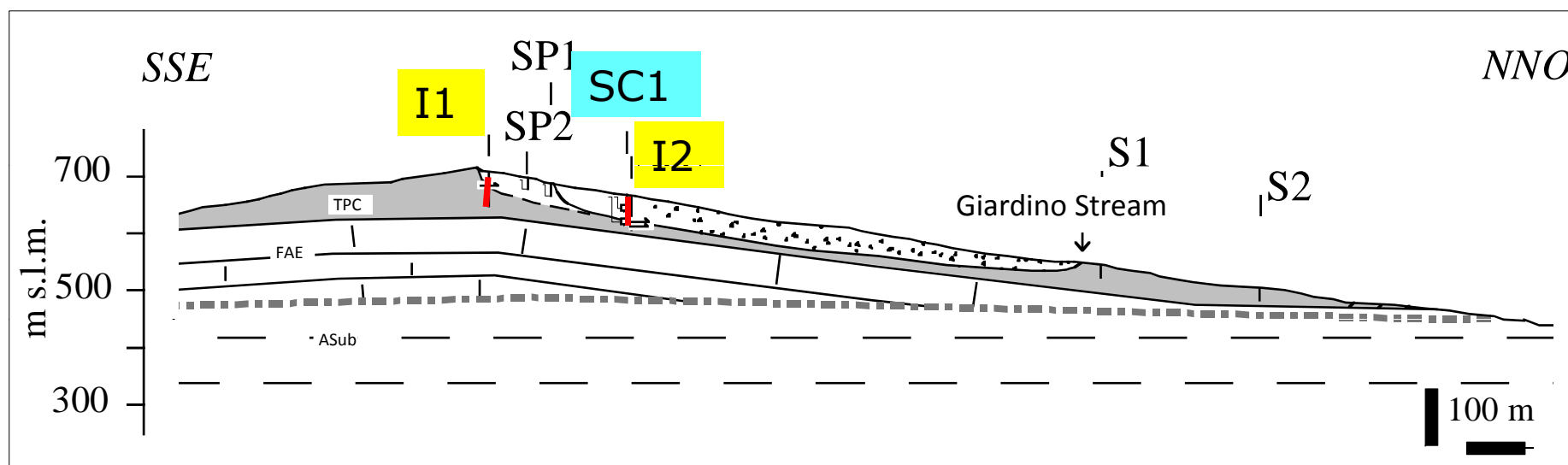


# Frana Giardino (Vulturino)

Applicazione: I-II-III Livello



$$\Delta h_w \approx 1.5 - 2 \text{ m}$$

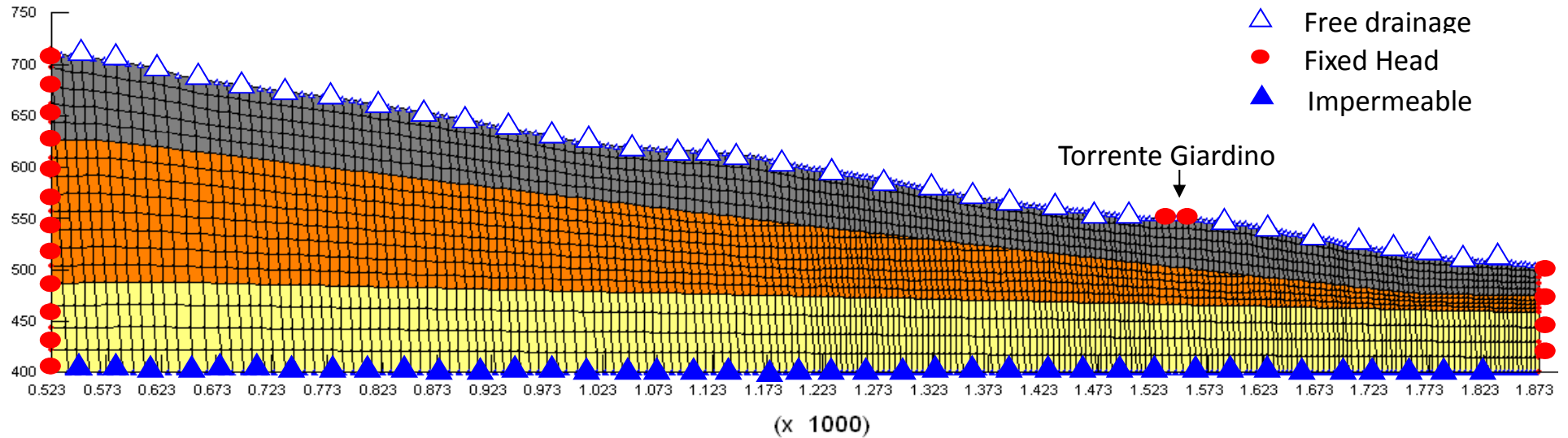




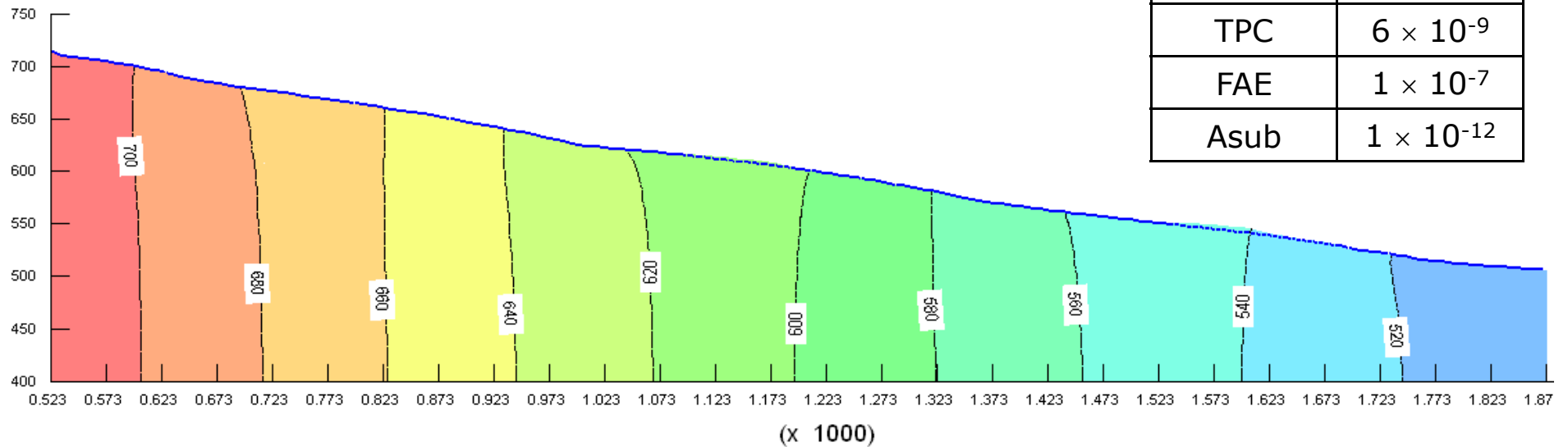
# Frana Giardino

# Applicazione: Il Livello

Analisi FEM di filtrazione: maglia e condizioni al contorno



Regime idraulico invernale: linee equipotenziali

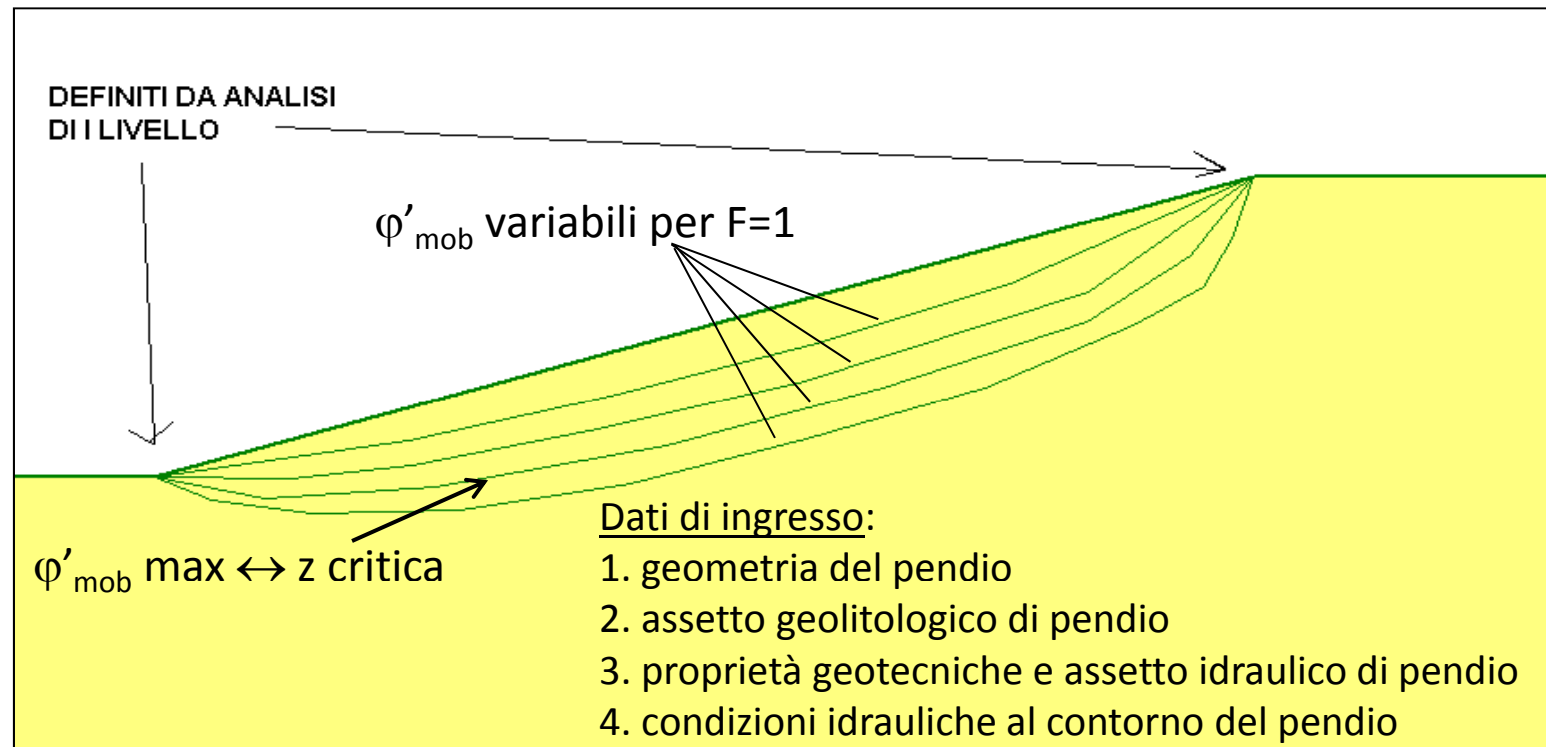


LAYER	K (m/s)
TPC	$6 \times 10^{-9}$
FAE	$1 \times 10^{-7}$
Asub	$1 \times 10^{-12}$

## Analisi LEM a ritroso di tipo parametrico per la valutazione dei meccanismi e delle relazioni causa – effetto

Obiettivo: validare l'interpretazione fenomenologica del meccanismo di frana: *geometria del corpo di frana, profondità, attività, fattori predisponenti ed innescanti*, attraverso analisi parametriche delle condizioni di equilibrio del corpo di frana attraverso il metodo dell'**equilibrio limite** (Morgenstern & Price 1965)

### 1° esempio: VALUTAZIONE DELLA PROFONDITA' CRITICA DI SCORRIMENTO



## Analisi LEM a ritroso di tipo parametrico per la valutazione dei meccanismi e delle relazioni causa – effetto

Obiettivo: validare l'interpretazione fenomenologica del meccanismo di frana: *geometria del corpo di frana, profondità, attività, fattori predisponenti ed innescanti*, attraverso analisi parametriche delle condizioni di equilibrio del corpo di frana attraverso il metodo dell'**equilibrio limite** (Morgenstern & Price 1965)

### 2° esempio: VALUTAZIONE DELLA POSIZIONE CRITICA DELLA SCARPATA

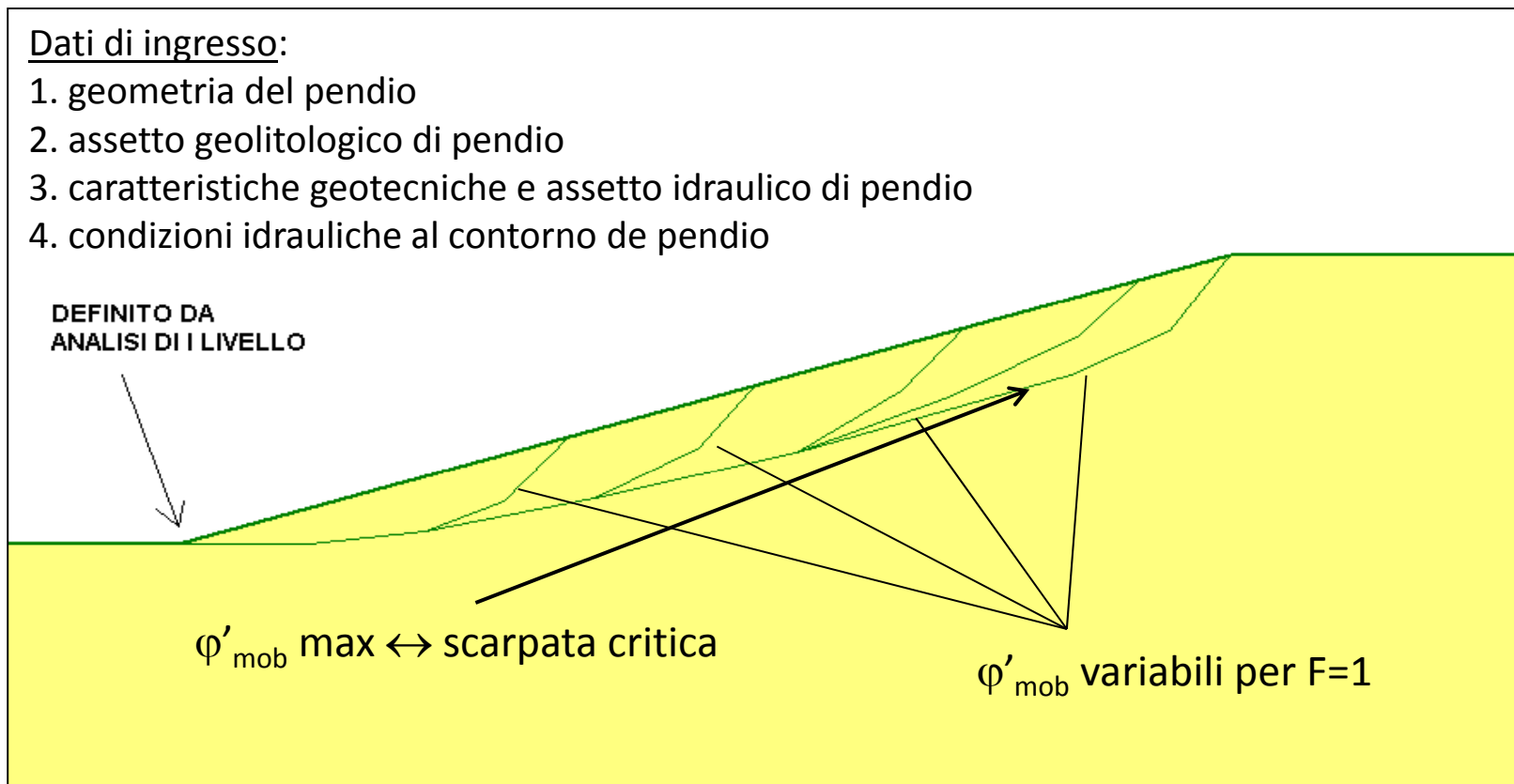
Dati di ingresso:

1. geometria del pendio
2. assetto geolitologico di pendio
3. caratteristiche geotecniche e assetto idraulico di pendio
4. condizioni idrauliche al contorno de pendio

DEFINITO DA  
ANALISI DI I LIVELLO

$\phi'_{mob} \text{ max} \leftrightarrow$  scarpata critica

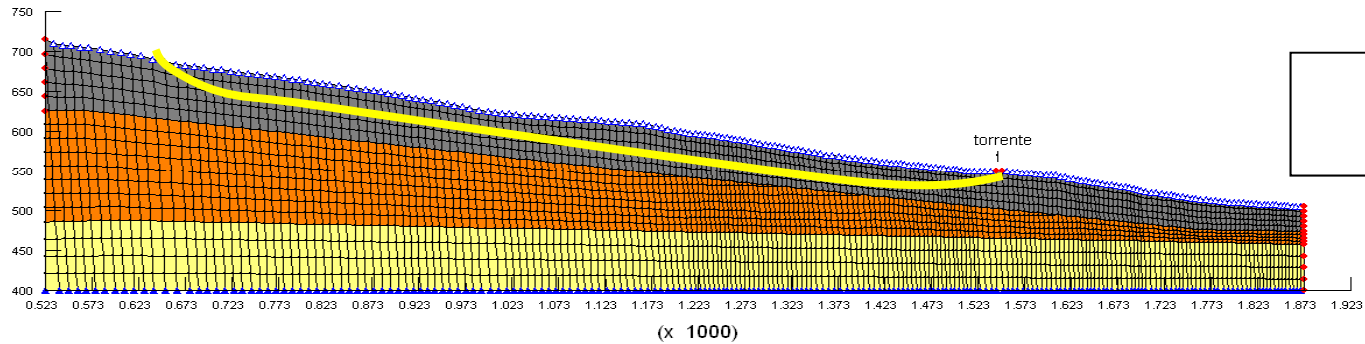
$\phi'_{mob}$  variabili per  $F=1$





# Frana Giardino

# Applicazione: Il Livello



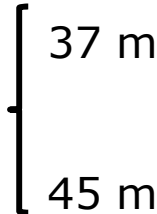
## Analisi LE parametriche

Inverno: **F=1**

$c' = 0 \text{ kPa}$     $\phi' = 19^\circ$     $z_{\text{max}} = 37 \text{ m}$

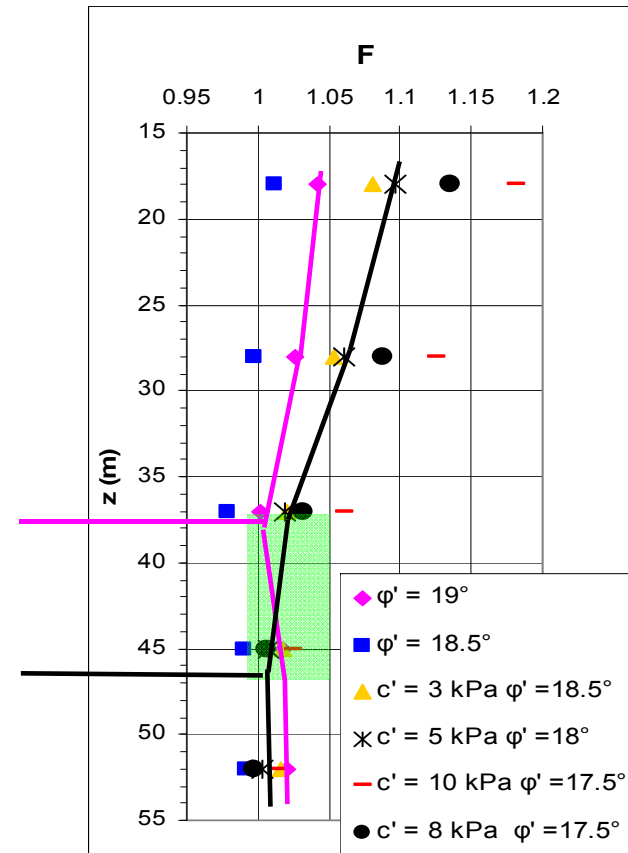
$c' = 5 \text{ kPa}$     $\phi' = 18^\circ$     $z_{\text{max}} = 45 \text{ m}$

Profondità critica = 37 - 45 m per parametri di resistenza mobilizzata tra picco e post-rottura



**$\Delta F = 7 - 10 \%$**

(inverno - estate)



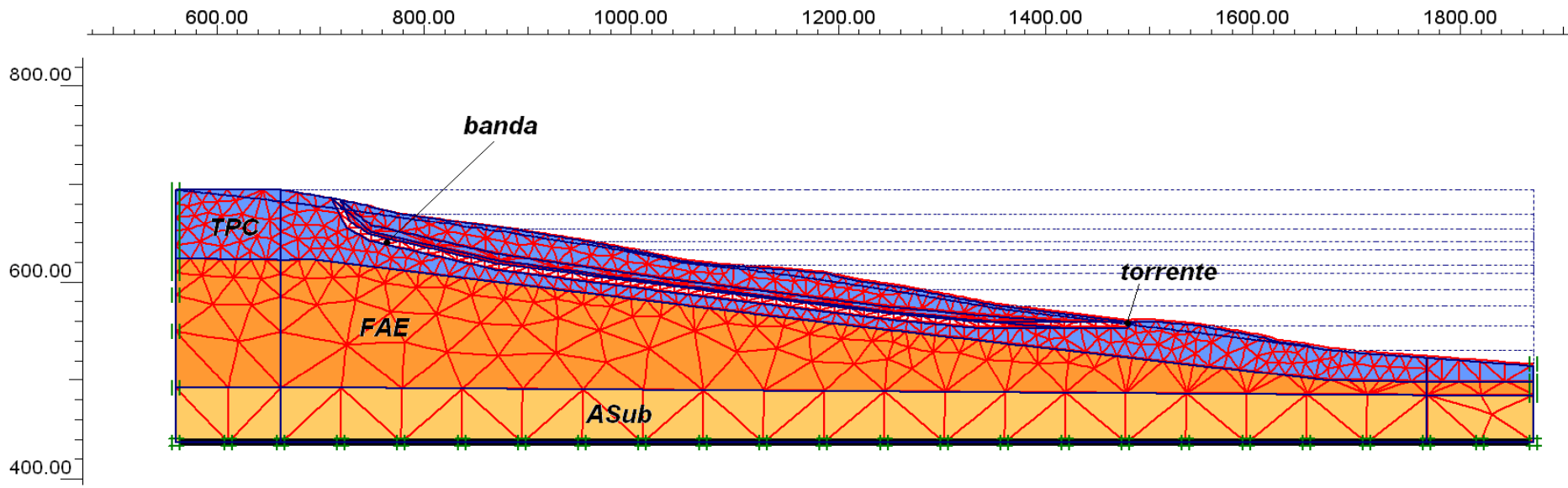


# Frana Giardino

## Applicazione: III Livello

### Analisi FEM

Griglia di discretizzazione adottata e parametri di calcolo



	$\gamma$	$E'$	$\nu'$	$c'$	$\phi'$	$\psi$
	kN/m <sup>3</sup>	MPa		kPa	°	°
ASub	18.5	100	0.25	40	23	0
FAE	20.0	100	0.25	40	25	0
<b>TPC</b>	<b>18.8</b>	<b>70</b>	<b>0.25</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>0</b>
Banda	18.8	70	0.25	8	18.7	0

- Analisi drenate con filtrazione in accordo con quella utilizzata in LEM e misure di sito
- Criterio di resistenza di Mohr-Coulomb con flusso non associato

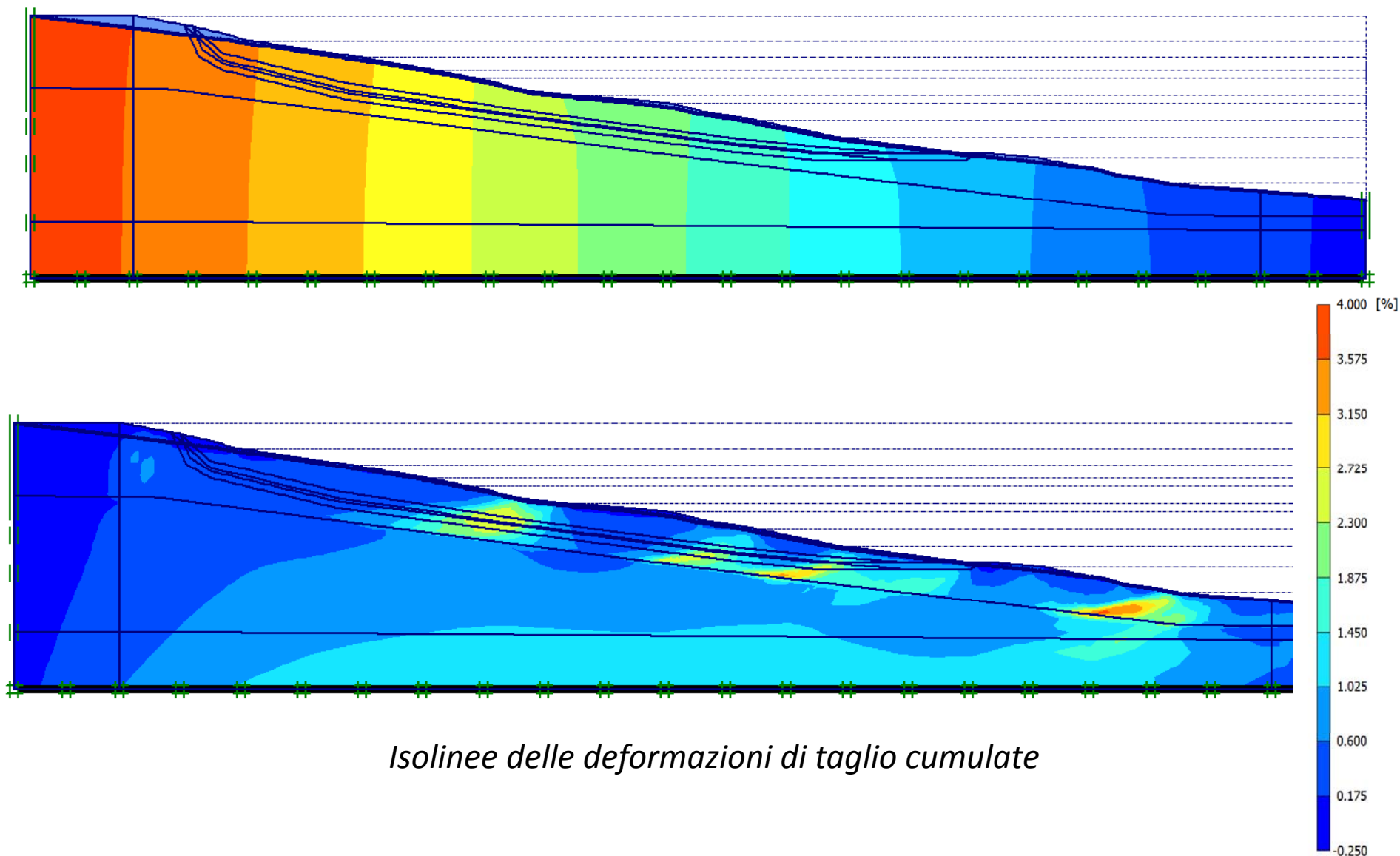


# Frana Giardino (Volturino)

Applicazione: III Livello

**Analisi FEM**

Regime piezometrico estivo



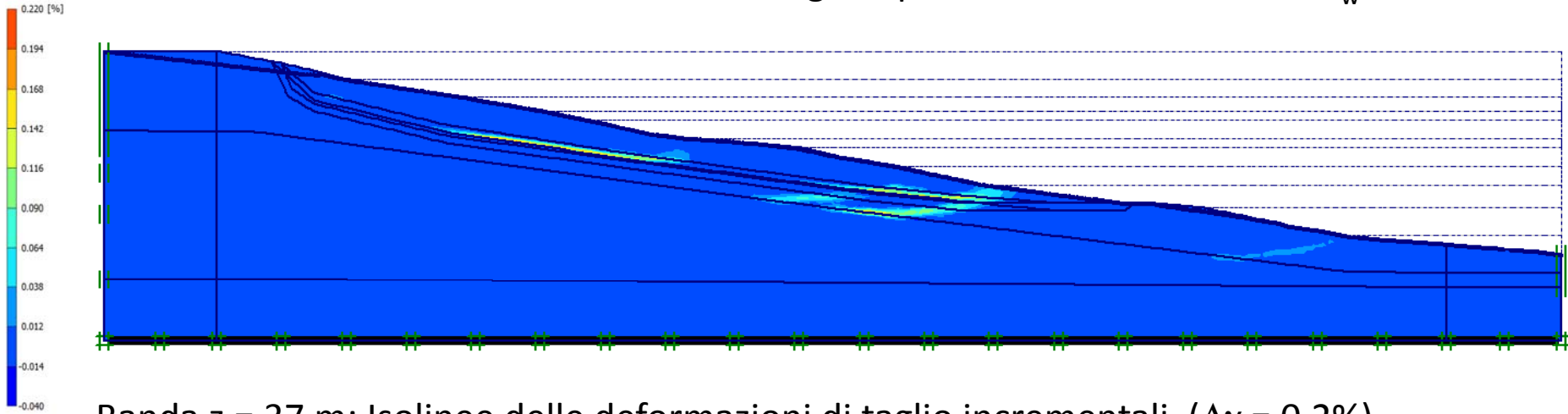


# Frana Giardino

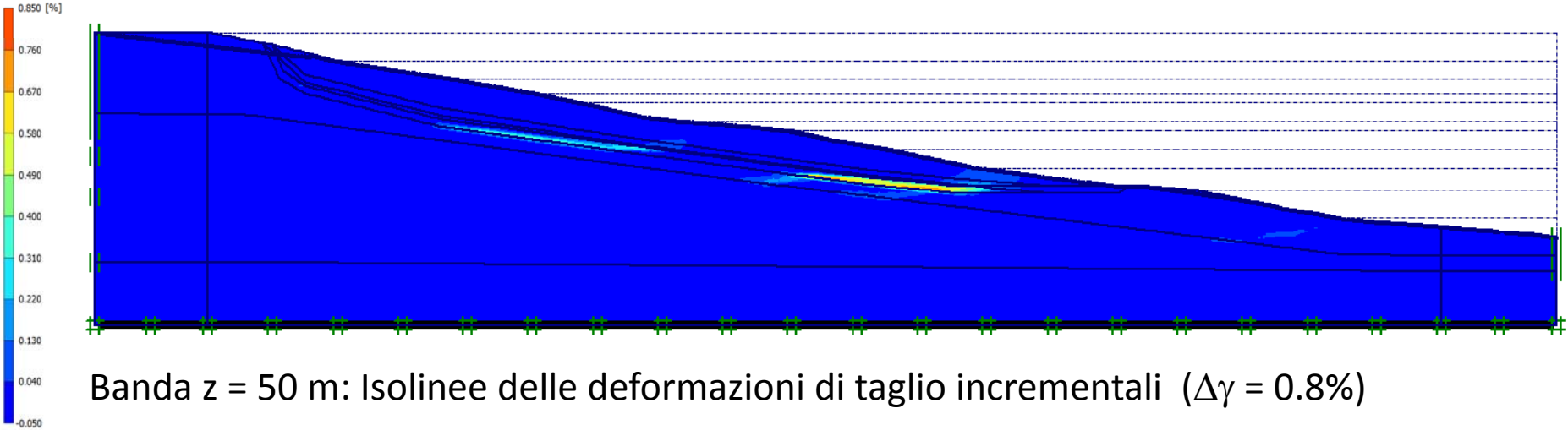
# Applicazione: III Livello

## Analisi FEM

Regime piezometrico invernale:  $\Delta h_w = +2$  m



Banda z = 37 m: Isolinee delle deformazioni di taglio incrementali ( $\Delta\gamma = 0.2\%$ )



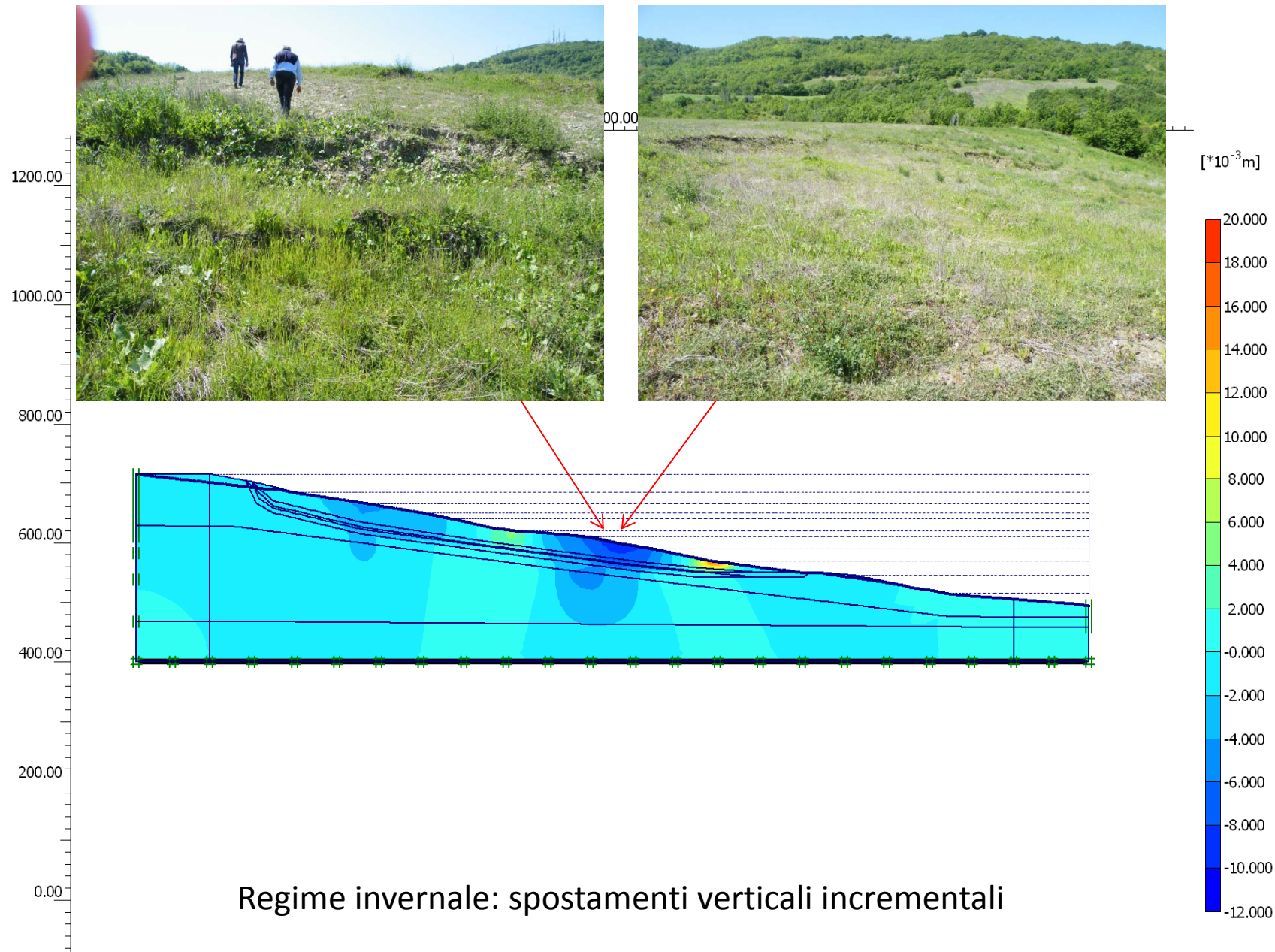
Banda z = 50 m: Isolinee delle deformazioni di taglio incrementali ( $\Delta\gamma = 0.8\%$ )





# Frana Giardino

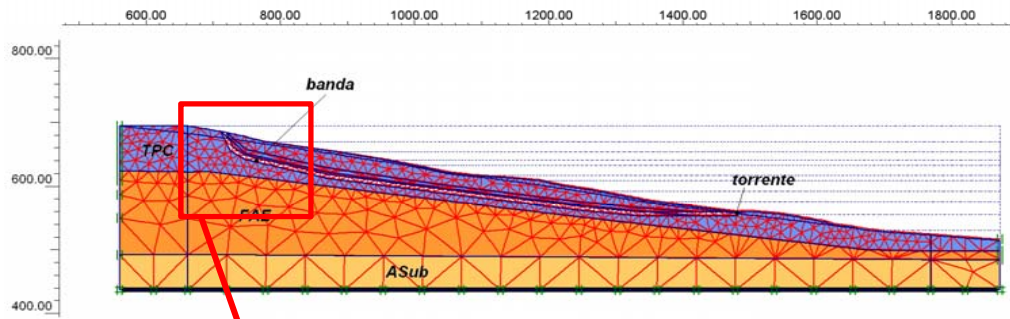
# Applicazione: III Livello





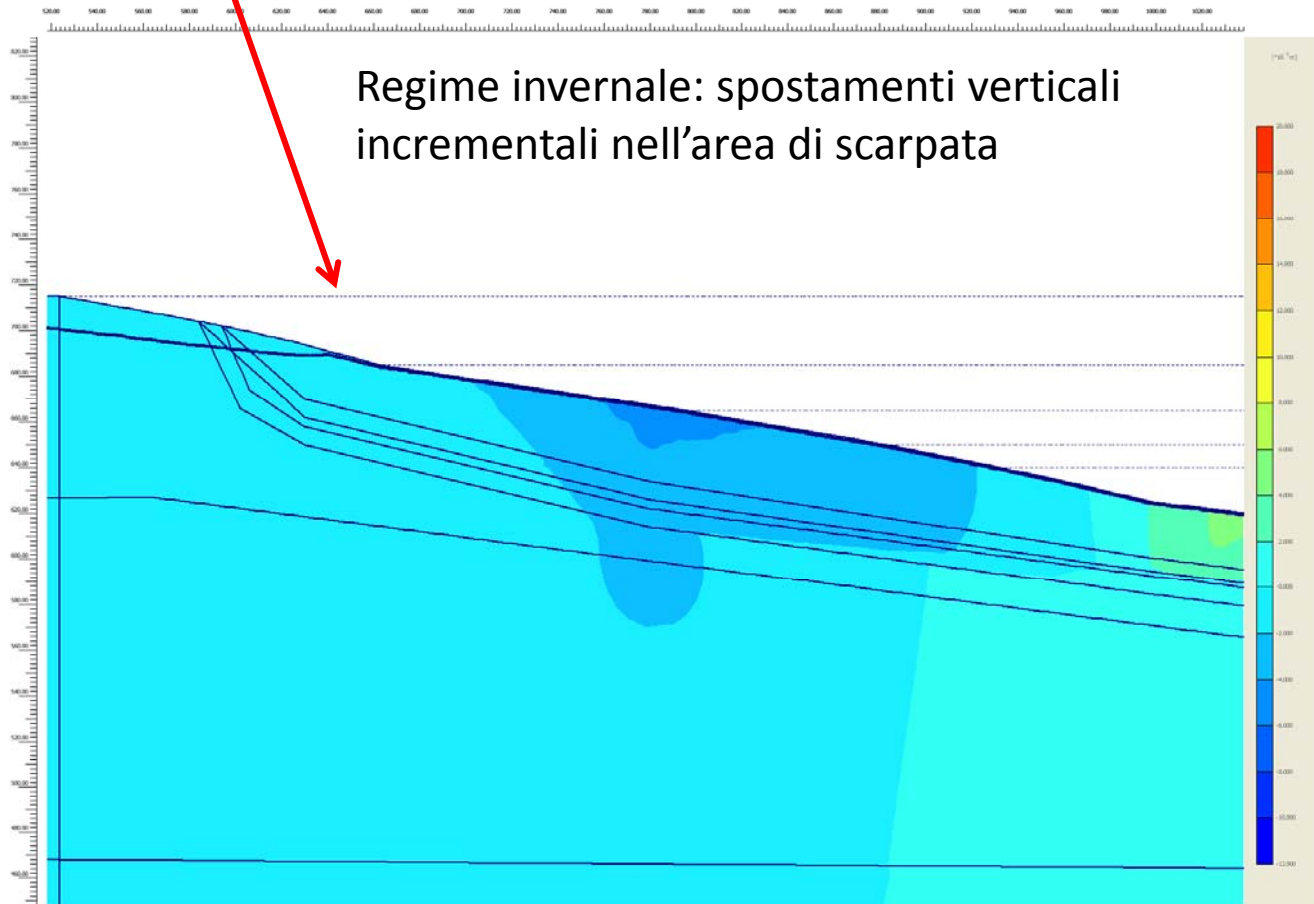
# Frana Giardino

## Applicazione: III Livello



**Analisi FEM**

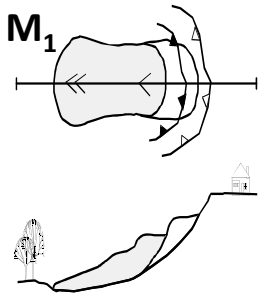
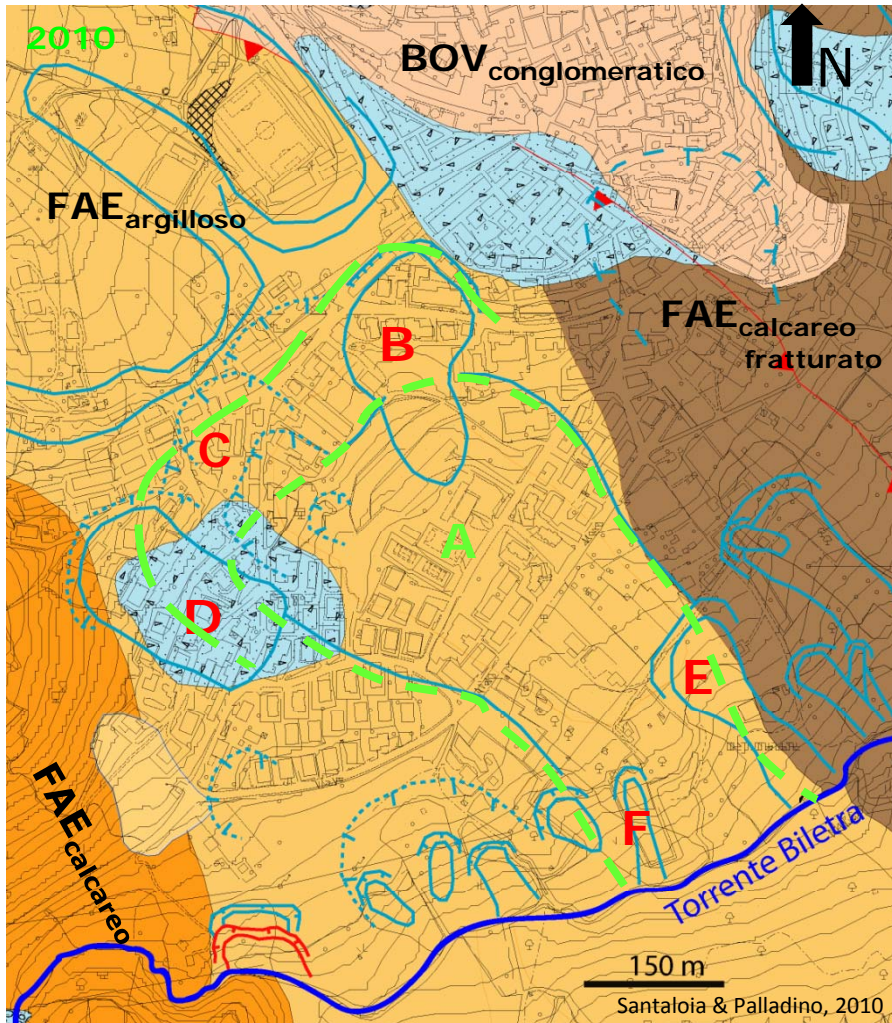
Regime invernale: spostamenti verticali incrementali nell'area di scarpata



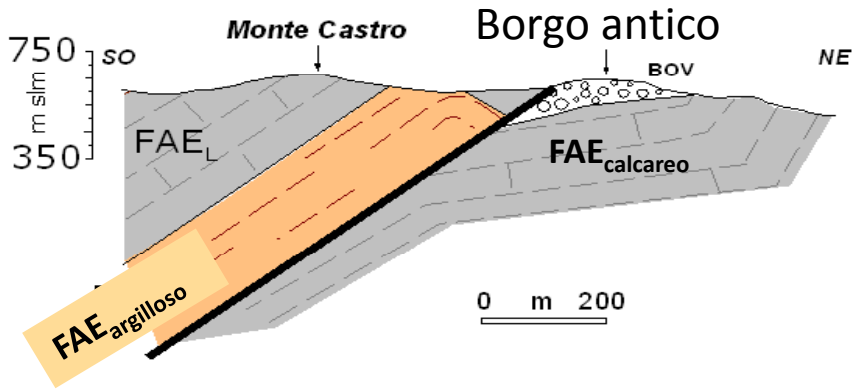


# Frana Pianello (Bovino)

Applicazione: I-II-III Livello



Frana principale (corpo A)  
Frane secondarie (corpi B-F)

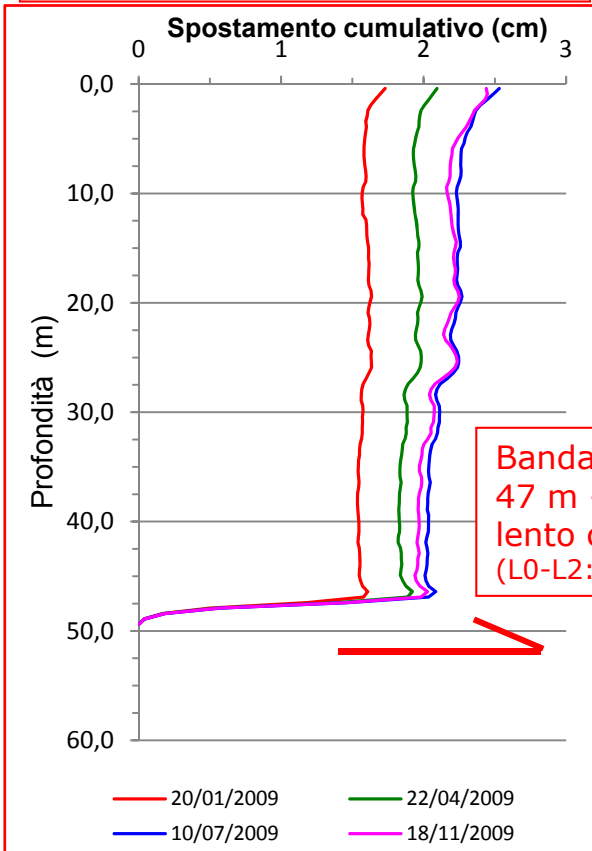


Faeto Flysch (FAE)  
Sintema di Bovino (BOV)

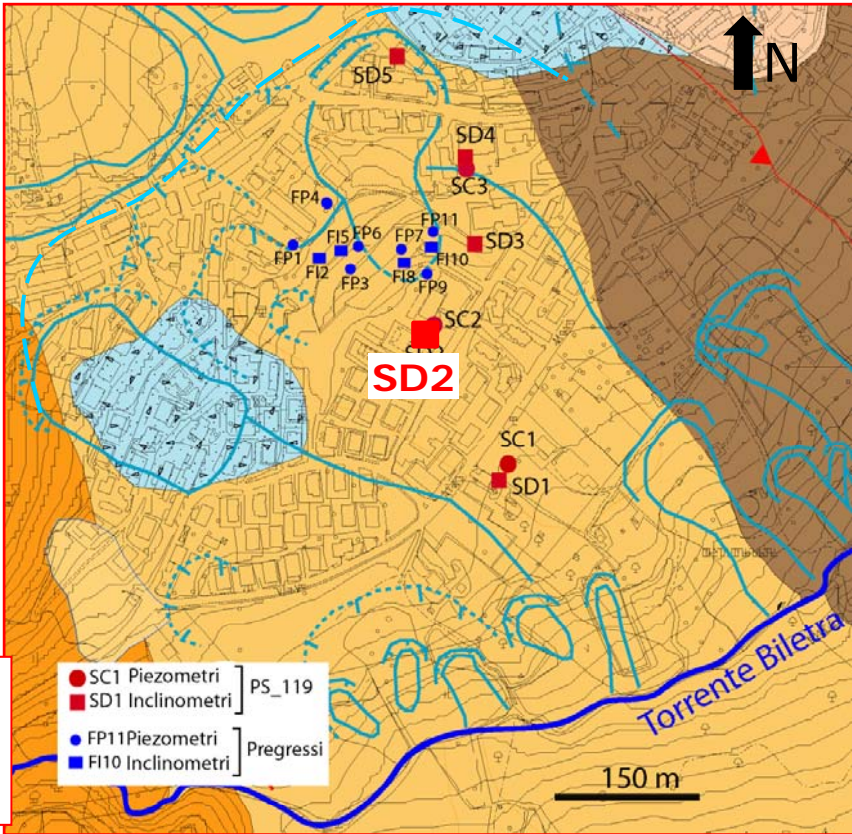


Frana Pianello (Bovino)

Corpo A: I2 (LO=8.10.2008)

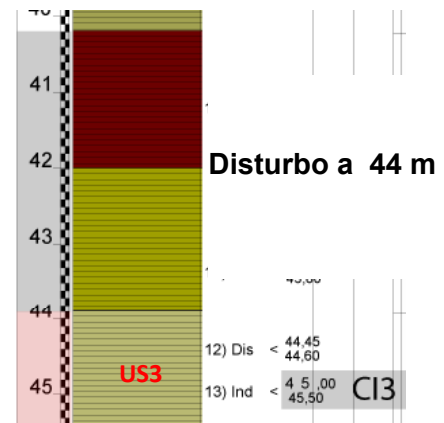


Banda di taglio intorno ai 47 m - movimento molto lento con  $v \approx 1.8$  cm/anno (L0-L2: circa 3 mm/mese)



Santaloia, Limoni, Dragone, Mitaritonna, Lollino

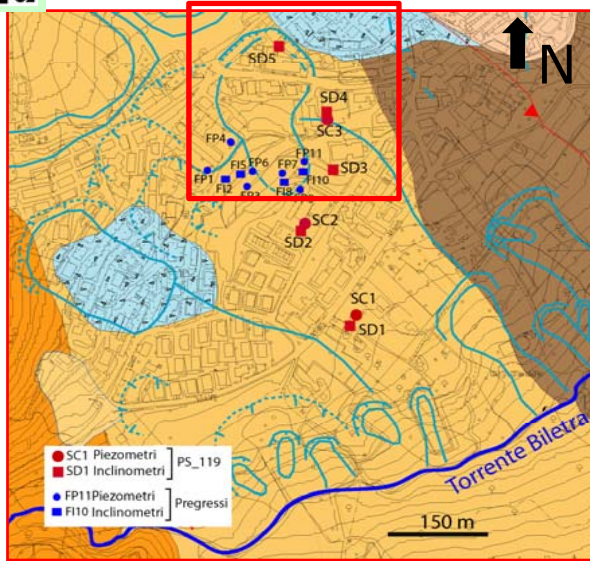
$c_p' = 0, \phi_p' = 18-20^\circ$





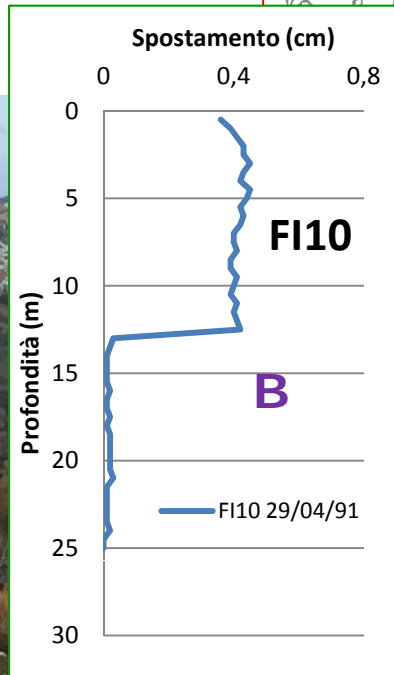
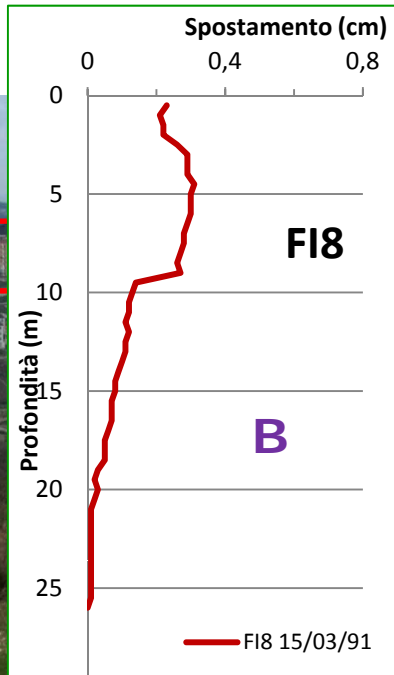
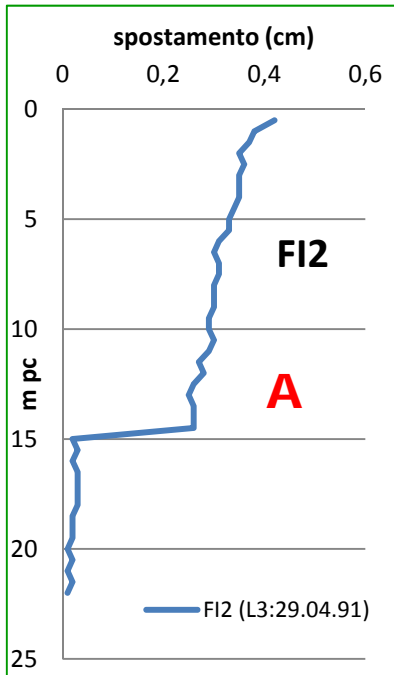
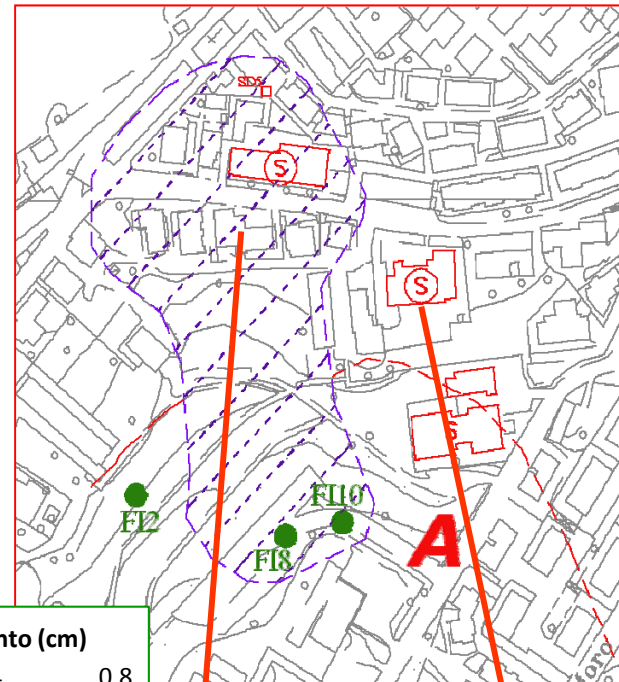
# Frana Pianello (Bovino)

## Applicazione: I-II-III Livello



Attività corpi secondari

Corpo A



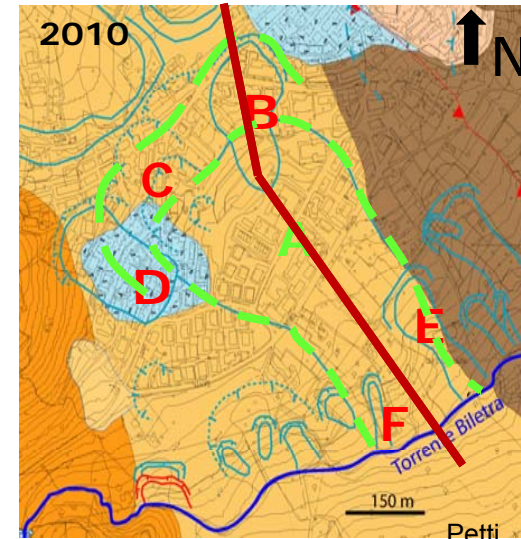
33-Gennaio 1984

Geoconsul,, 1991

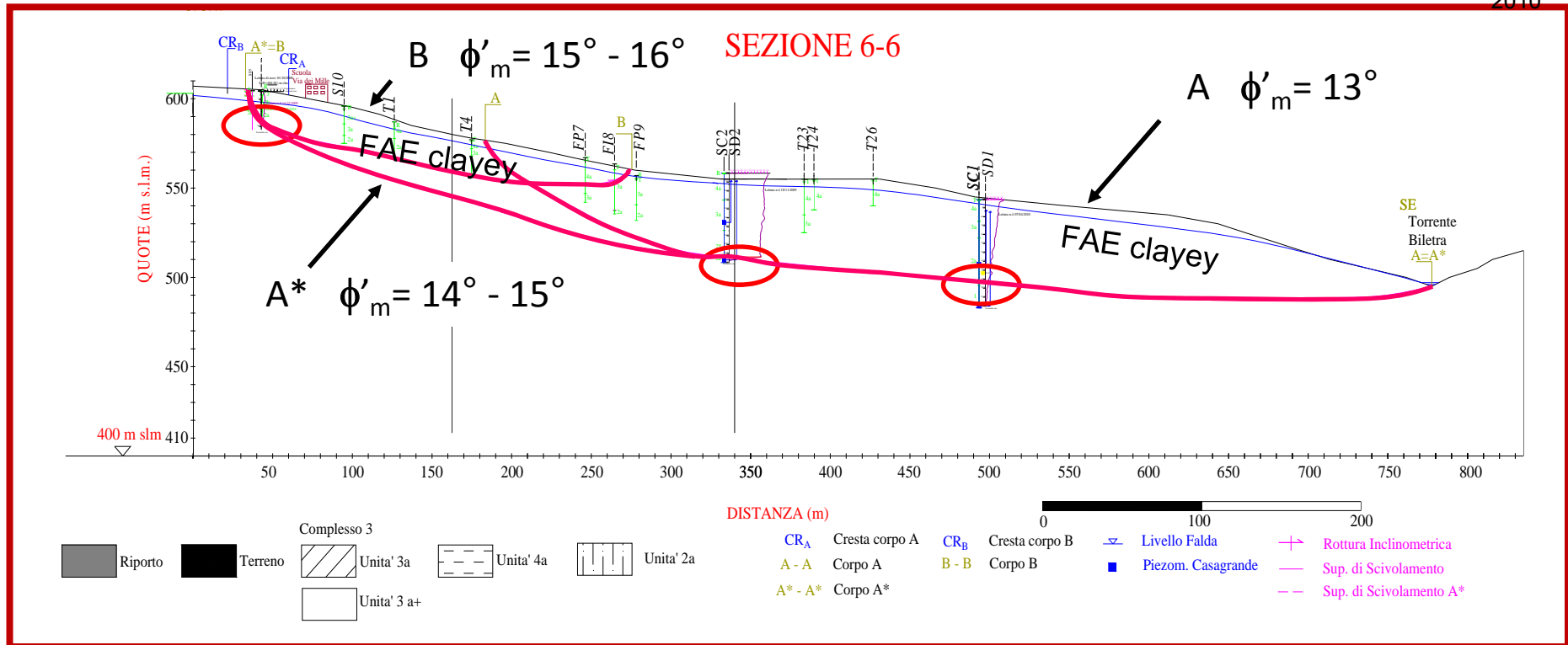


# Frana Pianello (Bovino)

## Applicazione: Il Livello



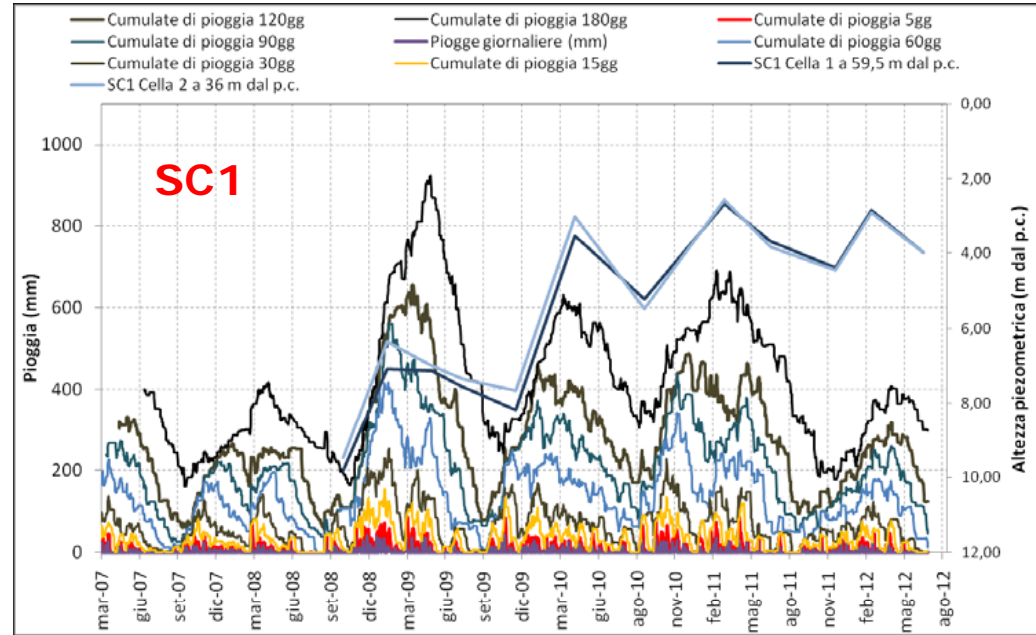
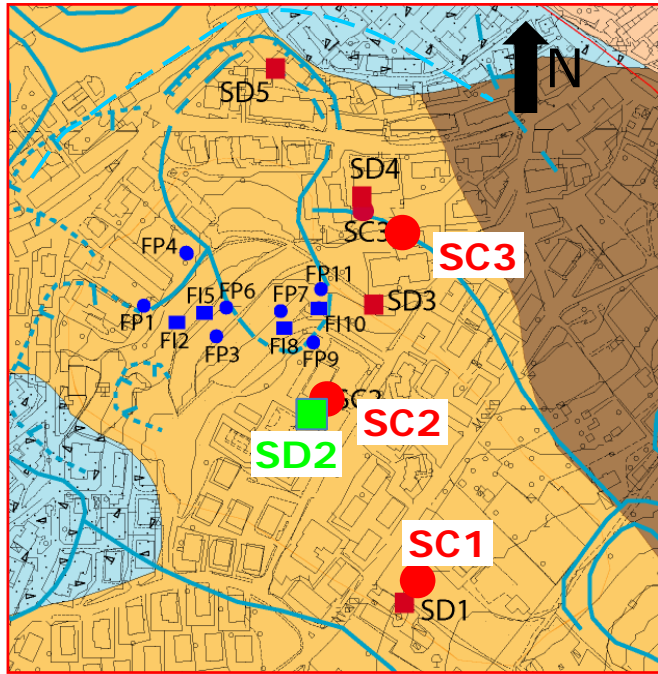
Petti,  
2010



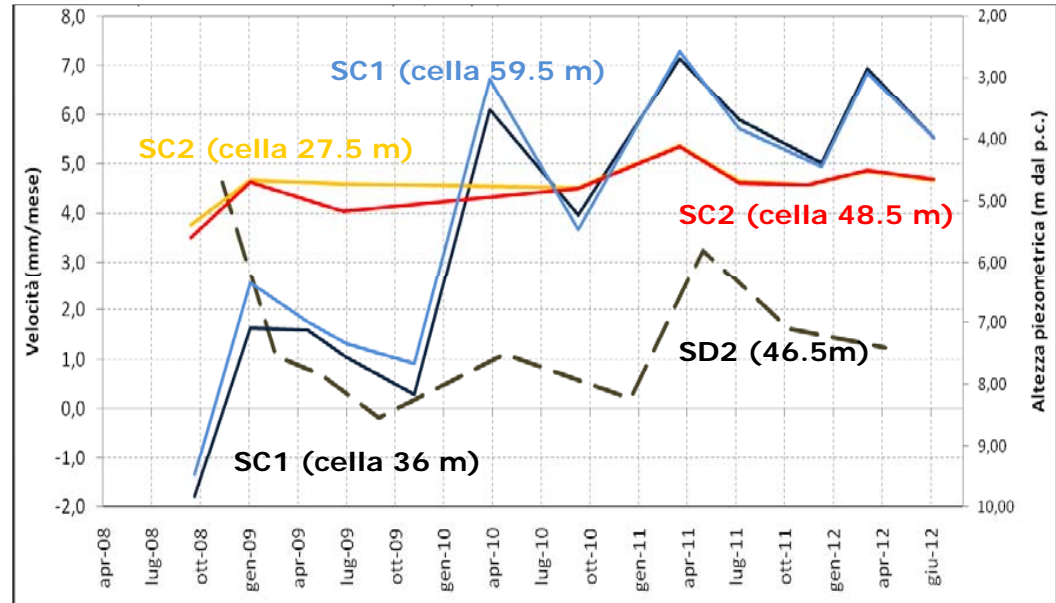
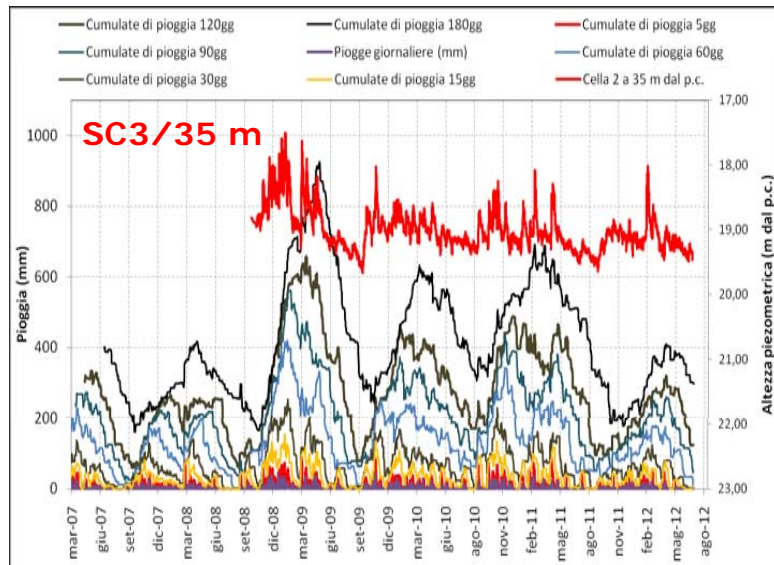


# Frana Pianello (Bovino)

## Applicazione: III Livello



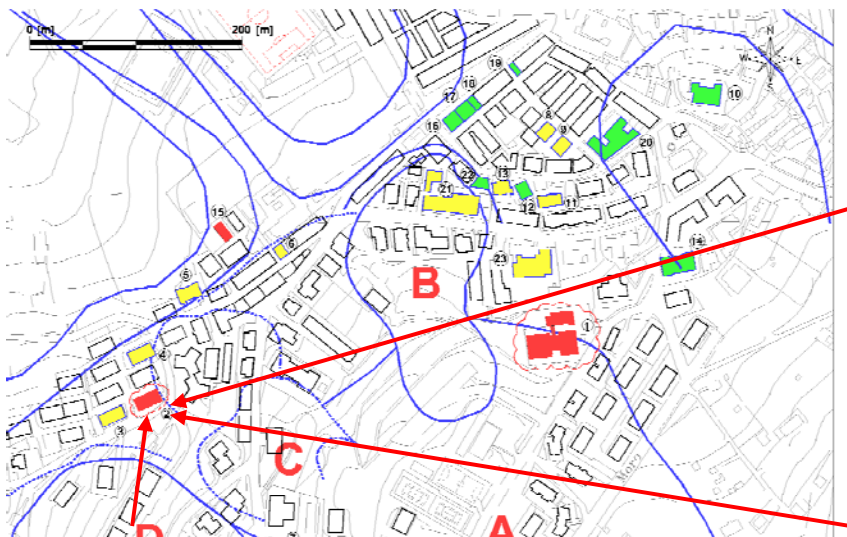
Pedone, 2012





Convegno “Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno” - Lucera, 7 giugno 2013

## ANALISI DEL DANNEGGIAMENTO STRUTTURALE



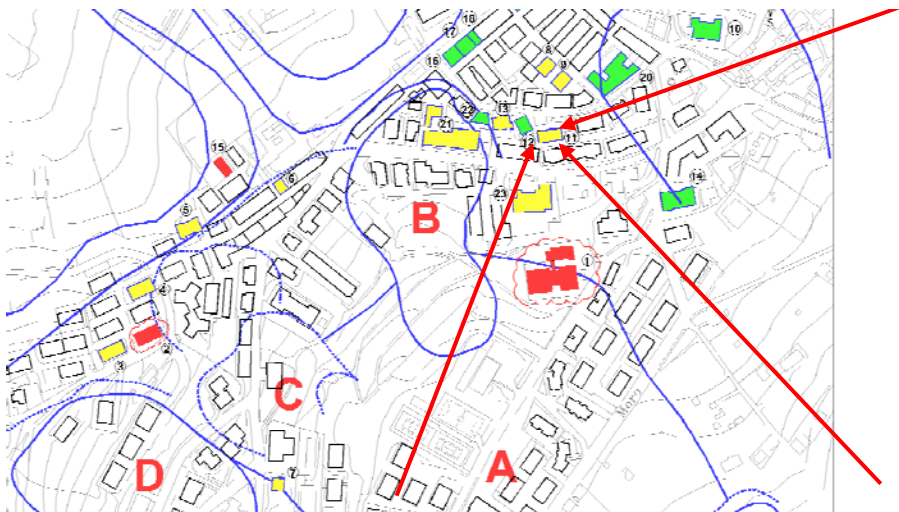




# Frana Pianello (Bovino)

Applicazione: I-III Livello

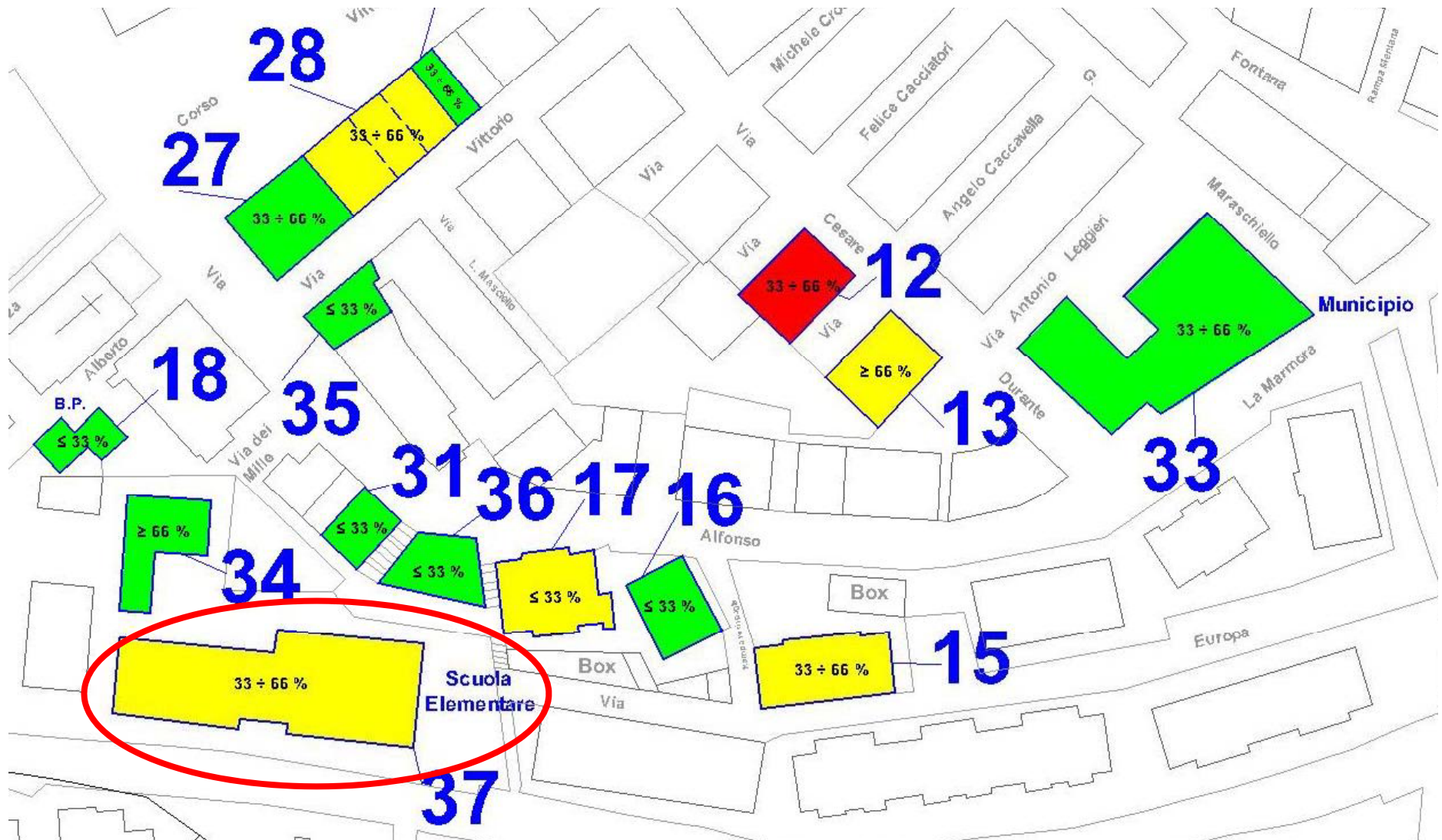
## ANALISI DEL DANNEGGIAMENTO STRUTTURALE





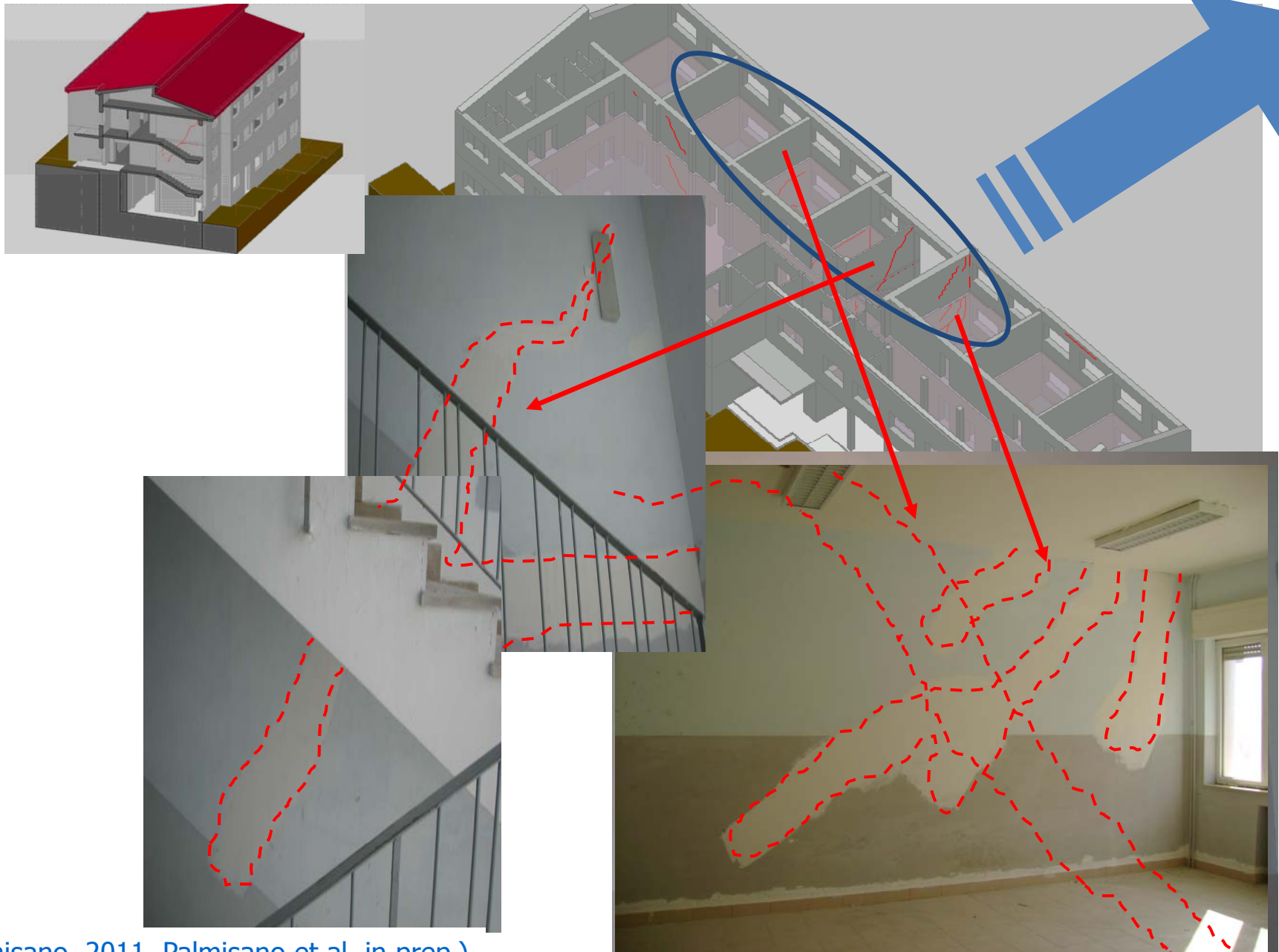


## Un edificio scolastico con grado di danno 2



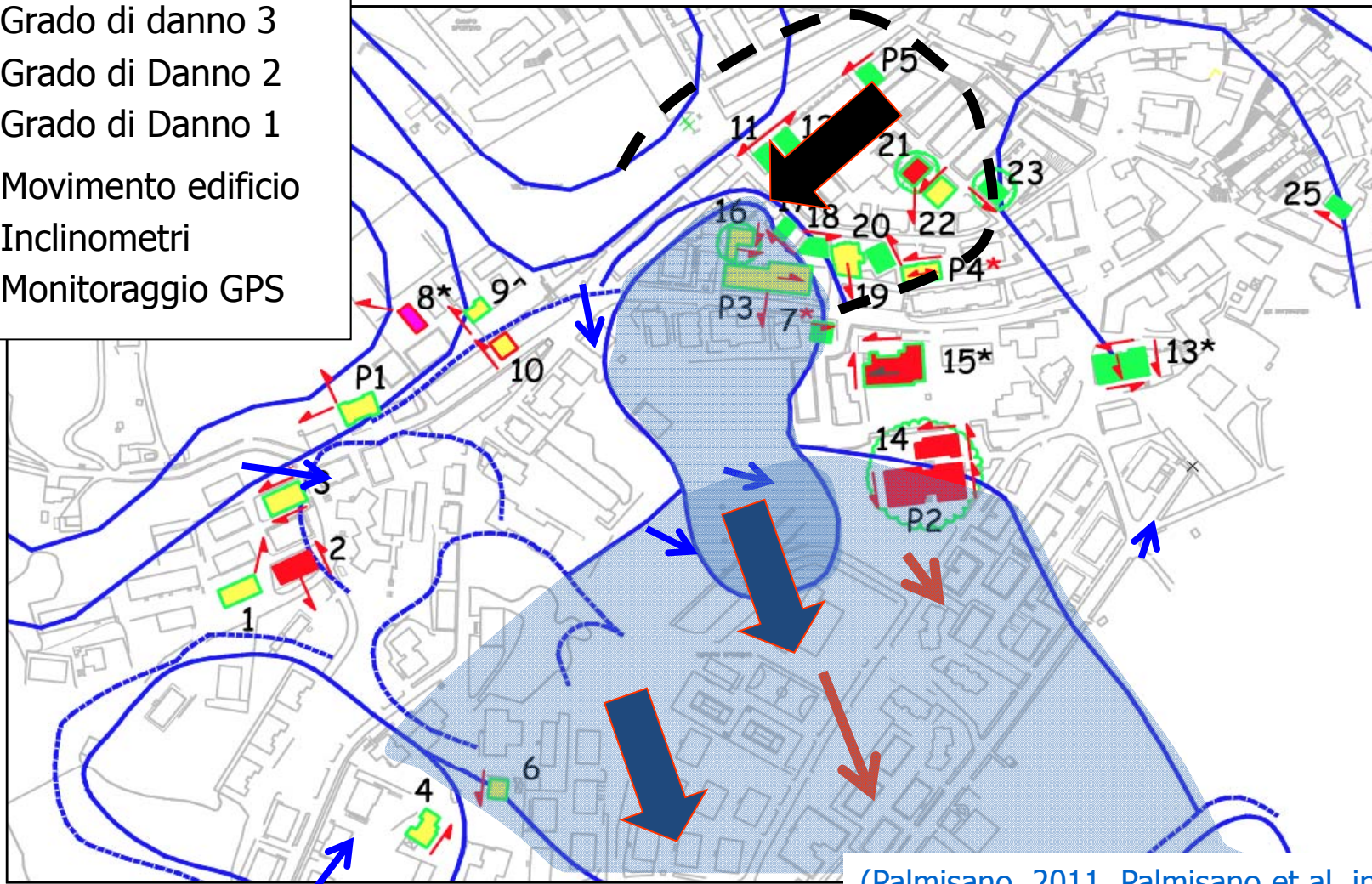


# “Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno”



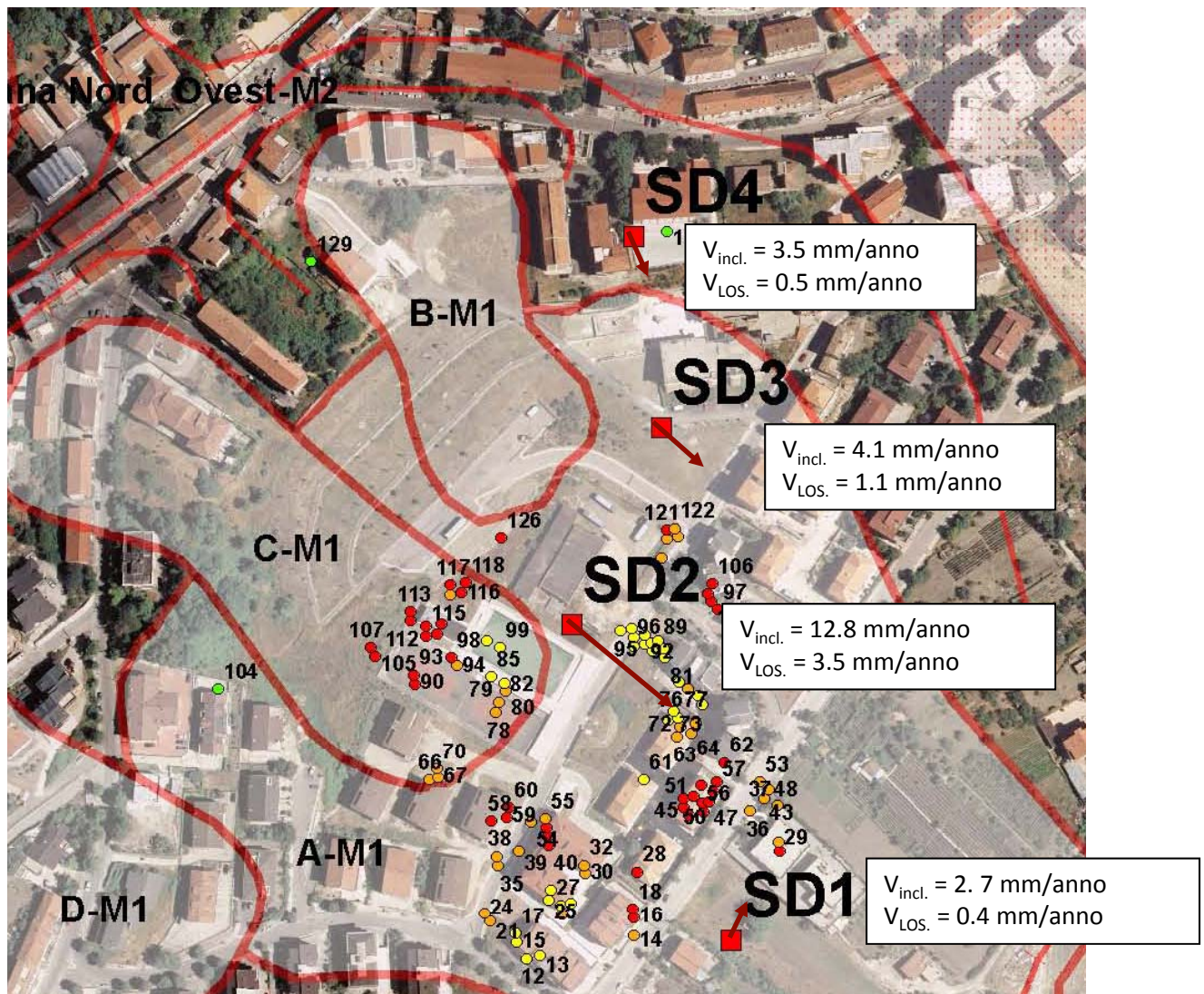
(Palmisano, 2011, Palmisano et al. in prep.)

## Frana Pianello (Bovino) Carta del Danneggiamento Strutturale



(Palmisano, 2011, Palmisano et al. in prep.)

### Rilevamento satellitare interferometrico DINSAR



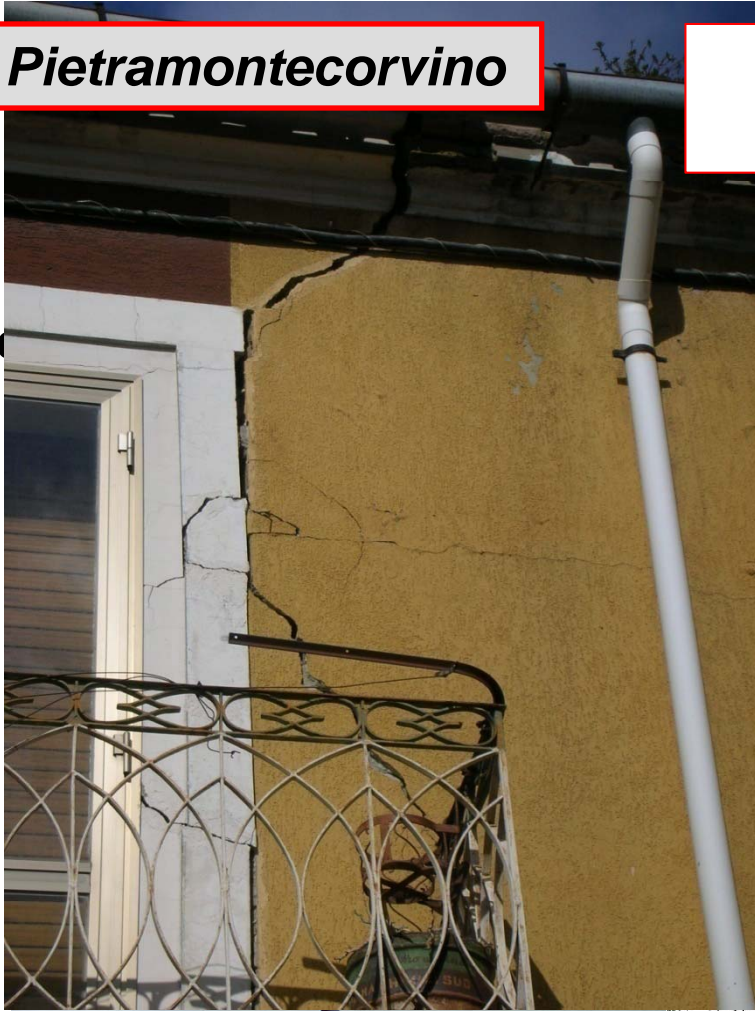
DINSAR Envisat 2002-2009

Cotecchia, Bovenga, Nutricato, Petrosillo

# Pietramontecorvino

## Danni del costruito: elemento diagnostico

Ec



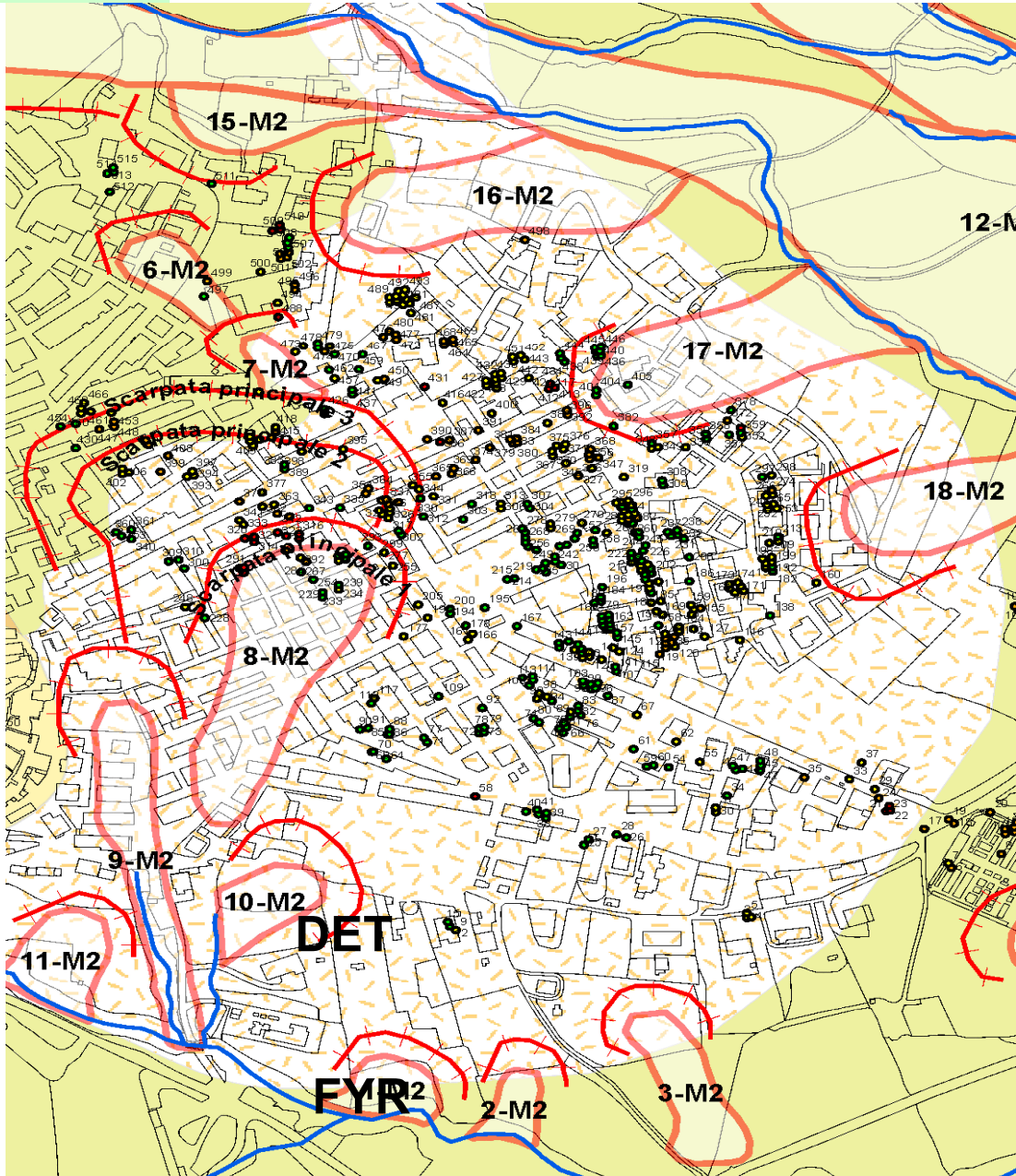
Ec  
pa





# Pietramontecorvino

## Applicazione: I-III Livello



### DINSAR Pietra M.

Velocità negative [mm/anno]

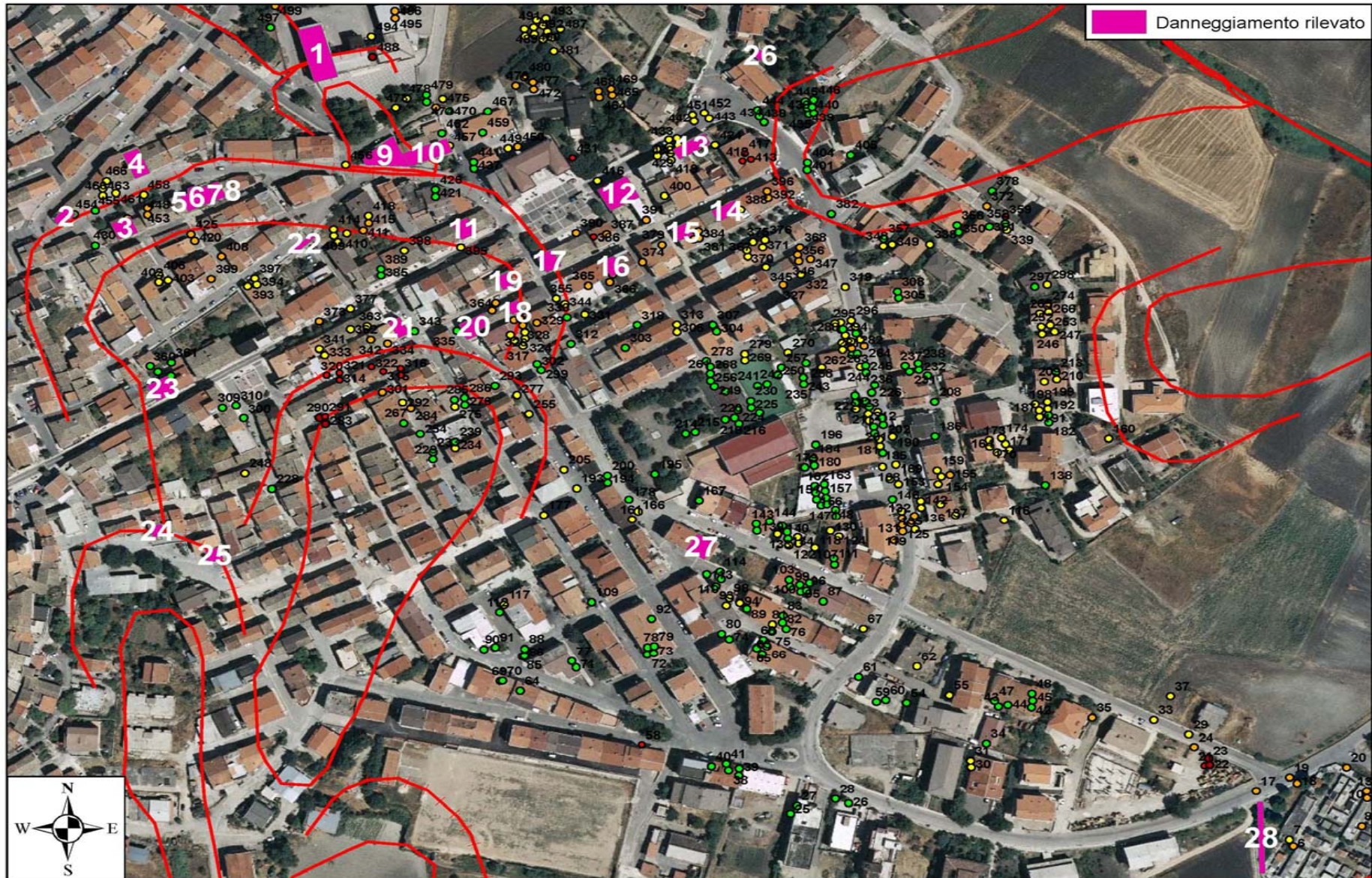
- 14.0 - 7.0
- 6.9 - 6.0
- 5.9 - 5.0
- 4.9 - 4.0
- 3.9 - 3.0

Cotecchia, Bovenga, Nutricato, Petrosillo



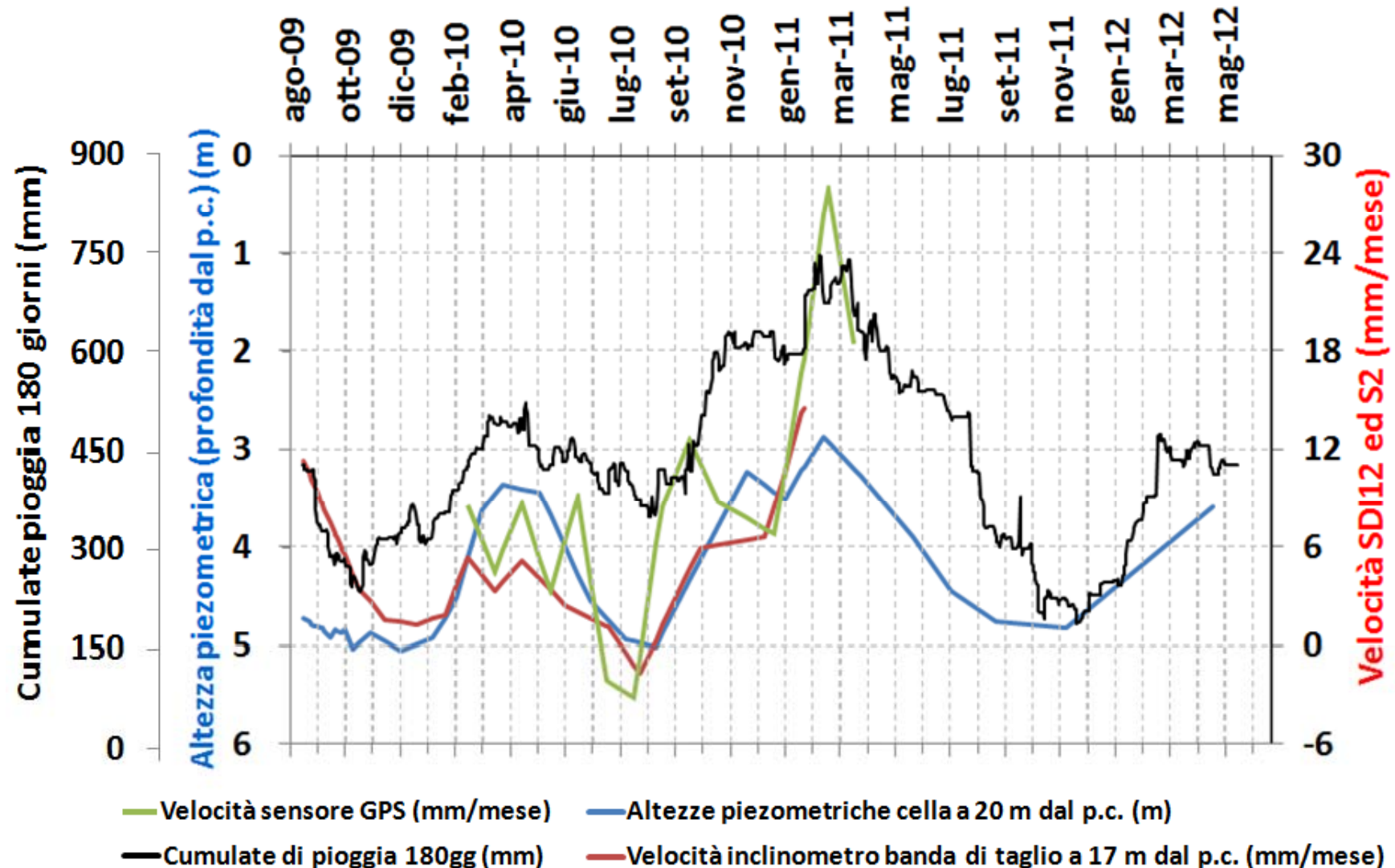


# “Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno”



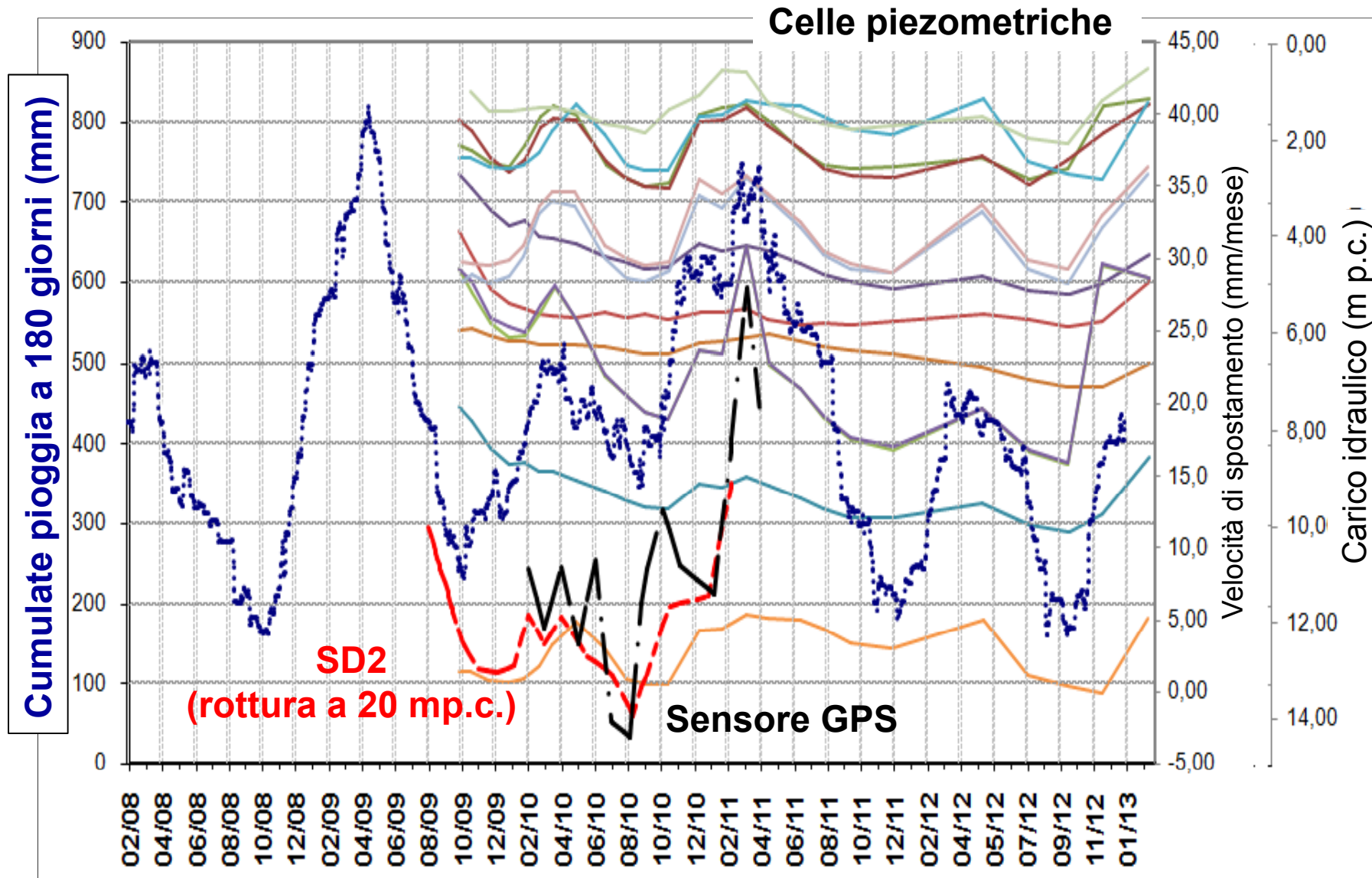
Palmisano 2011; Cotecchia, Bovenga, Nutricato, Petrosillo 2012

### Versante in frana Pisciola – Scorrimenti mediamente profondi-profondi (M1 e M2)





### Versante in frana Pisciola – Scorrimenti mediamente profondi-profondi (M1 e M2)

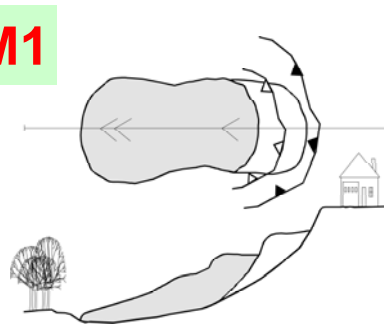




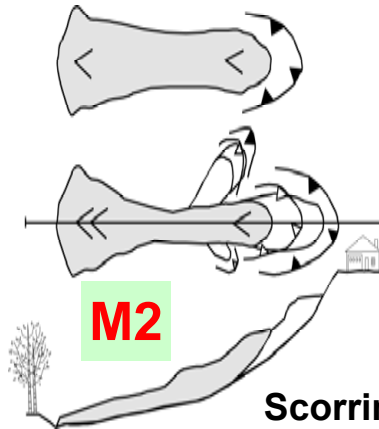
# VARIABILE SOGLIA

Cumulata di pioggia a 90-180 gg

M1

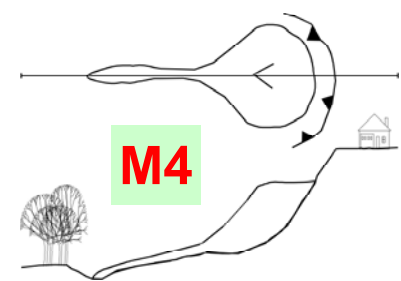


Scorrimenti composti o rototraslativi



M2

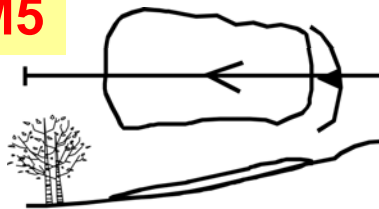
Scorrimenti di argilla



M4

Scorrimenti rotazionali evolventi a colata

M5



Scivolamenti traslativi superficiali

Intensità-Durata

?  
dipende

M3

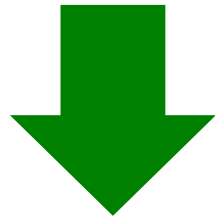


Scorrimenti-colate  
*Clay slide flow*



Convegno “Nuovi studi e ricerche per la definizione della pericolosità geomorfologica in Appennino Dauno” - Lucera, 7 giugno 2013

RISULTATI del PS\_119 e del PRIN 2007

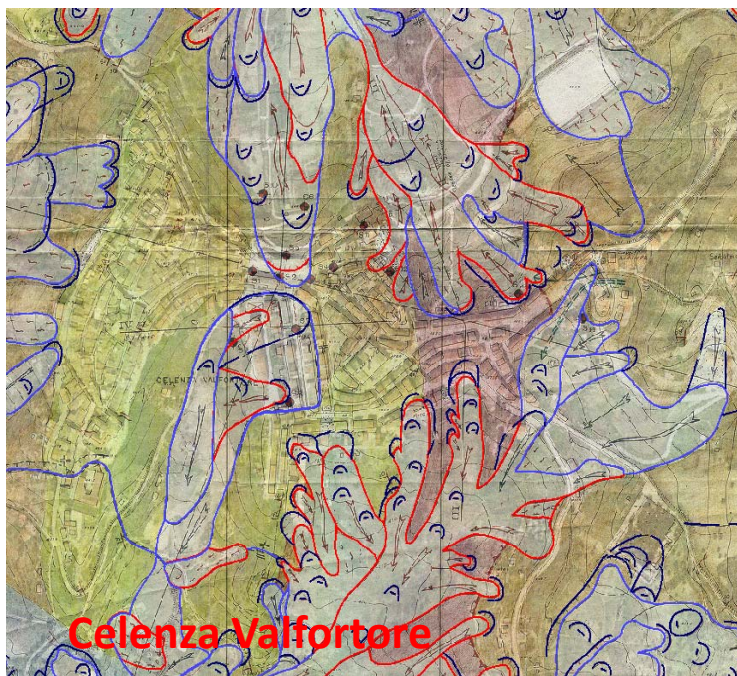


DAUNIA LANDSLIDE MANUAL



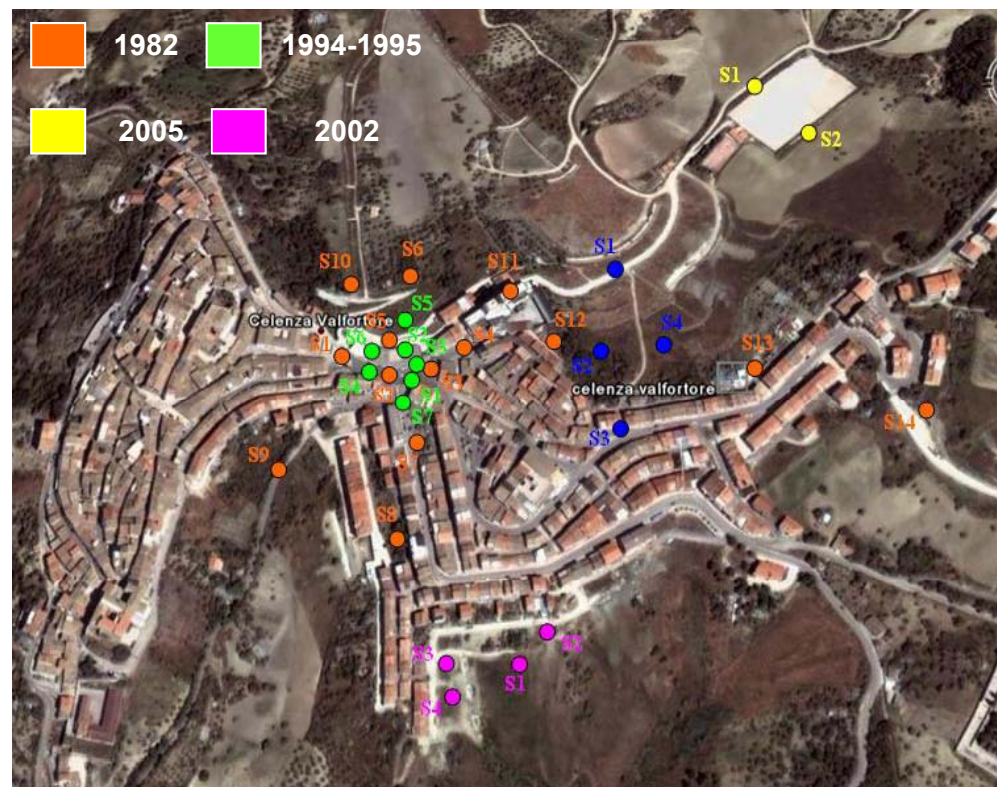


## CONCLUSIONI



- Le indagini devono insistere sull'interpretazione dei meccanismi → è possibile rallentarli/stabilizzarli

- I pendii a ridosso dei centri urbani sono sede di frane lente attive e profonde
- L'estensione urbana attuale deve fare i conti con l'attività di tali corpi di frana





## CONCLUSIONI

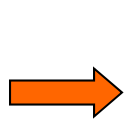
- **Salvaguardia del costruito e normativa per le costruzioni in aree franose**
- **Gli interventi di stabilizzazione non vanno realizzati solo a ridosso degli edifici danneggiati.**
- **I diaframmi in scarpata non sono gli interventi più adeguati per il lungo termine.**
- **Si deve intervenire stabilizzando la frana quanto più possibile o, quanto meno, incidendo sulle cause, ad esempio con DRENAGGI**



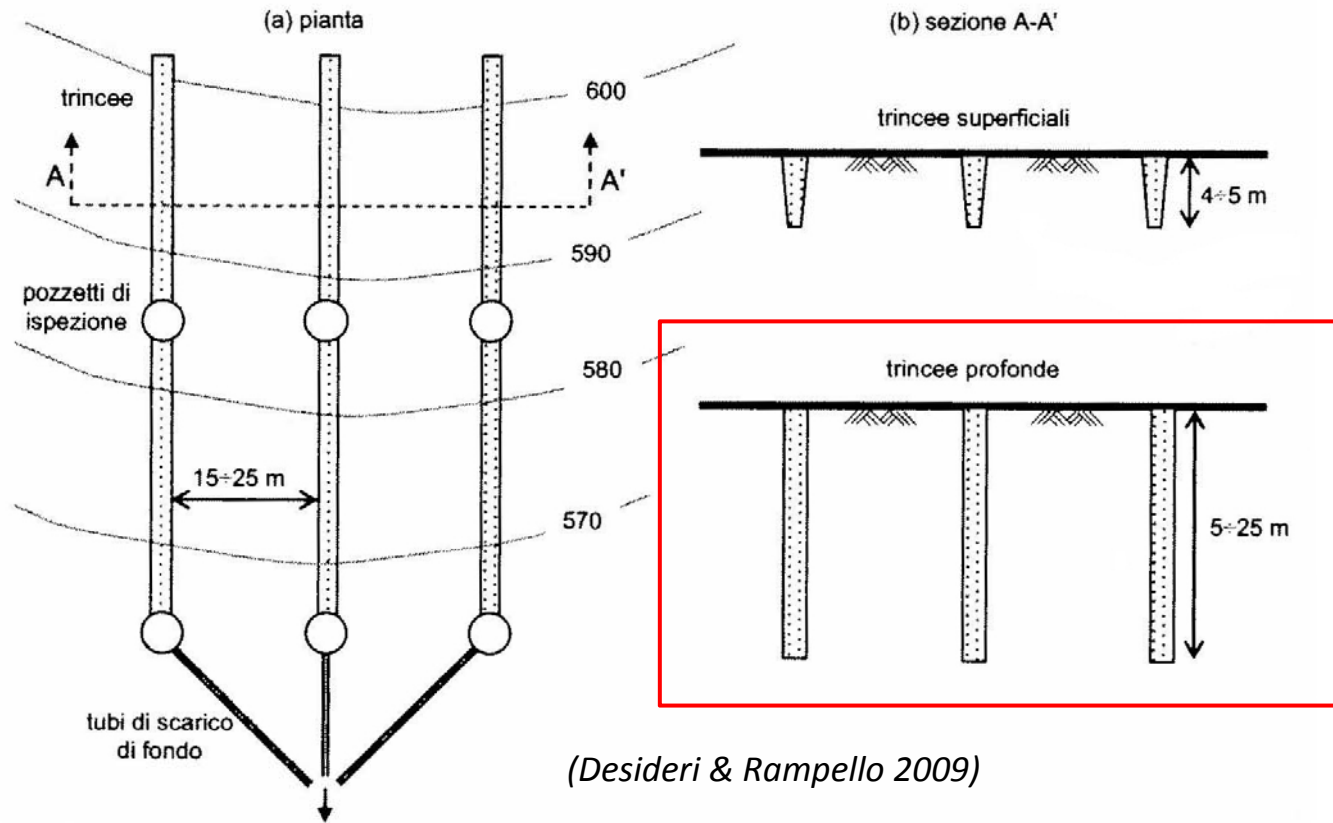


# Trincee drenanti profonde

Riduzione delle pressioni interstiziali in profondità



Interventi di drenaggio con effetti in profondità  
 $K_{\text{sito}} = 10 \div 100 K_{\text{lab}}$



(Desideri & Rampello 2009)



# Trincee drenanti profonde

Analisi	$K_{\text{terreno}}$ (m/s)	n	H (m)	S (m)
1	1E-09	3	12	15
2	1E-09	5	12	15
3	1E-09	3	12	22
4	1E-09	3	16	22
5	1E-09	7	16	22
6	3E-09	3	16	30
7	5E-09	3	16	30

Analisi parametrica al variare di:

✓ caratteristiche geometriche del sistema di trincee

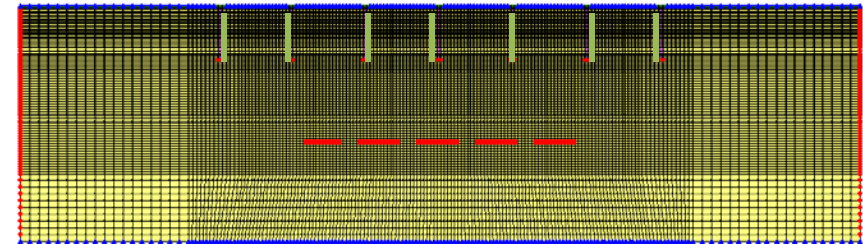
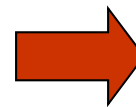
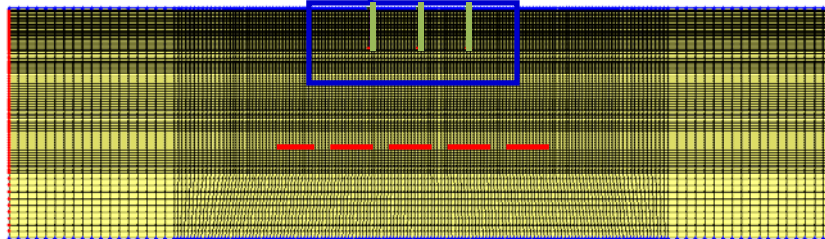
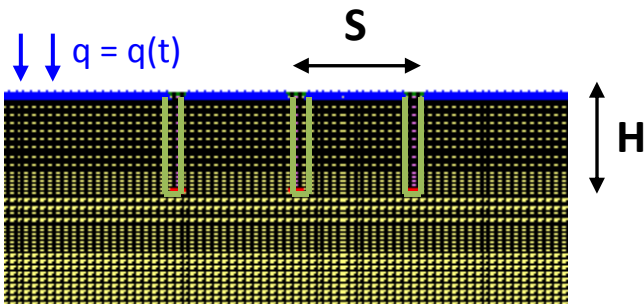
n = numero trincee (3 - 7)

H = profondità trincee (12 - 16 m)

S = interasse trincee (15 - 30 m)

✓ caratteristiche di permeabilità del terreno

$$k_{\text{sat}} = 1 \cdot 10^{-9} \div 5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$$



**Configurazione minima:** sistema di 3 trincee (H=12 m; S = 15 m)

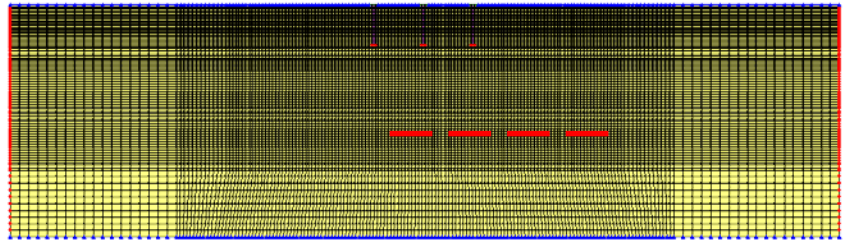
**Configurazione massima:** sistema di 7 trincee (H=16 m; S = 30 m)



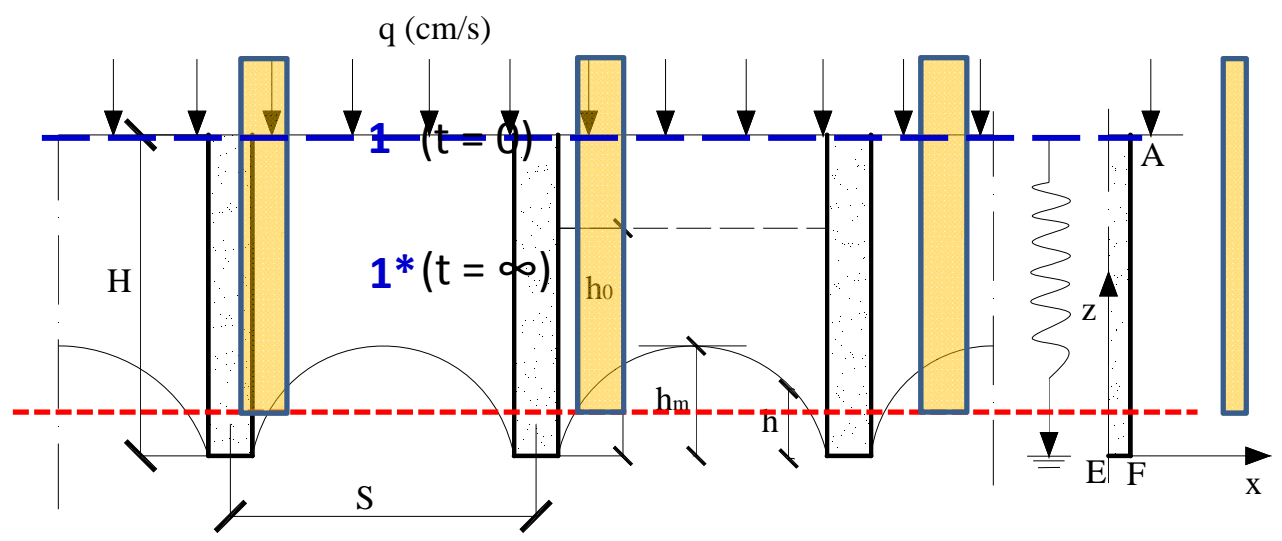
# Trincee drenanti profonde

Strategie di intervento

$z = 45 \text{ m}$

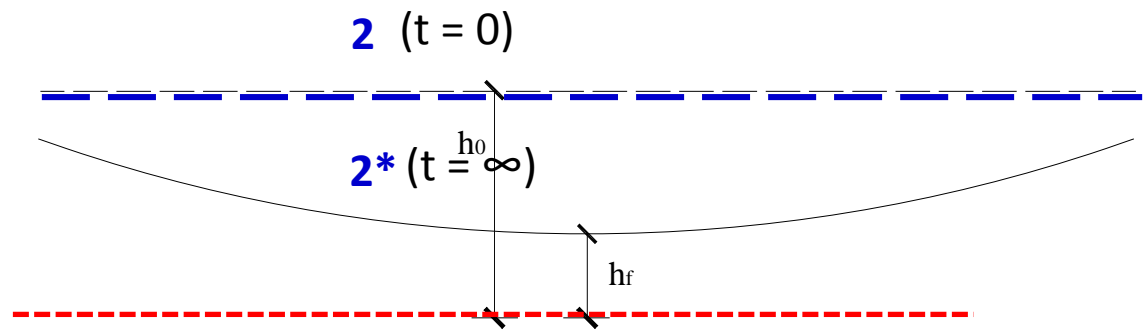


Effetto del parametro  $H/S$  e del parametro  $nS$



Profondità modeste

$H/S:$   
 $h_0 \rightarrow h$



Profondità elevate

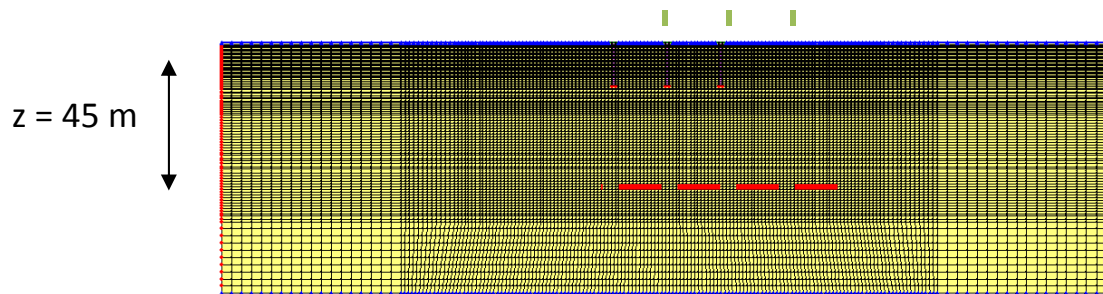
$nS:$   
 $h_0 \rightarrow h_f$

'effetto gruppo' delle trincee



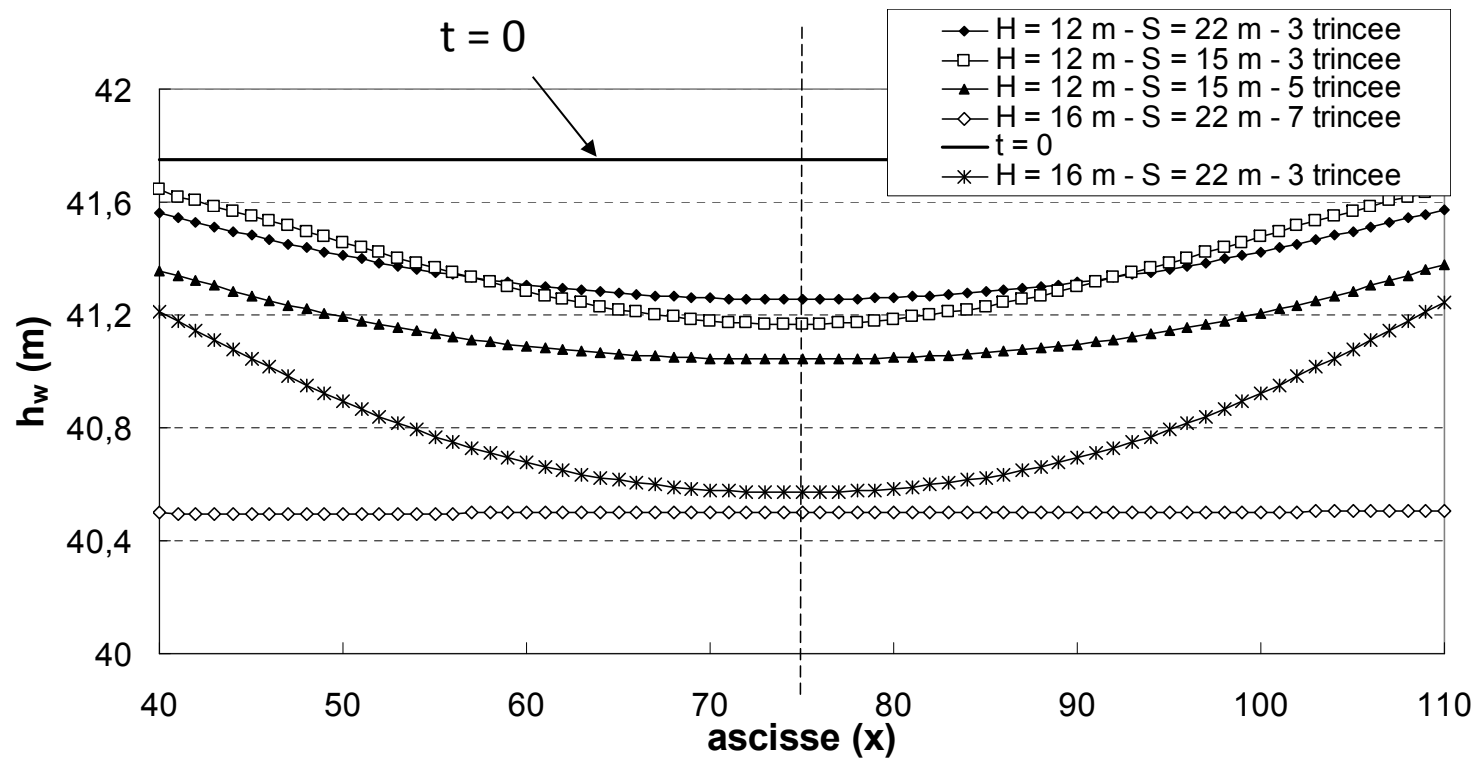
# Trincee drenanti profonde

Strategie di intervento



Effetto del parametro  $H/S$  e del parametro  $nS$

$k = 1E-09 \text{ m/s}$



Andamento dell'altezza piezometrica relativa al piano a  $z = 45 \text{ m}$  per diverse combinazioni di trincee drenanti al tempo  $t = 5 \text{ anni}$