



Alessandro Corsini

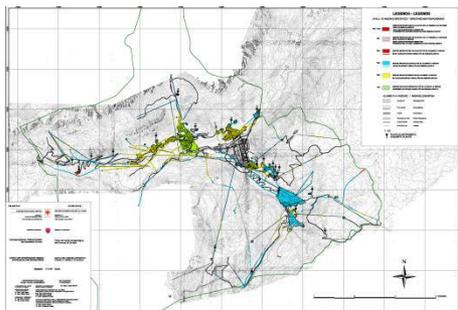
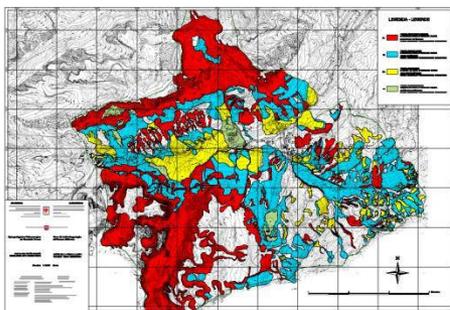
# INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI VERSANTI IN FRANA: *quale efficacia e che durata?*



Acknowledgement to: Dott. Geol. Giovanni Truffelli  
*Regione Emilia Romagna – Servizio Tecnico dei bacini degli affluenti del Po*



## INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO E PROTEZIONE



**EARLY WARNING**



opere "provvisoriale" con vita  
nominale 10/35 anni.  
Classe d'uso I



## OBIETTIVI

### Misure Attive e/o Passive (\*) volte a:

#### ➤ RIDURRE LA PERICOLOSITA'

In termini di:

- Estensione areale
- Probabilità di accadimento
- Intensità (velocità, spessore, volume, energia)

#### ➤ EVITARE O MINIMIZZARE LE CONSEGUENZE

In termini di:

- Esposizione
- Vulnerabilità



Per **ATTIVE** consideriamo tutte quelle misure volte a modificare le condizioni di stabilità del versante o limitare l'evoluzione spaziale del fenomeno (sia di tipo strutturale che di tipo non strutturale)

Per **PASSIVE** consideriamo tutte quelle misure volte ad evitare conseguenze dannose del fenomeno, ed includono varie opzioni tra cui opere che servono per **contenerne gli effetti difendendo** le strutture, gli abitati o la pubblica incolumità (es. barriere paramassi, valli in terre armate, gallerie paramessi, ponti, ecc.) e la pianificazione territoriale e di emergenza e l'allertamento.



## OBIETTIVI

### zona sorgente

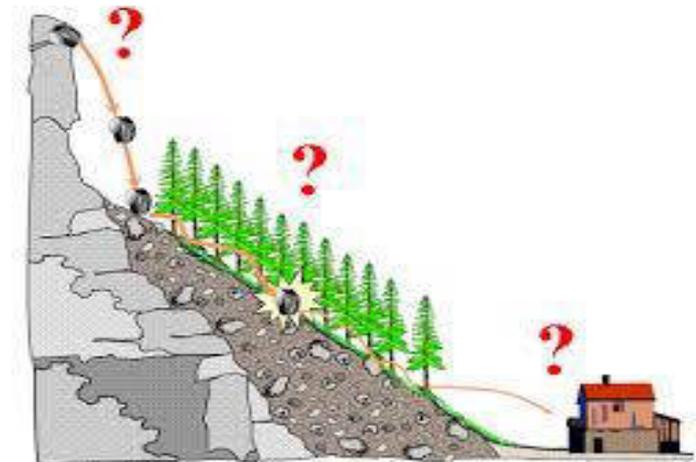
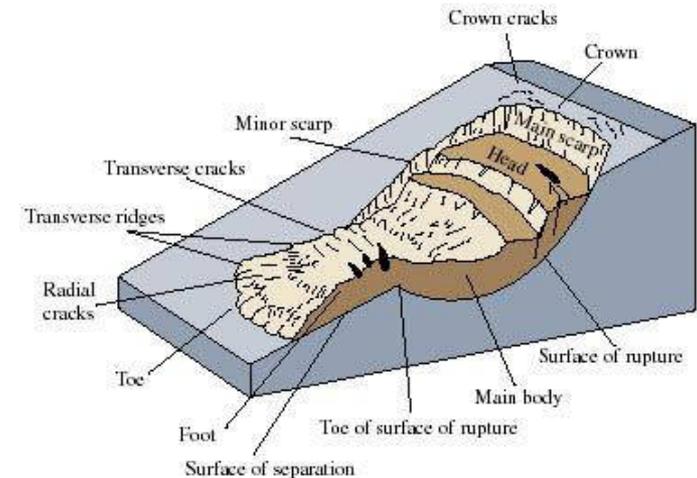
- Ridurre la probabilità di accadimento e l'estensione dell'area potenzialmente instabile (riduzione azioni destabilizzanti e/o incremento resistenze)

### zona di trasporto

- Ridurre l'intensità (velocità, volume, energia..)

### zona di accumulo e/o impatto

- Evitare l'esposizione diretta e/o il danneggiamento degli elementi a rischio (protettivi)





## FATTORI DI CONDIZIONAMENTO

## OPZIONI POSSIBILI

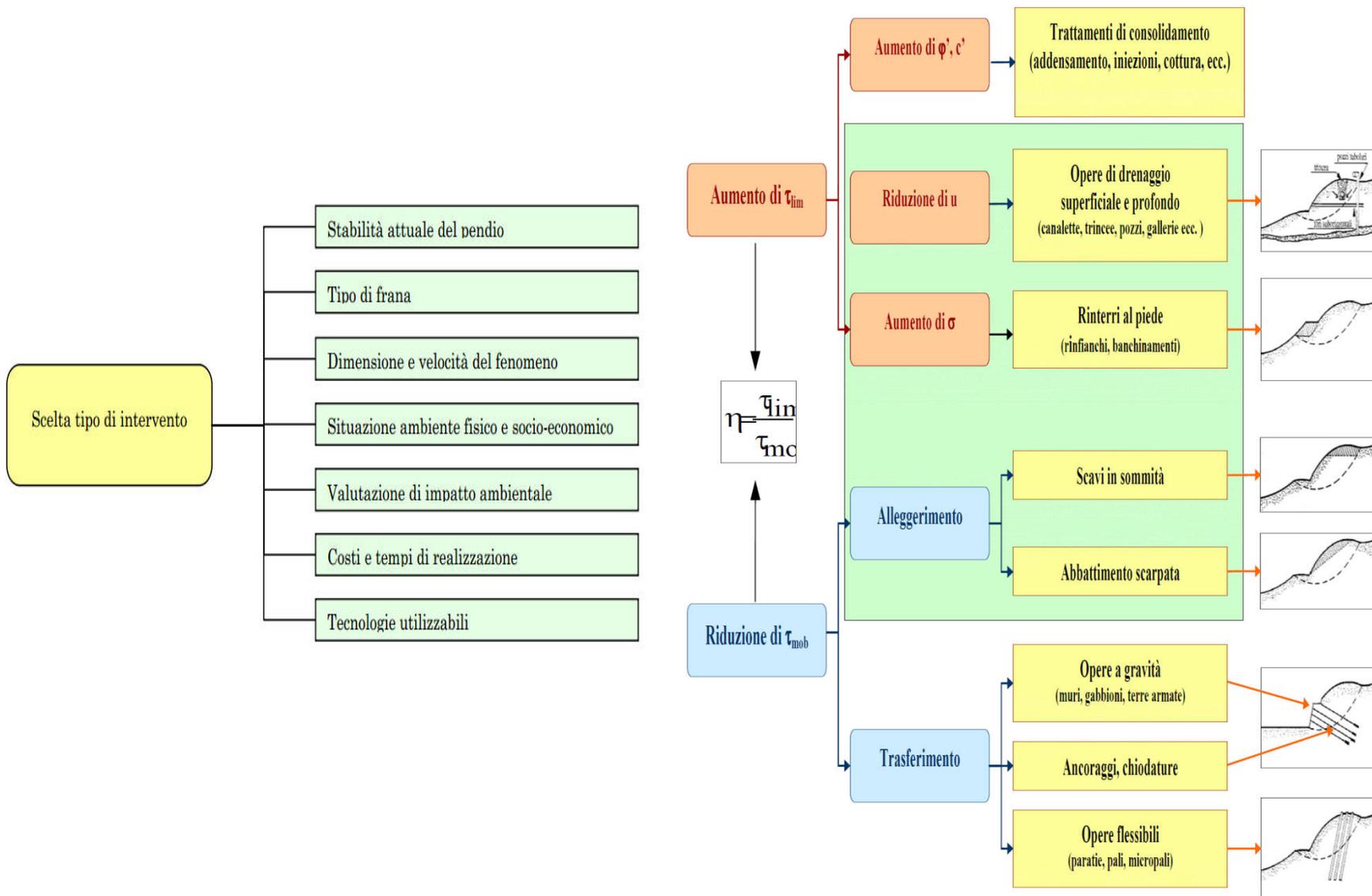


Fig. 1.9 Tipologie di intervento

## FATTORI DI CONDIZIONAMENTO: VELOCITA' DEI MOVIMENTI

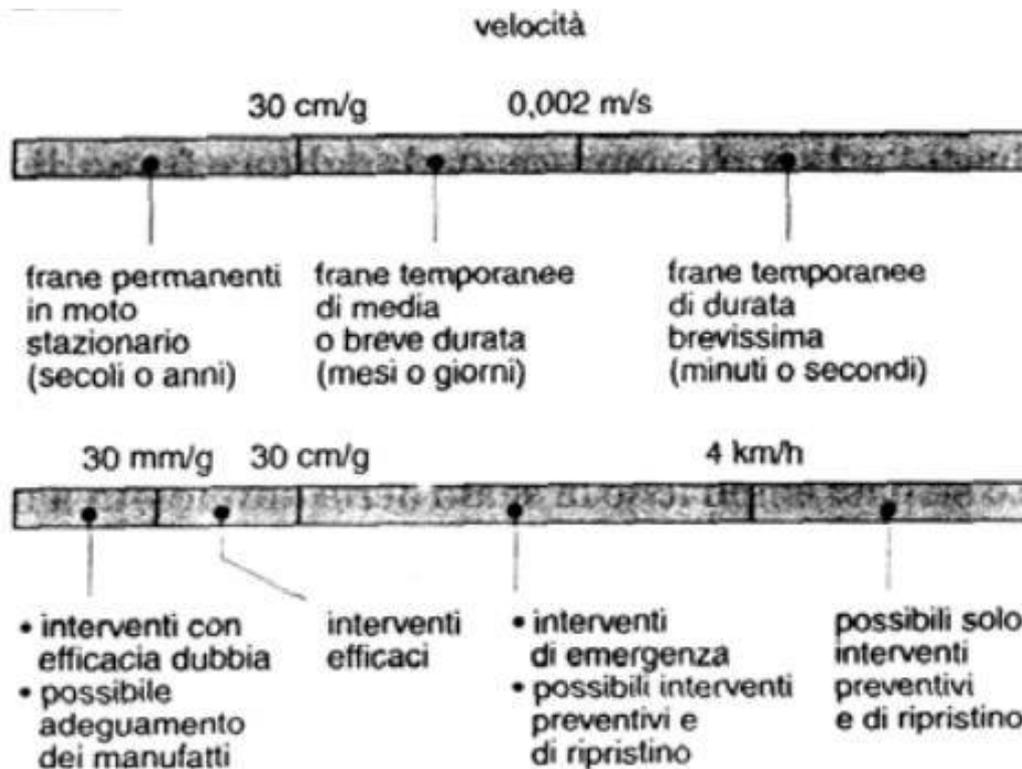


Fig. 1.8 Scala di dannosità delle frane (Hungr, 1981) con indicazione del tipo e dell'efficacia degli interventi di stabilizzazione (Colombo & Colleselli, 1996)



## FATTORI DI CONDIZIONAMENTO: VELOCITA' DEI MOVIMENTI

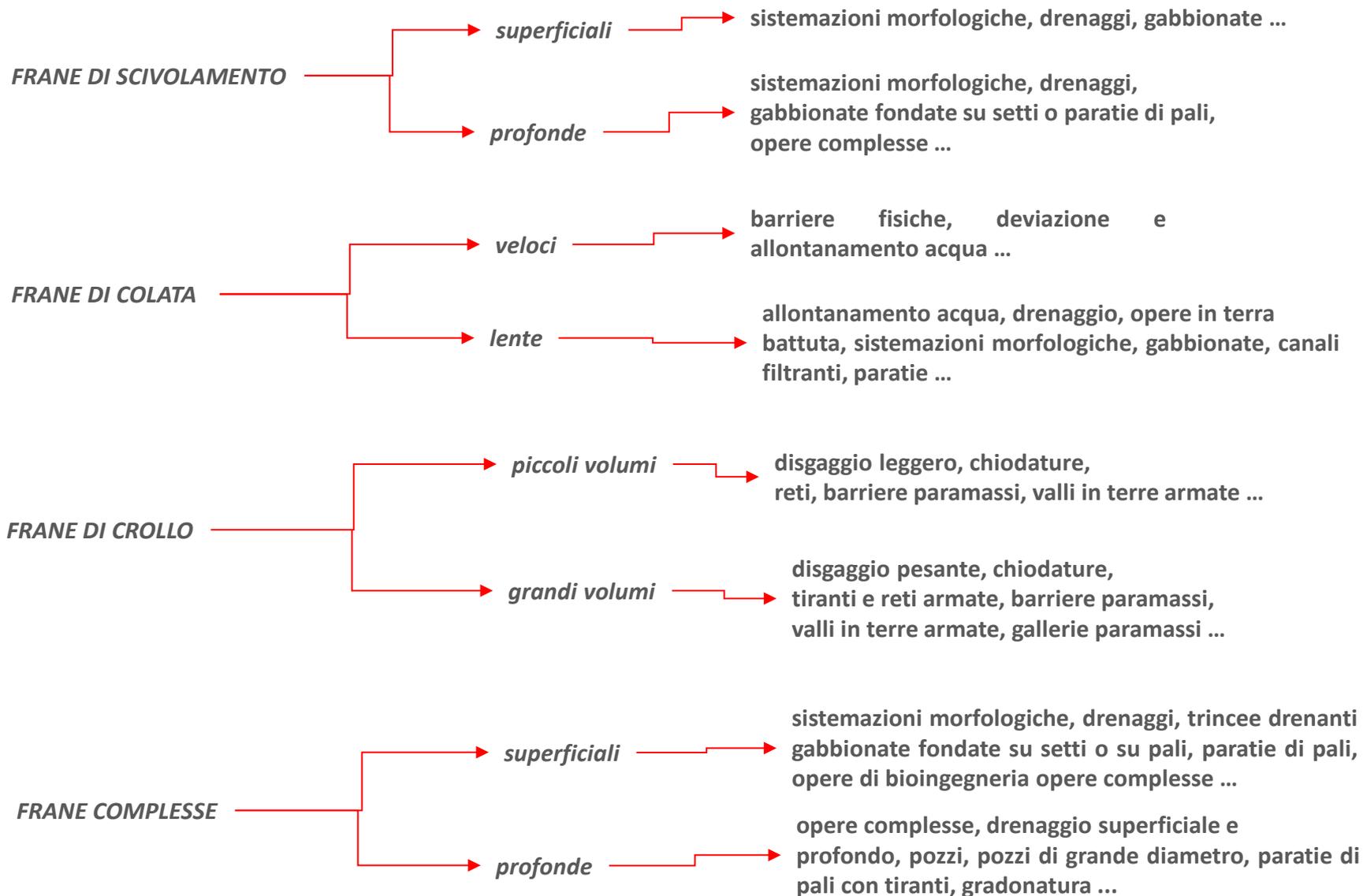
FRANE IN EMILIA-ROMAGNA

- 23.3 %** COMPLESSE & COMPOSITE
- 49.8 %** SCIVOLAMENTO TRASLATIVO & ROTAZIONALE
- 26.2 %** COLAMENTO DI TERRA E FANGO
- 0.5 %** CROLLO & RIBALTAMENTO DI ROCCIA
- 0.2 %** DEBRIS FLOW

CLASSE	DESCRIZIONE	VELOCITÀ (VARNES)
I	estremamente lento	0.06 m/anno
II	molto lento	0.06 - 1.5 m/anno
III	lento	1.5 m/anno - 1.5 m/mese
IV	moderato	1.5 m/mese - 1.5 m/giorno
V	rapido	1.5 m/giorno - 0.3 m/min
VI	molto rapido	0.3 m/min - 3 m/s
VII	estremamente rapido	>3 m/s (108 km/h)



## OPZIONI POSSIBILI





## OPZIONI POSSIBILI



**APAT**

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente  
e per i servizi Tecnici

# Atlante delle opere di sistemazione dei versanti



MANUALI E LINEE GUIDA

10/2002

## Indice

<b>Presentazione</b>	I
<b>Premessa</b>	II
<b>Opere per il controllo dell'erosione superficiale</b>	
Rivestimenti antierosivi biodegradabili	2
<i>Biostessili (Bioreti, Biofeltri), Biostuoie</i>	
Rivestimenti antierosivi sintetici	5
<i>Geostuoie, Geocompositi, Rivestimenti Vegetativi, Geocelle,</i>	
Inerbimenti	10
<i>Semina a spaglio, Zolle erbose, Nero-Verde, Idrosemina</i>	
<b>Opere di stabilizzazione superficiale</b>	
Piantumazioni	18
Fascinate vive	20
Vimate e Palizzate vive	23
Palificate vive	27
Gradonate vive	29
Grate vive	33
Materassi	35
<b>Opere di sostegno</b>	
Murature	39
Muri in cemento armato	45
Muri cellulari	50
Terre rinforzate	55
Gabbionate	63
Pali	67
Ancoraggi	71
Spritz Beton	74
<b>Opere difesa massi</b>	
Barriere	77
Reti	83
Valli e rilevati	86
Gallerie	90
<b>Opere di drenaggio</b>	
Drenaggi superficiali	93
Cuneo filtrante	97
Dreni orizzontali	98
Trincee	100
Speroni	102
Paratie	104
Pozzi	105
Gallerie	107
<b>Opere speciali</b>	
Iniezioni	109
<i>Iniezioni di miscela, Jet grouting</i>	
Trattamenti termici	115
<i>Congelamento, Alte temperature</i>	
Trattamenti chimici	118
Trattamenti elettrici	120
<b>Bibliografia</b>	122



## OPZIONI POSSIBILI



**CANALI A CIELO APERTO**



**DRENAGGIO A TRINCEA**



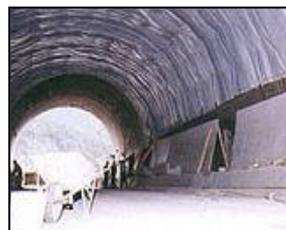
**DRENI SUBORIZZONTALI**



**POZZI DI MEDIO DIAMETRO A GRAVITA'**



**POZZI DI GRANDE DIAMETRO  
CON DRENI RADIALI**



**GALLERIA DRENANTE  
CON DRENI RADIALI**

COMPLESSITA' PROGETTUALE

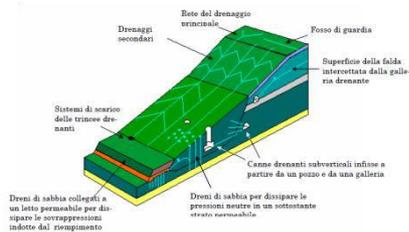


Fig. 2.7 Schemi di drenaggio superficiali e profondi



## OPZIONI POSSIBILI

### RIPROFILATURA MORFOLOGICA



### BANCHE IN TERRA BATTUTA



### GRADONATURA



### GABBIONATE



### MURI DI CONTENIMENTO

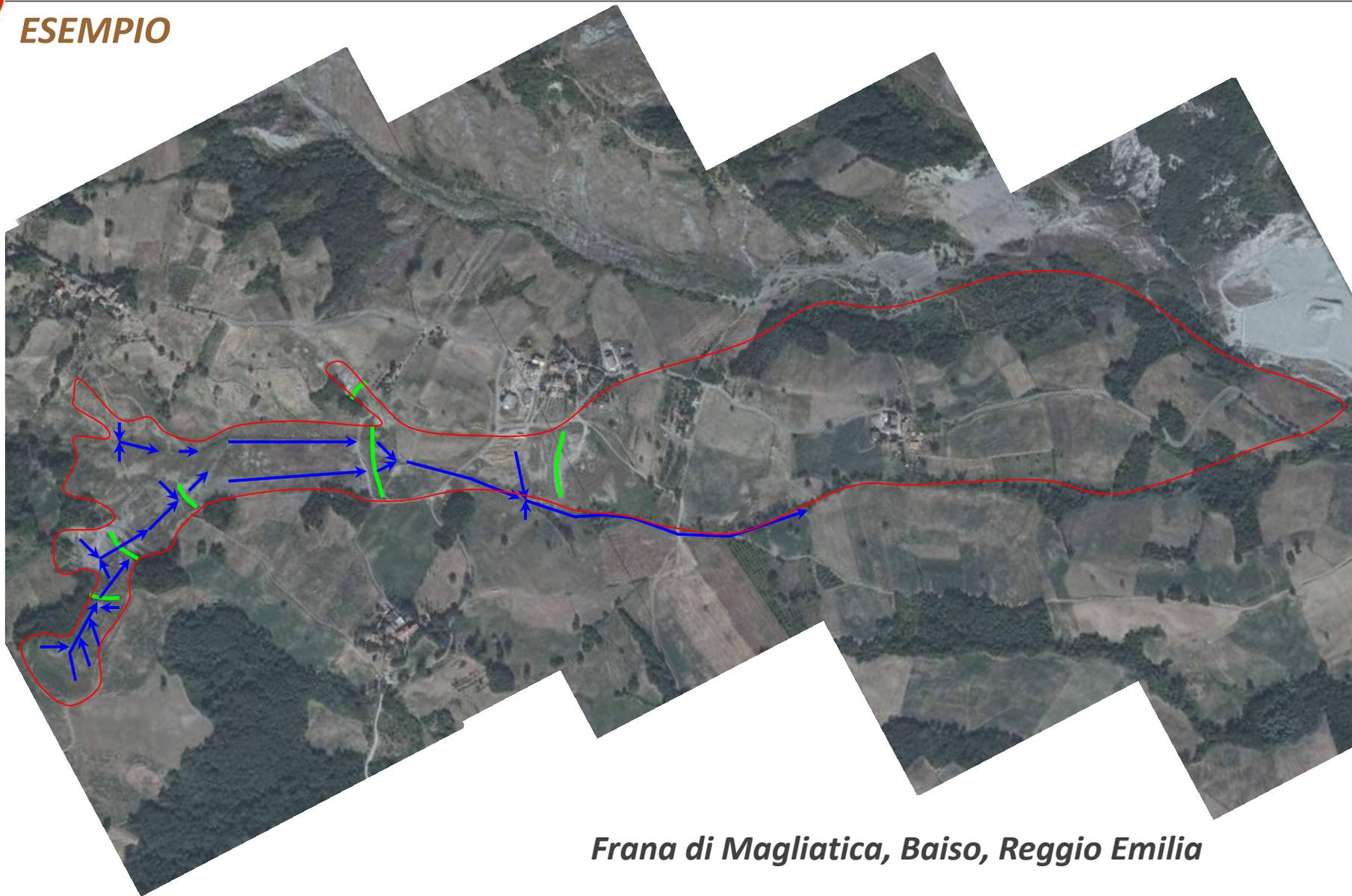


### MURI DI CONTENIMENTO SU PARATIE DI PALI E TIRANTI

COMPLESSITA' PROGETTUALE



## ESEMPIO



*Frana di Magliatica, Baiso, Reggio Emilia*



## ESEMPIO



Foto G. Truffelli – RER-STB-Po



## ESEMPIO



*Frana di Rossena, Reggio Emilia*

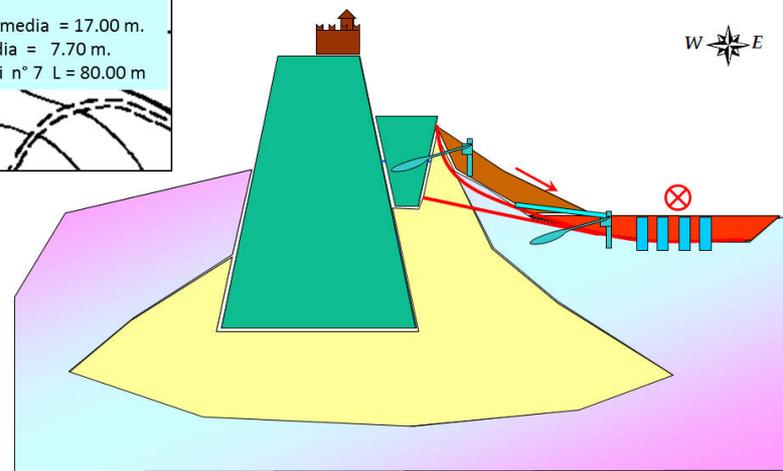
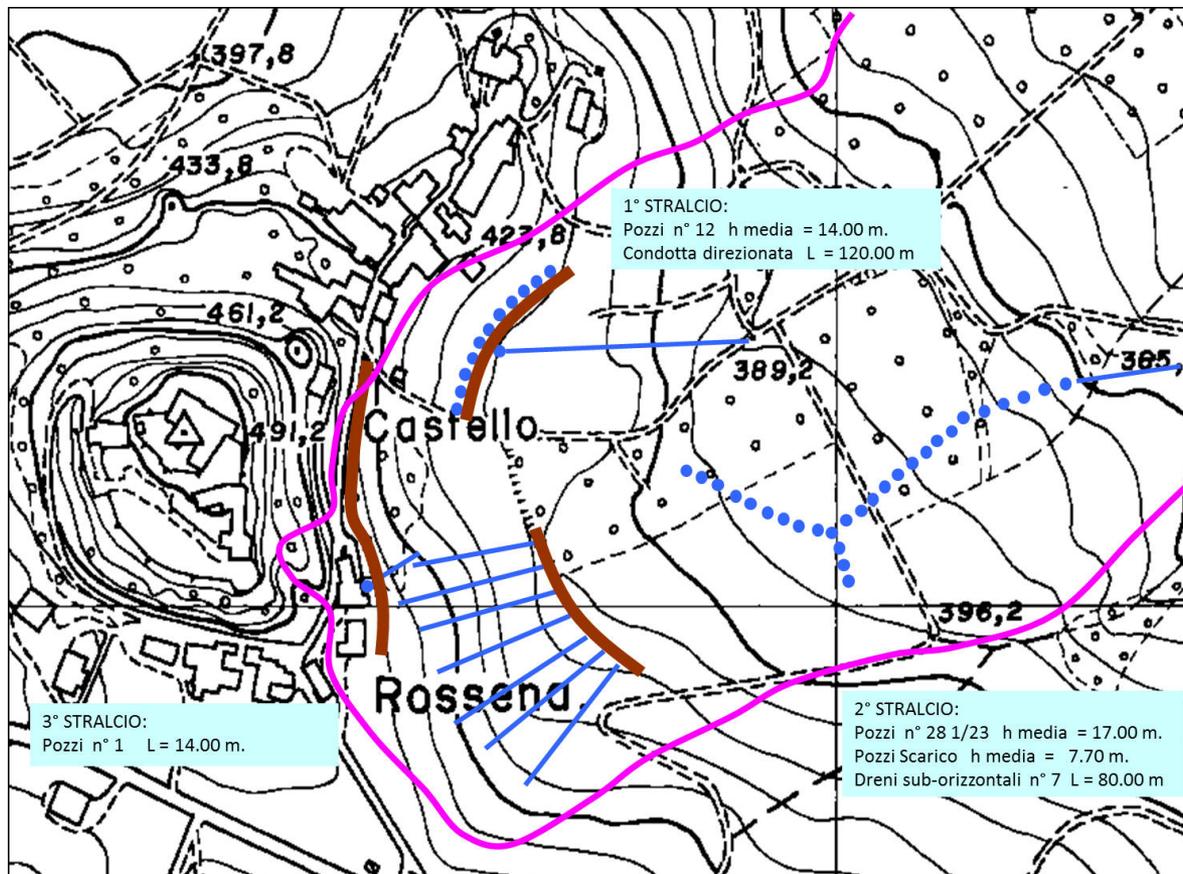


## ESEMPIO





## ESEMPIO



Frana di Rossena, Reggio Emilia



## ESEMPIO



*Frana di Rossena, Reggio Emilia*



## ESEMPIO



Foto G. Bertolini – RER-STB-Po

Frana di Cà Lita, Baiso, Reggio Emilia



## ESEMPIO



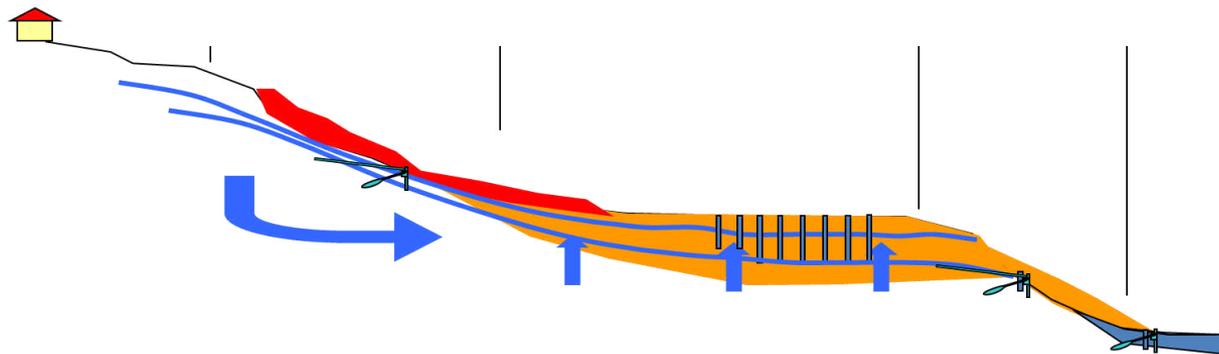
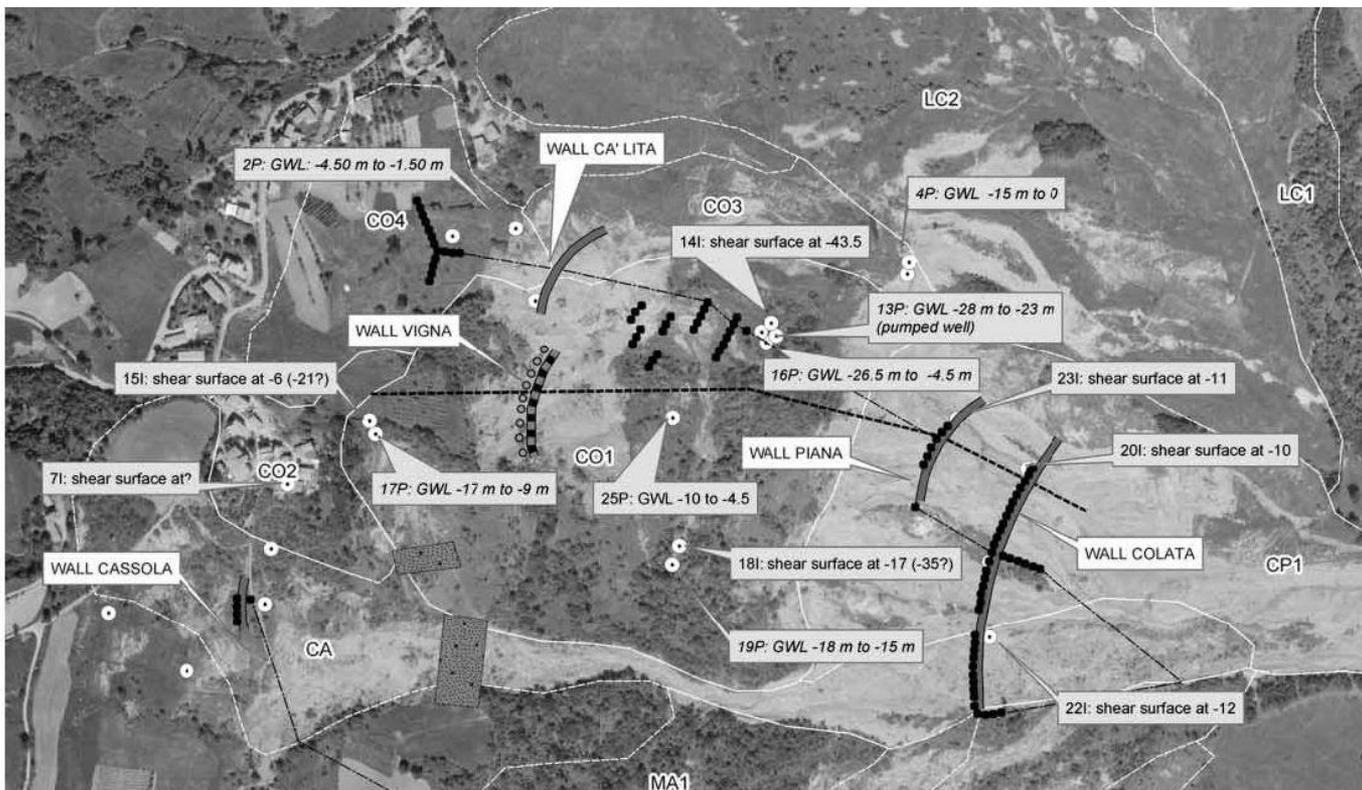
Foto G. Bertolini – RER-STB-Po

Frana di Cà Lita, Baiso, Reggio Emilia





## ESEMPIO



Frana di Cà Lita, Baiso, Reggio Emilia

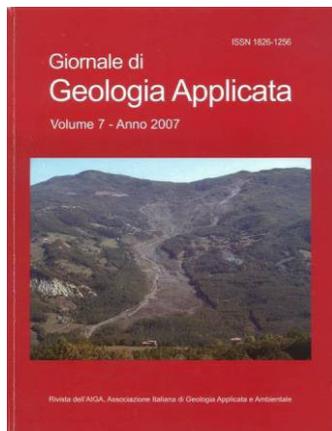


## ESEMPIO





## ESEMPI



### INDICE

10.1474/GGA.2007-07.0-01.0185

**Consolidamento di versanti instabili mediante opere di contenimento strutturale e tecniche di drenaggio profondo: gli esempi di Acquabona, Cervarezza, Magliatica e Ca' Lita (Appennino reggiano).**

*Sartini G. Caputo G. De Simone N. Truffelli G. Borgatti L. Cervi F. Corsini A. Ronchetti F.*

**Visualizza PDF - Scarica PDF**

10.1474/GGA.2007-07.0-02.0183

**Primi interventi di consolidamento sulle frane dei Boschi di Valoria, di Tolara e Lezza Nuova (Val Dolo e Val Dragone, Appennino modenese).**

*Leuratti E. Lucente C. C Medda E. Manzi V. Corsini A. Tosatti G. Ronchetti F. Guerra M.*

**Visualizza PDF - Scarica PDF**

10.1474/GGA.2007-07.0-03.0180

**Valutazione empirica della efficacia di sistemi drenanti realizzati su 13 frane dell'Appennino emiliano.**

*Biavati G.*

**Visualizza PDF - Scarica PDF**

10.1474/GGA.2007-07.0-04.0181

**La frana di Ca' di Malta (Appennino bolognese): un "campo prova" per interventi di consolidamento di versante a basso impatto.**

*Cavazza C. Mazzini E. Roffi C.*

**Visualizza PDF - Scarica PDF**

10.1474/GGA.2007-07.0-05.0184

**Un caso di consolidamento di versante in frana in area a forte sensibilità ambientale: Monteacuto delle Alpi (Comune di Lizzano in Belvedere, Provincia di Bologna).**

*Bernardi A. R. Cavazza C. Mazzini E.*

**Visualizza PDF - Scarica PDF**

10.1474/GGA.2007-07.0-06.0182

**Tecniche di intervento per il consolidamento delle aree calanchive: applicazione del metodo dei "canali filtranti" per la sistemazione del Vallone Toschi e del dissesto di Cassinago (Appennino reggiano).**

*Sartini G. Mascheroni C.*

**Visualizza PDF - Scarica PDF**

10.1474/GGA.2007-07.0-07.0187

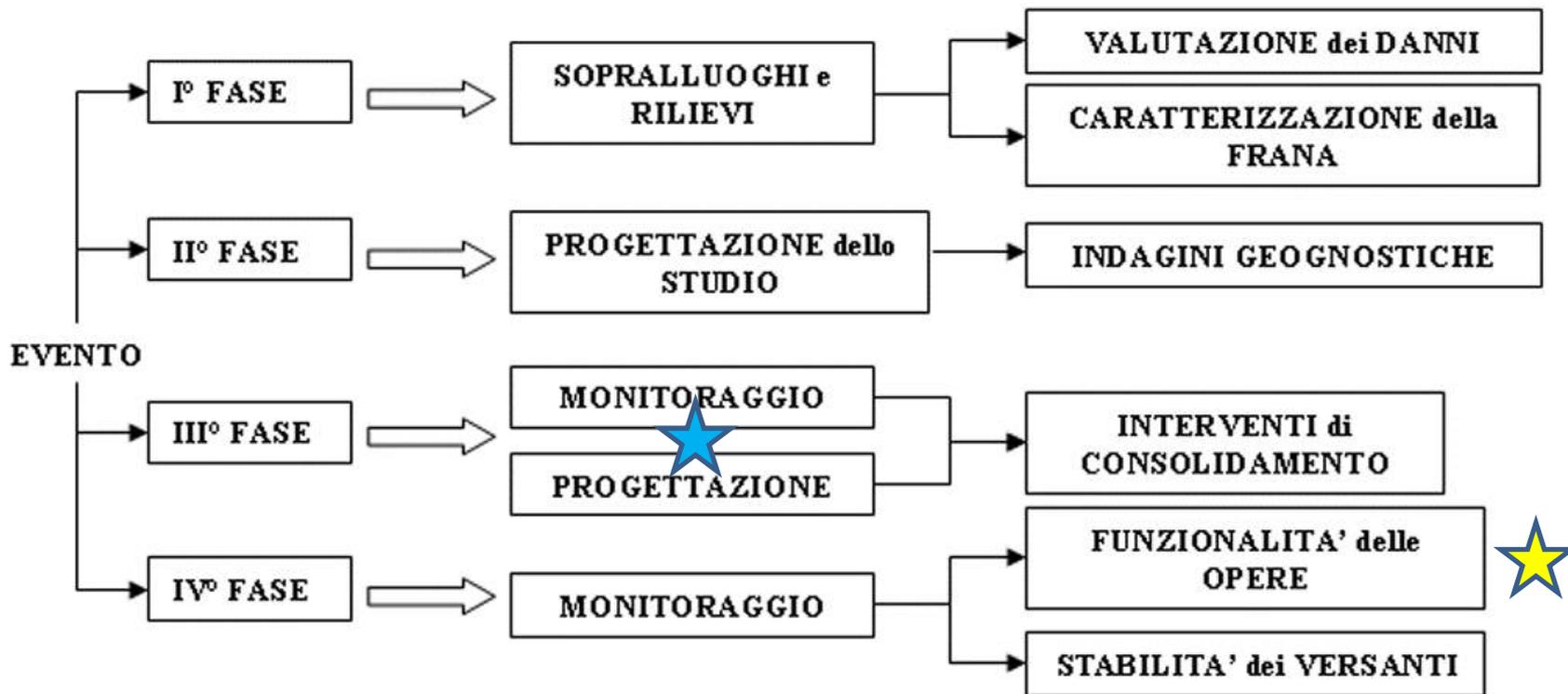
**Studio, mitigazione e monitoraggio della frana di crollo coinvolgente la strada comunale "Tagliole-Lago Santo" (Comune di Pievepelago, Appennino modenese).**

*Leuratti E. Lucente C. C Medda E. Corsini A. Borghi A. Borgatti L.*

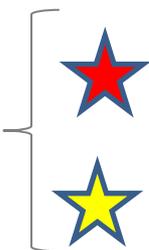
**Visualizza PDF - Scarica PDF**



## FASI OPERATIVE



**VALUTAZIONE  
EFFICACIA  
DELLE OPERE**



**A PRIORI**

**A POSTERIORI**

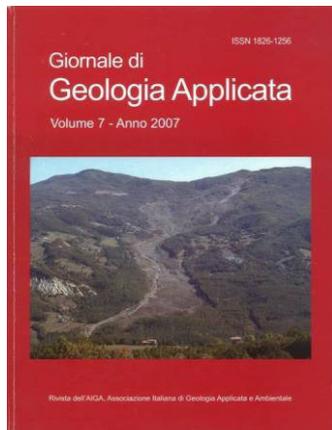
*qualitativa*  
*quantitativa*

(giudizio esperto)  
(modello numerico)



## VALUTAZIONE A POSTERIORI

Giornale di Geologia Applicata 7 (2007) 31-42, doi: 10.1474/GGA.2007-07.0-03.0180



### Valutazione empirica dell'efficacia di sistemi drenanti realizzati su 13 frane dell'Appennino emiliano

Giulia Biavati

Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università di Bologna, Via Zamboni 67, 40126 Bologna, E-mail: giulia.biavati@unibo.it

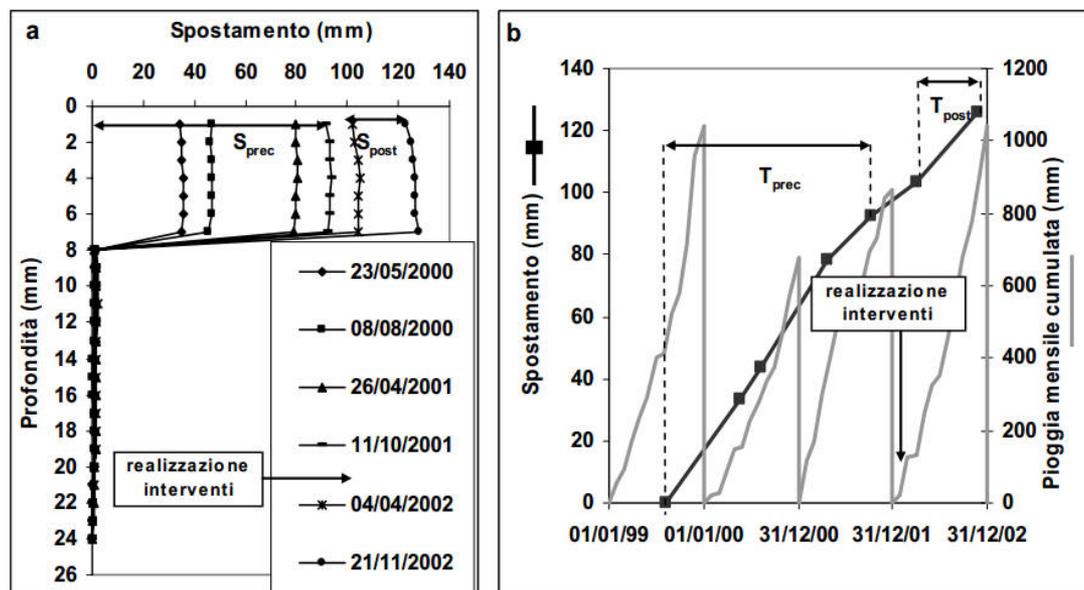


Fig. 2 – Esempio di interpretazione delle letture inclinometriche (13 - Matella). a) profilo inclinometrico; b) andamento degli spostamenti al piano campagna nel tempo e pioggia mensile cumulata (stazione pluviometrica di Invaso, 485 m s.l.m.). ( $S$ : spostamento alla superficie,  $T$ : intervallo di tempo del periodo di monitoraggio;  $prec$ : precedente alla realizzazione dell'intervento,  $post$ : successivo alla realizzazione dell'intervento)

Fig. 2 – Example of interpretation of inclinometer monitoring (13 – Matella). A) inclinometer profile; b) displacement at the ground surface versus time and cumulated rainfall. ( $S$ : displacement at the ground surface,  $T$ : elapsed time for the monitoring period;  $prec$ : before the mitigating measure;  $post$ : after the mitigating measure)



## VALUTAZIONE A POSTERIORI

Biavati G. / *Giornale di Geologia Applicata* 7 (2007) 31-42

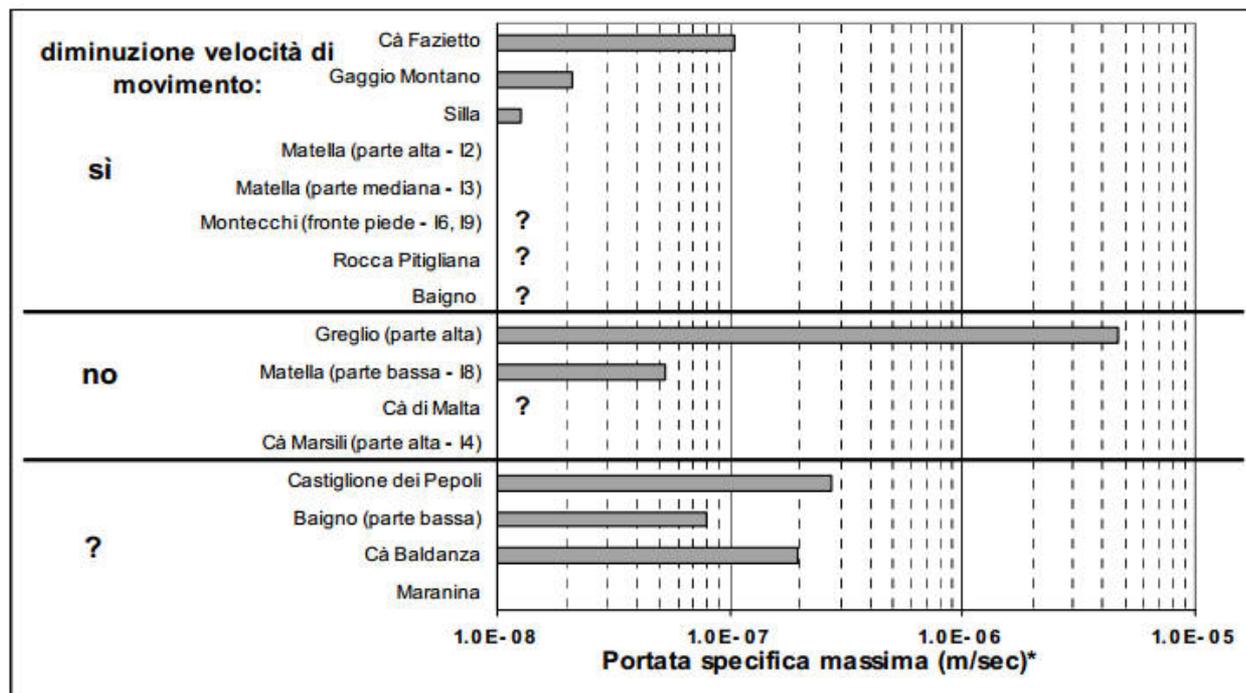


Fig. 4 – Valori di portata massima misurata allo scarico dei drenaggi (\*normalizzata rispetto alle dimensioni dei drenaggi)  
 Fig. 4 – Maximum flow rate values measured at drainage discharge points (\*normalized with respect to drainage dimensions)



## VALUTAZIONE A POSTERIORI

Tab. 4 – Aumento del fattore di sicurezza per effetto della presenza dei dreni secondo l’analisi all’equilibrio limite (pendio infinito) per i due scenari ipotizzati: scenario 1: superficie di scivolamento estrapolata dall’interpretazione dei dati inclinometrici. scenario 2: superficie di scorrimento in corrispondenza del passaggio coltre-substrato

Tab. 4 – Increasing of factor of safety thanks to drains respect to results of limit-equilibrium analysis (infinite slope) according to two scenarios: 1) surface of rupture desumed from inclinometer data; 2) surface of rupture in correspondence of the landslide body/bedrock boundary

	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	z (m)	$\beta$ (°)	$h_w$ (m)		$F_s$		$\Delta F_s$
						pre-dreni	post-dreni	pre-dreni	post-dreni	
scenario 1	5.25	14.75	19.8	7	11	6.2	5.5	0.94	1.01	0.11
scenario 2				4.4		3.6	2.9	1.11	1.22	0.07





## VALUTAZIONE A POSTERIORI

Biavati G. / *Giornale di Geologia Applicata* 7 (2007) 31-42

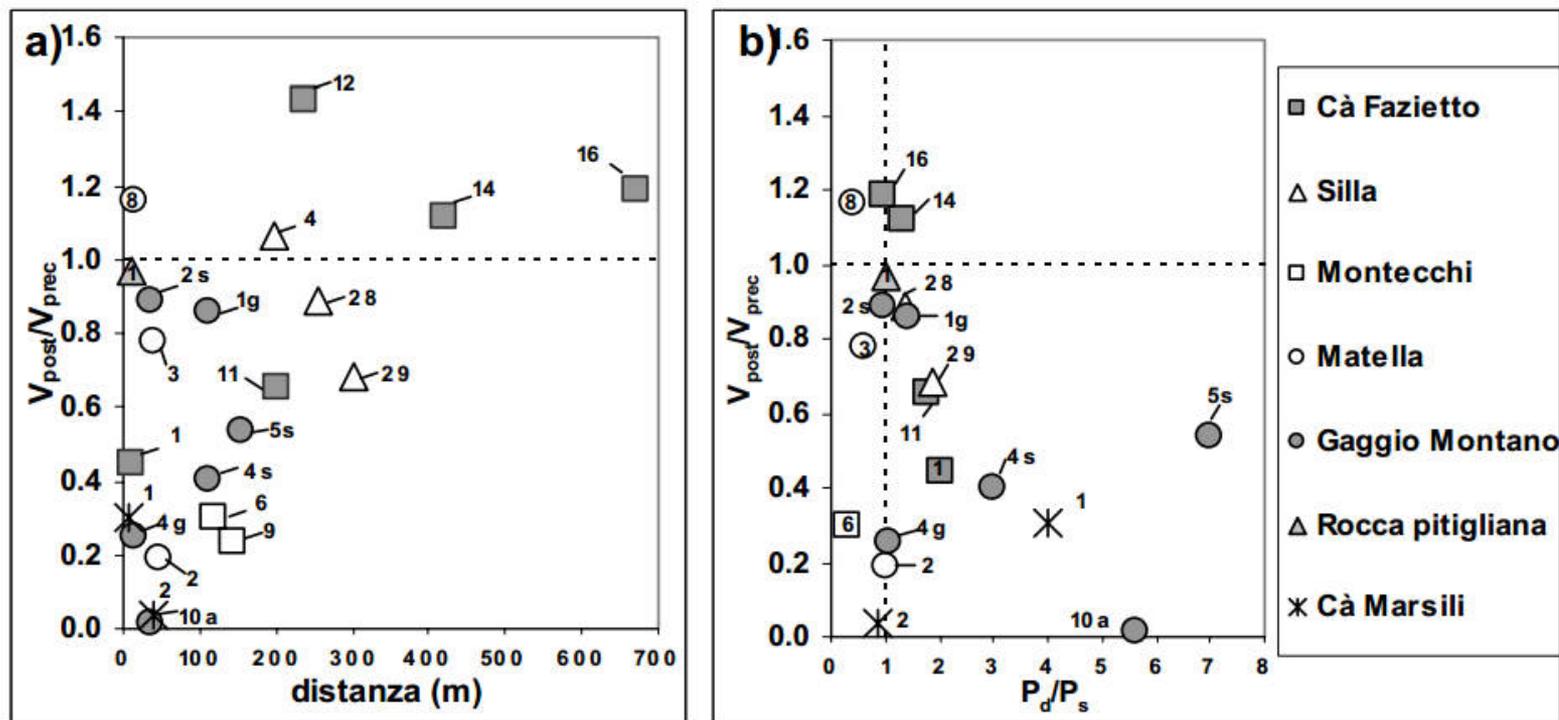


Fig. 3 – Confronto tra la variazione di velocità di spostamento precedente e successiva gli interventi di stabilizzazione: a) con la distanza dei punti di misura dalle opere; b) con la profondità di posa dei drenaggi ( $P_d$ ) normalizzata rispetto alla profondità della superficie di rottura ( $P_s$ ) ( $P_d/P_s < 1$ : i drenaggi non raggiungono la superficie di rottura). Nel grafico non sono plottati i punti Cà Marsili (I4: a: 25; 534 – b: 1; 534), Gaggio Montano (I6: a: 205; 4.2) e Bagno (I1: a: 8; 3.6-b: 0.7; 3.6) per esigenze di scala

Fig. 3 – Comparison between displacement rate before and after the mitigating measures: a) with the drain distance; b) with the depth of drain ( $P_d$ ) normalized respect to the depth of landslide surface of rupture ( $P_s$ ) ( $P_d/P_s < 1$ : drains do not reach the depth of landslide surface of rupture). In the graph, points Cà Marsili (I4: a: 25; 534 – b: 1; 534), Gaggio Montano (I6: a: 205; 4.2) and Bagno (I1: a: 8; 3.6-b: 0.7; 3.6) are not plotted because of their different scale



## VALUTAZIONE A PRIORI



## MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA + MODELLAZIONE GEOTECNIA

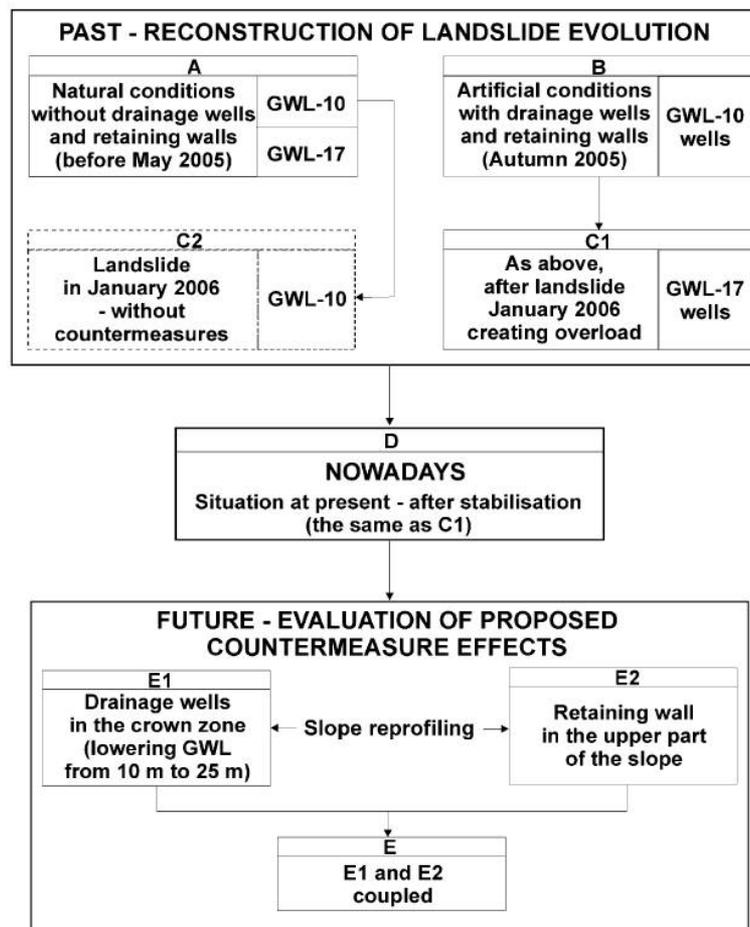
BACK ANALYSIS



CALIBRAZIONE  
su dati di monitoraggio



FORWARD ANALYSIS delle  
**variazioni di velocità**  
(PREVISIONE)  
Senza interventi  
con interventi

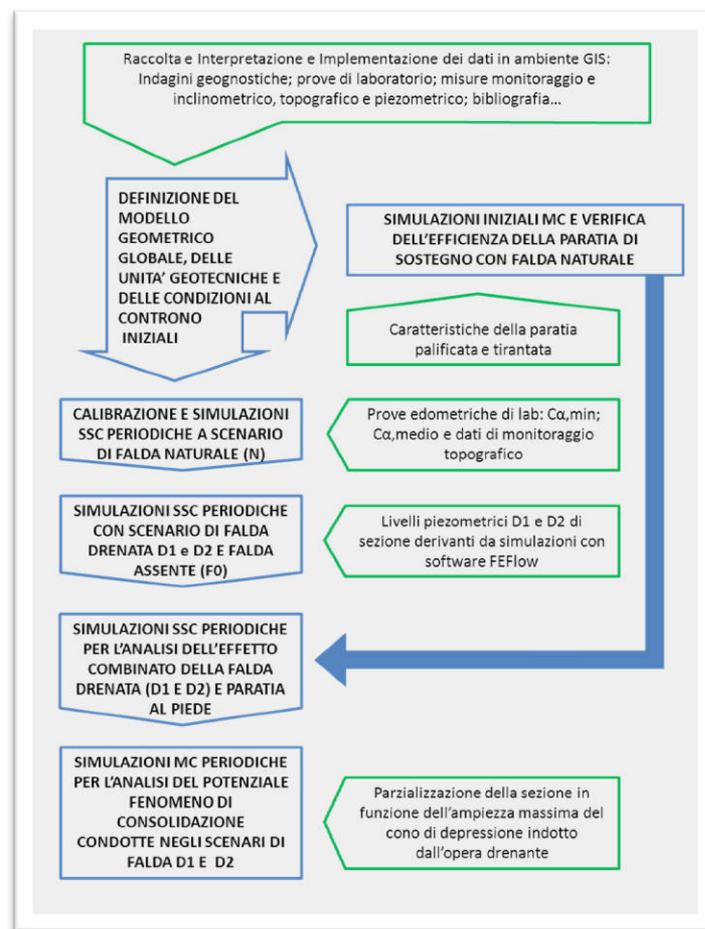




## VALUTAZIONE A PRIORI

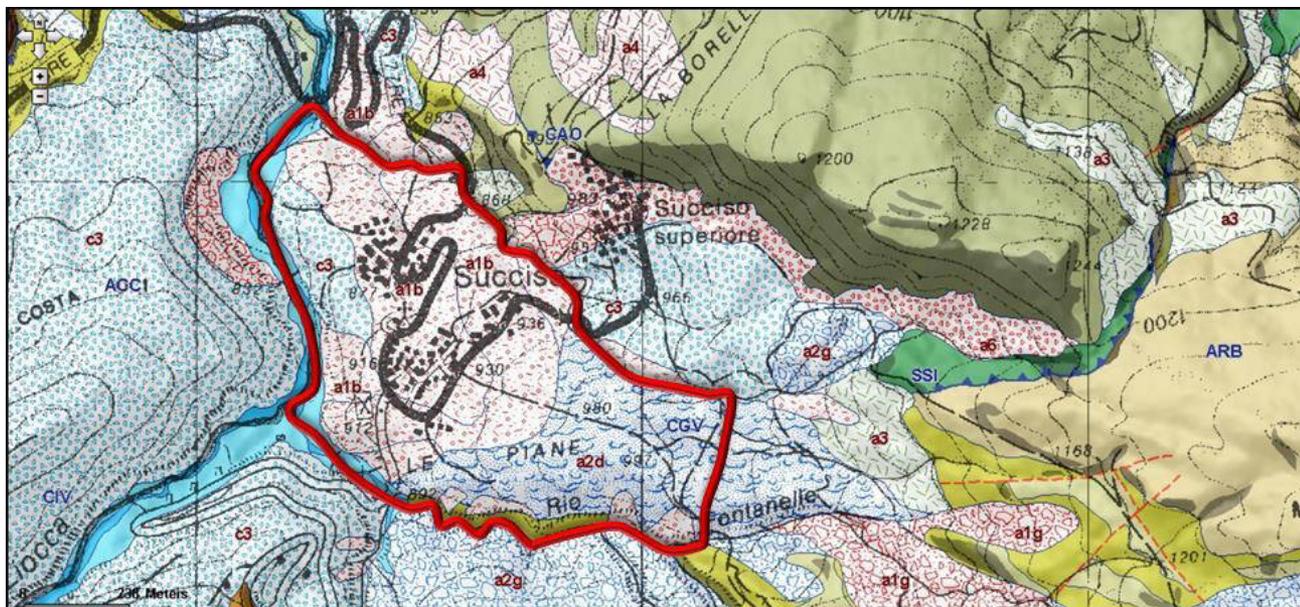


# MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA + MODELLAZIONE GEOTECNIA





## ESEMPIO: Succiso (RE)



### Subliguri

- Argille e Calcari di Canetolo (ACC) (Eocene medio)
- Calcari di Groppo del Vescovo (CGV) (Eocene inferiore-medio)
- Arenarie di Ponte Bratica (ARB) (Eocene superiore-Oligocene?)
- Arenarie di Petrignacola (APE) (Oligocene inferiore)

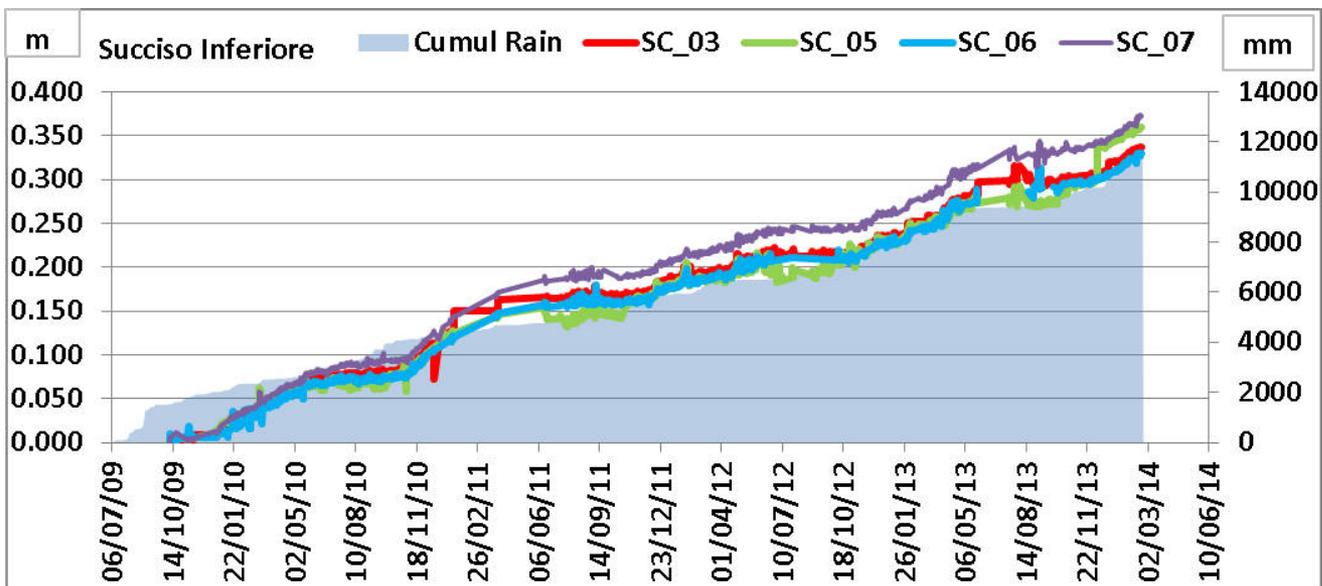
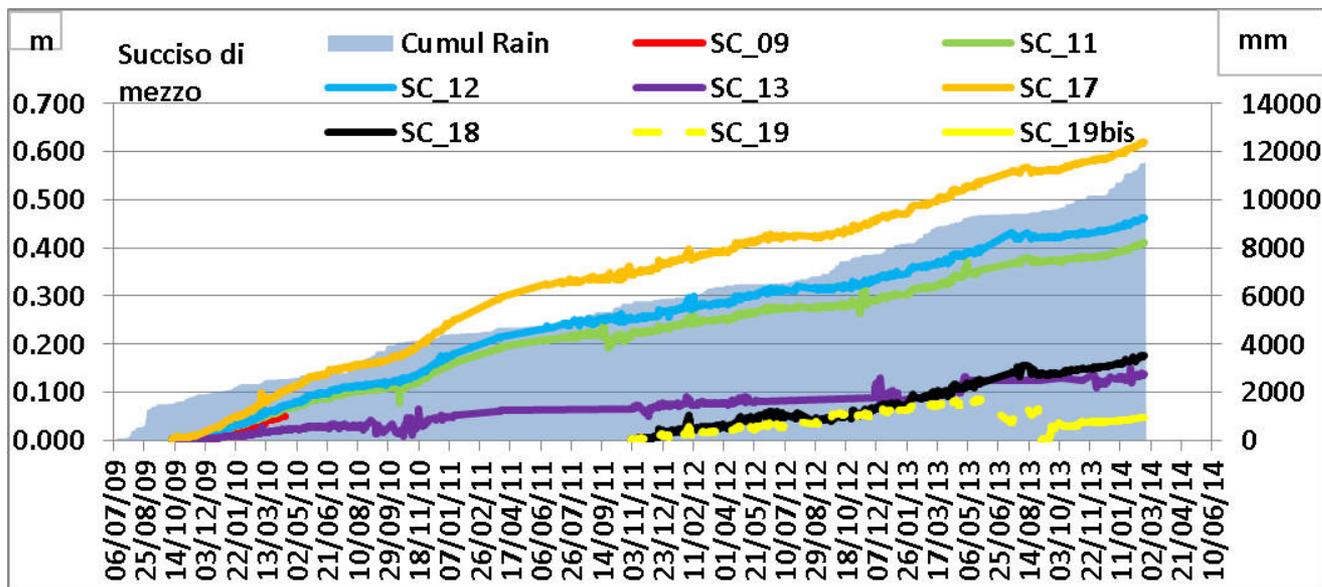
### Liguri

- Complesso Indifferenziato (CIN) (Cretaceo-Eocene?)
- Flysch di Monte Caio (CAO) (Cretaceo superiore)





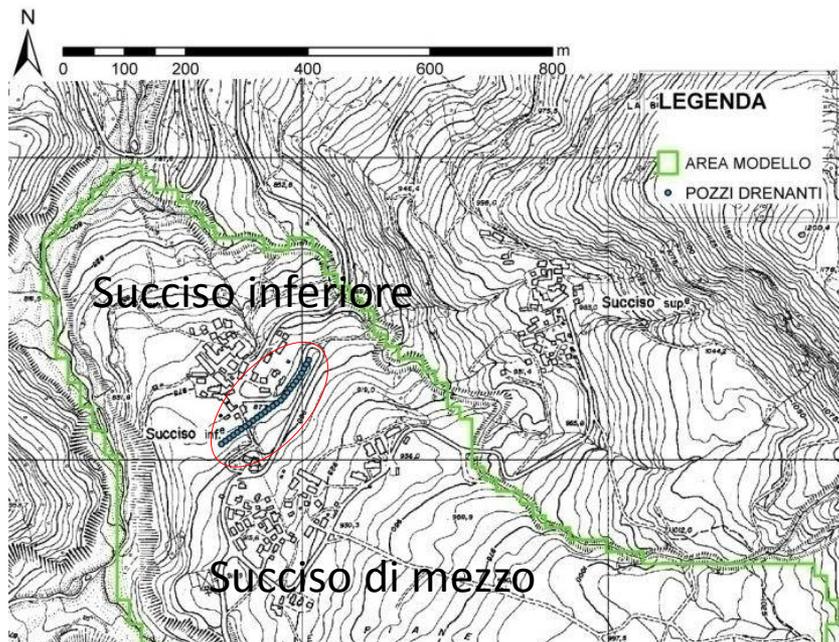
## ESEMPIO: Succiso (RE)





## ESEMPIO: Succiso (RE)

<b>OPERA</b>	26 pozzi drenanti ispezionabili profondi
<b>LUNGHEZZA</b>	200 m
<b>DIAMETRO</b>	1 m
<b>PROFONDITÀ</b>	30 m
<b>INTERASSE</b>	7-8 m
<b>RACCOLTA</b>	Condotta di fondo suborizzontale
<b>SCARICO</b>	Per gravità-Rio Marzolaro
<b>COLLOCAZIONE</b>	A monte di Succiso Inferiore







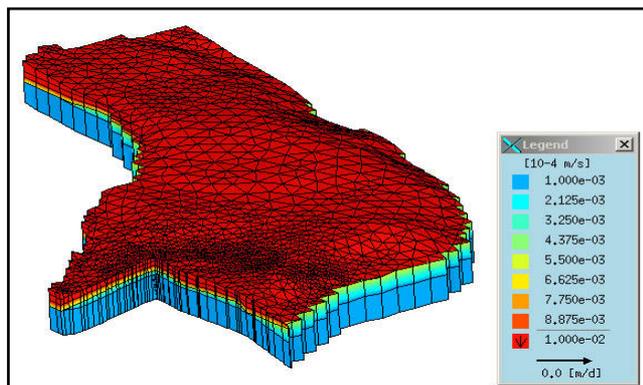
## ESEMPIO: Succiso (RE)



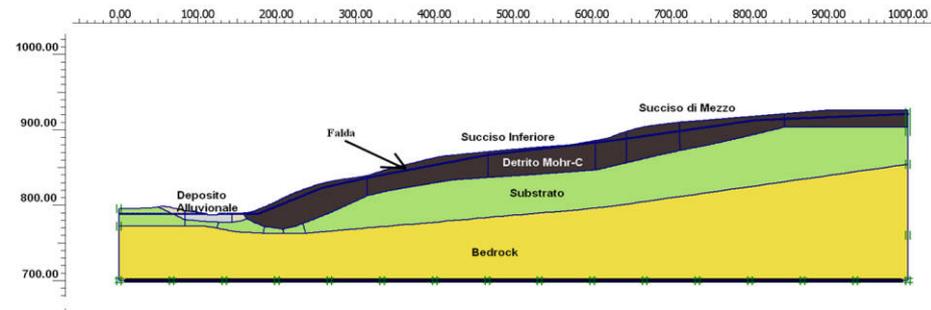
### MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA + MODELLAZIONE GEOTECNIA

FEFLOW 3D  
*poroso equivalente  
flusso stazionario*

PLAXIS 2D  
*Mohr-Coulomb &  
Soft Soil Creep  
(tempo-dipendente)*



Unità geotecnica	MODELLI COSTITUTIVI UTILIZZATI	
	Simulazione elasto-viscoplastica (SSC) (verifica spostamenti)	Simulazione elasto-plastica (MC) (verifica FS)
DF) detrito di frana	MC e SSC	MC
DA) deposito alluvionale	MC	MC
SA) substrato alterato e fratturato	MC	MC
BR) bedrock inalterato	EM	EM





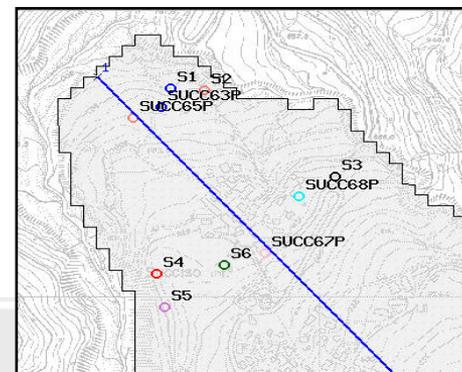
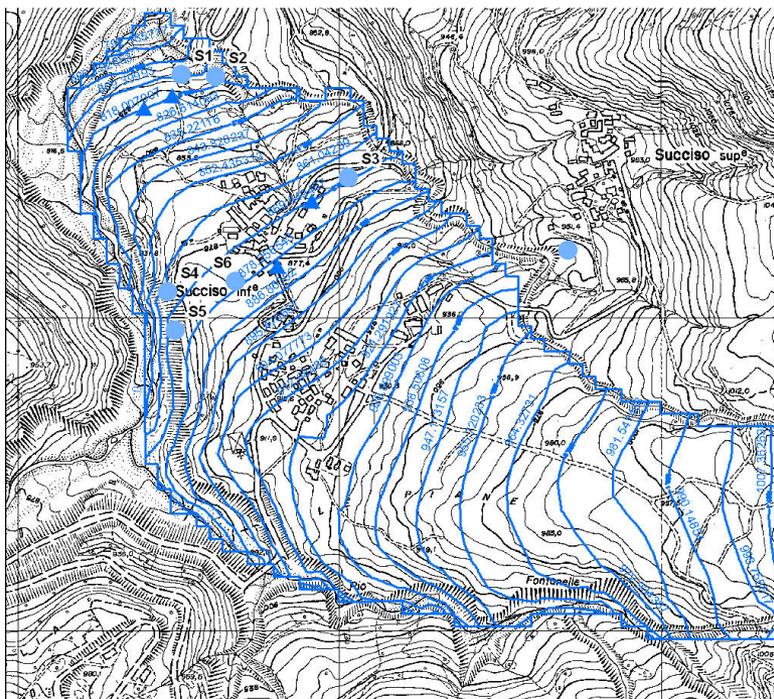
## ESEMPIO: Succiso (RE)



### MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA

#### Calibrazione sui dati di monitoraggio

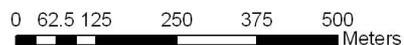
- ✓ Assenza di opere (pozzi)
- ✓ Diversi scenari  $k$  idraulica



#### Legenda

- ▲ Piezometri
- Sorgenti

— Iso-Potenziale senza opere



PUNTI DI CONTROLLO	Valori osservati (m)	Valori simulati (m)	Differenza (m)
P63	817,5	817	-0,5
P65	812,5	817	+4,5
P67	878	880	+2
P68	863	869	+6
S1	810	808	-2
S2	815	813	-2
S3	875	873	-2
S4	870	864	-6
S5	865	866	+1
S6	880	876	-4



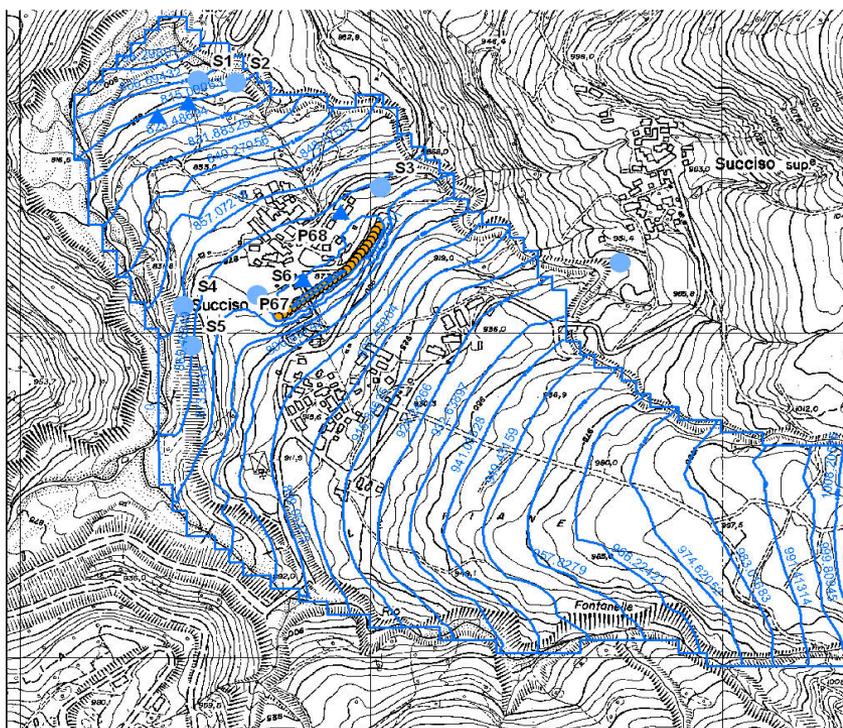
## ESEMPIO: Succiso (RE)



### MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA

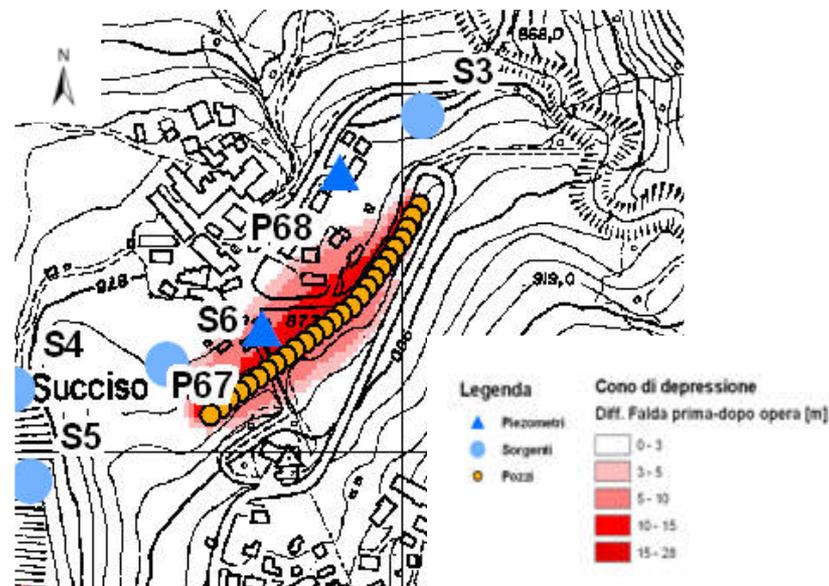
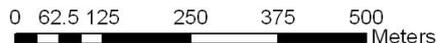
#### Forward analysis

- ✓ Presenza di opere (pozzi)
- ✓ Diversi scenari  $k$  idraulica



#### Legenda

- ▲ Piezometri
- Sorgenti
- Pozzi
- Iso-Potenziale dopo opere



- Legenda
- ▲ Piezometri
  - Sorgenti
  - Pozzi
- Cono di depressione  
Diff. Falda prima-dopo opera [m]
- 0 - 3
  - 3 - 5
  - 5 - 10
  - 10 - 15
  - 15 - 20

2 - Groundwater-drawdown distances varying with the  $K$  assigned to the landslide deposit.

$K$ (m/s)	GW-drawdown distance (m)
$1 \times 10^{-5}$	140
$1 \times 10^{-6}$	110
$1 \times 10^{-7}$	90



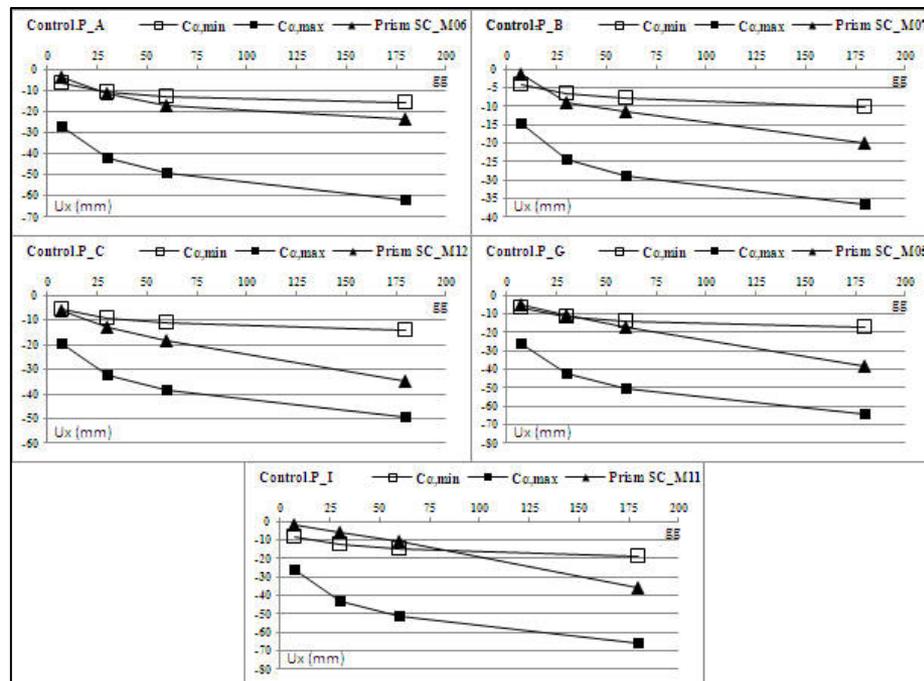
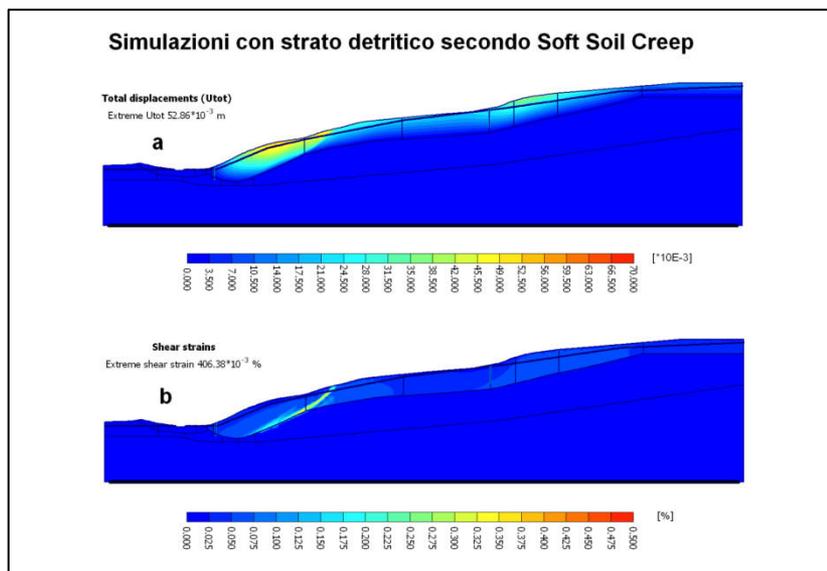
## ESEMPIO: centro abitato di Succisa (RF)



### MODELLAZIONE GEOTECNIA

#### Calibrazione sui dati di monitoraggio

- ✓ Falda Naturale (N)
- ✓ Assenza di opere
- ✓ Diversi valori di indice di compressibilità secondaria



Spostamenti orizzontali ( $U_x$ ) calcolati nei Control Points con i due valori di indice di compressibilità secondaria  $C(\alpha, \min)$  e  $C(\alpha, \text{medio})$  in funzione del periodo di tempo simulato (gg): Buona approssimazione entro i 3 mesi



## ESEMPIO: Succiso (RE)



### MODELLAZIONE GEOTECNIA

✓ Presenza di opere

✓ [Falda Drenata (2 scenari) + paratie al piede]

✓ Diversi valori di compressibilità secondaria

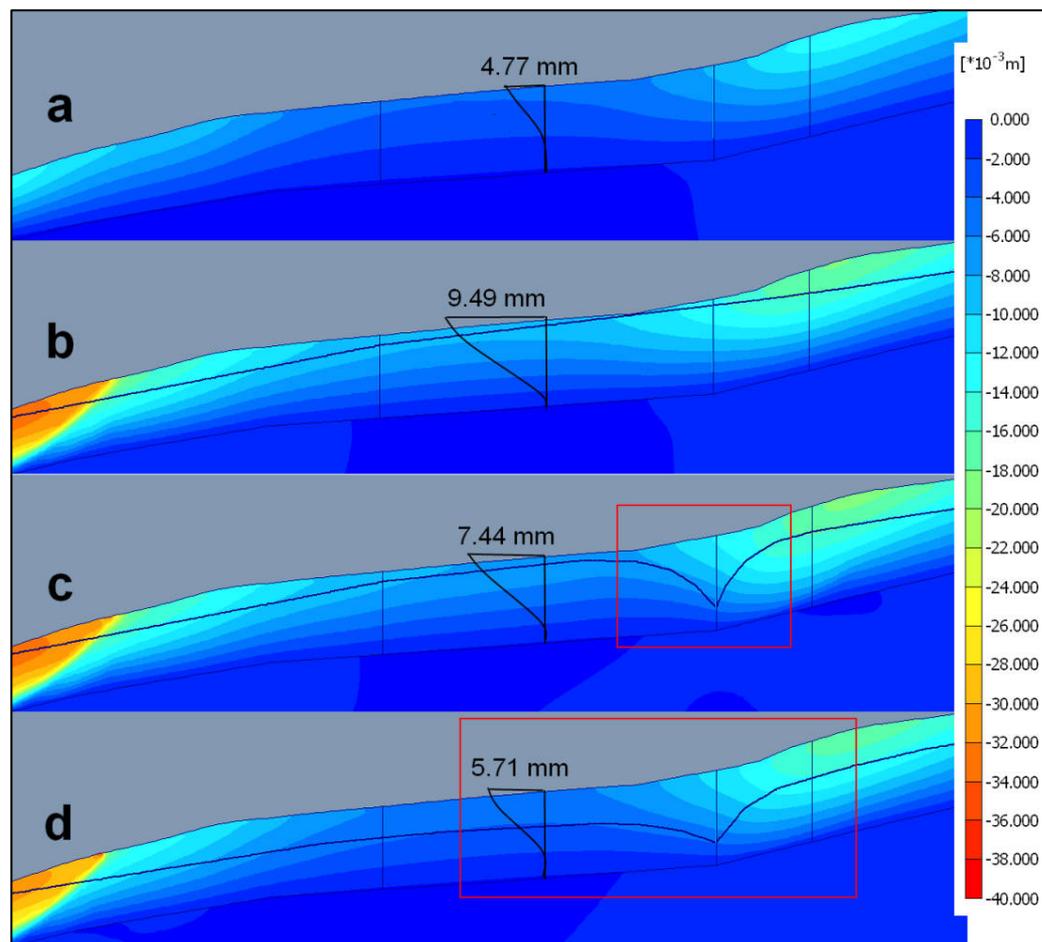
### Forward analysis

#### Modello SSC

Confronto di spostamento orizzontale a 6 mesi delle simulazioni SSC con:

- Falda assente (a);
- Naturale (b);
- Falda drenata secondo D1 (c);
- Falda drenata secondo D2 (d).

Evidenza dell'effetto locale di diminuzione dello spostamento: strettamente circoscritto all'ampiezza del cono di depressione indotto dal dreno (riquadro rosso).





## ESEMPIO: Succiso (RE)



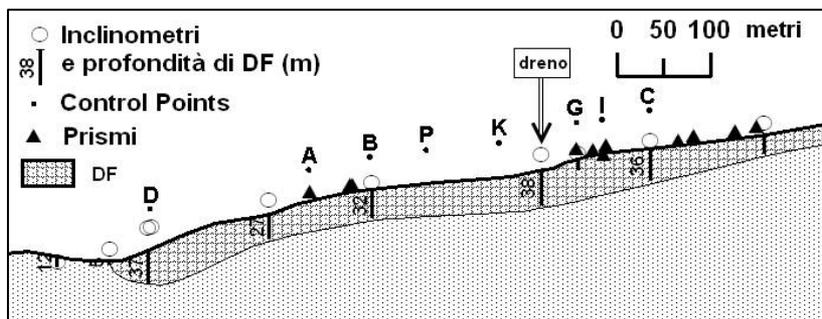
### MODELLAZIONE GEOTECNIA

#### Forward analysis

✓ Presenza di opere

✓ [Falda Drenata (2 scenari) + paratie al piede]

✓ Diversi valori di compressibilità secondaria



#### Modello SSC

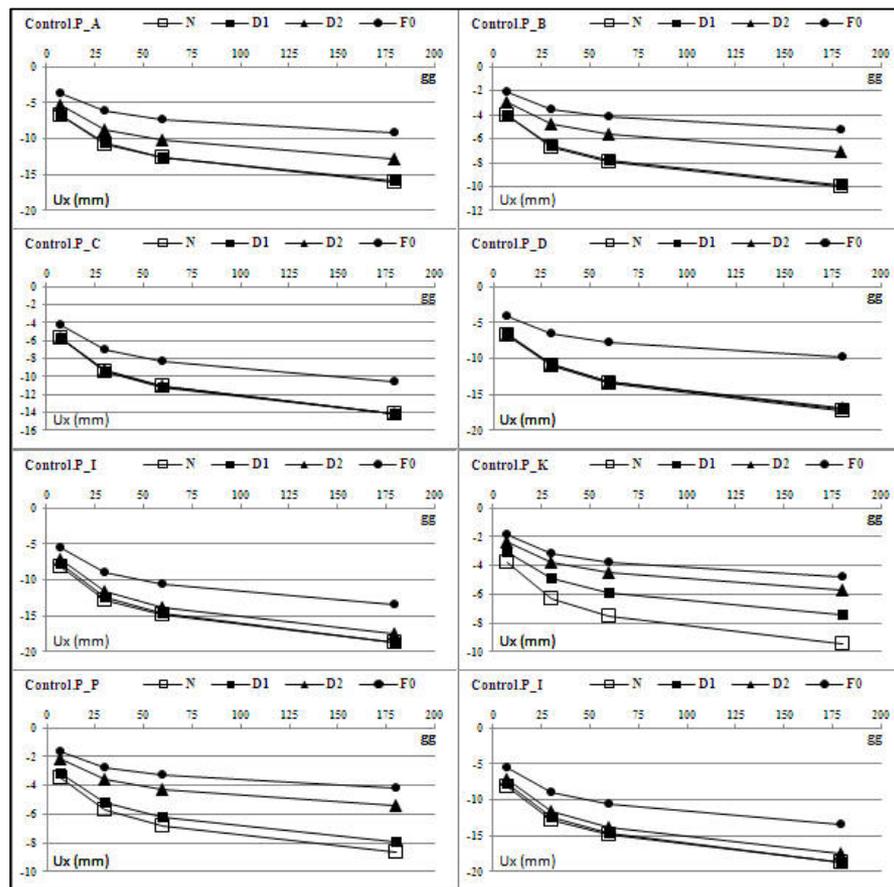
Confronto degli spostamenti orizzontali (Ux) calcolati nei Control Points nei diversi scenari di falda:

N = simulazione con falda naturale con quote piezometriche invernali;

F0 = simulazione in assenza di falda

D1 = simulazione con falda drenata secondo scenario D1;

D2 = simulazione con falda drenata secondo scenario D2





## ESEMPIO: Succiso (RE)



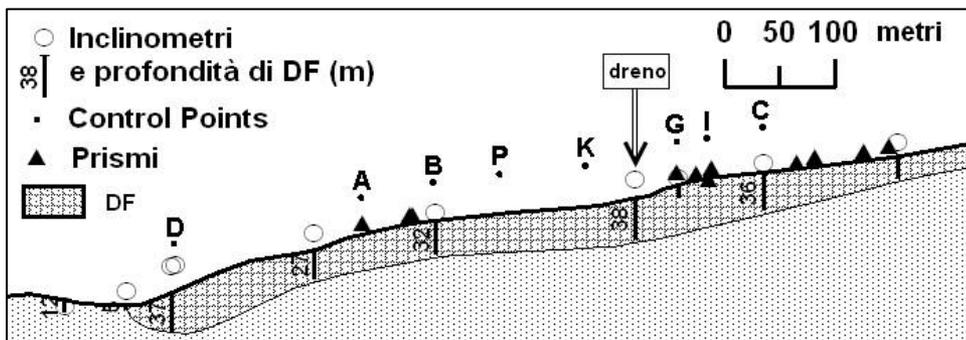
### MODELLAZIONE GEOTECNIA

#### Forward analysis

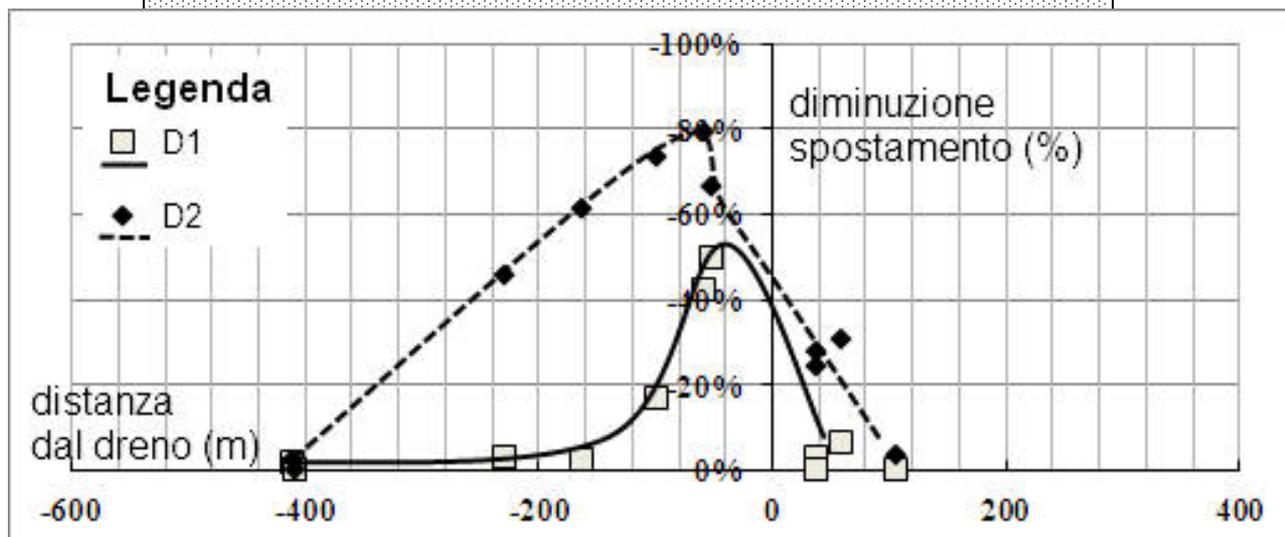
✓ Presenza di opere

✓ [Falda Drenata (2 scenari) + paratie al piede]

✓ Diversi valori di compressibilità secondaria



Simulazione di diminuzione spostamento potenzialmente indotta dall'abbassamento di falda dovuto alle opere drenanti (D1,D2)





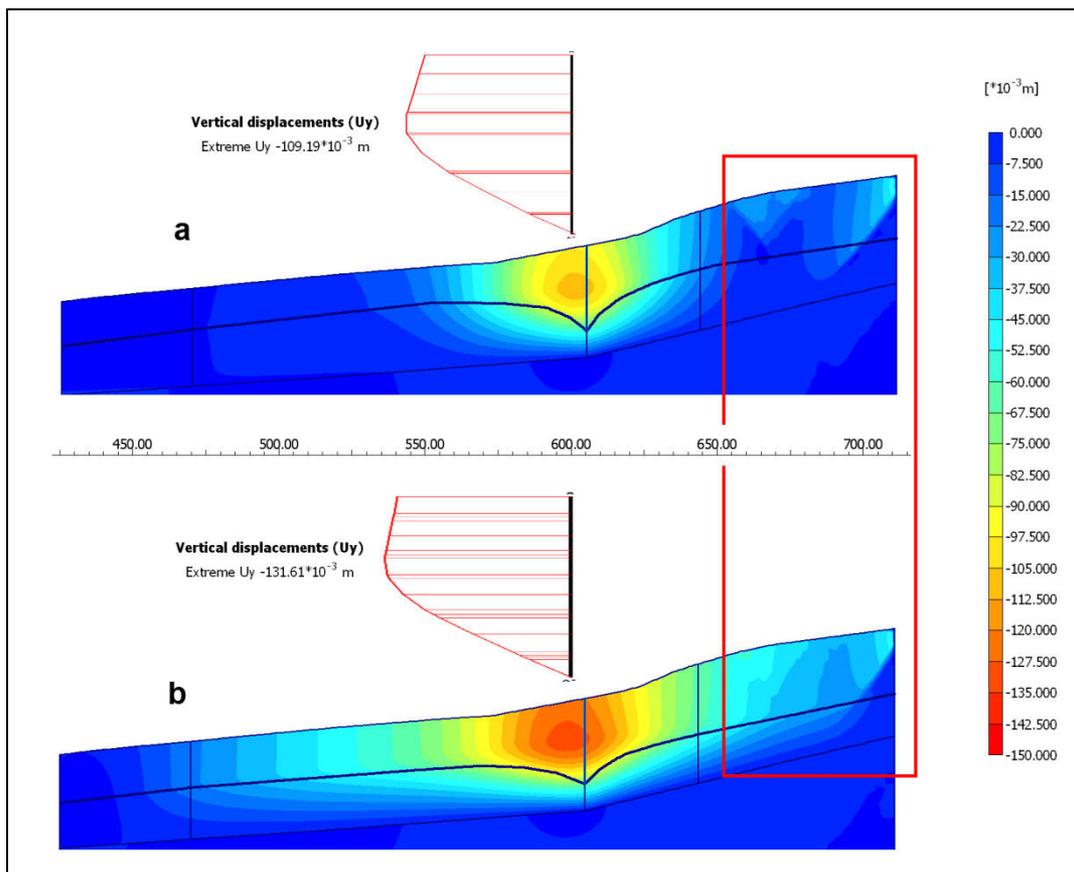
## ESEMPIO: Succiso (RE)



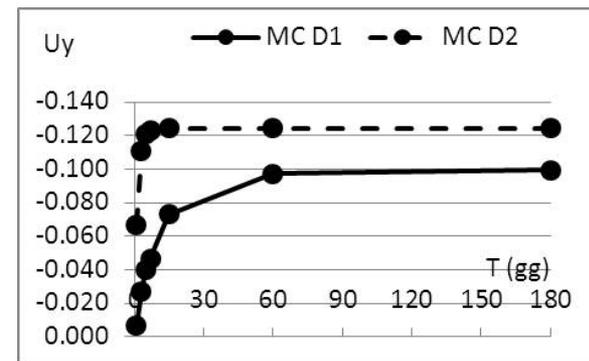
### MODELLAZIONE GEOTECNIA

#### Forward analysis

- ✓ Presenza di opere
- ✓ [Falda Drenata (2 scenari) + paratie al piede]
- ✓ Diversi valori di compressibilità secondaria



Simulazione di  
consolidazione (cedimento)  
potenzialmente indotta  
dall'abbassamento di falda  
dovuto alle opere drenanti  
(R8D1,R8D2)





## **IN CONCLUSIONE** negli ultimi vent'anni...



**Si sono sperimentate ed affinate nuove tecniche**



**Si è (solo) in alcuni casi verificato e quantificato i benefici, ed è ora possibile farlo anche a priori**



**Si sono avuti finanziamenti prevalentemente in fase emergenziale**



**Si sono avute serie difficoltà (economiche) a mantenere le opere**



***a volte, nonostante tutto, i fenomeni naturali hanno comunque fatto il loro corso***



**UNIMORE**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA



*Ateneo fondato nel 1175*  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE E GEOLOGICHE

***grazie dell'attenzione***