



17 Giugno 2011

Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale



## GIORNATA DI STUDIO

La protezione superficiale dei suoli come  
prevenzione dall'erosione e contributo alla  
manutenzione di frane stabilizzate

**Meccanismi di frana lenti  
nel Subappennino Dauno:  
incidenza delle condizioni di  
superficie e indirizzi di mitigazione**

***Prof.ssa Ing. Federica Cotecchia***

Francesca Santaloia, Piernicola Lollino,



Osvaldo Bottiglieri , Giusy Mitaritonna, Claudia Vitone



# DISSESTO IDROGEOLOGICO



da EROSIONE



da FRANA



# DISSESTO IDROGEOLOGICO

## da EROSIONE



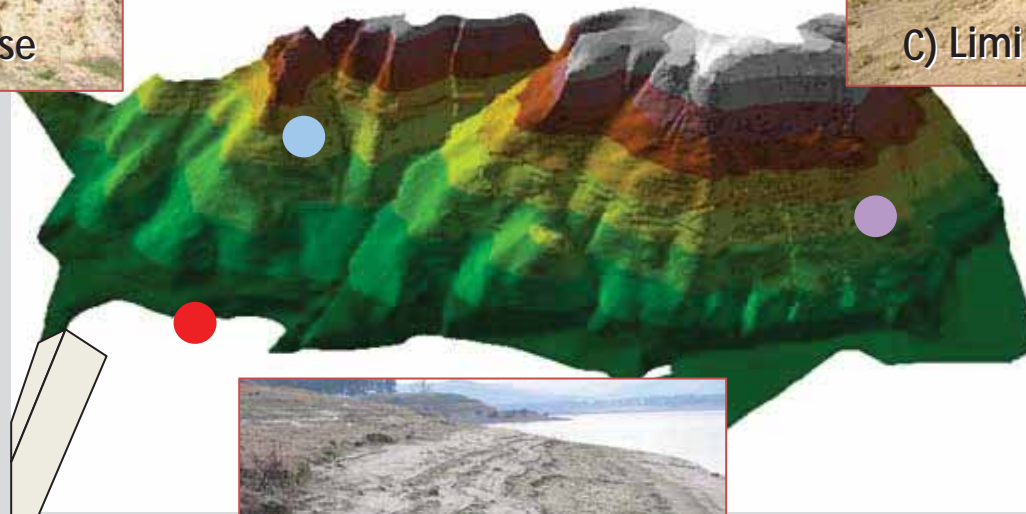
B) Sabbie limose

Composizione:  
Argilla=20%  
Limo=30%  
Sabbia=40%  
Ghiaia=10%



C) Limi argillosi

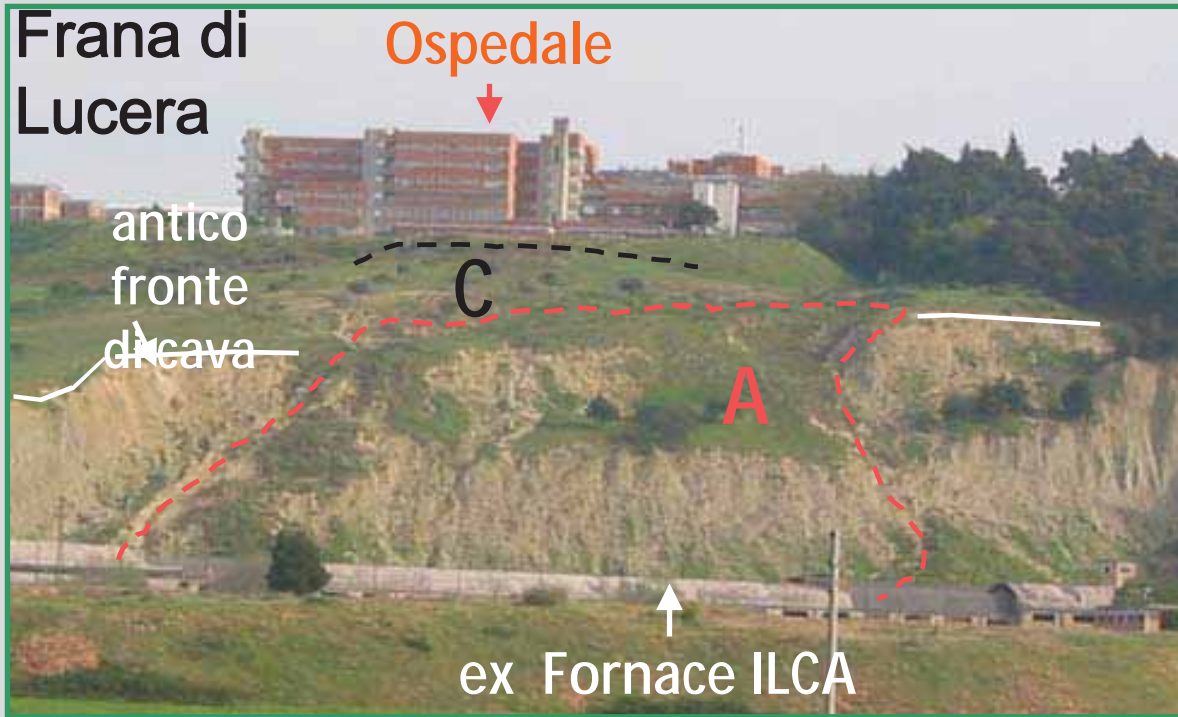
Composizione:  
Argilla=30%  
Limo=40%  
Sabbia=30%



A) Depositi alluvionali

Composizione:  
Argilla=12%  
Limo=80%  
Sabbia=8%





DISSESTO da FRANA

Lollino, Amorosi, Santaloia, Cotecchia; *Geotéchnique* 2011



Santaloia, Cotecchia, Polemio; *Quarterly Journal of Eng. Geol.* 2001



**SCALA DI PENDIO → FATTORI CHE GOVERNANO L'INSTABILITÀ DEL SITO (Terzaghi 1950)**

**MECCANISMO DI FRANA**

**FATTORI INTERNI**

- Assetto Geo-Strutturale (litologia, morfologia, strutture tettoniche)
- Comportamento meccanico dei materiali (legge costitutiva elasto-plastica)
- Regime Idraulico del pendio

Condizioni al Contorno Interne ed Esterne

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

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

$$\theta_w = nS_w \quad \text{Sat.: } K \nabla^2 h = -\partial \varepsilon_{\text{vol}} / \partial t$$

**FATTORI INTERNI**

- CLIMA: Piogge, temperatura, irraggiamento solare → Pressioni interstiziali
- Terremoti → Elevata frequenza di cicli di Carico/Scarico
- Azione antropica → Carico/Scarico
- Evoluzione naturale della morfologia → Carico/Scarico

MECCANISMO  
DI FRANA

FATTORI INTERNI

- Assetto Geo-Strutturale  
(litologia, morfologia, strutture tettoniche)
- Comportamento meccanico  
dei materiali (legge costitutiva  
elasto-plastica)
- Regime Idraulico del pendio

Condizioni al Contorno  
Interne ed Esterne

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

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

$$\theta_w = nS_w \quad \text{Sat.: } K \nabla^2 h = -\partial \varepsilon_{\text{vol}} / \partial t$$

FATTORI INTERNI

- CLIMA: Piogge, temperatura, irraggiamento solare →
- Terremoti →
- Azione antropica →
- Evoluzione naturale della morfologia →

Pressioni interstiziali

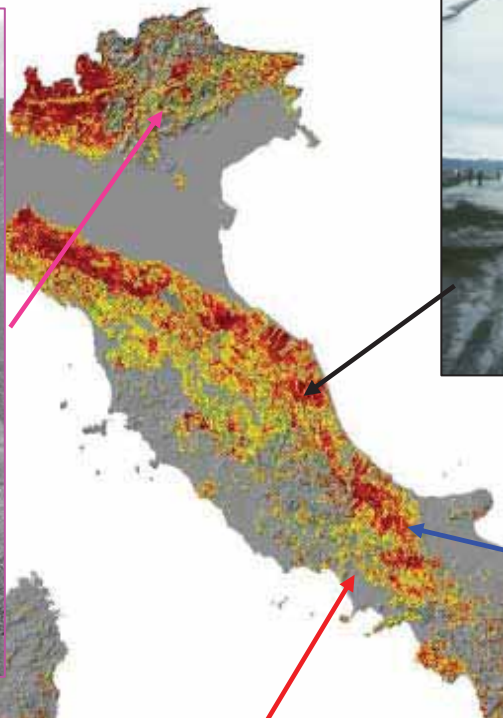
Elevata frequenza di cicli di Carico/Scarico

Carico/Scarico

Carico/Scarico

# SUSCETTIVITÀ DA FRANA IN

Vajont 1963



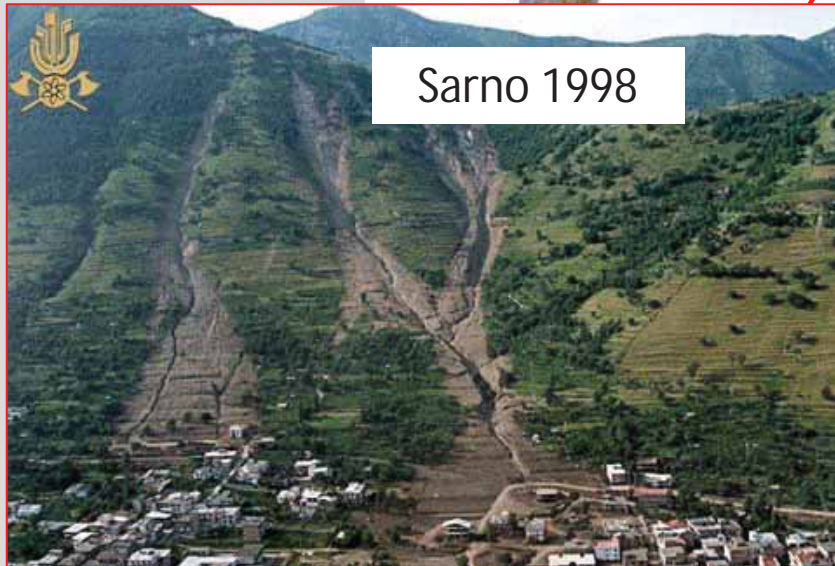
Ancona 1982



Volturino 2005



Sarno 1998



Messina 2009



(%) calcola  
lato 1 km



**RISCHIO (R) = danno atteso in una data area ed in un dato intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un evento calamitoso, espresso da :**

$$R = H \times V \times E$$

**PERICOLOSITÀ  
(H)**



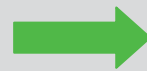
Probabilità di accadimento della frana in una data area ed in un dato intervallo di tempo

**VULNERABILITÀ  
(V)**



Grado di perdita prodotto su un elemento a rischio dal verificarsi della frana

**ESPOSIZIONE  
(E)**



Valore economico o numero di elementi a rischio in una data area

## ACCORDO DI PROGRAMMA QUADRO IN MATERIA DI "RICERCA SCIENTIFICA"

### PROGETTO STRATEGICO (PS\_119; 2006-2010)

#### Valutazione del rischio da frana per la pianificazione di centri urbani minori in zone di catena: il caso della Daunia.

Coordinatore scientifico: *Prof.ssa Federica Cotecchia* (Politecnico di Bari)

Responsabili Unità di Ricerca: *Prof.ssa F. Cotecchia, Prof. P. Monaco, Prof. D. Borri e Prof. A. Federico* del Politecnico di Bari e *Dott.ssa F. Santaloia*



# RICERCA del PS\_119



**BISOGNO** urgente di mitigare gli effetti di  
una **FRANOSITA' DIFFUSA**





# STATO ATTUALE → INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO

Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

17 Giugno 2011



# RICERCA del PS\_119

VEICOLARE GLI INVESTIMENTI → PROGETTAZIONE CONSAPEVOLE



*VOLANO ECONOMICO*

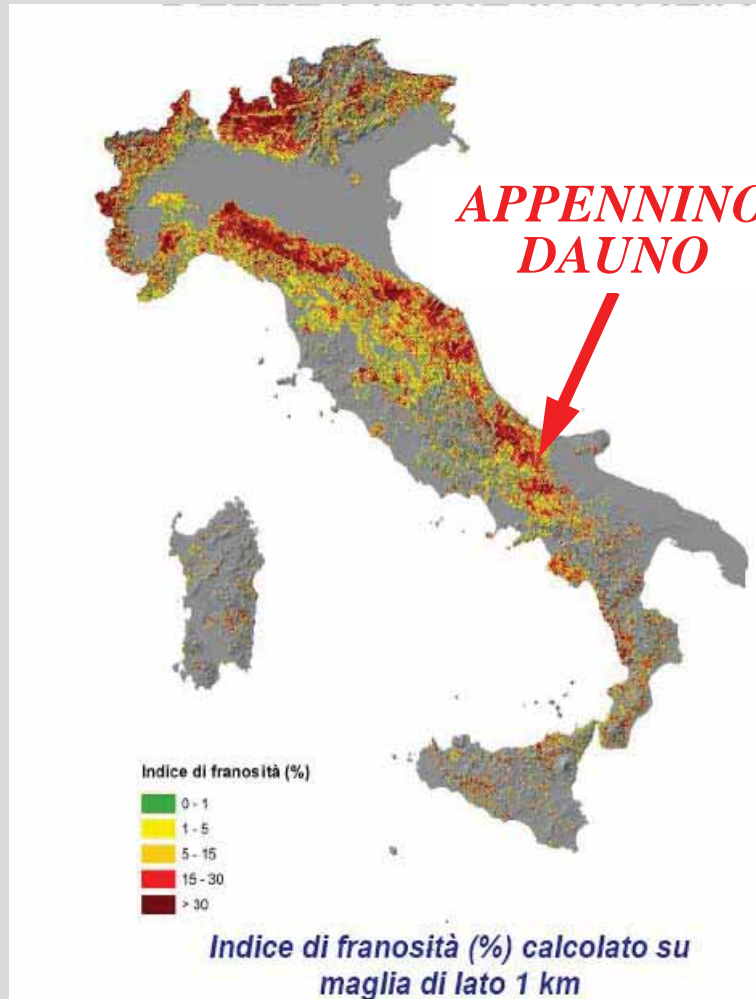
**INDUSTRIA DELLA CONOSCENZA PER LA PROTEZIONE DAL RISCHIO DA FRANA**

➤ INDAGINI

➤ STUDI DELLA STABILITA'

➤ EVOLUZIONE DELLE TECNICHE DI INTERVENTO  
PER LA STABILIZZAZIONE

## FRANOSITÀ NELLA DAUNIA



**ITALIA:** 469.298 frane su un' area di 20.000 Km<sup>2</sup>  
indice di franosità: 6,4%

**PUGLIA:** 843 frane su un'area di 85 Km<sup>2</sup>  
indice di franosità: 0,4%  
(**Daunia in media > 5%**)

Nella **DAUNIA**, la franosità ha condizionato:

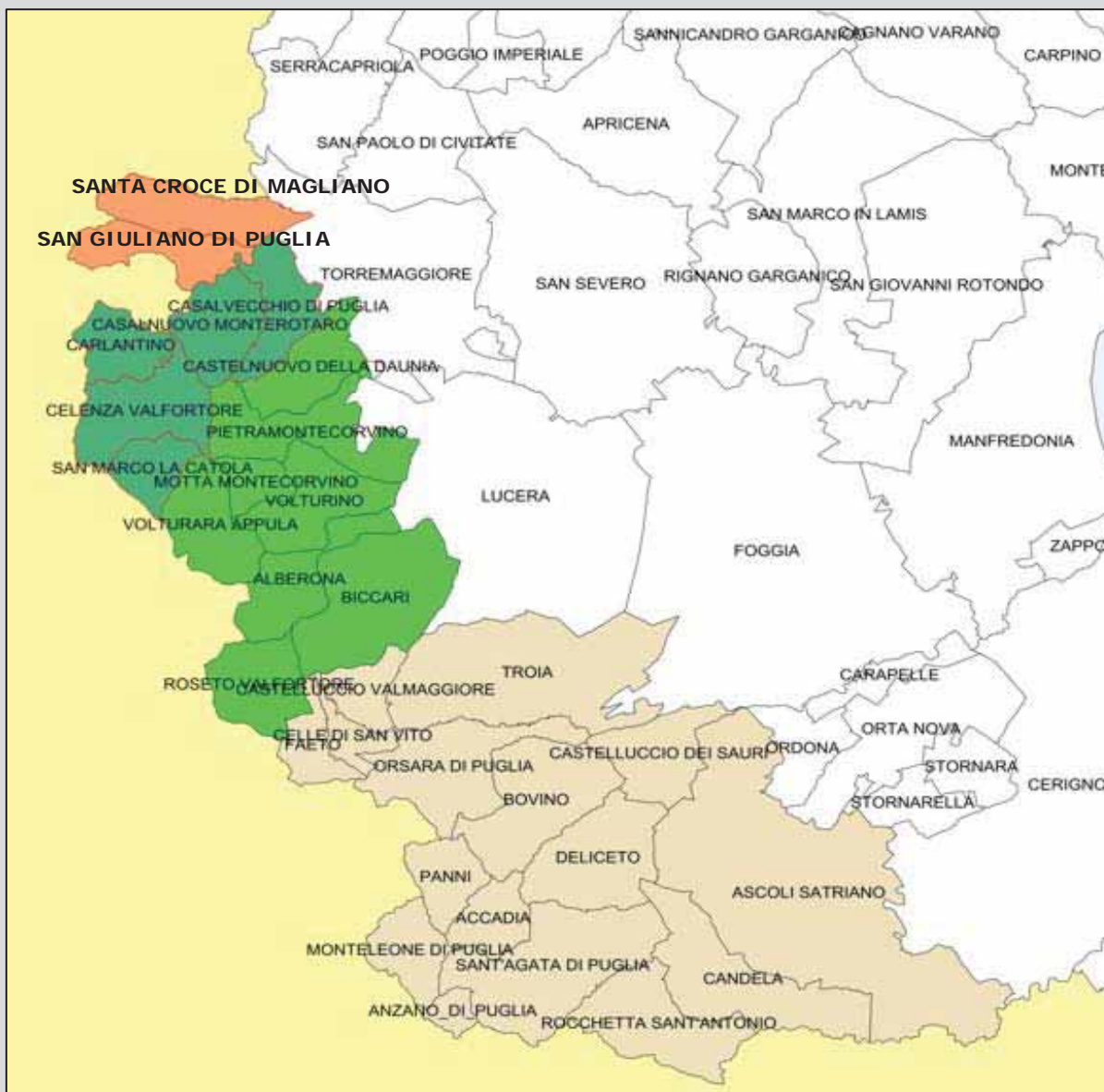
- lo sviluppo sociale ed economico
- l'espansione urbanistica dei centri abitati



# II Subappennino Dauno

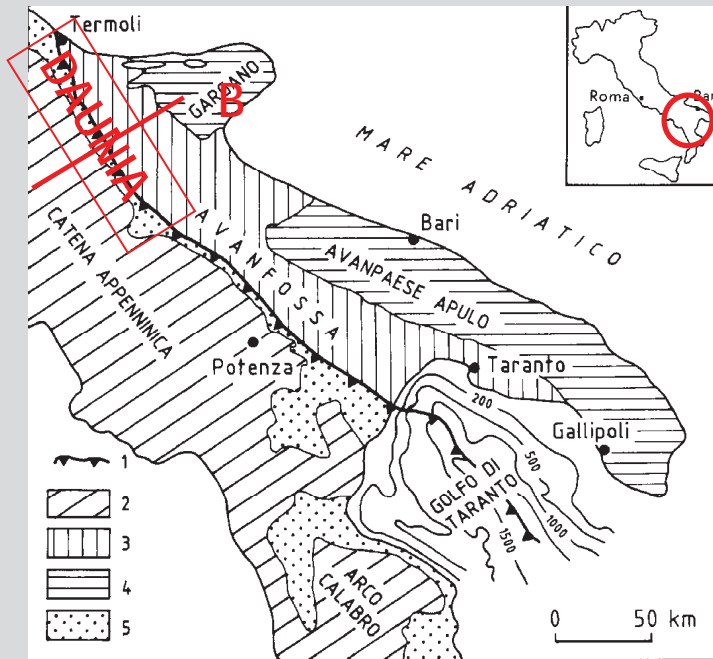
17 Giugno 2011

Politecnico di Bari  
 Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
 Ingegneria Geotecnica e Geambientale



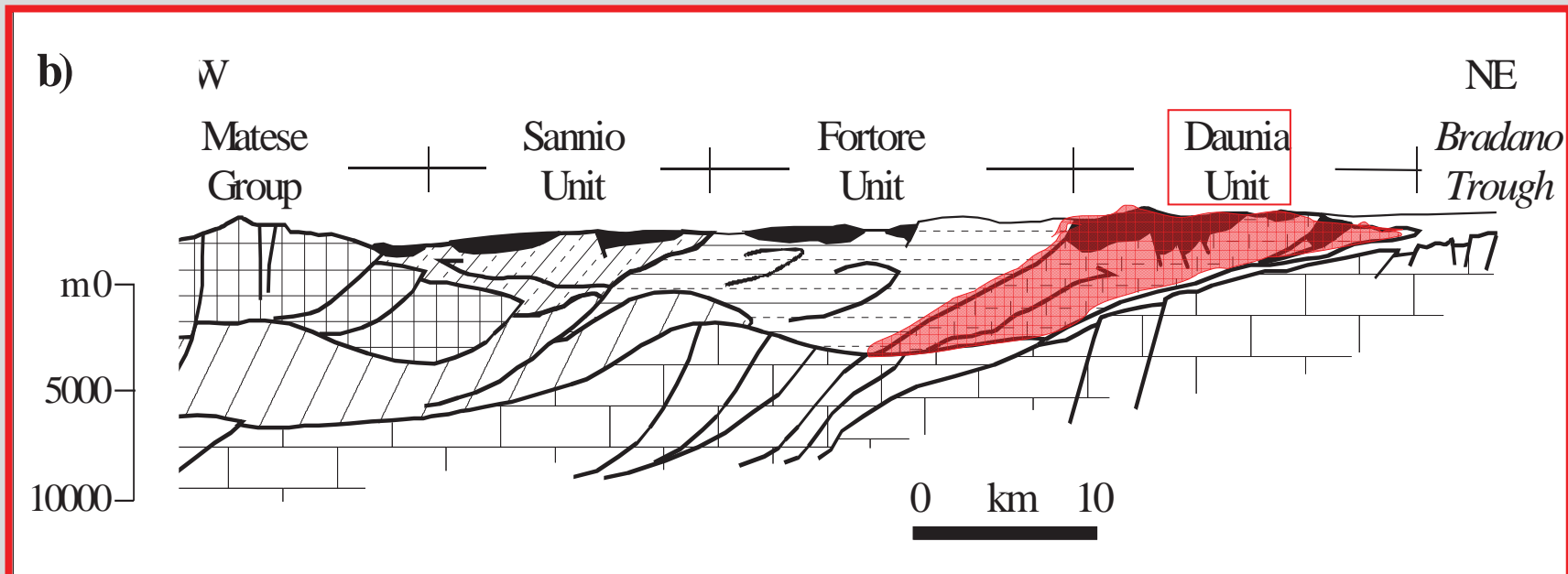
# APPLICATION OF THE NEW QHA METHODOLOGY

Research funded by the Apulian Region, 2007-2010



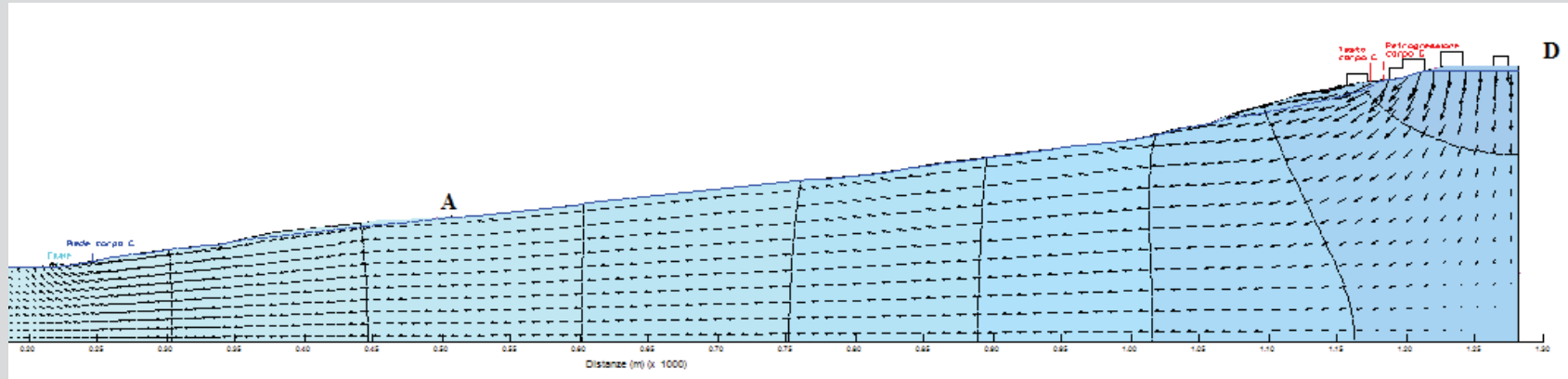
## DAUNIA APENNINE GEO-STRUCTURAL CONTEXT

Section B-B

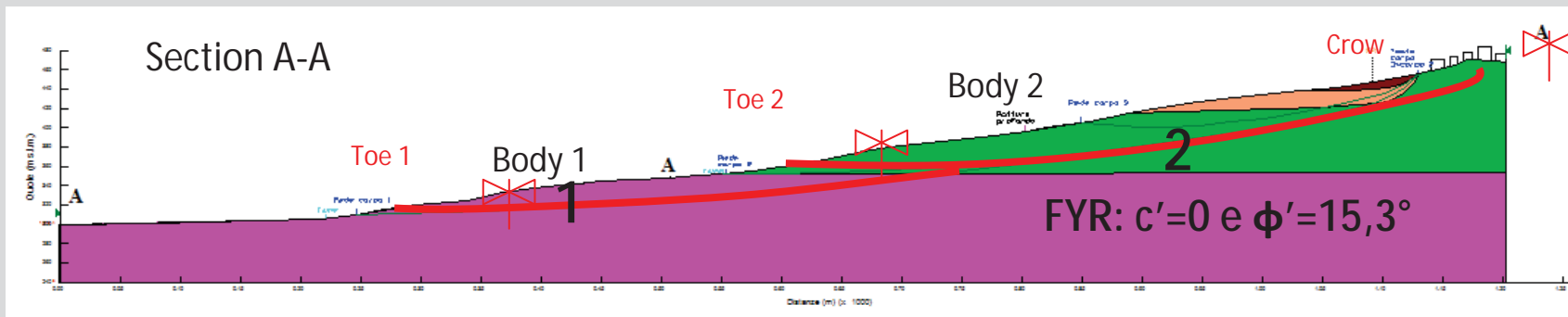


**Obiettivo di oggi**

Come incide il contorno, lo stato del terreno in affioramento e le condizioni idrauliche / il clima, sulle fenomenologie di instabilità in questi contesti



Accoppiamento idro-meccanico:  $\sigma' = (\sigma - u)$ ,  $\tau_f = c' + \sigma' \operatorname{tg}(\phi')$



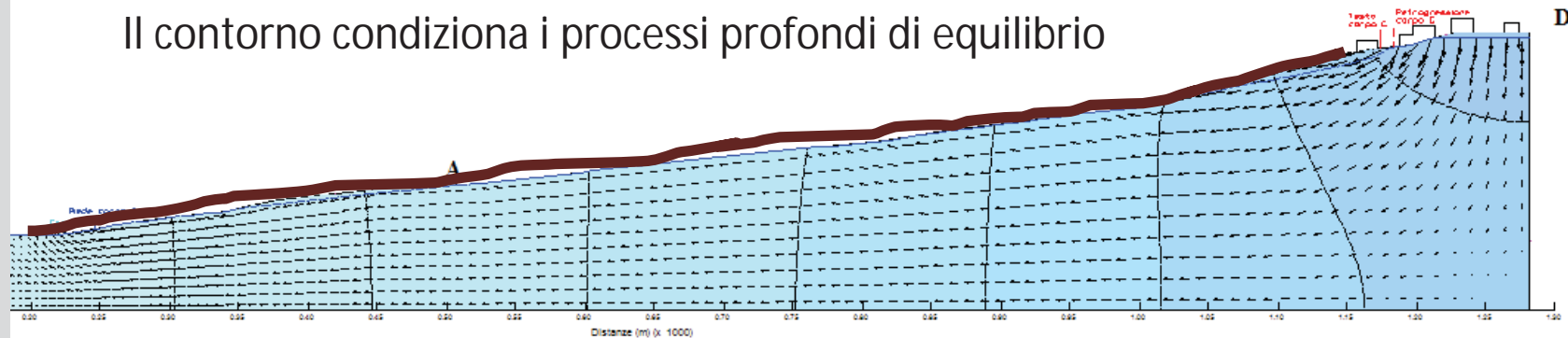
**FRANE PROFONDE**  
REGIME DI FILTRAZIONE: FATTORE PREDISPONENTE  
REGIME PLUVIOMETRICO: FATTORE INNESCANTE



## OBIETTIVO

Come incide il contorno, lo stato del terreno in affioramento e le condizioni idrauliche / il clima, sulle fenomenologie di instabilità in questi contesti

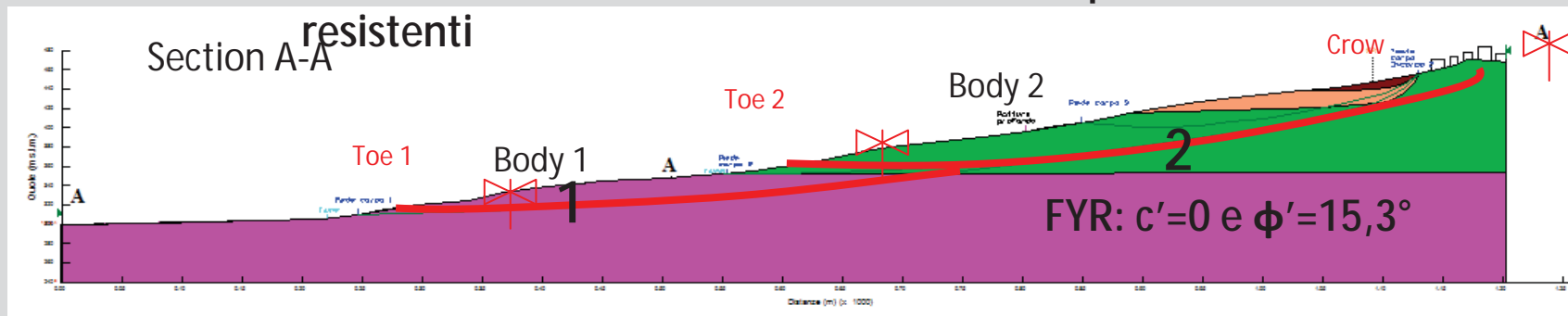
Il contorno condiziona i processi profondi di equilibrio



Accoppiamento idro-meccanico:  $\sigma' = (\sigma - u)$ ,  $\tau_f = c' + \sigma' \operatorname{tg}(\phi')$

Effetti di instabilità in contesti di materiali poco

resistenti



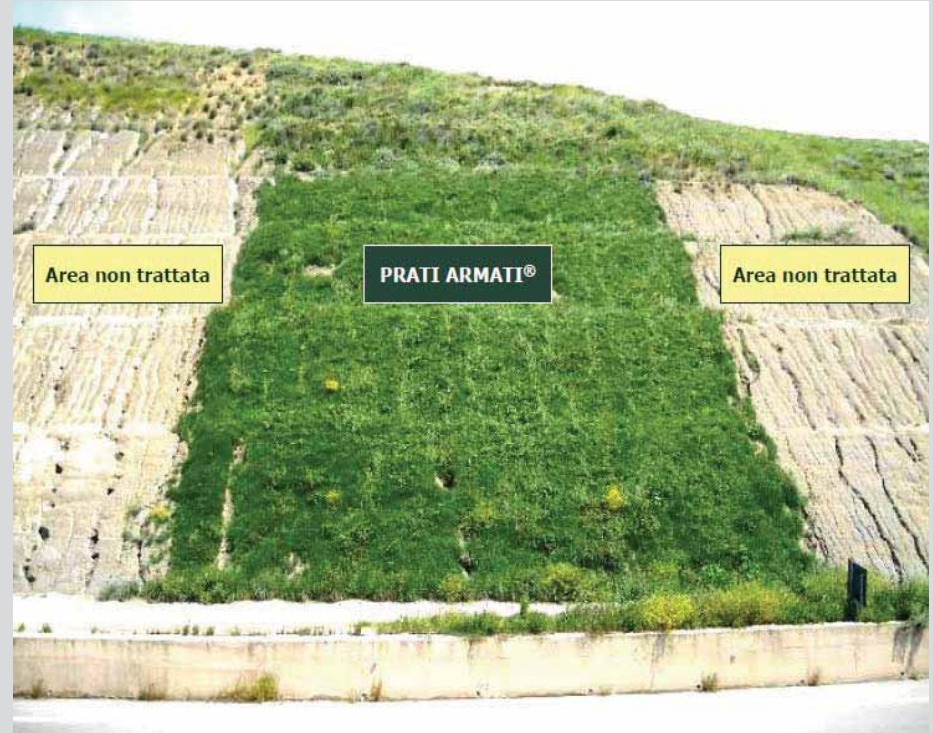
FRANE PROFONDE

REGIME DI FILTRAZIONE: FATTORE PREDISPONENTE

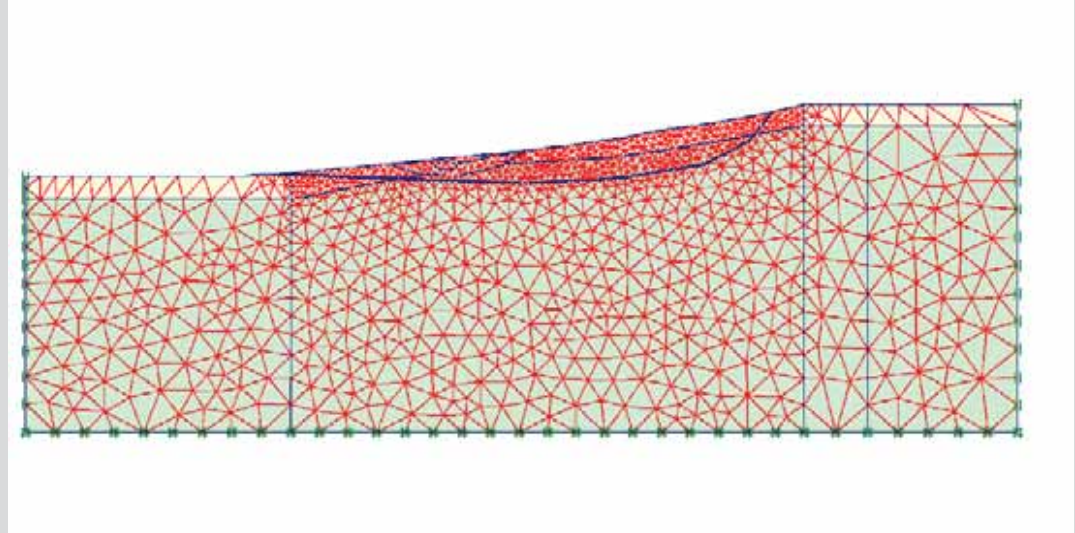
REGIME PLUVIOMETRICO: FATTORE INNESCANTE



L'intervento di ingegneria naturalistica in superficie non è solo un maquillage;  
Può incidere su equilibri in profondità

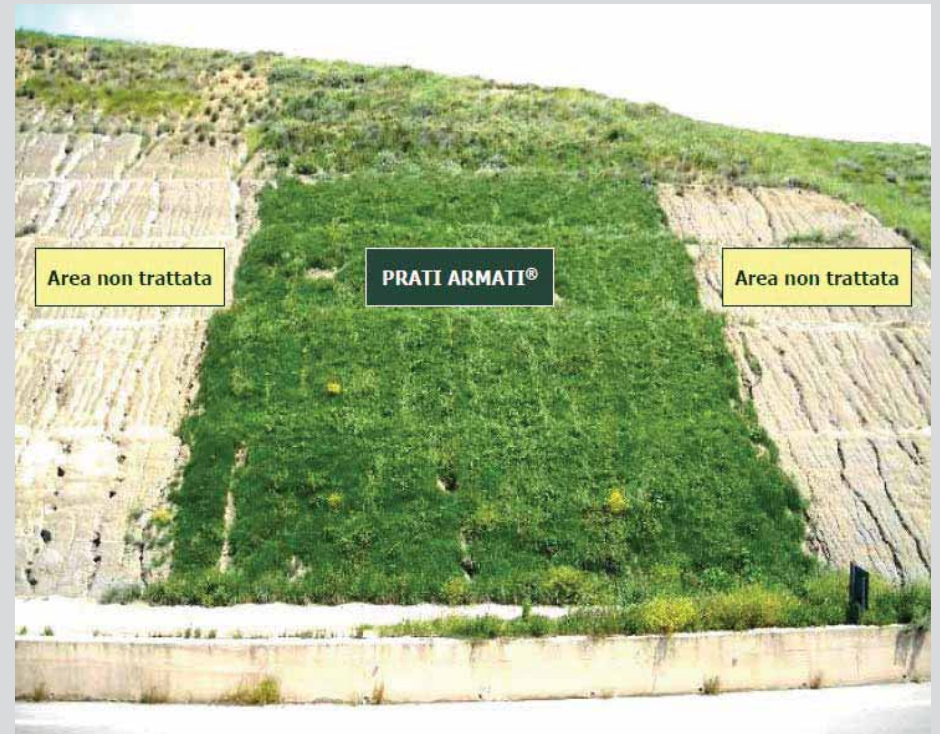






L'intervento di ingegneria naturalistica in superficie non è solo un maquillage; Può incidere su equilibri in profondità

**II PENDIO E' UN CONTINUO MECCANICO ED IDRAULICO  
LA VARIAZIONE DELLA CONDIZIONE AL CONTORNO INCIDE SULLE RESISTENZE MOBILIZZATE E DISPONIBILI**





- Effetti delle frane nel Subappennino Dauno / Sofferenza dei centri abitati e delle infrastrutture
- Classi di meccanismi di frana identificate nel Subappennino Dauno: evoluzioni lente (cm/anno) di frane profonde
- Cause predisponenti ed innescanti: basse resistenze dei materiali della Formazione della Daunia, regime piezometrico nei pendii, piogge
- Come incide il contorno
- Prospettive di intervento

# Subappennino Dauno

I DANNI alle strutture e alle  
Infrastrutture





## L'Appennino Dauno è noto per l'esposizione degli elementi a rischio di frane

17 Giugno 2011

Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale



Motta Monte Corvino





Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

17 Giugno 2011

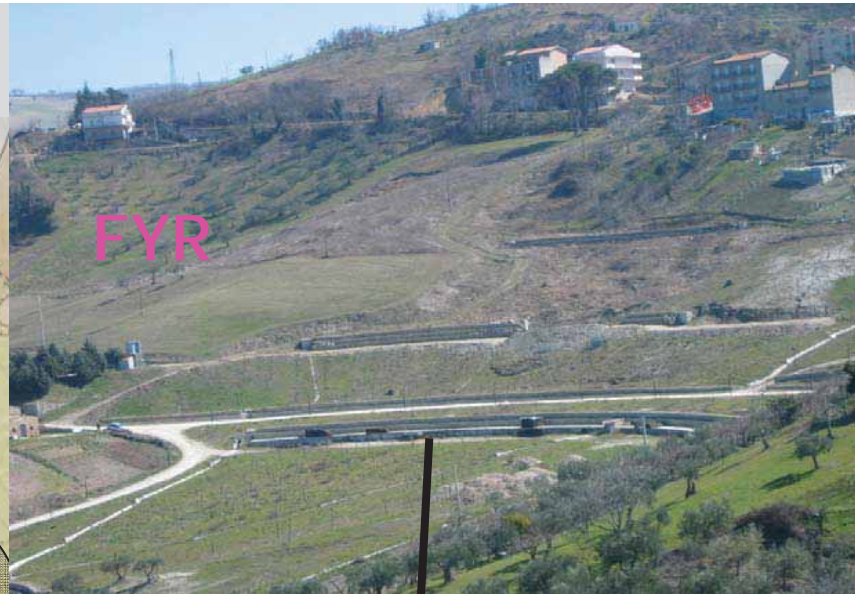


Volturino



**CONDIZIONAMENTO  
DELLO SVILUPPO  
NELLE AREE DI  
CATENA**

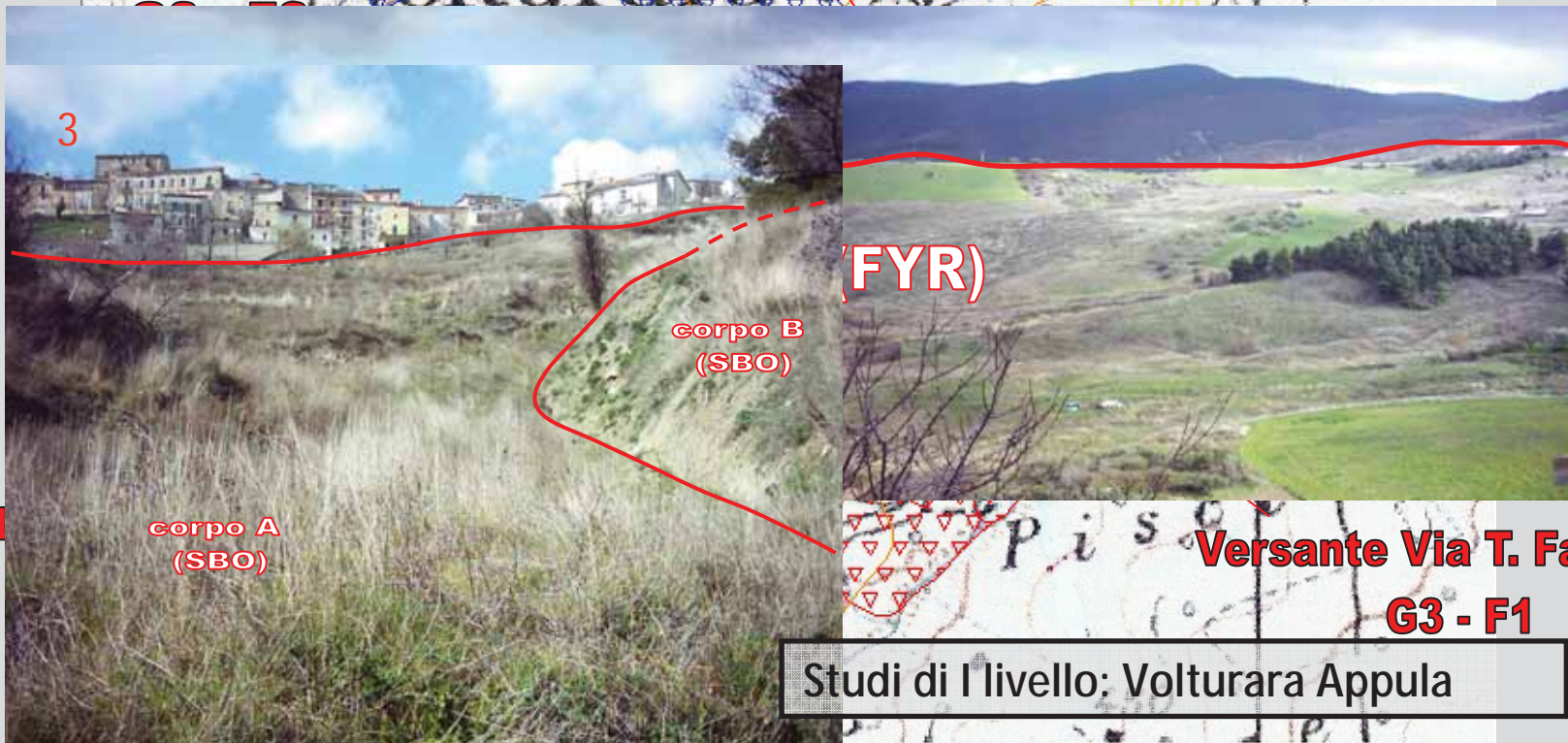
**LE FRANE  
SOFFOCANO I  
CENTRI ABITATI**







Via del Progresso



Versante Via T. Farace  
G3 - F1

Studi di I livello; Volturara Appula



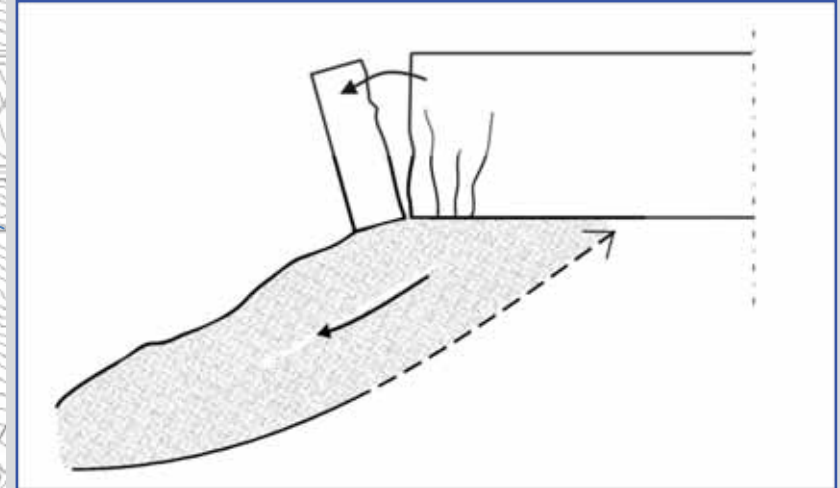
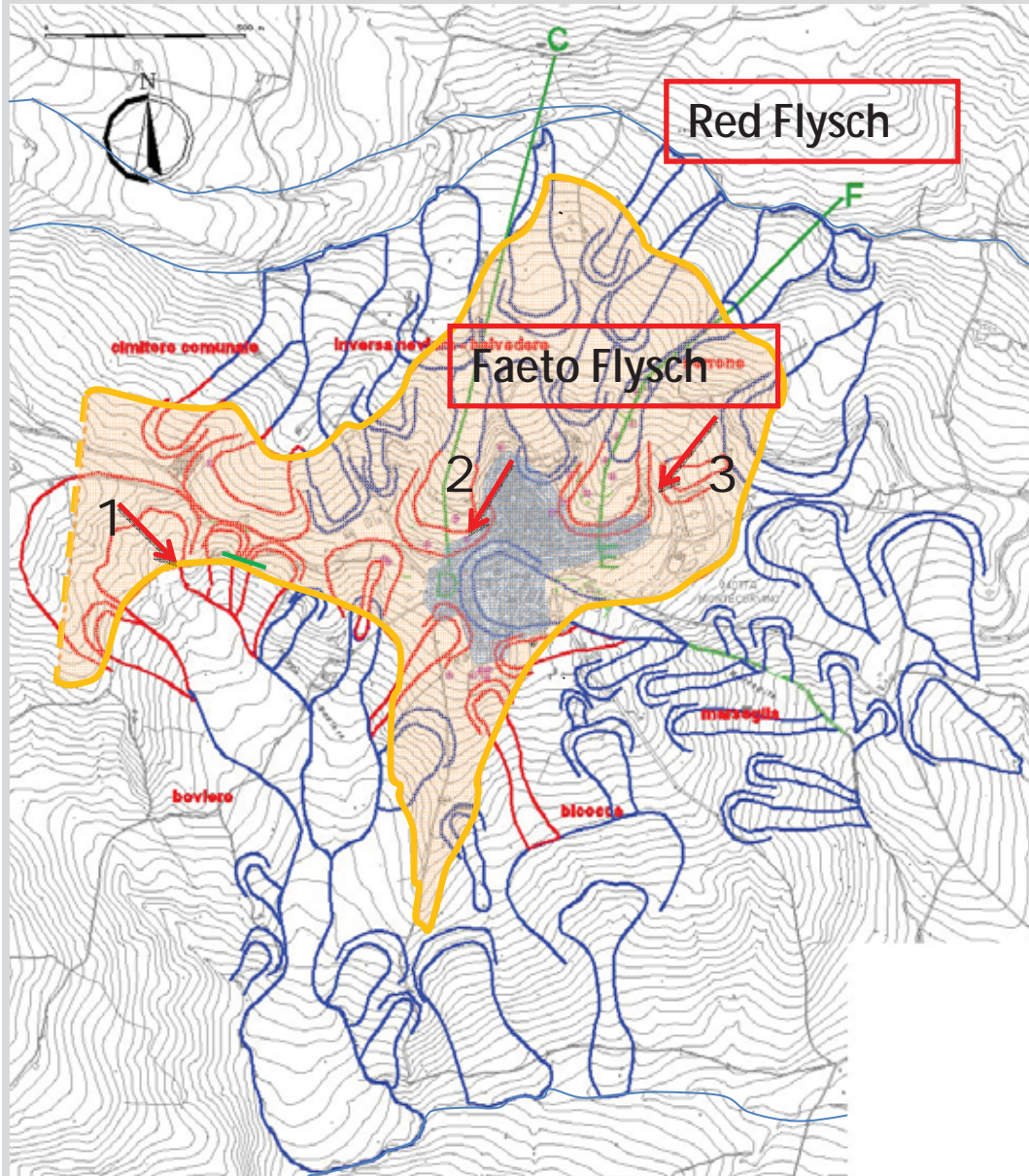
## Danni del costruito: elemento diagnostico





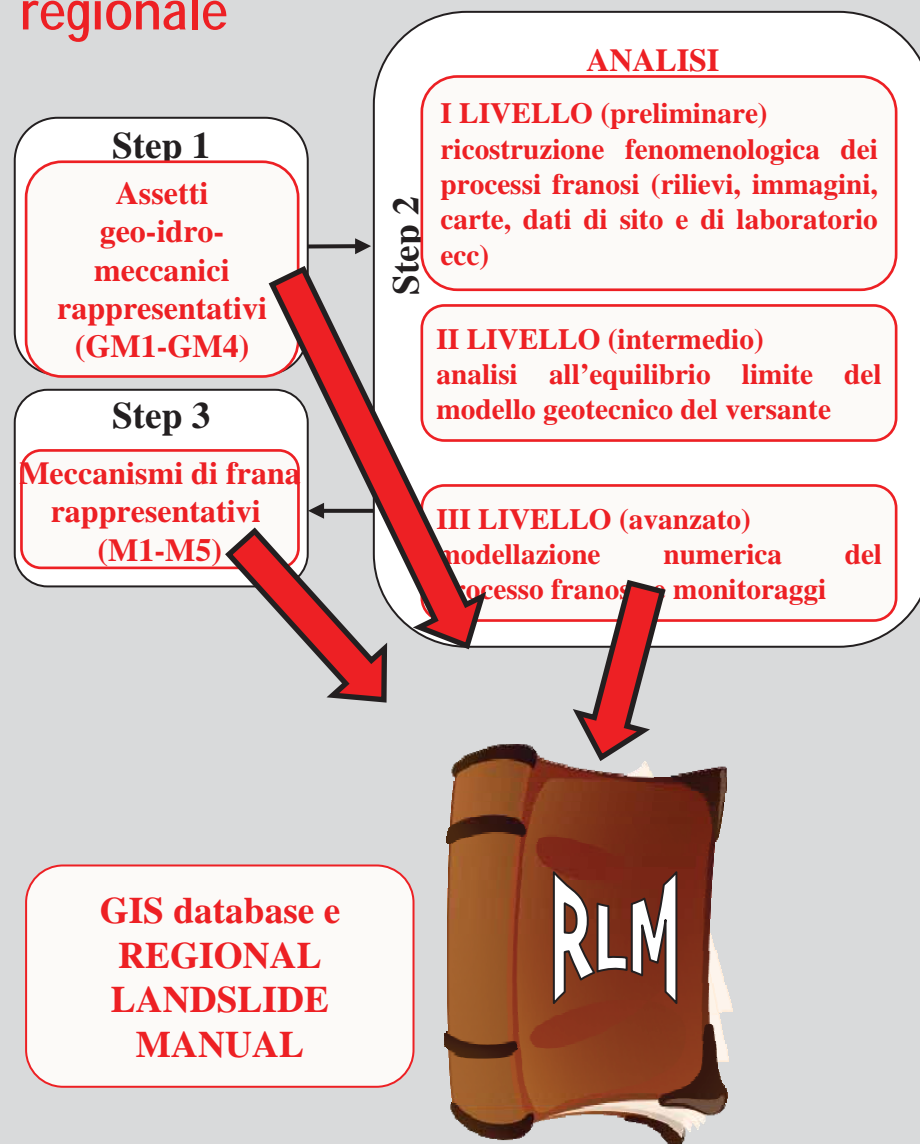
# Motta Montecorvino

— quiescente  
— attivo





# 1a FASE: scala regionale



**Settore esterno  
dell'Appennino  
meridionale:  
25 centri urbani**

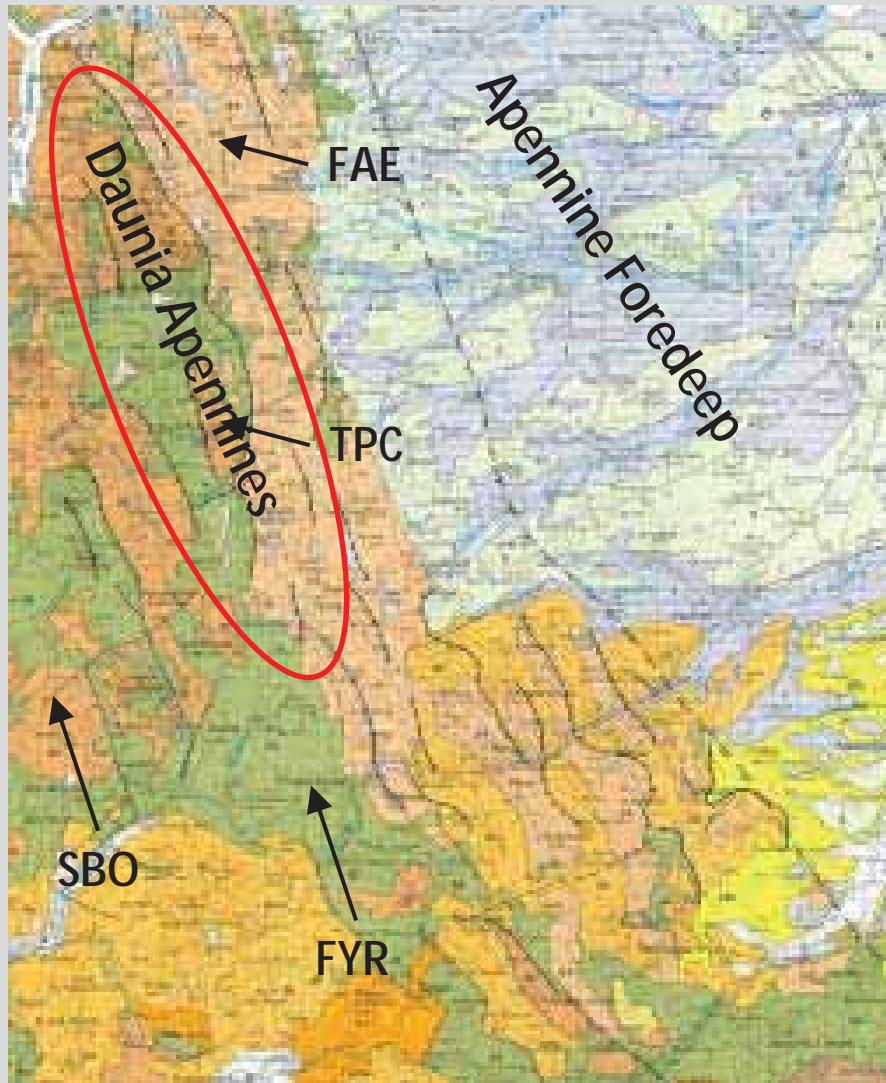




## DAUNIA APENNINE : GEOLOGICAL FORMATIONS

1st PHASE

Orogenic sedimentary successions deposited in marine basins (foredeep and wedge basins), mostly clayey flysch



- Toppo Capuana Clays (TPC)
- Faeto Flysch (FAE: limestones and clays)
- San Bartolomeo Flysch (SBO: clays and sandstones)
- Pre-orogenic sedimentary successions deposited in marine basins, for instance, Red Flysch or Varicoloured Clays (FYR)

(1:250.000; Bonardi et al. 2006)

# Siti di campionamento

- SENERCHIA (AV)

Anni: 1995-2005

- SANTA CROCE DI MAGLIANO (CB)

Anni: 2002--2011

- SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB)

Anni: 2002-2003

- MELFI (PZ)

Anni: 2009-2011

- BOVINO (FG)

Anni: 2009-2011

- VOLTURINO (FG)

Anni: 2009-2011

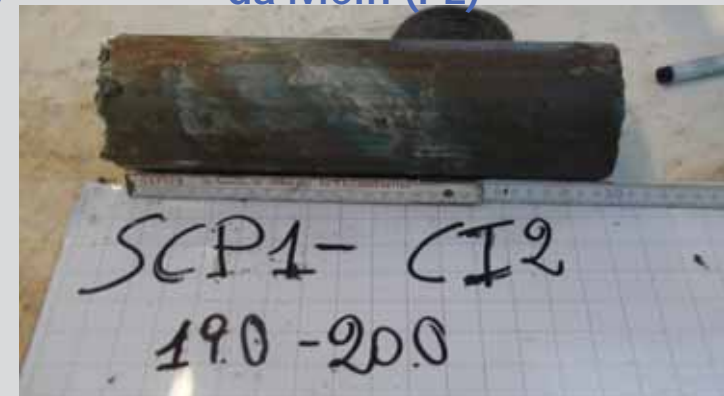
Santa Croce di Magliano (CB)



San Giuliano di Puglia (CB)

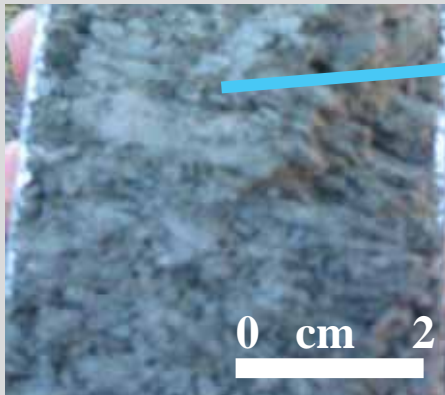


da Melfi (PZ)





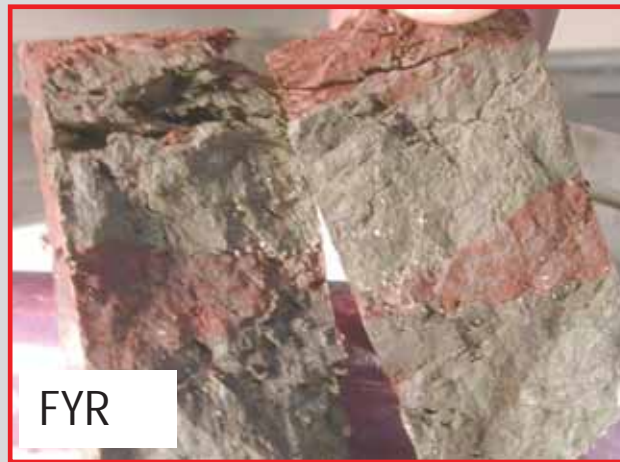
INTENSELY FISSURED CLAYS: *SCALY*  
*CLAYS*



Cotecchia & Santaloia 2003; Vitone et al. 2009; Vitone & Cotecchia 2010

# MECCANICA DEI MATERIALI: la classe "terreni"

Argille



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

$CF \cong 50-60\%$

$w_L \cong 30-75\%$

$PI \cong 30-40\%$

$A \cong 0.5-0.7$

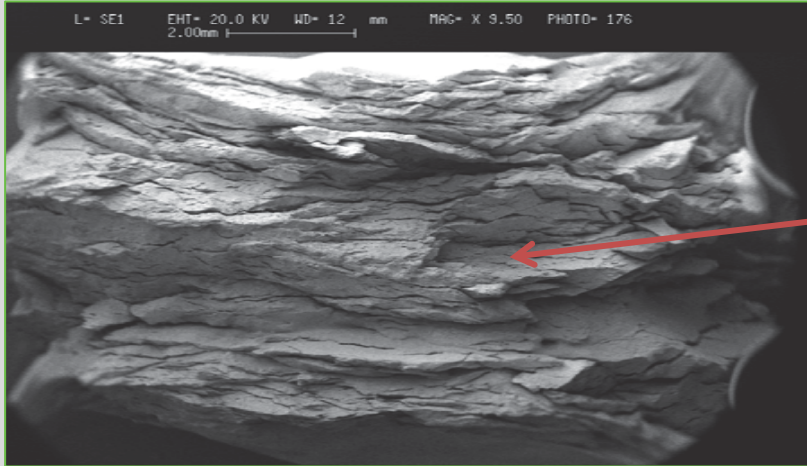
$c_p' = 0-50 \text{ kPa}, \phi_p' = 18-20^\circ$

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



# FATTORI PREDISPONENTI

## FATTORI INTERNI



- Assetto geo-strutturale (litologia, morfologia, tettonica)
- **Comportamento meccanico dei materiali (resistenza e rigidità)**
- Regime idraulico del pendio

## FATTORI ESTERNI

- Piogge
- Terremoti
- Azione antropica
- Evoluzione naturale della morfologia



**ARGILLE TETTONIZZATE o  
BANDE di TAGLIO PRE-ESISTENTI**



**SCADENTI PROPRIETA di  
RESISTENZA**

**riattivazione della frana**

# MECCANICA DEI MATERIALI: la classe "rocce"

rocce e  
conglomerati

Calcarenite di  
FAETO



Conglomerati PLIO



Sabbie PLIO.



Arenaria di  
SBO





# 1a FASE

Ip. 1 and 2

## Step 1

Identificazione e acquisizione dei fattori della franosità

Creazione del GIS regionale

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

## Step 2

*Studi di I Livello*

*Studi di II Livello*

*Studi di III Livello*

## Step 3

Identificazione dei Meccanismi di Frana

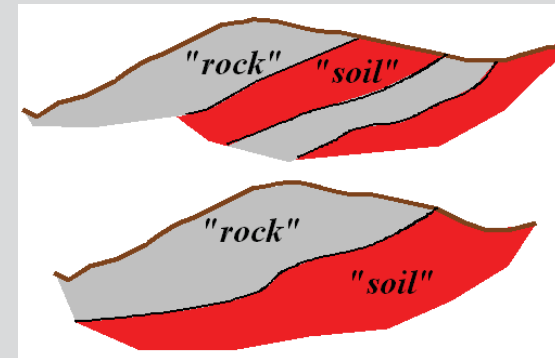
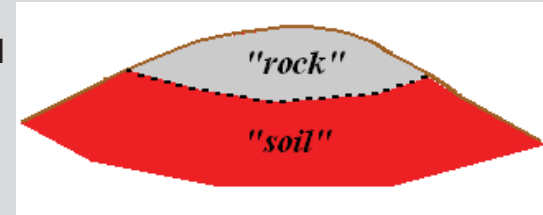
Rappresentativi ( $M_i$ )

GIS database and REGIONAL LANDSLIDE MANUAL

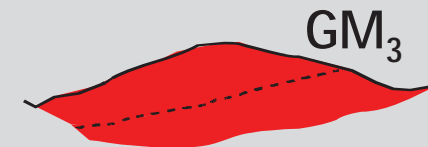


## Assetti geomeccanici $GM_i$

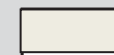
$GM_1$



$GM_2$



$GM_3$



Materiali rocciosi



Materiali argillosi

# Tipologie di Frana $M_i$

Hyp. 1 and 2

1a FASE

## Step 1

Identificazione e acquisizione dei fattori della franosità

Creazione del GIS regionale

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

## Step 2

*Studi di I Livello*

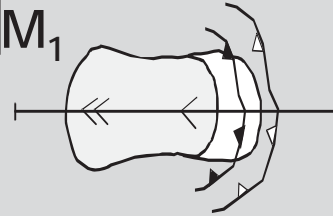
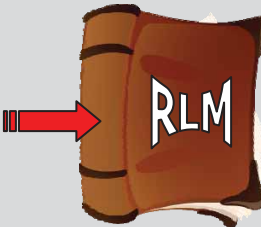
*Studi di II Livello*

*Studi di III Livello*

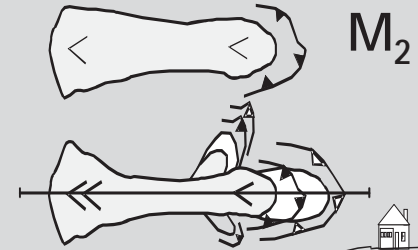
## Step 3

Identificazione dei Meccanismi di Frana Rappresentativi ( $M_i$ )

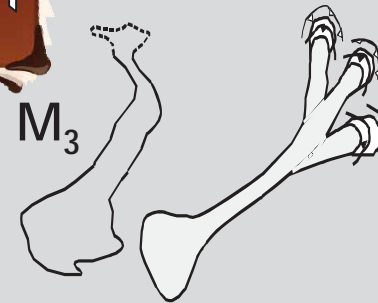
GIS database  
REGIONAL LANDSLIDE MANUAL



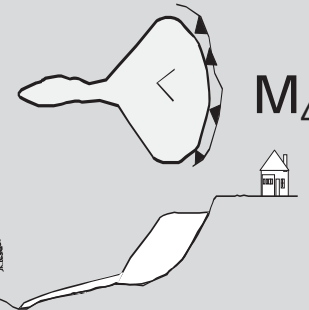
Scivolamenti composti



Scivolamenti di argilla



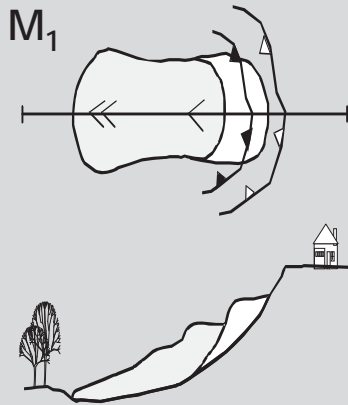
Flowslides  
Scivolamenti-colate



Scivolamenti rotazionali  
evolventi in colata



# M<sub>1</sub>: Scorrimenti composti o rototraslativi: Frana Pianello (Bovino)

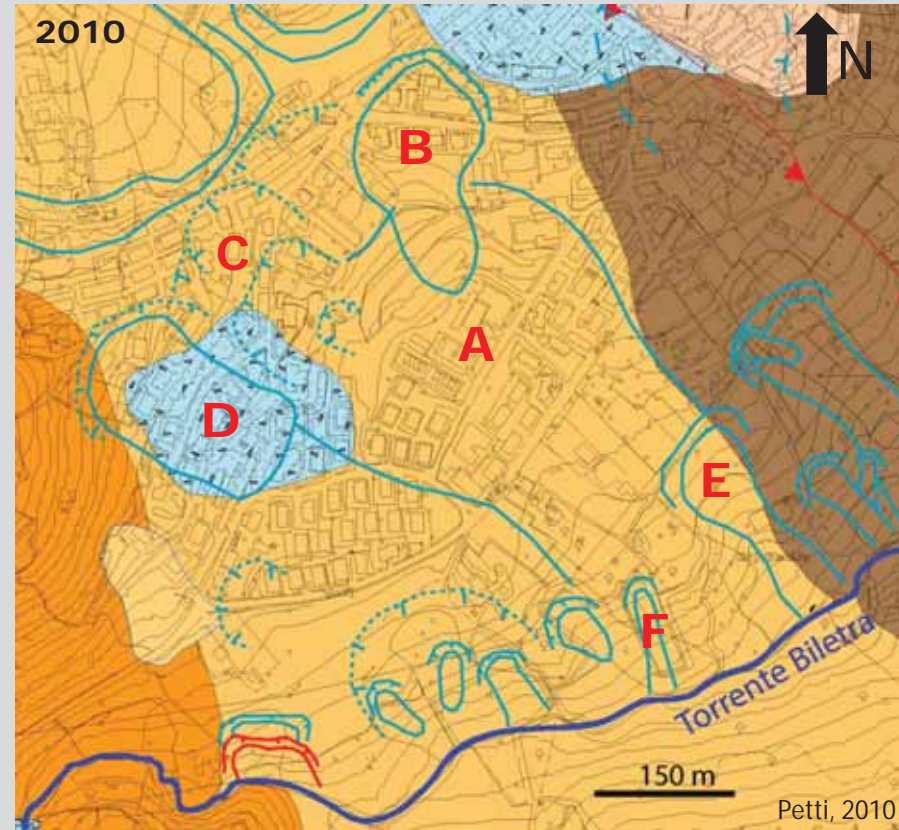


Area in frana principale (corpo A)

Aree in frane secondarie (corpi B-F)



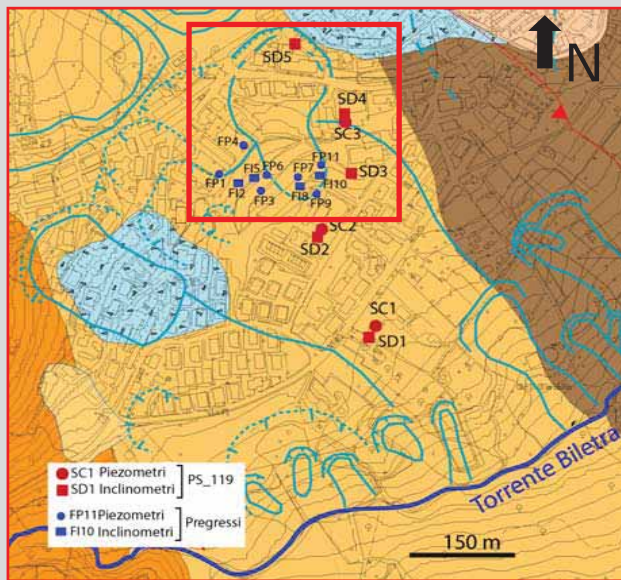
**Bovino**



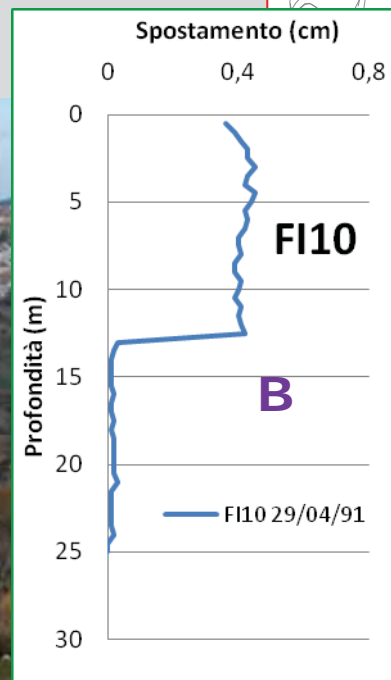
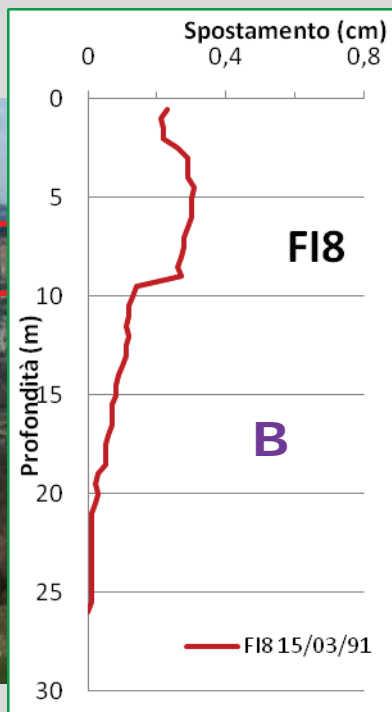
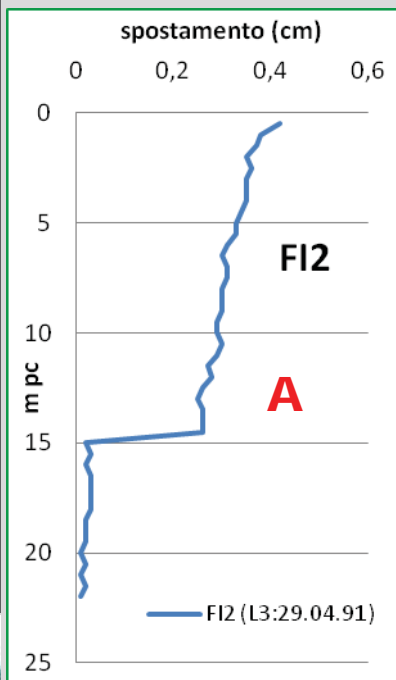
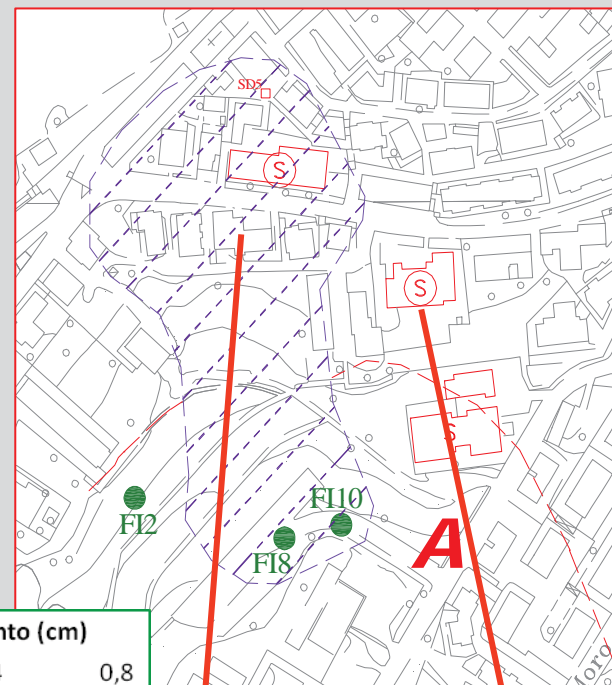
Argille molto plastiche del Flysch di Faeto

Santaloia et al. in prep.

# M<sub>1</sub>: Scorrimenti composti o rototraslativi



Attività corpi secondari



Analisi di 1<sup>o</sup> livello  
 33-Gennaio 1984



# M<sub>1</sub>: Scorrimenti composti o rototraslativi

Caratteri morfometrici

Area in frana principale (corpo A)

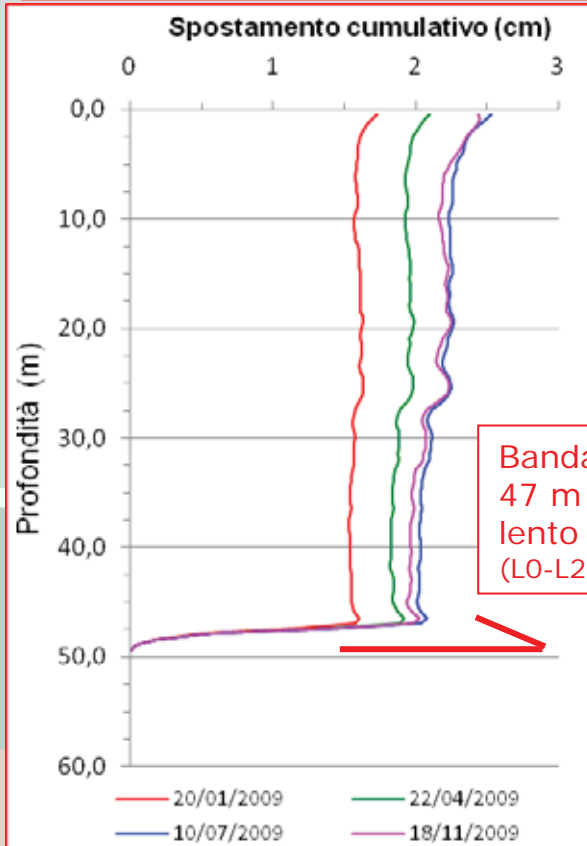
L=765 m W=233-570 m

Z≥50 m (40-45 m)

Aree in frane secondarie (corpi B-F)

(corpi B-F)

Corpo A: I2 (L0=8.10.2008)

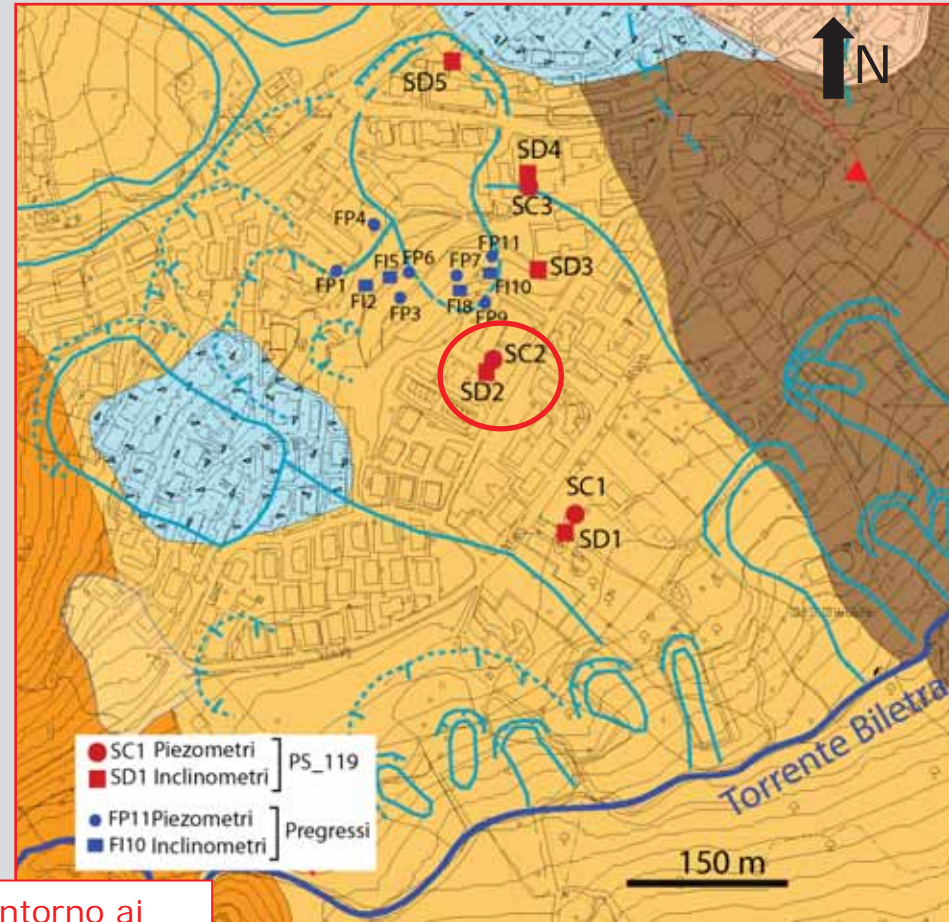


Banda di taglio intorno ai 47 m - movimento molto lento con  $v \approx 1.8$  cm/anno (L0-L2: circa 3 mm/mese)

grigio-verde chiaro con ghiaia di calcarenitici. Rare tracce di strati e di ossidazione nerastre. nebbiamento.

verde chiaro ricca di materiale lento biancastro che litificato di ghiaia calcarenitica grossolana. ne giallo-rossastre. Consistente

enite laminata biancastra, psi. Breccie carbonatiche con

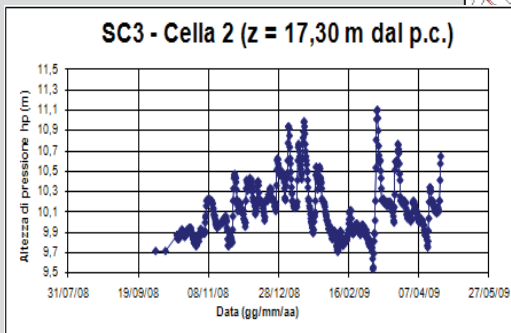
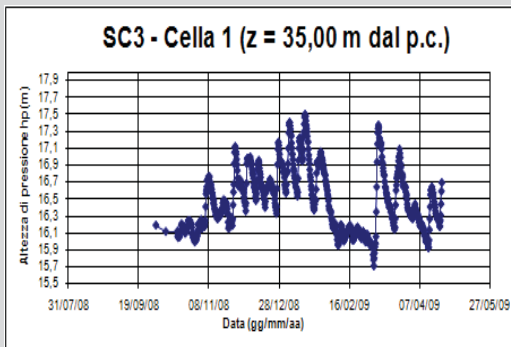


**Analisi di III livello**

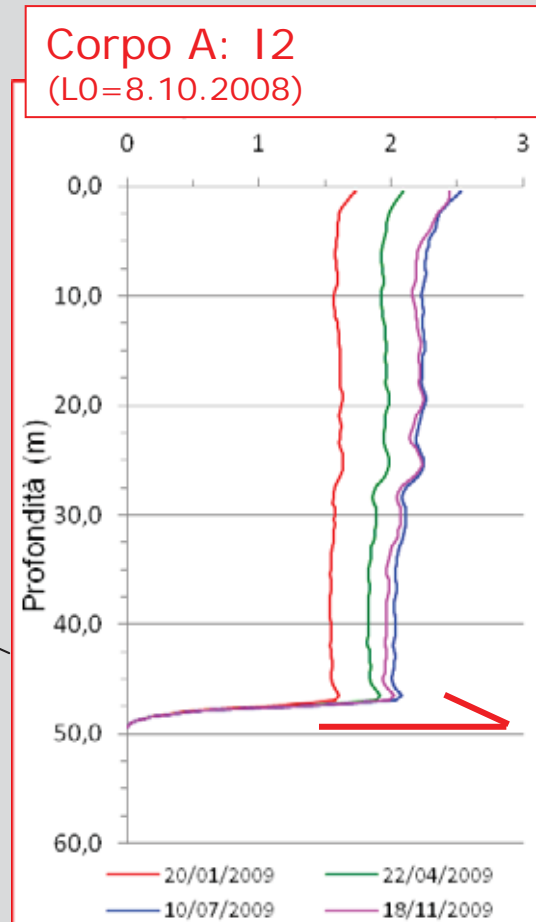
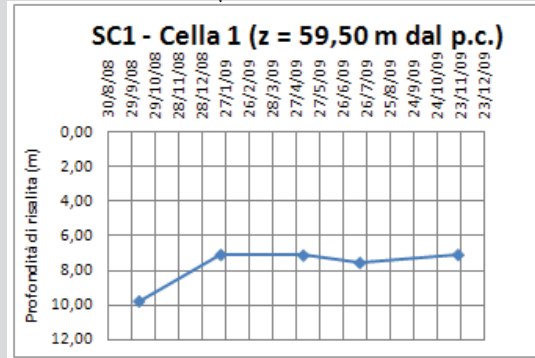
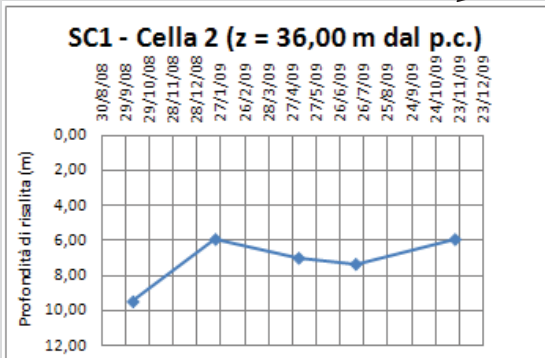
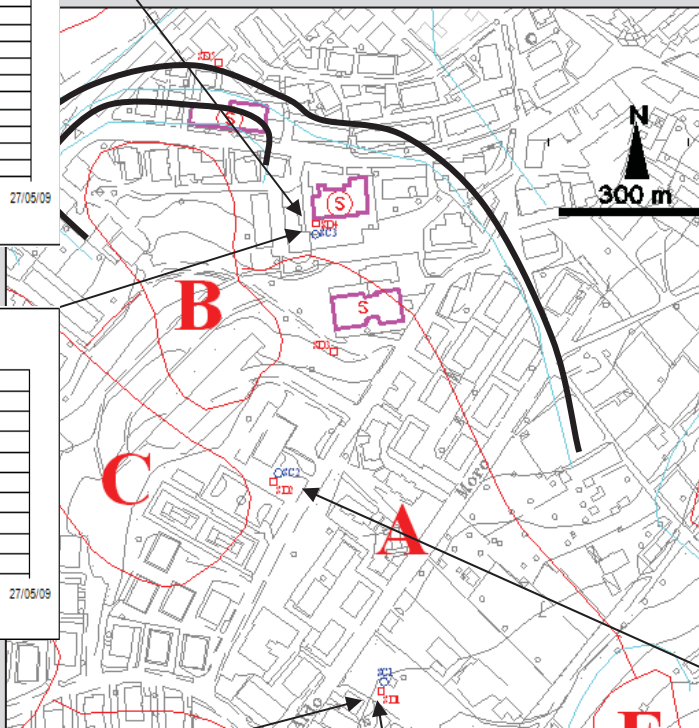
# MONITORAGGIO PIEZOMETRICO ED INCLINOMETRICO

17 Giugno 2011

Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale



$\Delta h_w \approx 1.5 - 2$  m





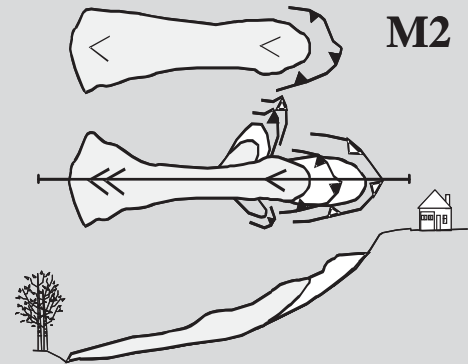
caso di studio: **VOLTURINO (FG)**

**Carta Geo-morfologica di sintesi**

- 1 Argille Sub.
- 2 Marne di TPC
- 3 Flysch di Faeto
- 4 Flysch Rosso



Scorrimento di fango



2005



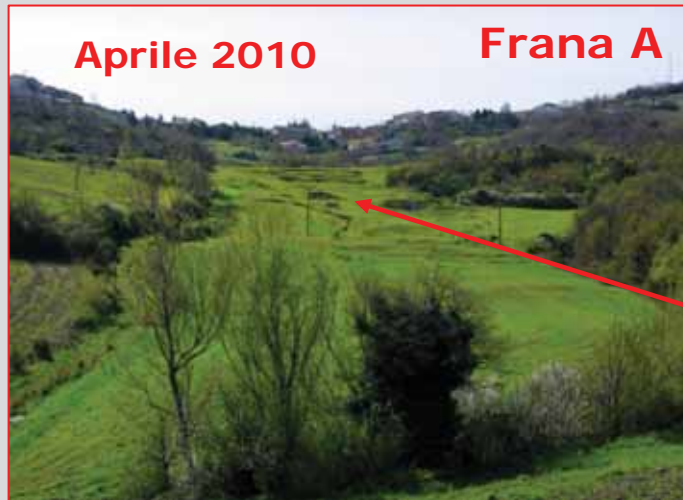
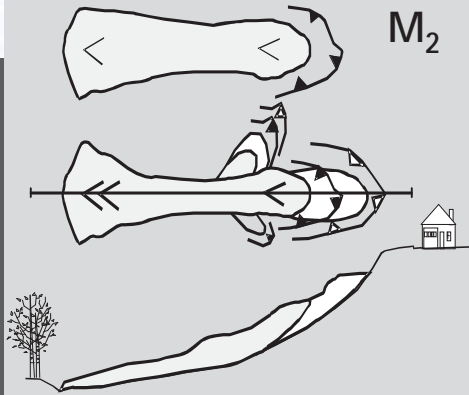
2008

caso di studio: **VOLTURINO (FG)**

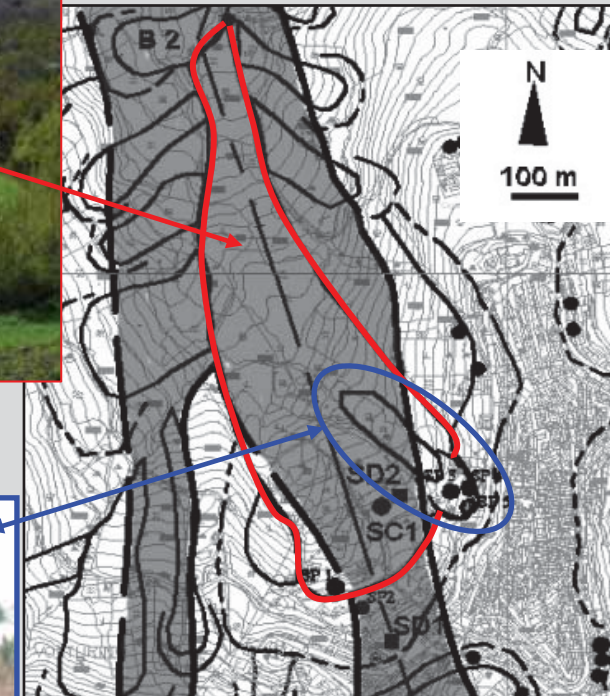


17 Giugno 2011

Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geambientale



**VOLTURINO (Giardino)**

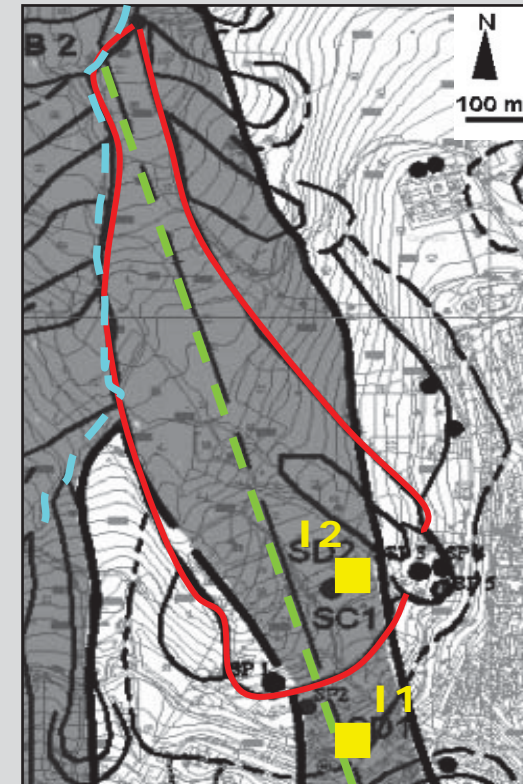
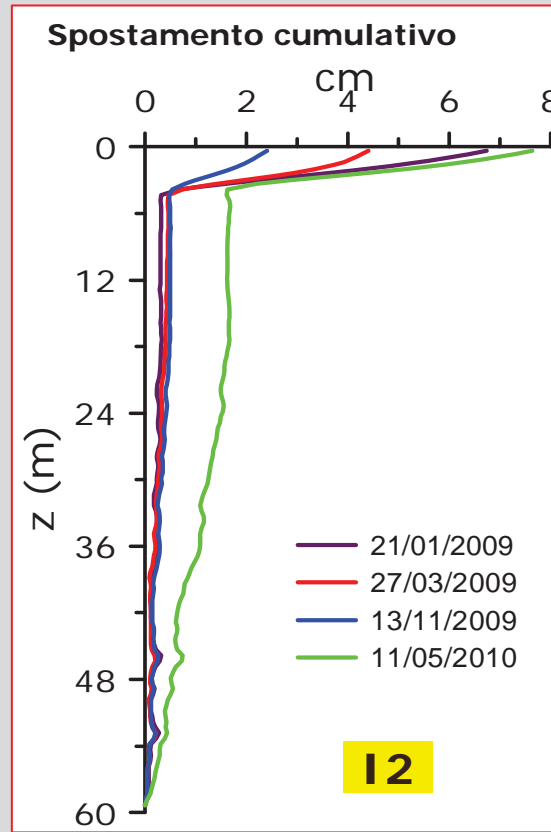
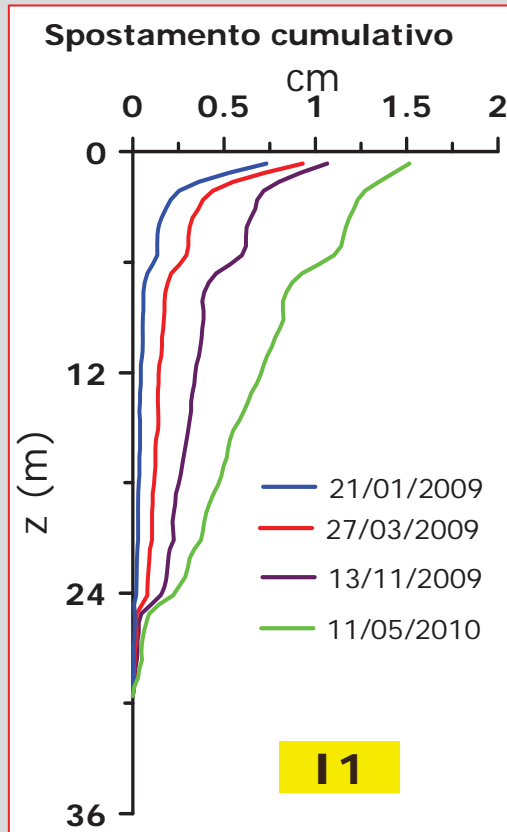


**Frana A**  
L=1 km W=82-291 m  
z≈45 m

**Frana B**  
L=271 m W=50 m  
z≈15 m

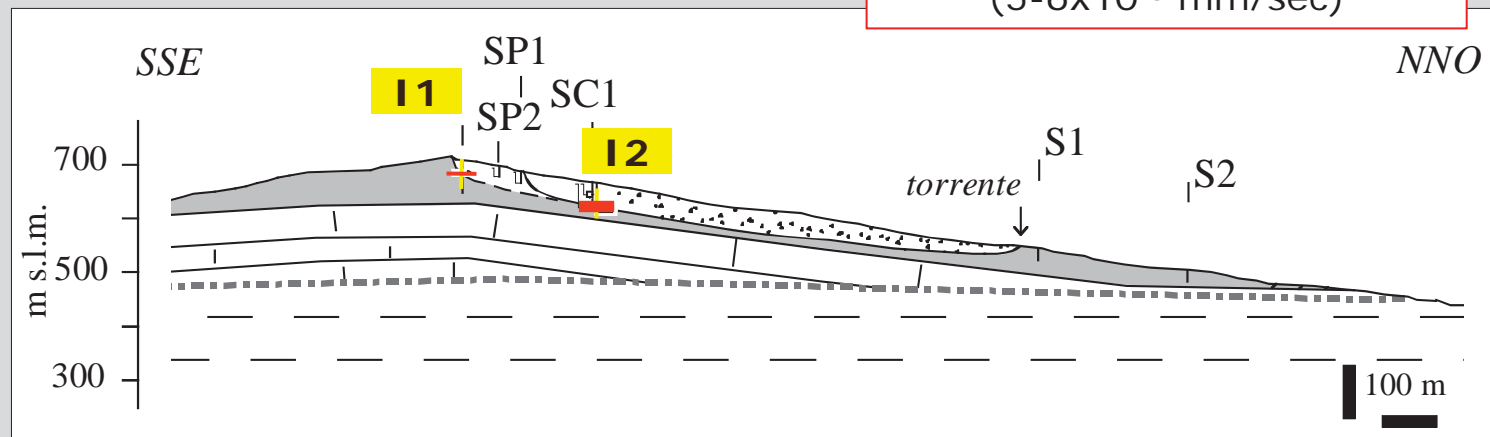


### Analisi di I e III livello

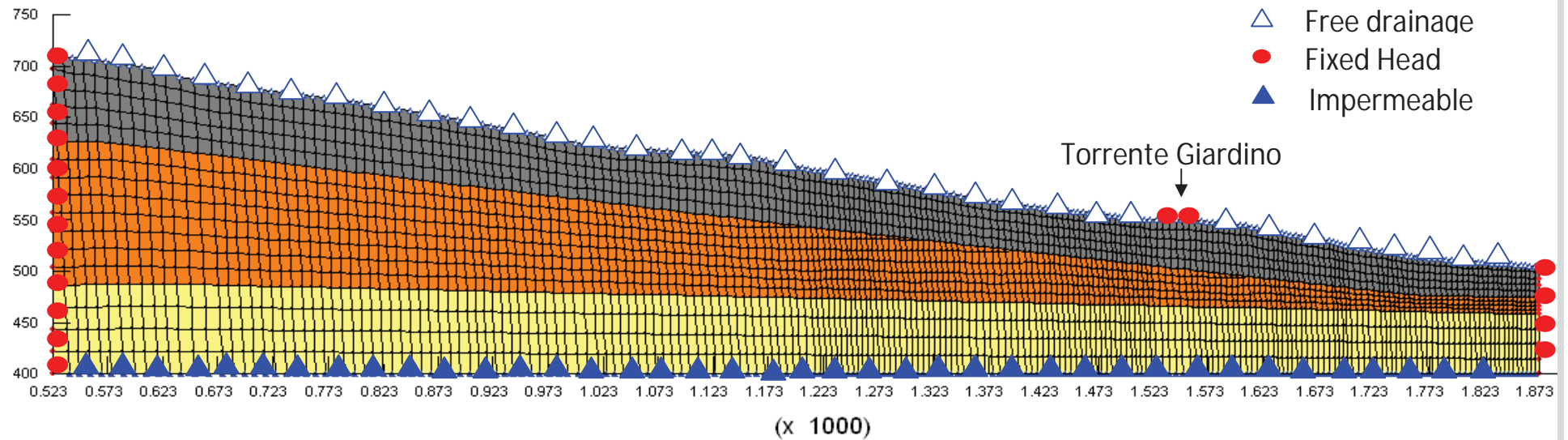


Velocità di spostamento:  
estremamente lento  
( $5-6 \times 10^{-8}$  mm/sec)

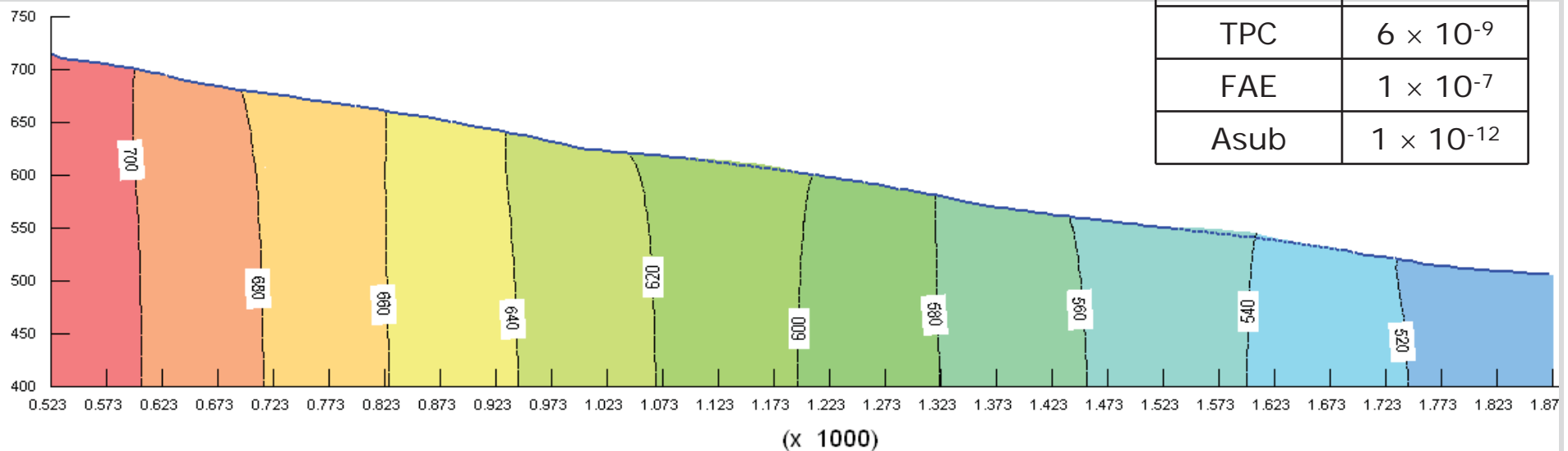
PS\_119



## Analisi FEM di filtrazione: maglia e condizioni al contorno



## Linee equipotenziali nella stagione invernale





# Risultati dell'analisi parametrica

F al variare della profondità della superficie di rottura per diverse resistenze mobilizzate

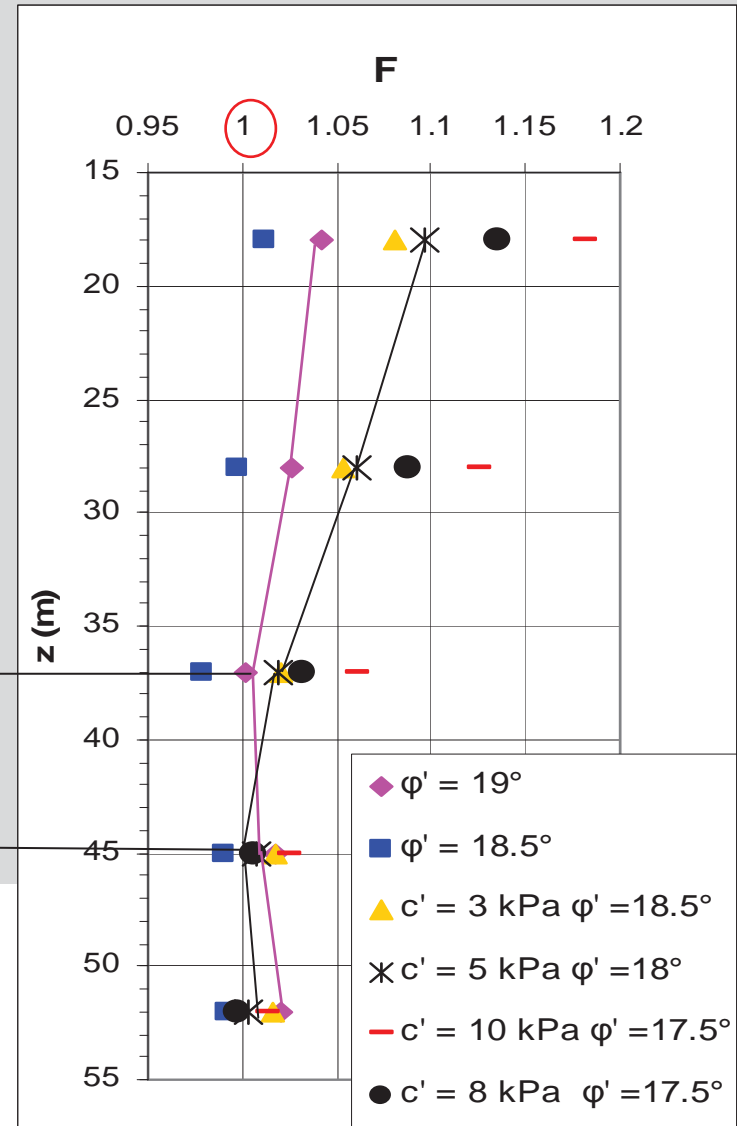
Inverno: **F=1**

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

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

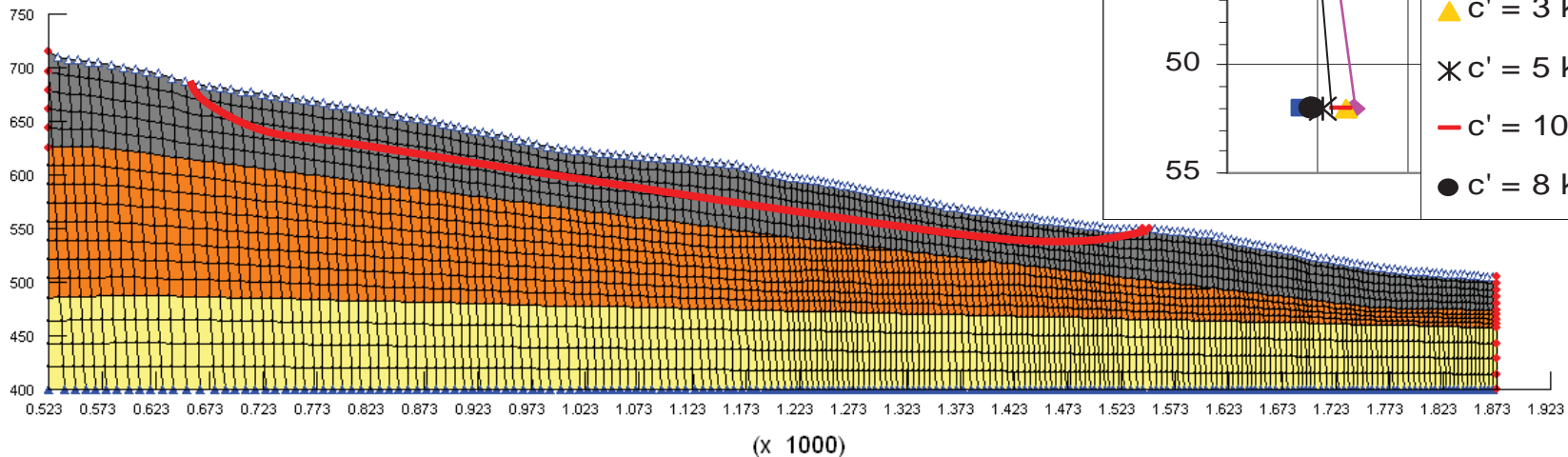
Estate: **F  $\approx$  1.07-1.10**

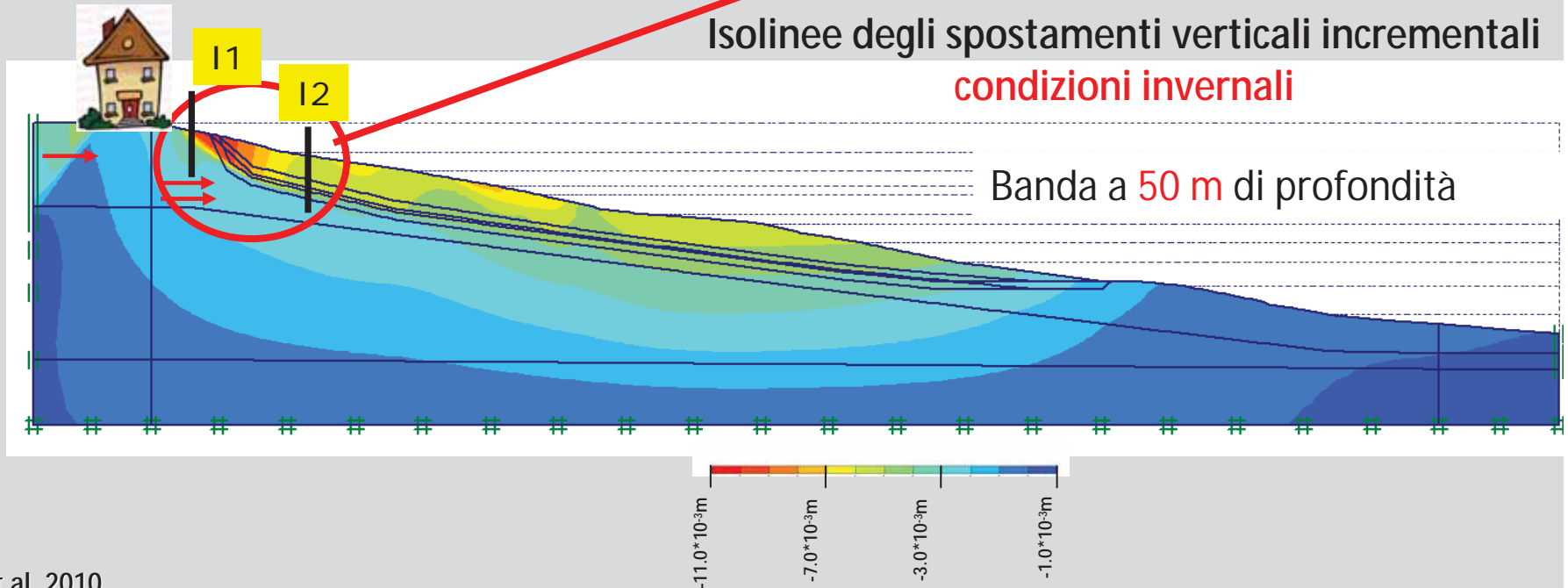
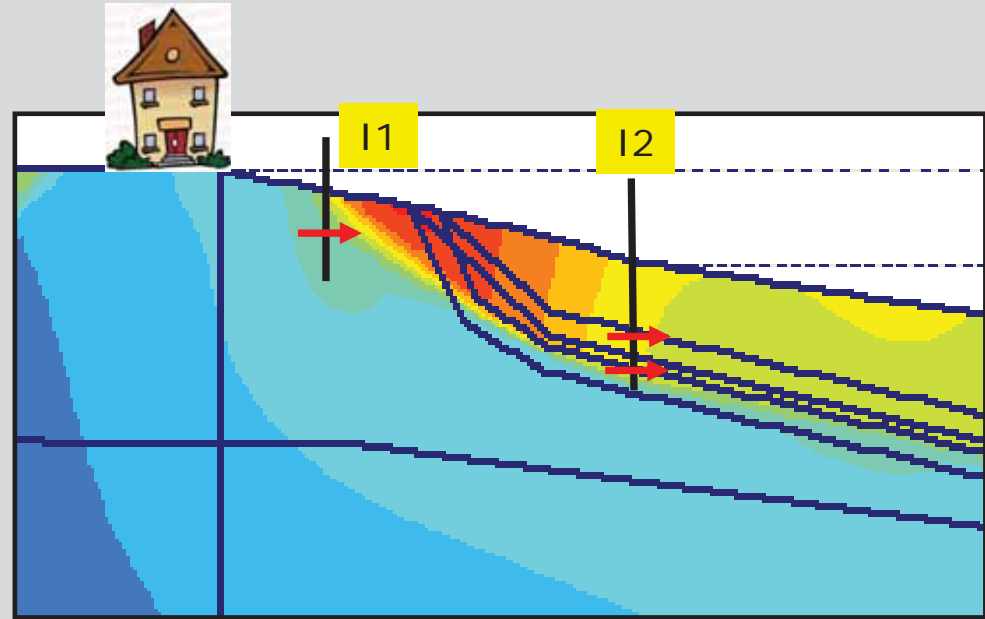
$\Delta F \approx 7-10\%$



37 m

45 m

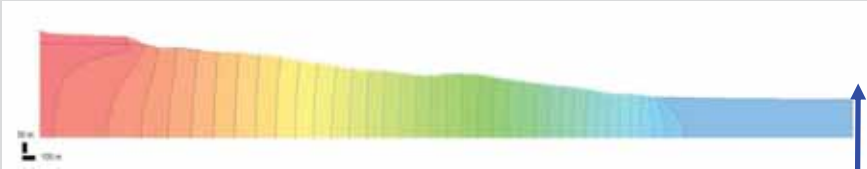




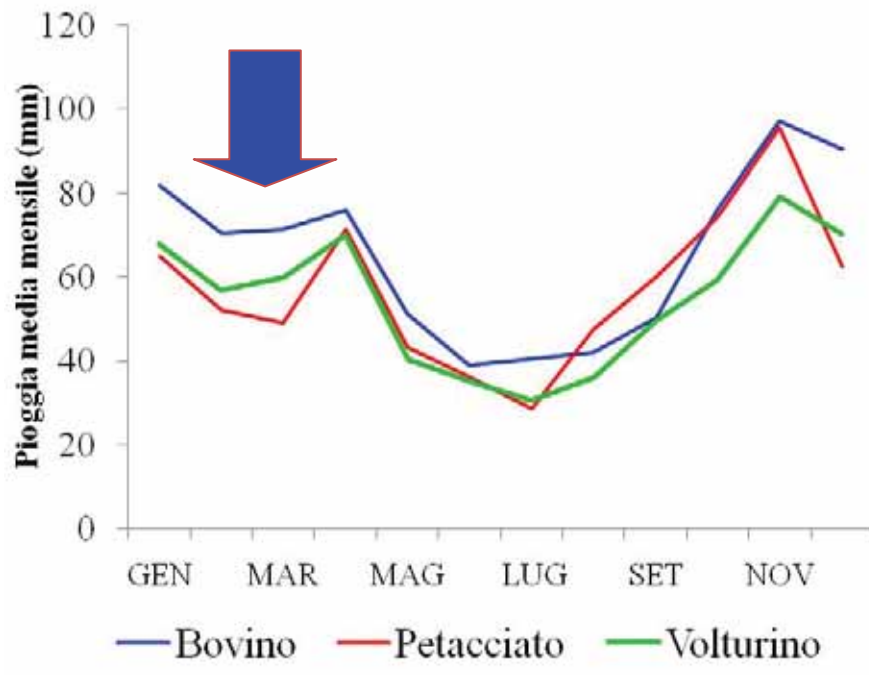


# FATTORI PREDISPONENTI

## Variazioni stagionali delle infiltrazioni



## Ricorrenza della riattivazione



## FATTORI INTERNI

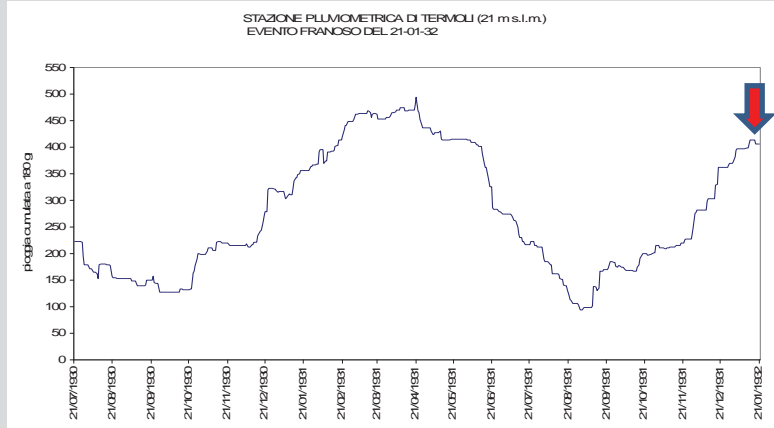
- Assetto geo-strutturale (litologia, morfologia, tettonica)
- Comportamento meccanico dei materiali (resistenza e rigidità)
- Regime idraulico del pendio

## FATTORI ESTERNI

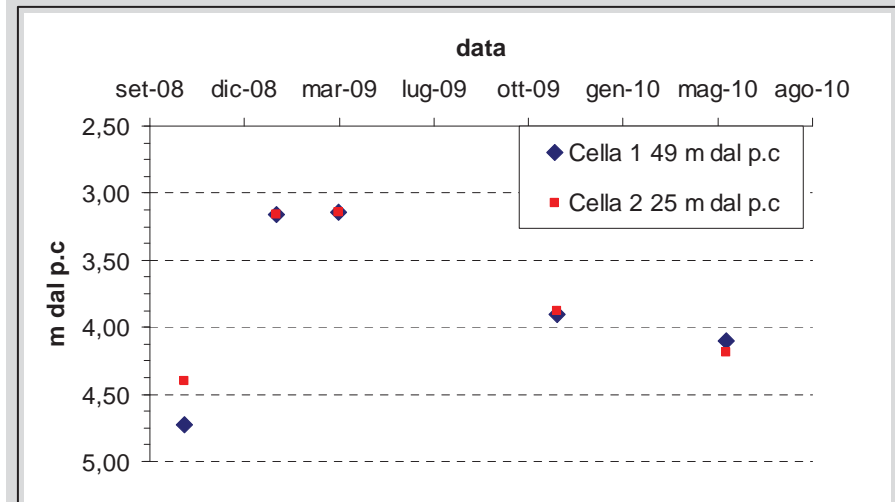
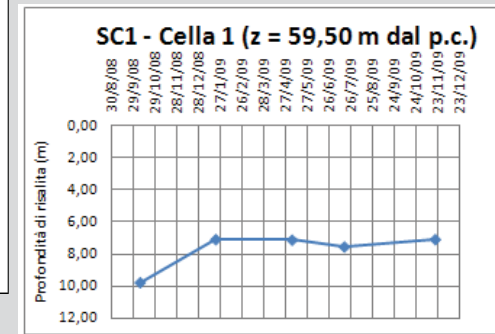
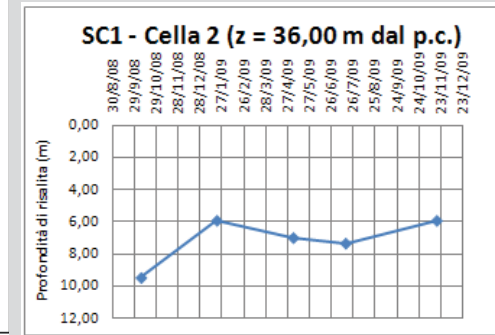
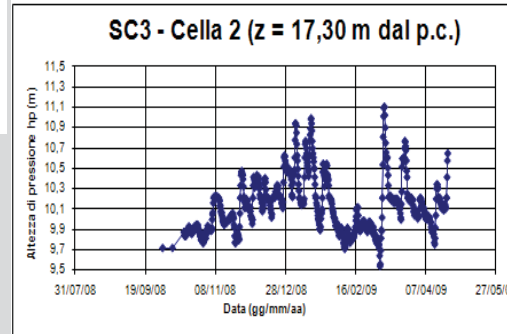
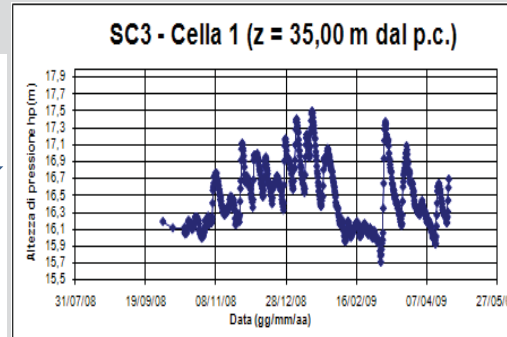
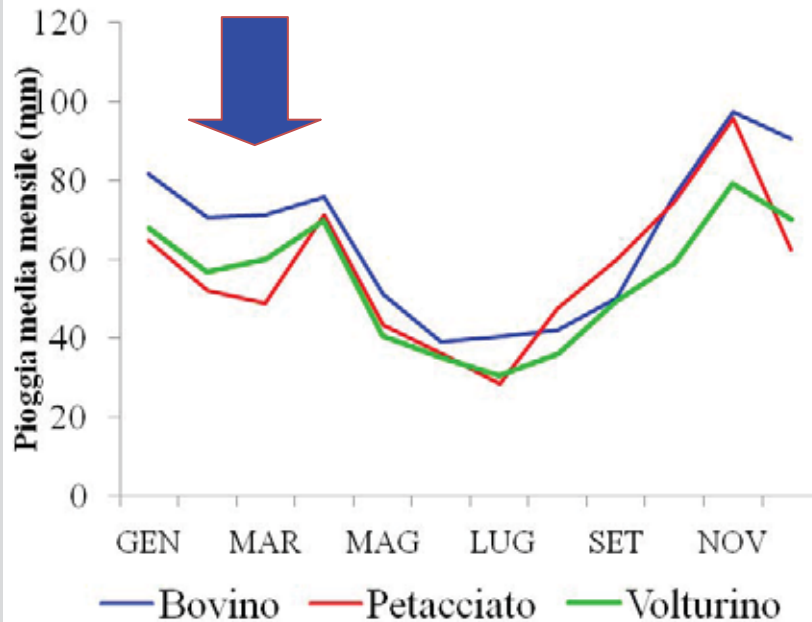
- Piogge
- Terremoti
- Azione antropica
- Evoluzione naturale della morfologia

# Escursioni piezometriche nei pendii in argilla e riattivazioni stagionali

17 Giugno 2011



## Ricorrenza della riattivazione

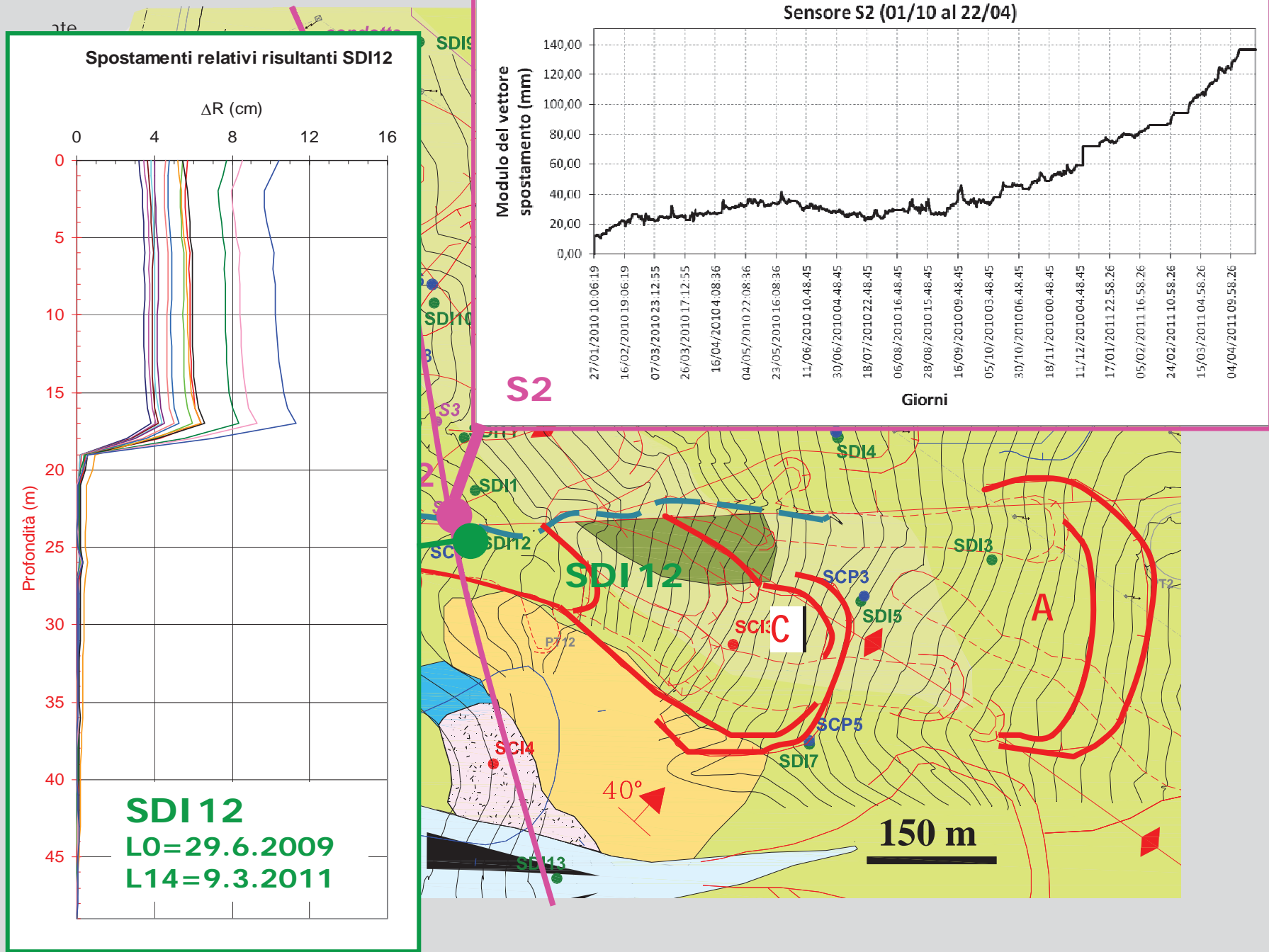




**Frana Piscuolo:  
I° evento: metà anni '50**



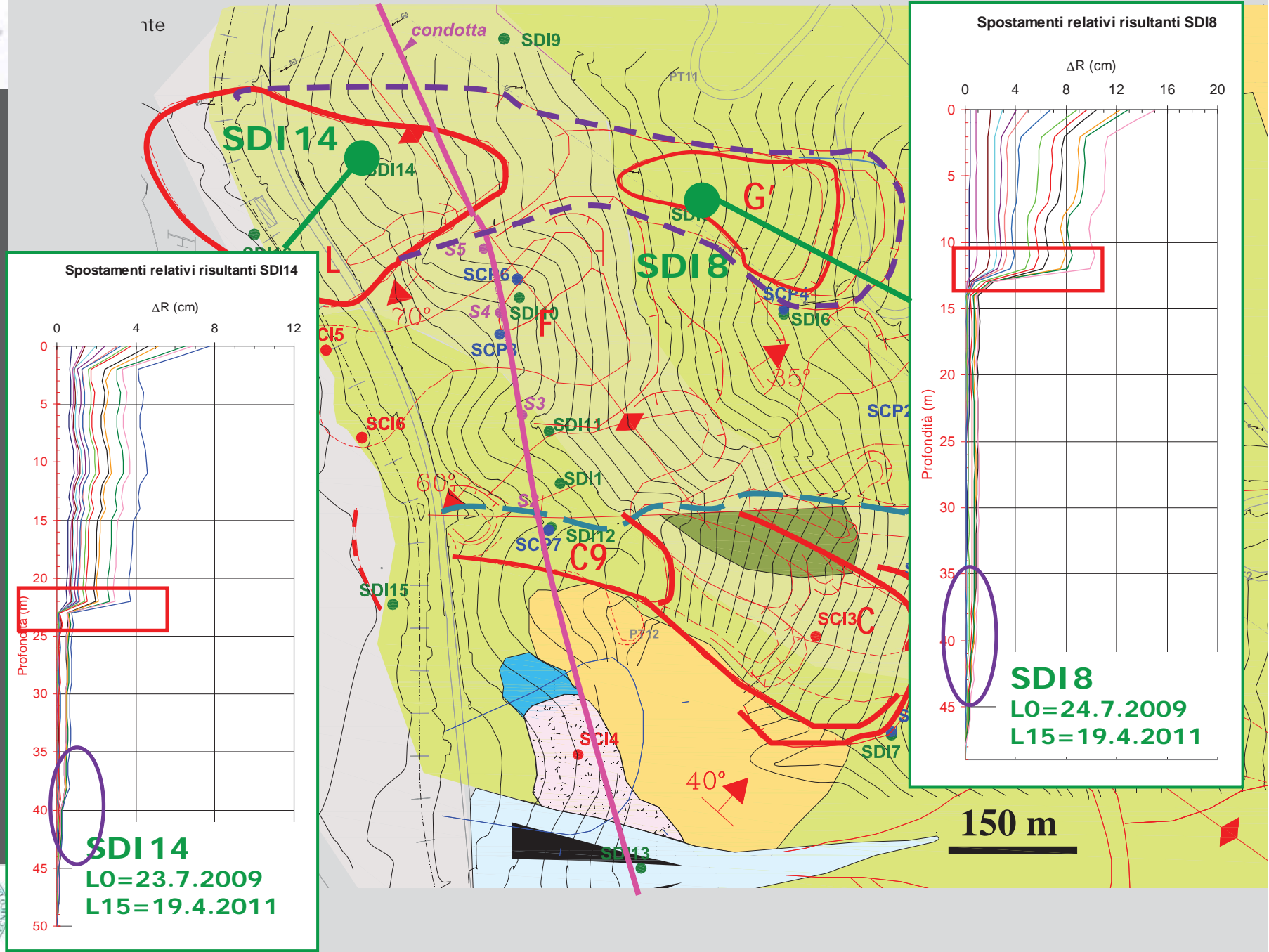
# Monitoraggio (2009-2011)



# Monitoraggio (2009-2011)

17 Giugno 2011

Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale







# Monitoraggio (2009-2011)

Conoide di versante Detrito di versante

Alluvioni attuali Alluvioni recenti

Complessi litotecnici

A	N
TV	TR
R	

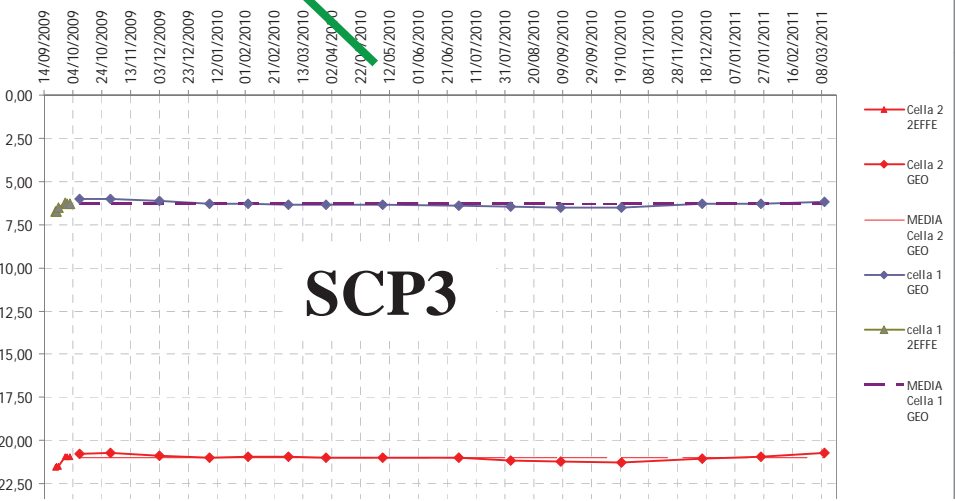
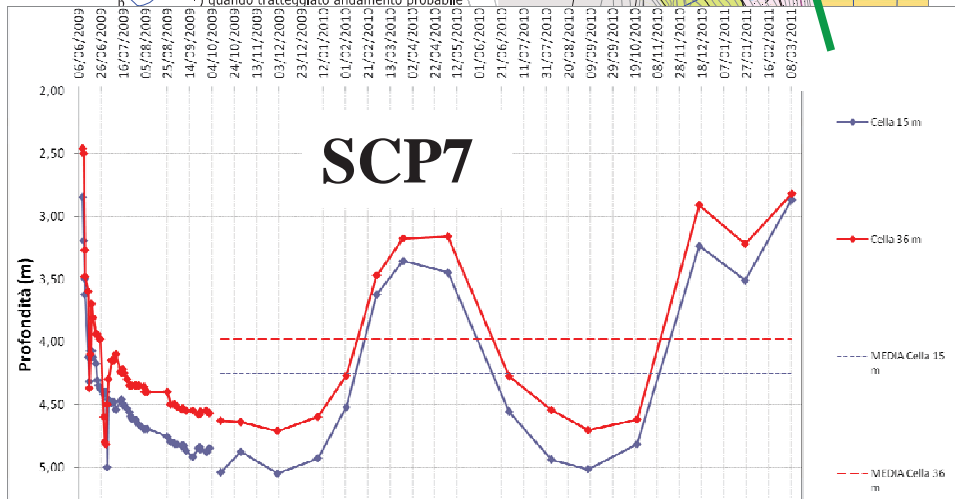
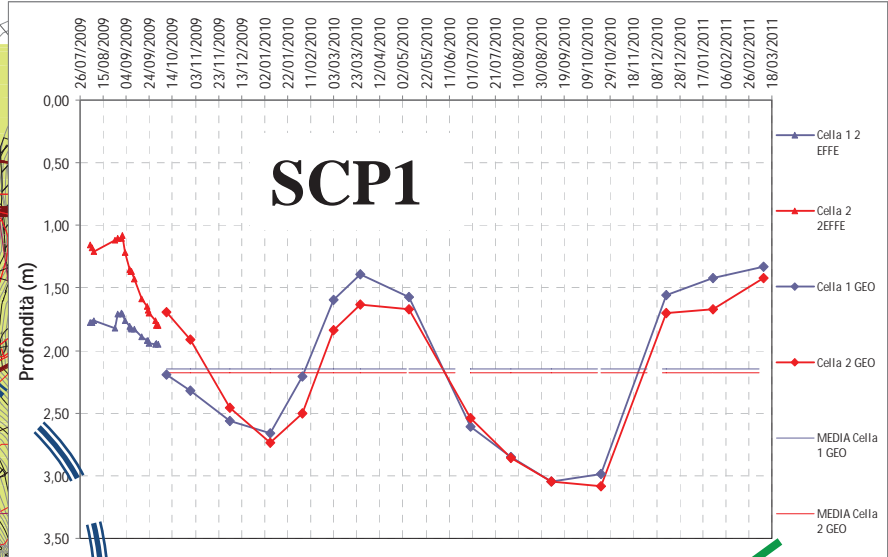
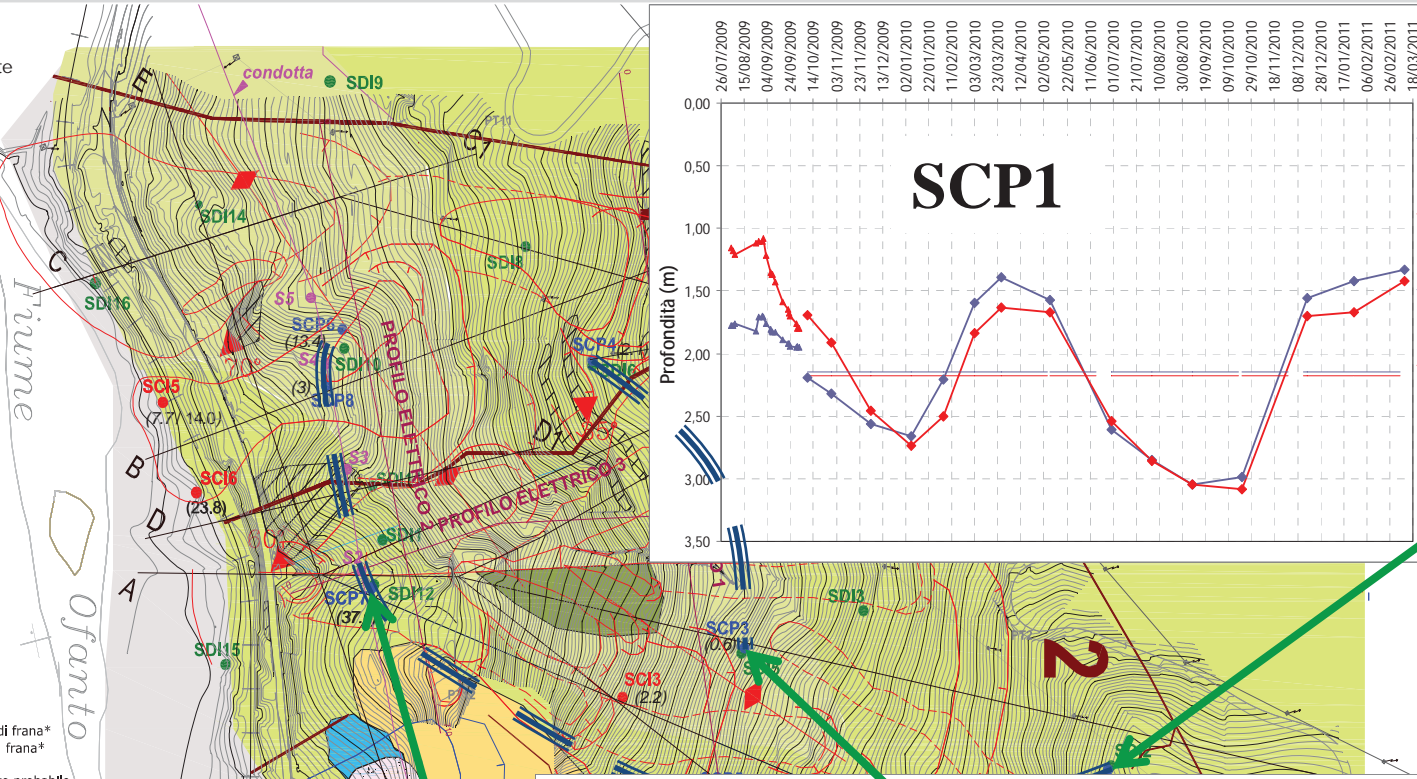
40° Giacitura di strato

Faglia Asse di piega

Frana attiva Frana inattiva

a: nicchia di frana\*  
b: corpo di frana\*

\*) quando tratteggiato andamento probabile

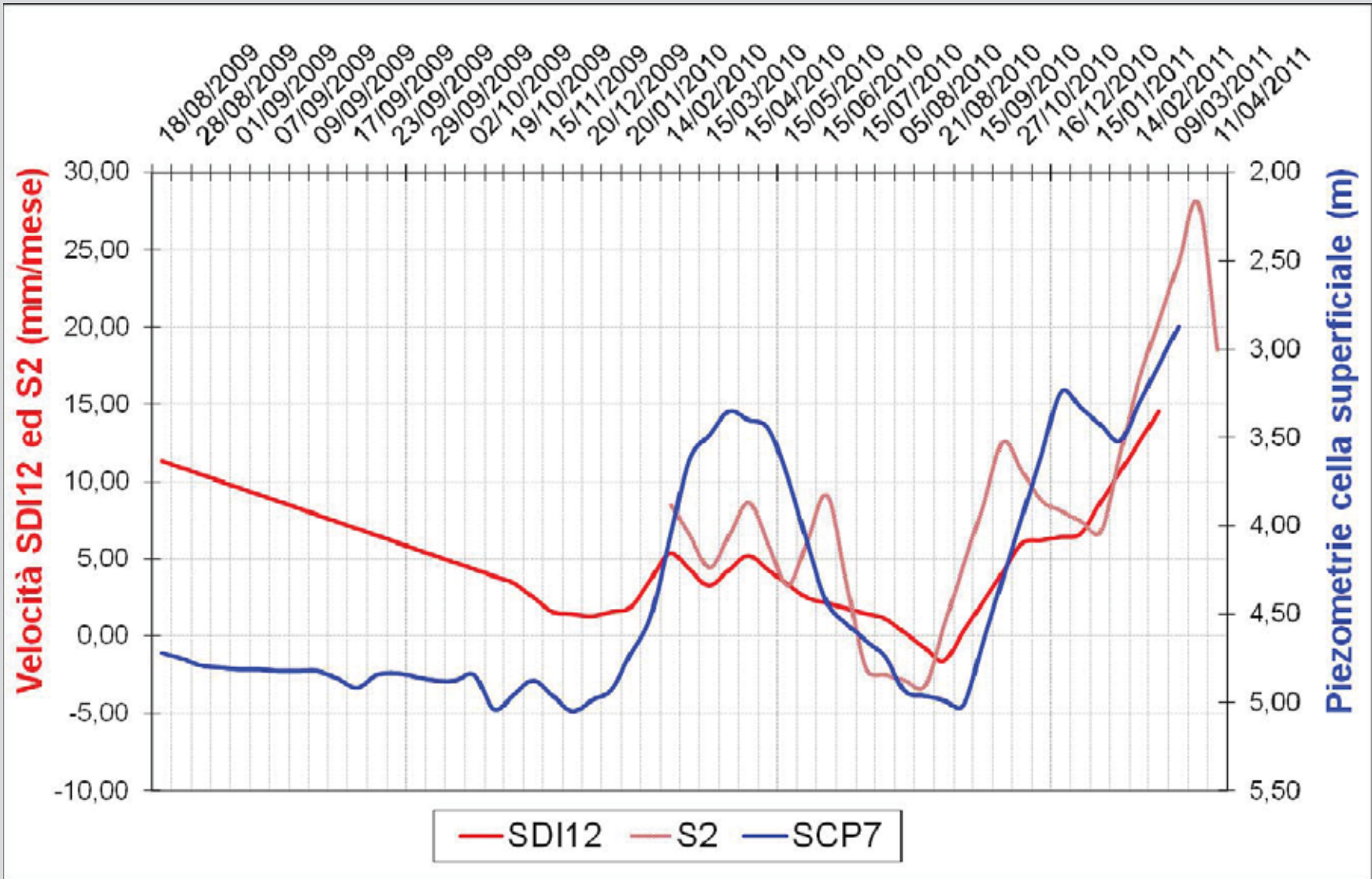


## Monitoraggio (2009-2011)



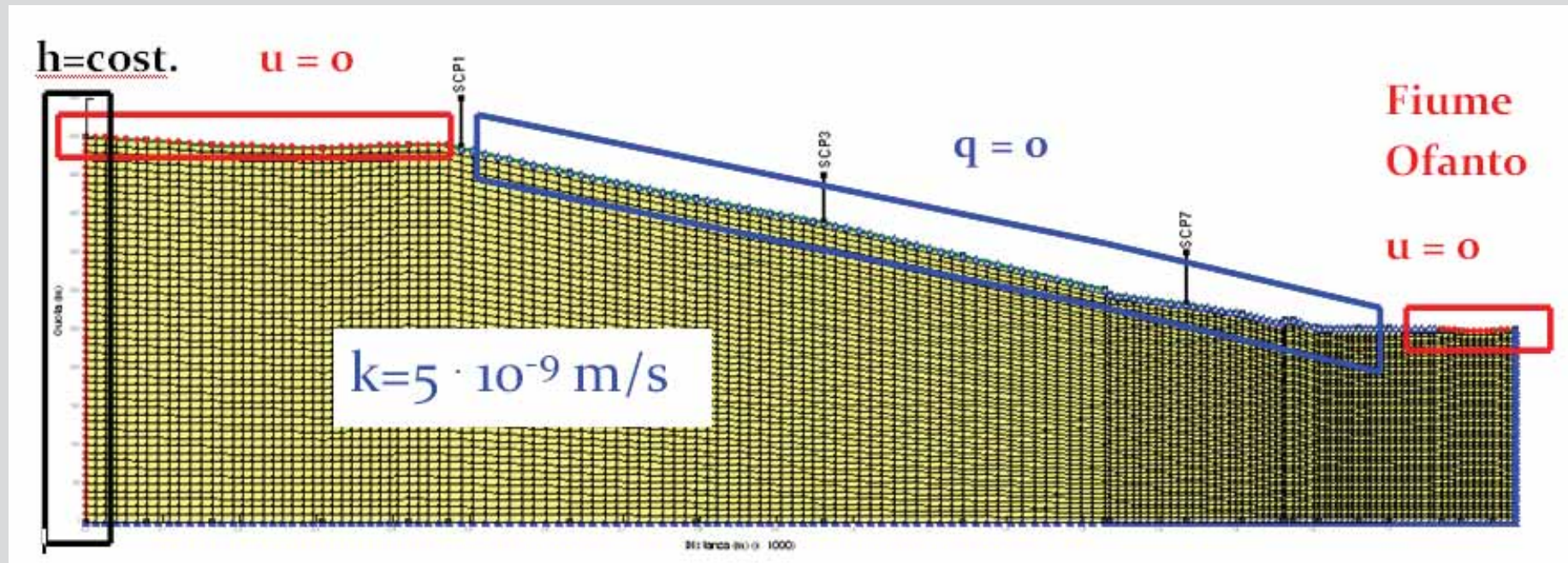
# Monitoraggio (2009-2011)

17 Giugno 2011

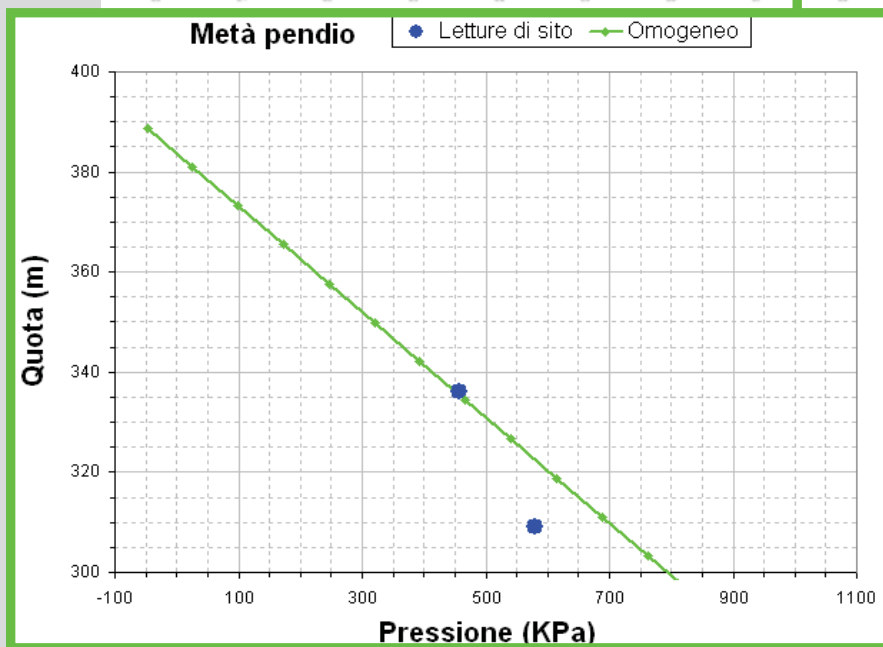
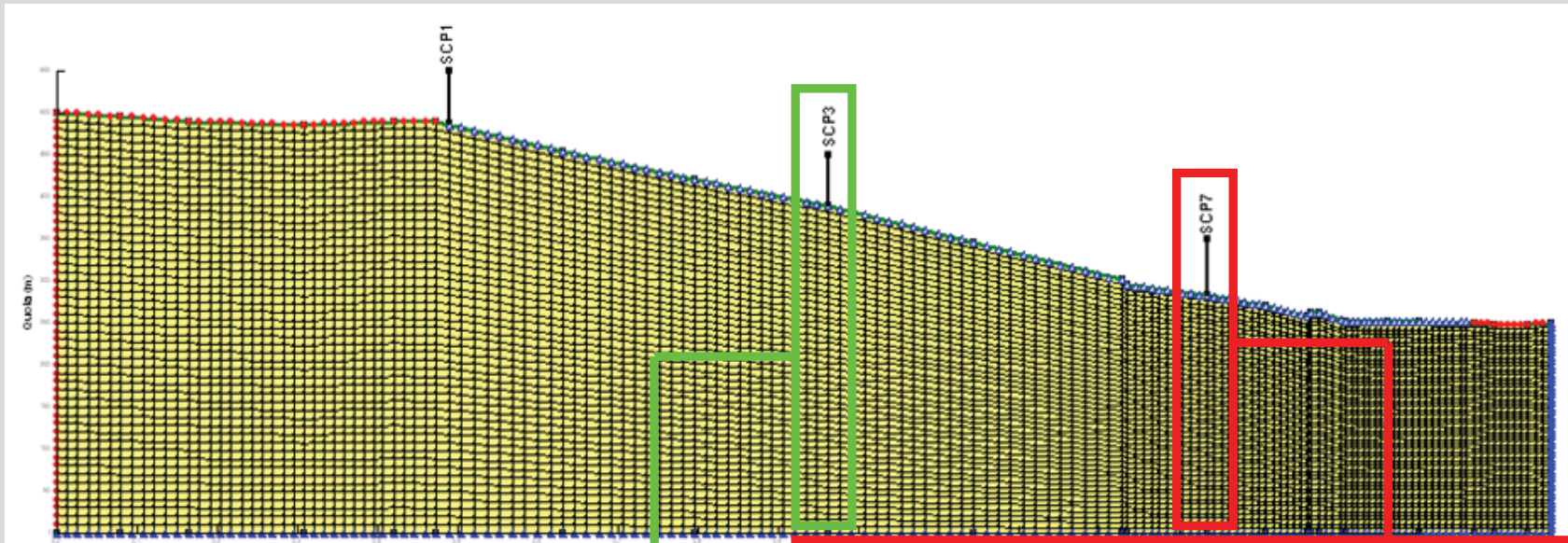




# ANALISI DI FILTRAZIONE



# ANALISI DI FILTRAZIONE

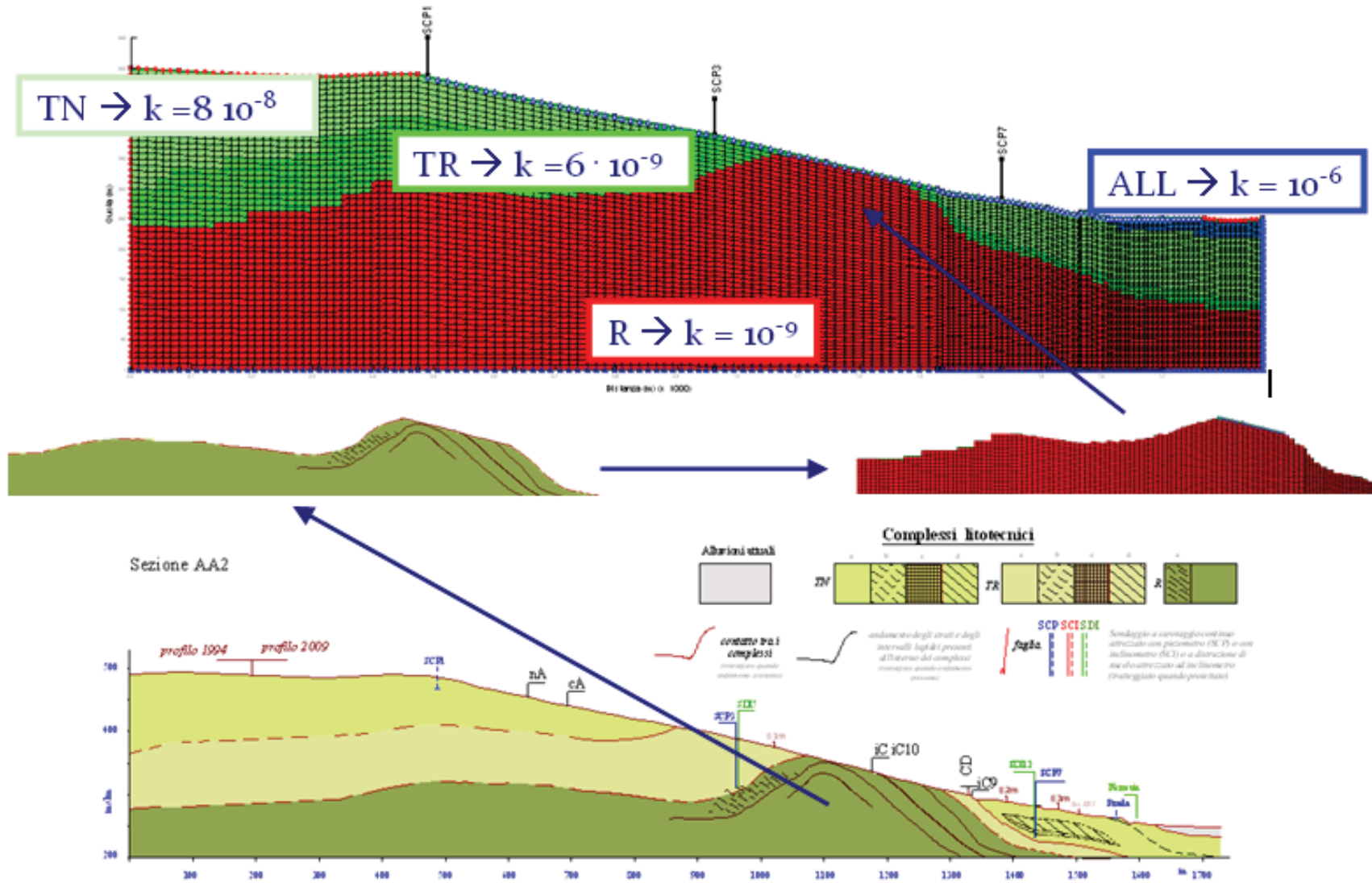




# ANALISI DI FILTRAZIONE

17 Giugno 2011

Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

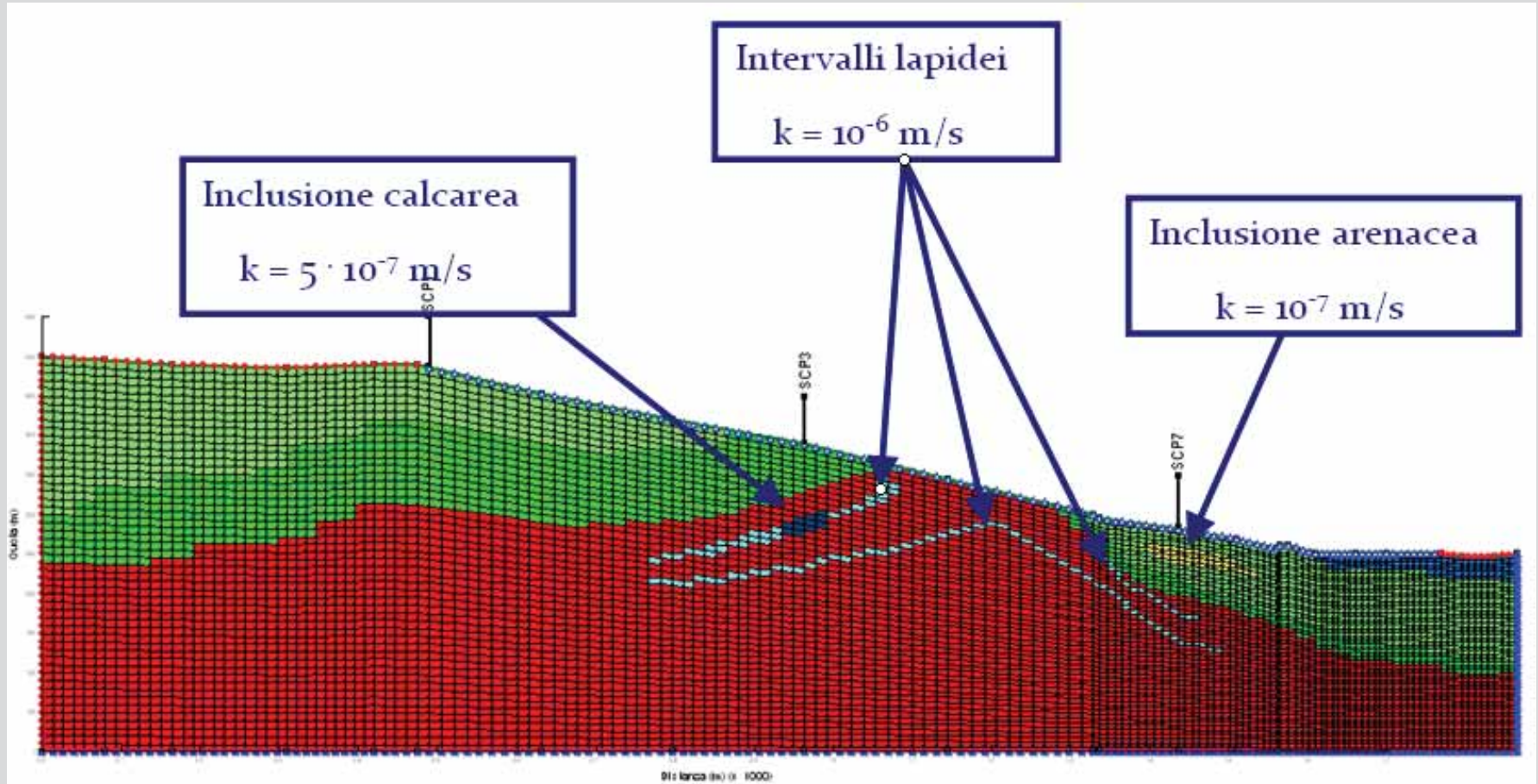




# ANALISI DI FILTRAZIONE

17 Giugno 2011

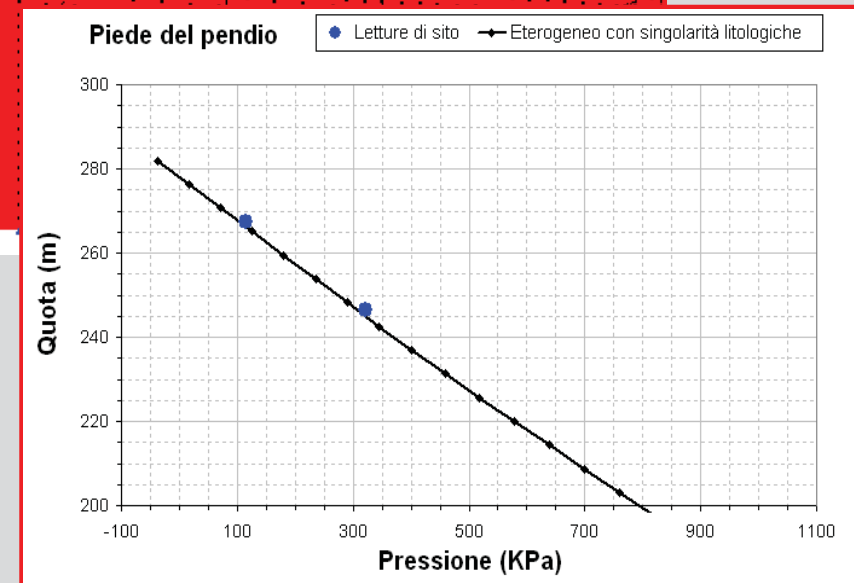
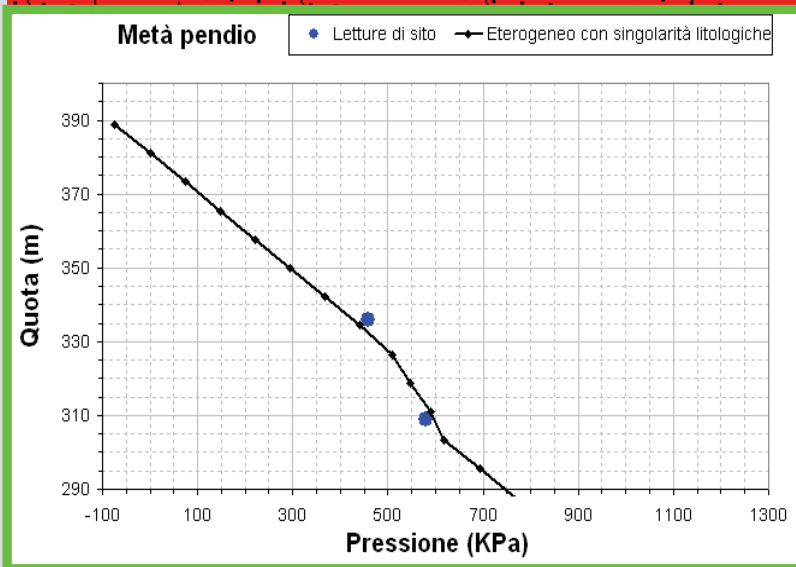
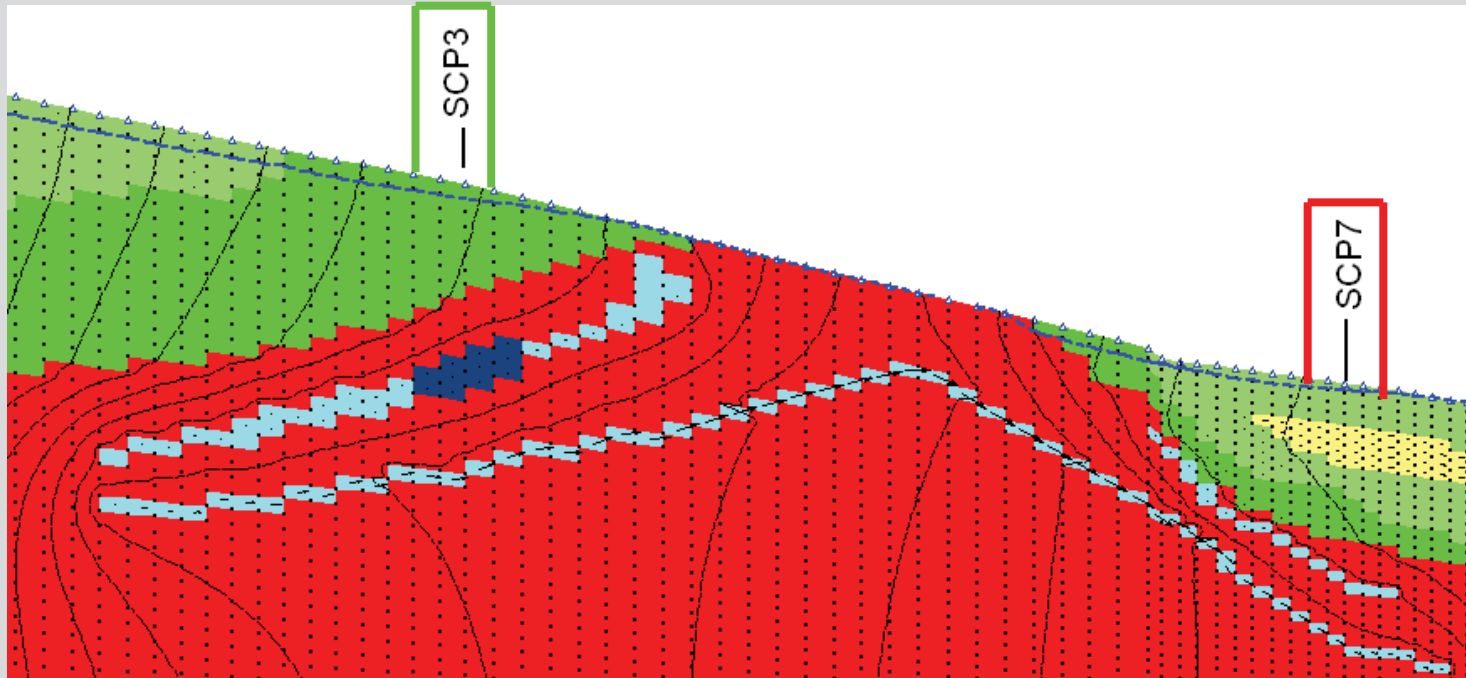
Politecnico di Bari  
 Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
 Ingegneria Geotecnica e Geoambientale



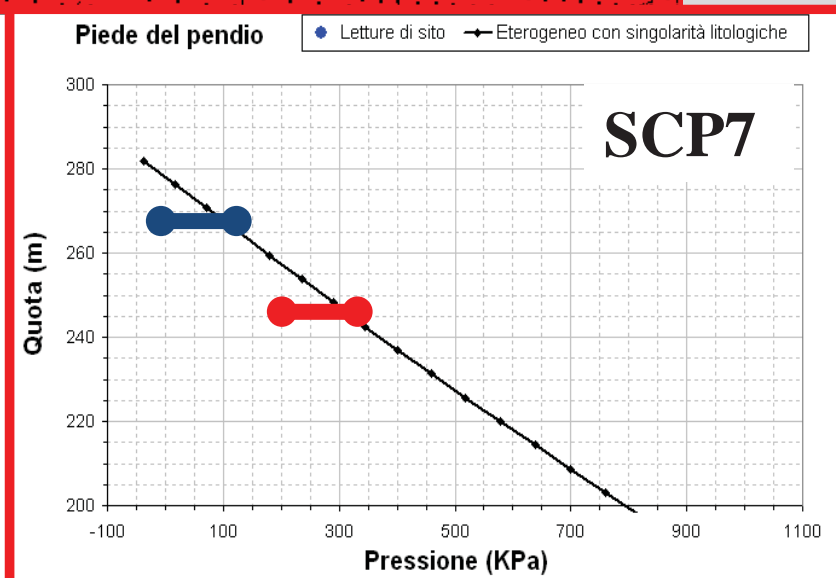
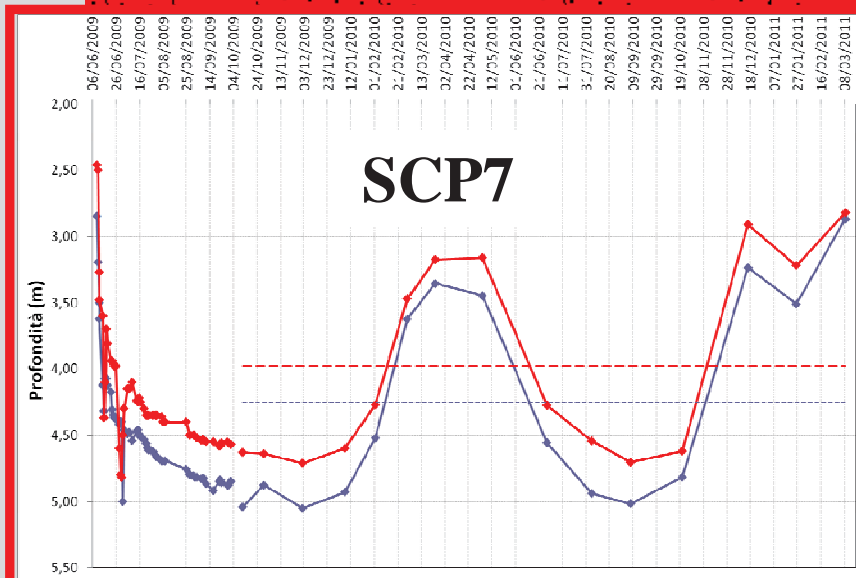
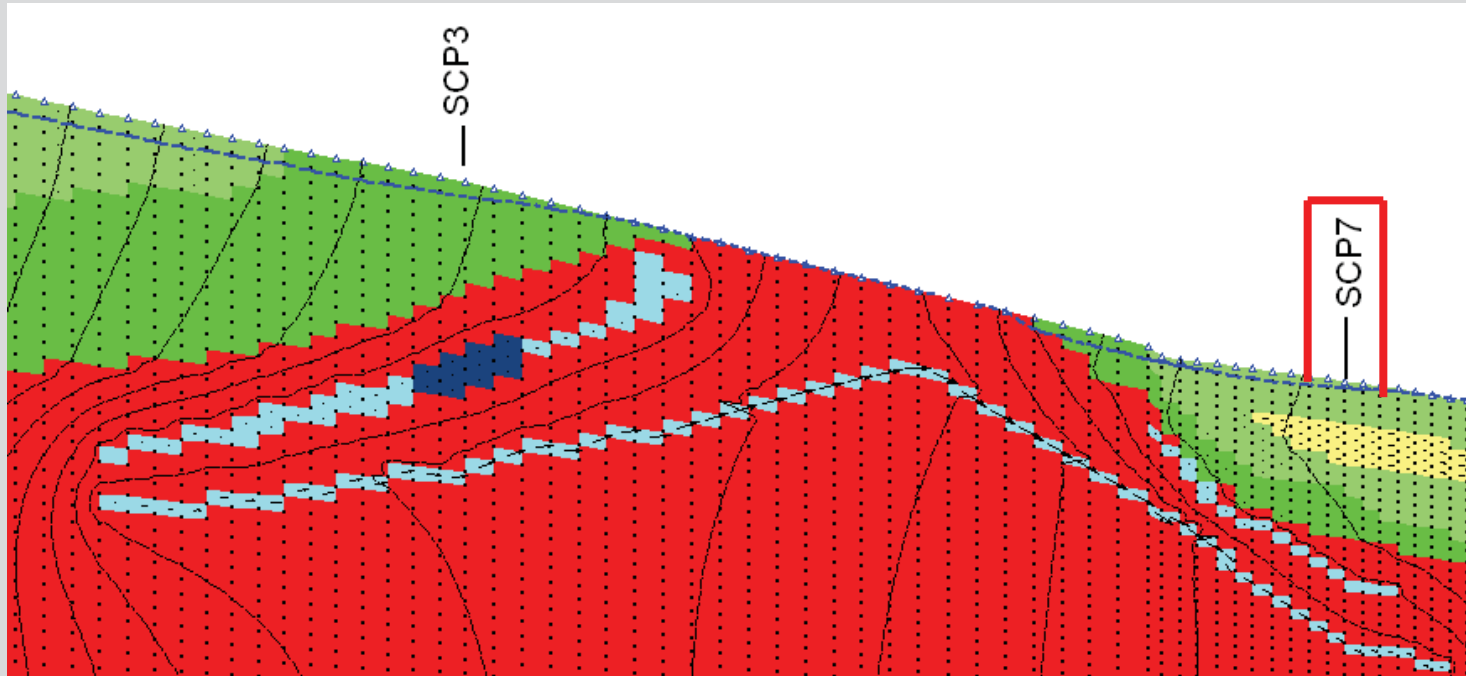
Pedone 2010

17 Giugno 2011

Politecnico di Bari  
 Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
 Ingegneria Geotecnica e Geoambientale



# ANALISI DI FILTRAZIONE





**SCALA DI PENDIO** → FATTORI CHE GOVERNANO L'INSTABILITÀ DEL SITO (Terzaghi 1950)

**MECCANISMO DI FRANA**

**FATTORI INTERNI**

- Assetto Geo-Strutturale (litologia, morfologia, strutture tettoniche)
- Comportamento meccanico dei materiali (legge costitutiva elasto-plastica)

**Condizioni al Contorno**  
Interne ed Esterne

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

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

$$\theta_w = nS_w \quad \text{Sat.: } K \nabla^2 h = -\partial \varepsilon_{\text{vol}} / \partial t$$

**FATTORI INTERNI**

- CLIMA: Piogge, temperatura, irraggiamento solare
- Terremoti
- Azione antropica
- Evoluzione naturale della morfologia

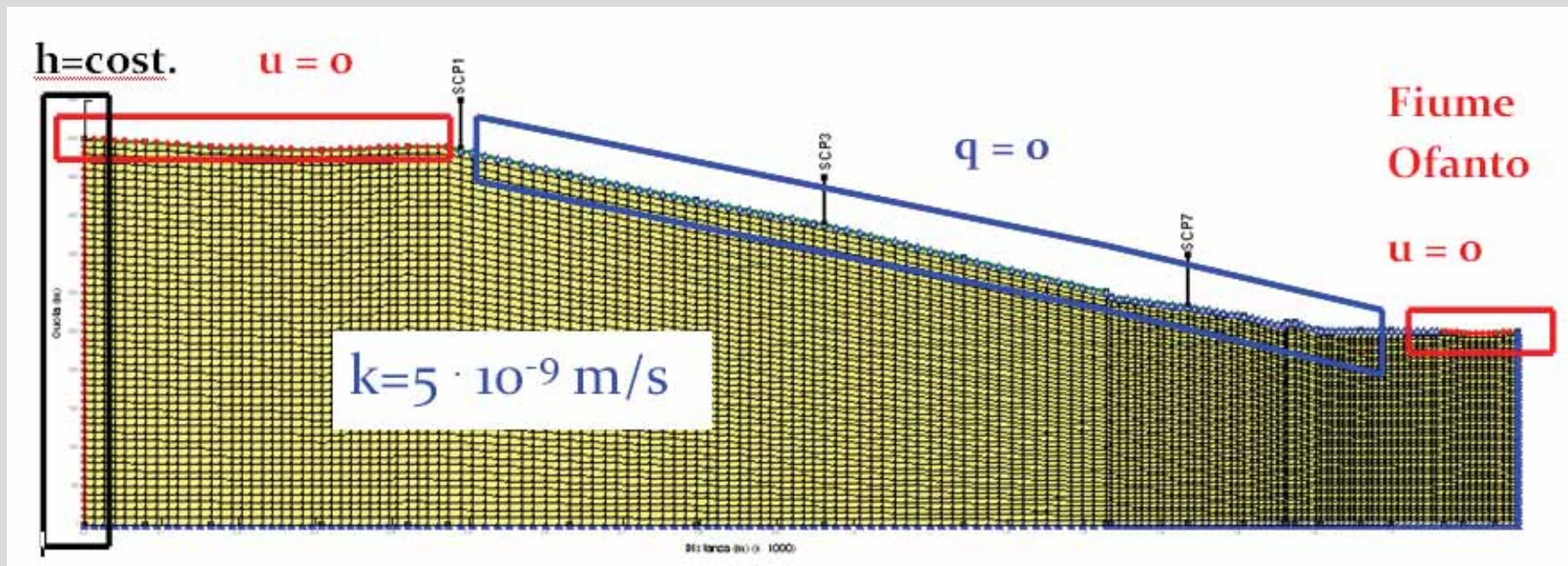
Pressioni interstiziali

Elevata frequenza di cicli di Carico/Scarico

Carico/Scarico

Carico/Scarico

# INCIDENZA DEL BORDO SUPERIORE



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

$$\theta_w = nS_w$$



# EFFETTO DELLE FESSURE E FRATTURE IN SUPERFICIE APPROFONDIMENTO DEL FRONTE UMIDO ALLA RIPRESA DELLE PIOGGE EFFETTI DI DECREMENTO DELLE RESISTENZE A MAGGIORE PROFONDITÀ

17 Giugno 2011

Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geambientale



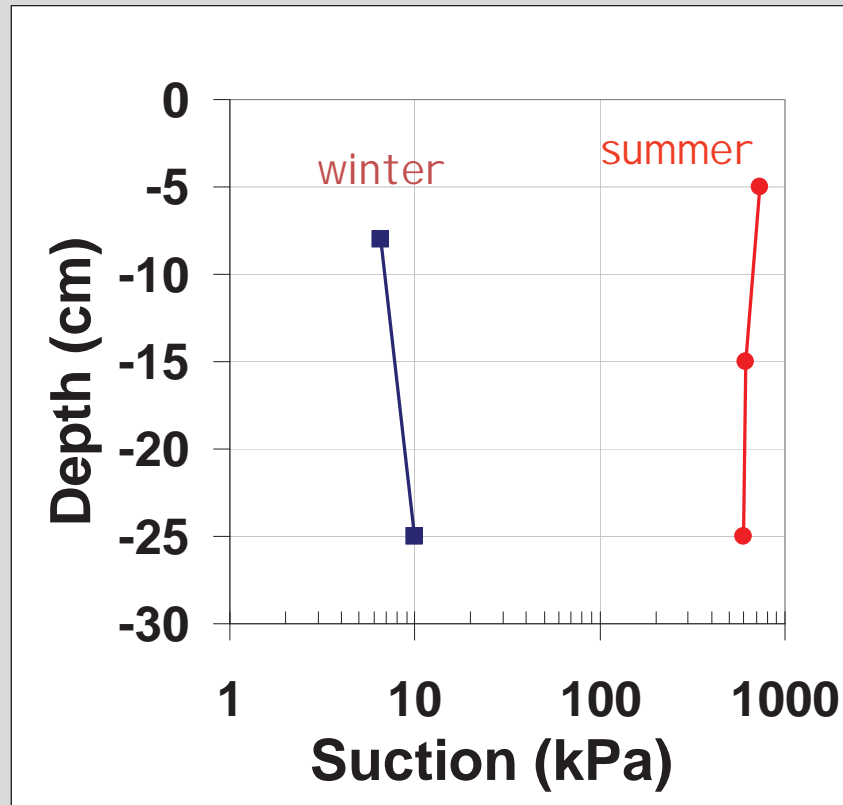








# MISURE DI SUZIONE ALL'INTERNO DI UN RILL DI EROSIONE



$$\sigma'_{ij} = (\sigma_{ij} - u_a \delta_{ij}) + \chi (u_a - u_w) \delta_{ij}$$





EFFETTO DELLE SUZIONI ELEVATE DA ESSICCAMENTO:  
 AUMENTO DEI GRADIENTI IDRAULICI ALL'INFILTRAZIONE

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

$$\theta_w = nS_w$$



$$\sigma'_{ij} = (\sigma_{ij} - u_a \delta_{ij}) + \chi(u_a - u_w) \delta_{ij}$$





Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale



17 Giugno 2011



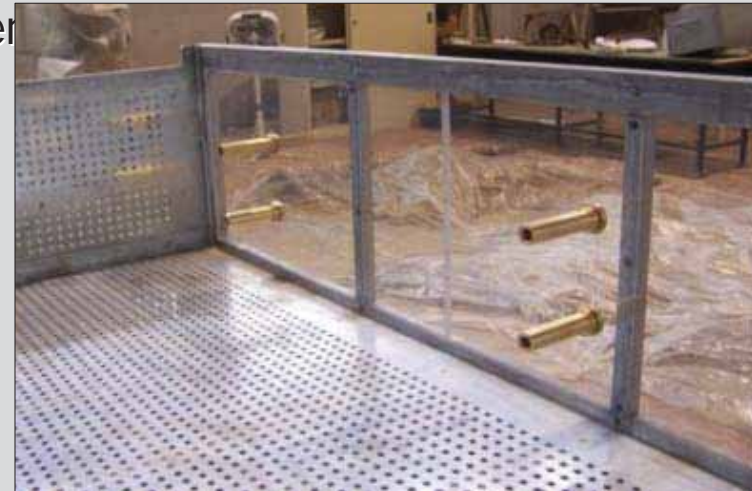


## Modello Fisico



### *Caratteristiche del modello:*

- Dimensioni: (2.0 x 1.0 x 0.5) m<sup>3</sup>.
- Pendenza longitudinale regolabile tra 0 e 14 %.
- Libero drenaggio alla base e sulla sponda di valle.
- Irrigatori e lampade per indurre processi di imbibizione ed essiccamer

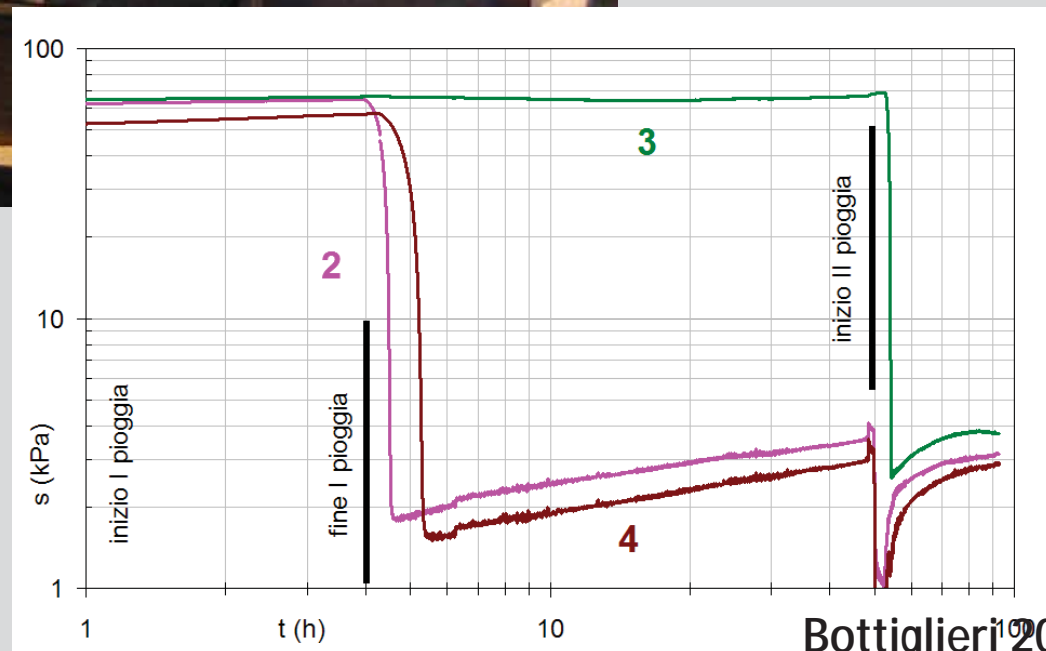
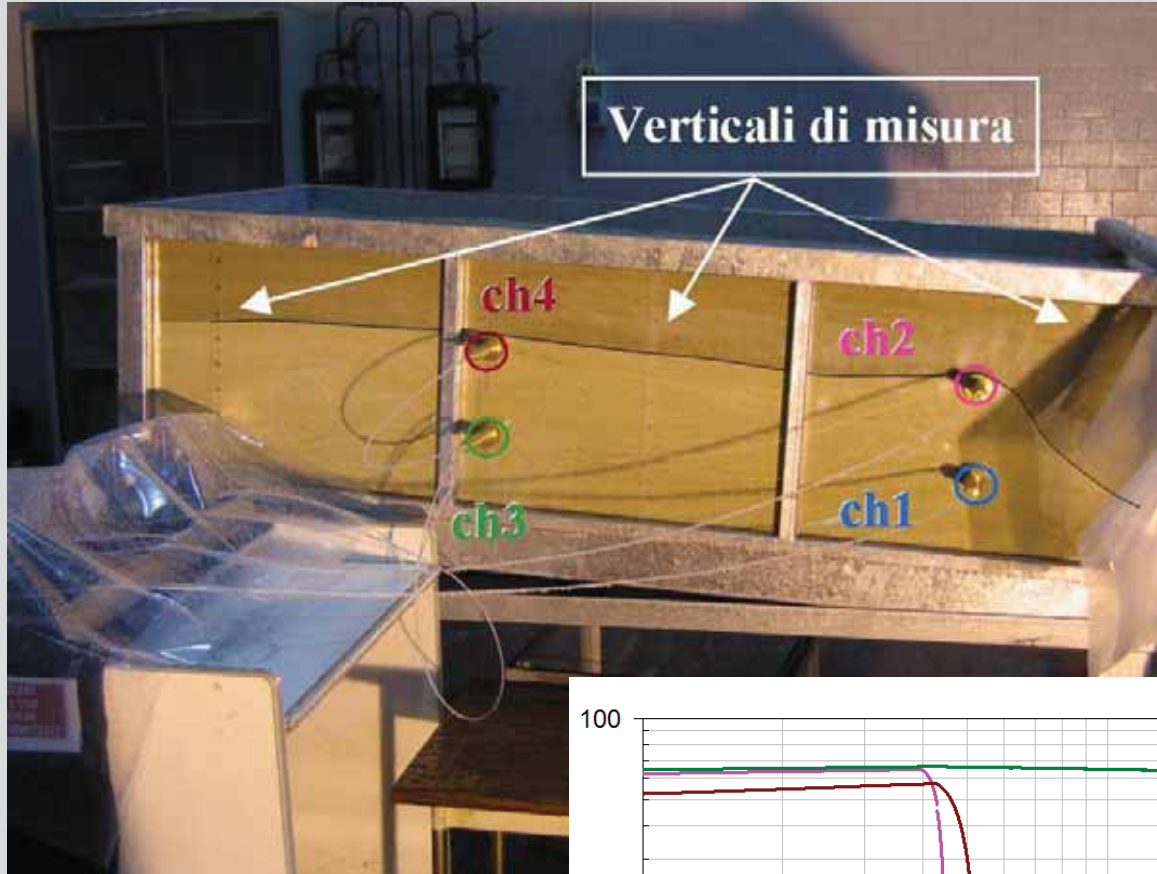


### *Parametri misurabili:*

- misura e acquisizione in continuo della suzione di matrice mediante n° 4 minitensiometri "Soil Moisture", opportunamente alloggiati lungo due verticali (in asse e a valle) e distanti dal fianco laterale 15 cm.
- nelle fasi di imbibizione:
  - 1) bilancio delle portate idriche (immesse, di infiltrazione e di ruscellamento).
  - 2) Rilievo di posizione e velocità del fronte umido



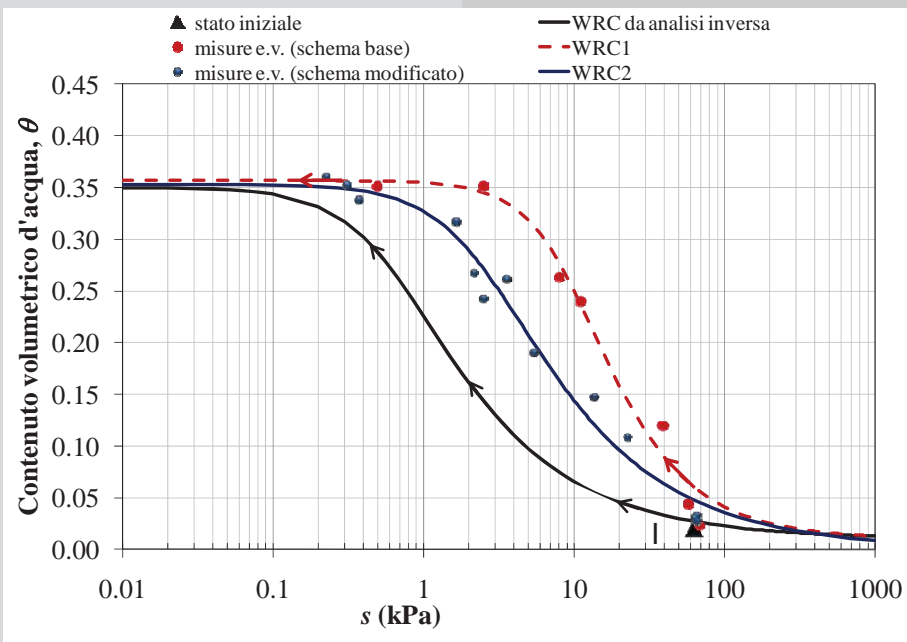
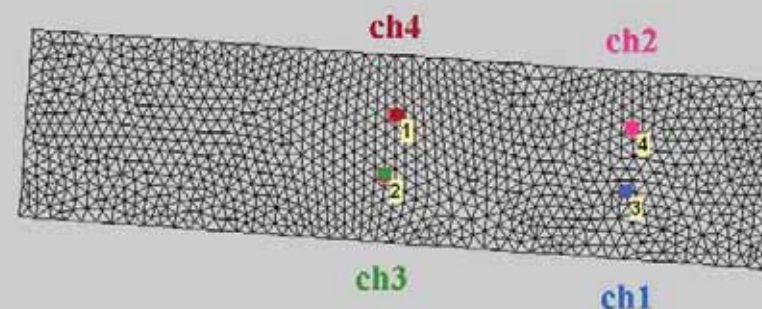
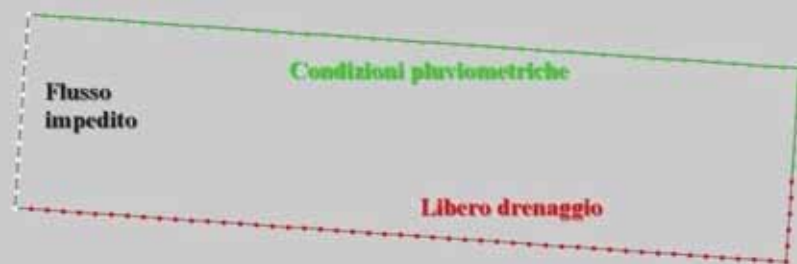
**Bottiglieri 2009**





## Caratterizzazione idraulica mediante modellazione numerica inversa

La modellazione numerica **bidimensionale** del processo in modello fisico è stata svolta tramite il codice **Hydrus2D/ 2.102.**, secondo la trattazione di Richards. Per le funzioni di ritenzione e di conducibilità si è fatto riferimento al modello di *van Genuchten (1980)*, con l'ipotesi di *Mualem (1976)*.

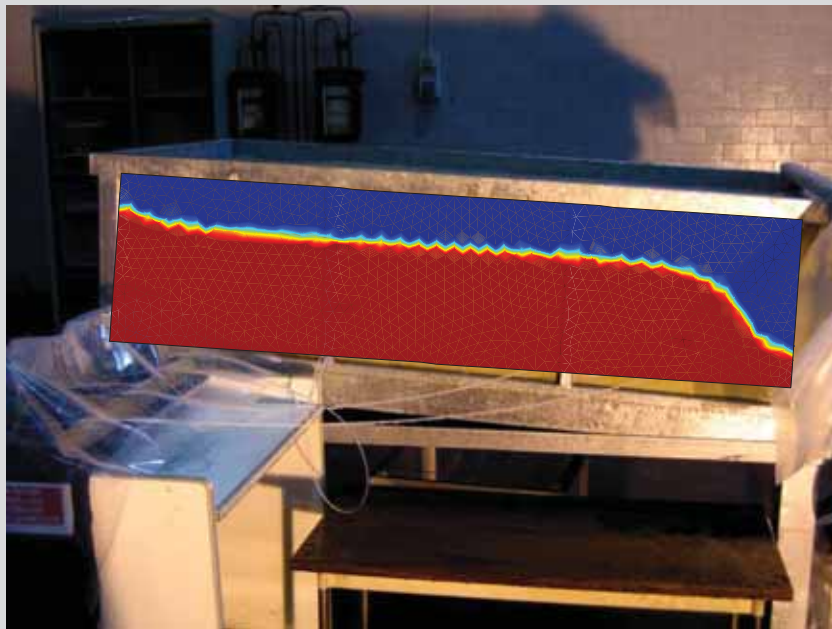


## Modellazione numerica con il codice Hydrus2D/ 2.0

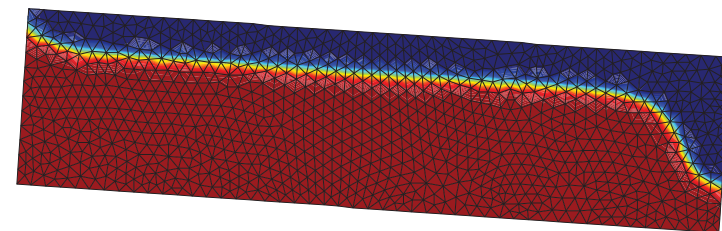
Per la modellazione numerica si è adottato Hydrus (IGWMC 2003), ove l'analisi è svolta secondo la trattazione di Richards, che implementa le variazioni di contenuto d'acqua volumetrico dovute alle escursioni di suzione durante la filtrazione. Per le funzioni di ritenzione e di conducibilità si è fatto riferimento al modello di *van Genuchten* (1980), con l'ipotesi di *Mualem* (1976).

La simulazione ha riguardato la fase di prima infiltrazione.

L'obiettivo dell'analisi è quello di riprodurre una filtrazione che, a partire dalle condizioni iniziali del modello fisico, generi un fronte umido in avanzamento con geometria e velocità prossime a quelle effettivamente osservate, nel rispetto degli intervalli attesi in letteratura per i parametri delle funzioni di ritenzione e conducibilità, per il tipo di terreno in esame.

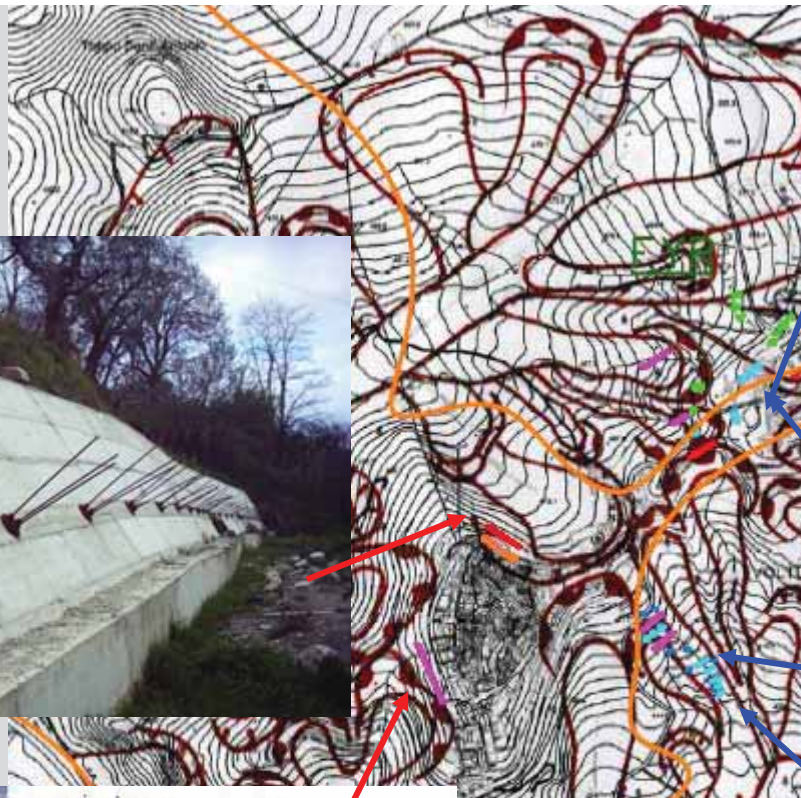


Risultato della modellazione numerica con il codice  
Hydrus2D – 2.0





# Indirizzi circa gli interventi: Adottare strategie non strutturali



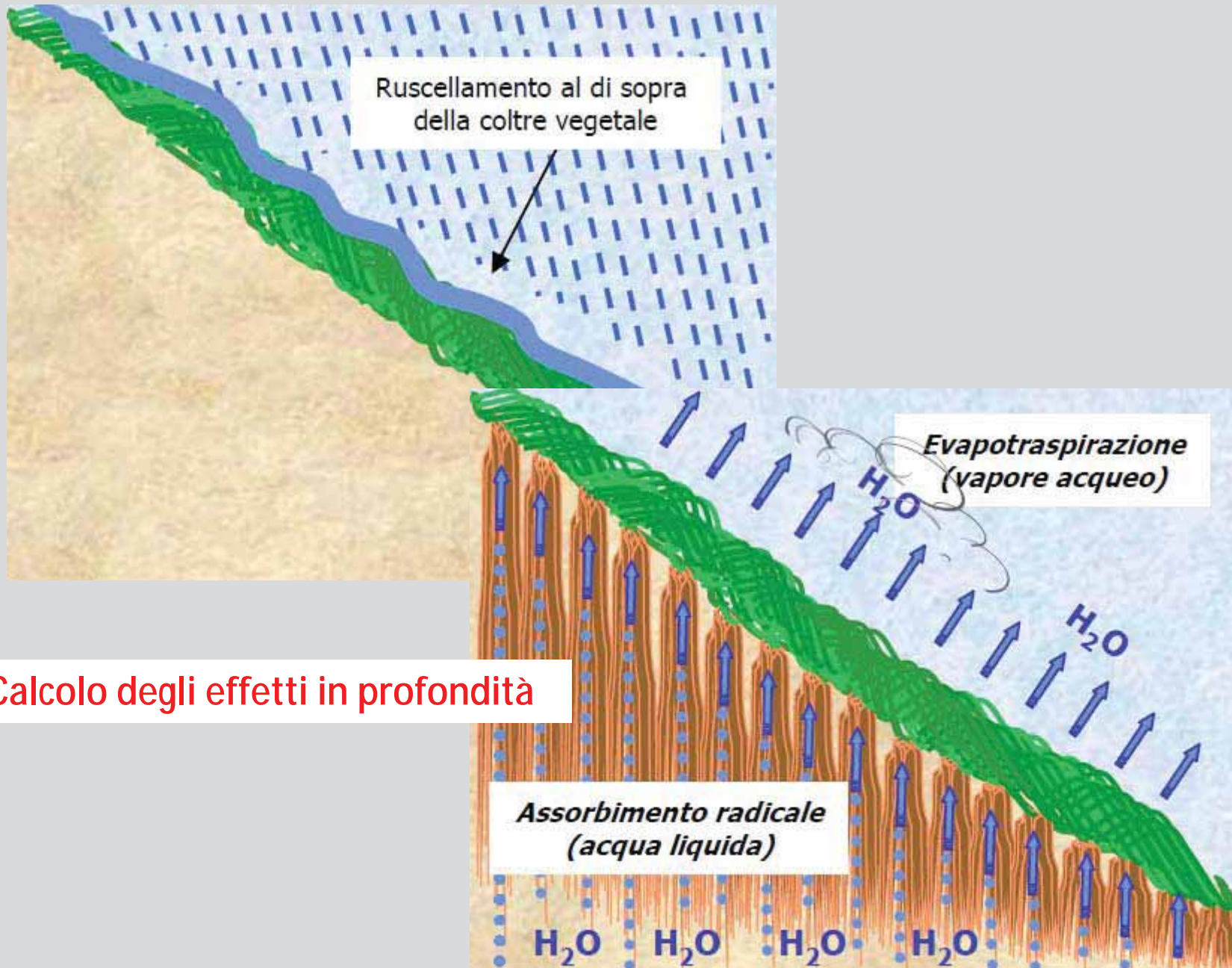




# Regimazione idraulica di superficie

17 Giugno 2011

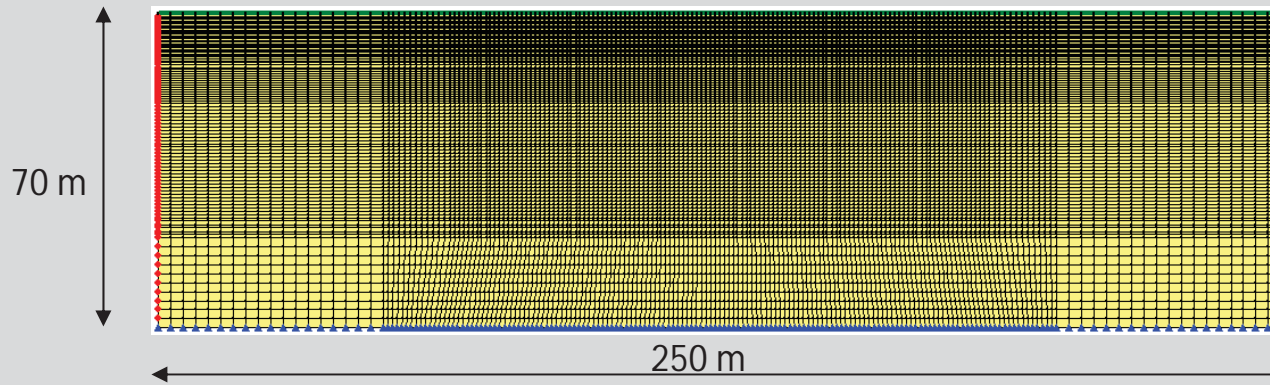
Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale



Calcolo degli effetti in profondità

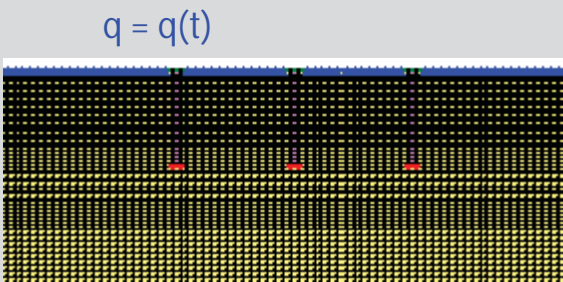


# VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA IDRAULICA DI TRINCEE DRENANTI PROFONDE IN PENDII ARGILLOSI (Cotecchia, Lollino, Mitarironna, Elia 2011)



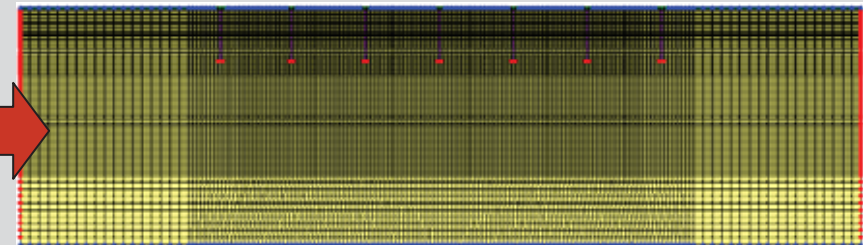
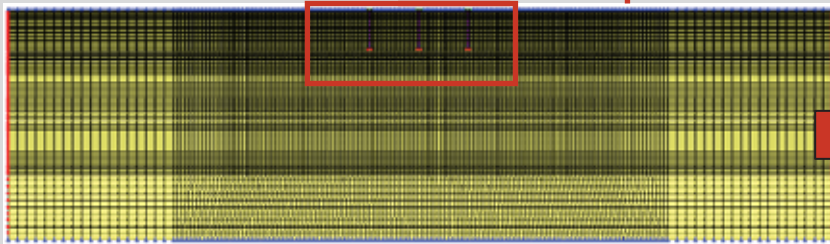
Maglia di calcolo considerata e condizioni al contorno

## ANALISI PARAMETRICA AL VARIARE DELLE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL SISTEMA DI TRINCEE E DELLE CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DEL TERRENO



$k = 1E-09 \text{ m/s} - 5E-09 \text{ m/s}$

Eq. di Richards, curve di ritenzione di argille naturali (Cafaro 2011)



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

*Configurazione massima:* sistema di 7 trincee (H=16 m; S = 22 m)



Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

17 Giugno 2011







Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

17 Giugno 2011





Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

17 Giugno 2011







Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

17 Giugno 2011





Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

17 Giugno 2011





Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

17 Giugno 2011







Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

17 Giugno 2011





Politecnico di Bari  
Dipartimento di Ingegneria delle Acque e Chimica  
Ingegneria Geotecnica e Geoambientale

17 Giugno 2011

