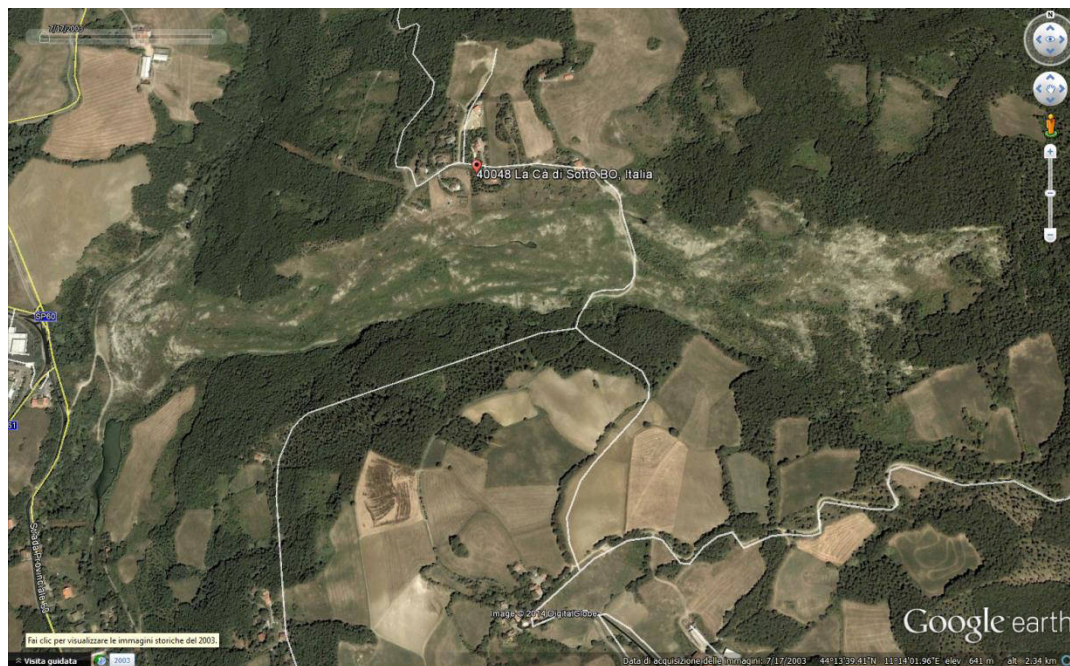




Alessandro Corsini

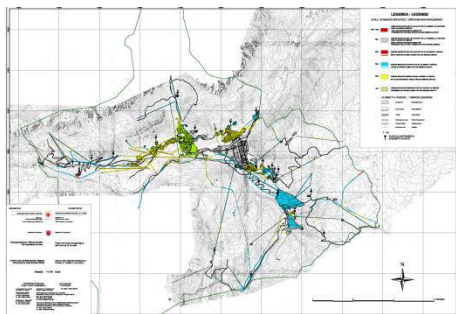
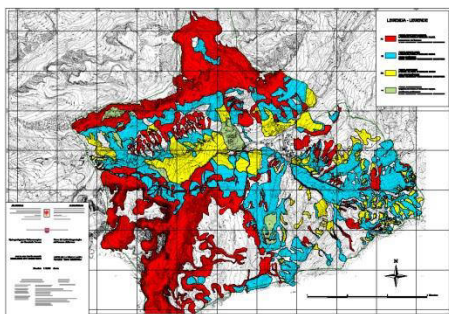
# INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI VERSANTI IN FRANA: *quale efficacia e che durata?*



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 "provvisorie" 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

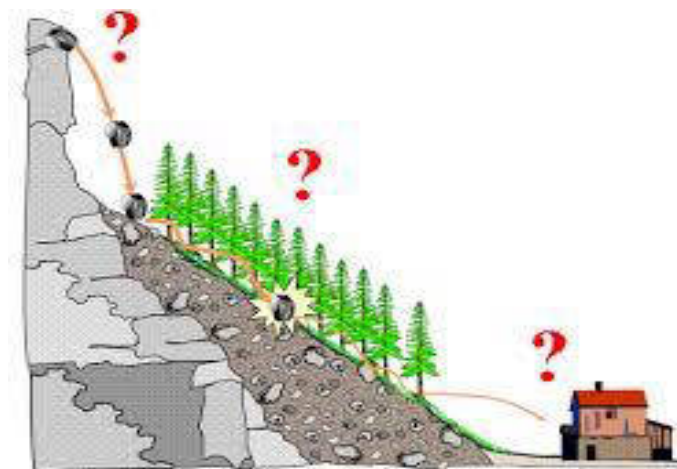
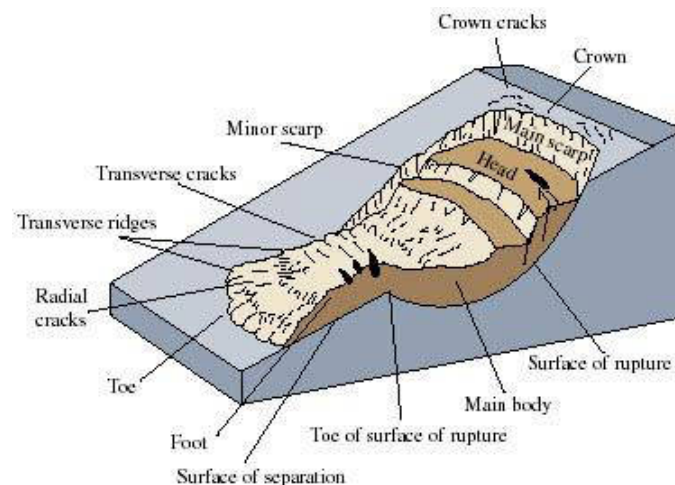
- Ridurre la probabilità di accadimento e l'estensione dell'area potenzialmente instabile (riduzione azioni destabilizzanti e/o incremento resistenze)

### 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

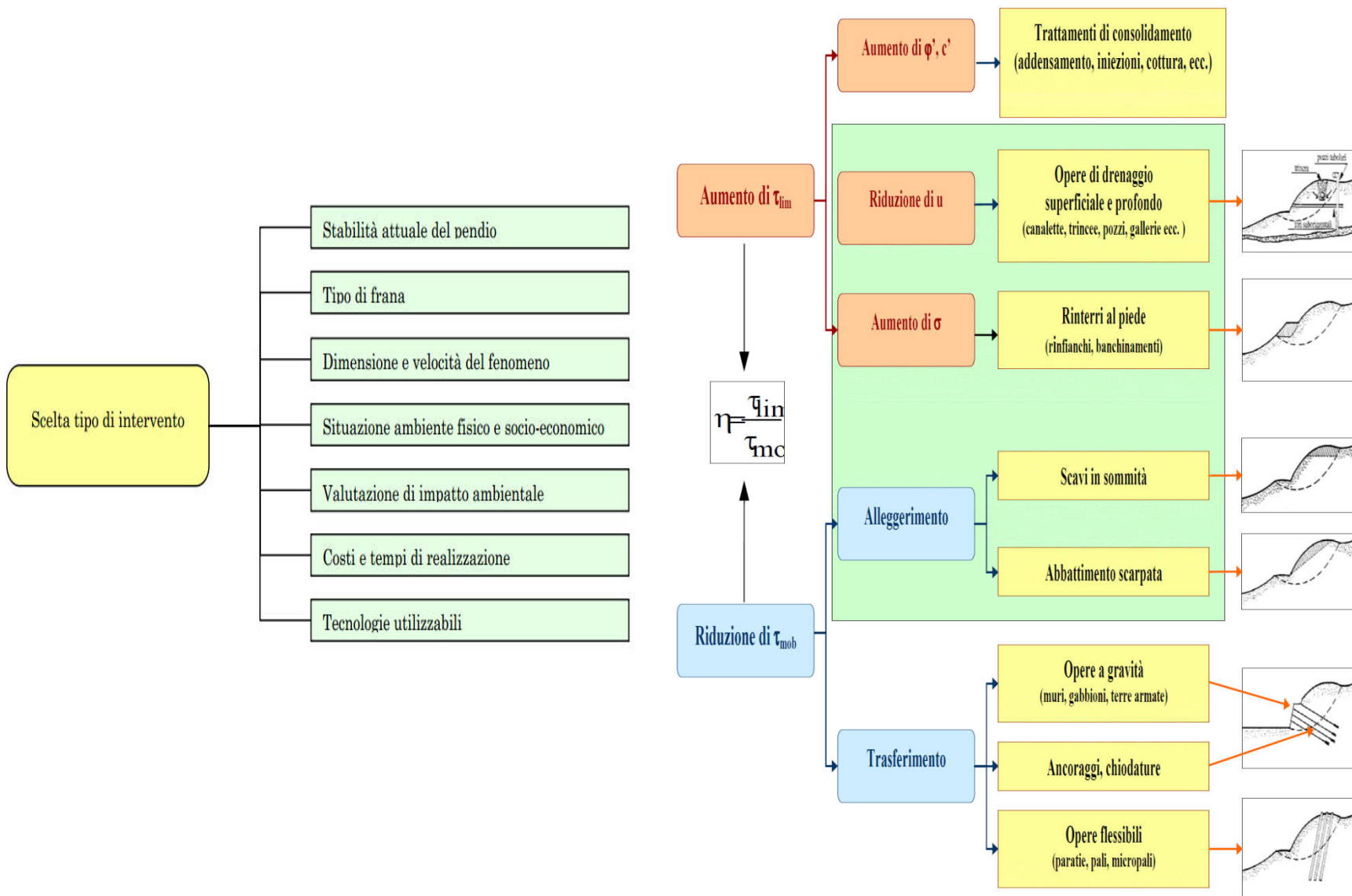


Fig. 1.9 Tipologie di intervento

## FATTORI DI CONDIZIONAMENTO: VELOCITA' DEI MOVIMENTI

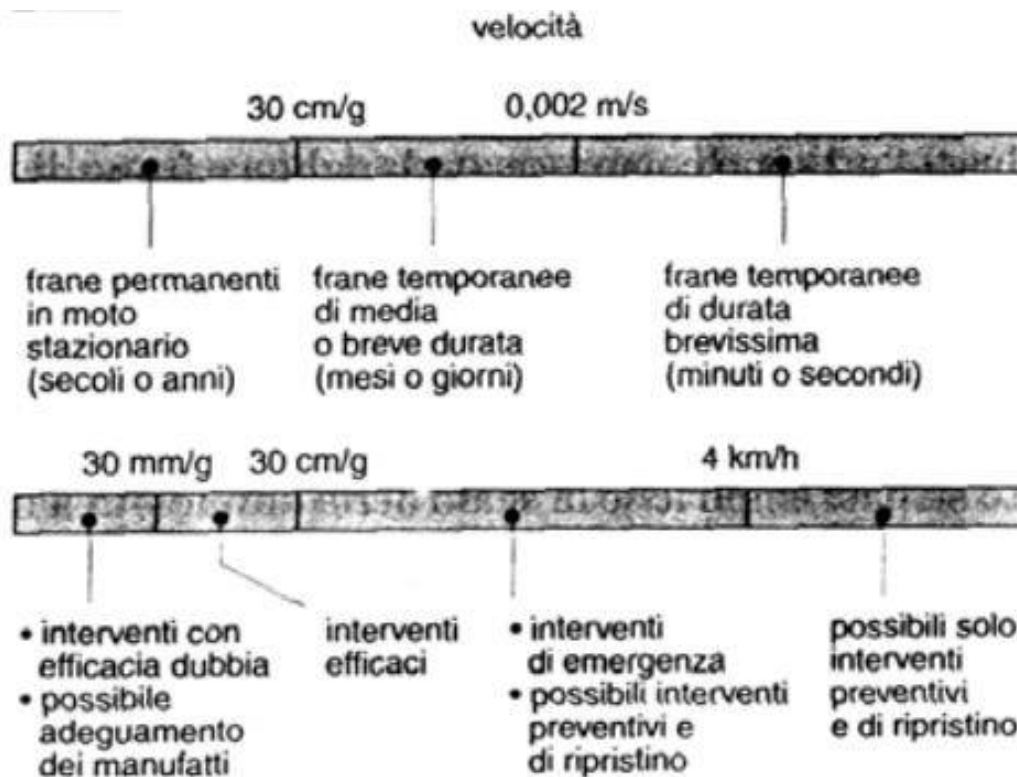


Fig. 1.8 Scala di dannosità delle frane (Hungr, 1981) con indicazione del tipo e dell'efficacia degli interventi di stabilizzazione (Colombo & Colleselli, 1996)





## FATTORI DI CONDIZIONAMENTO: VELOCITA' DEI MOVIMENTI

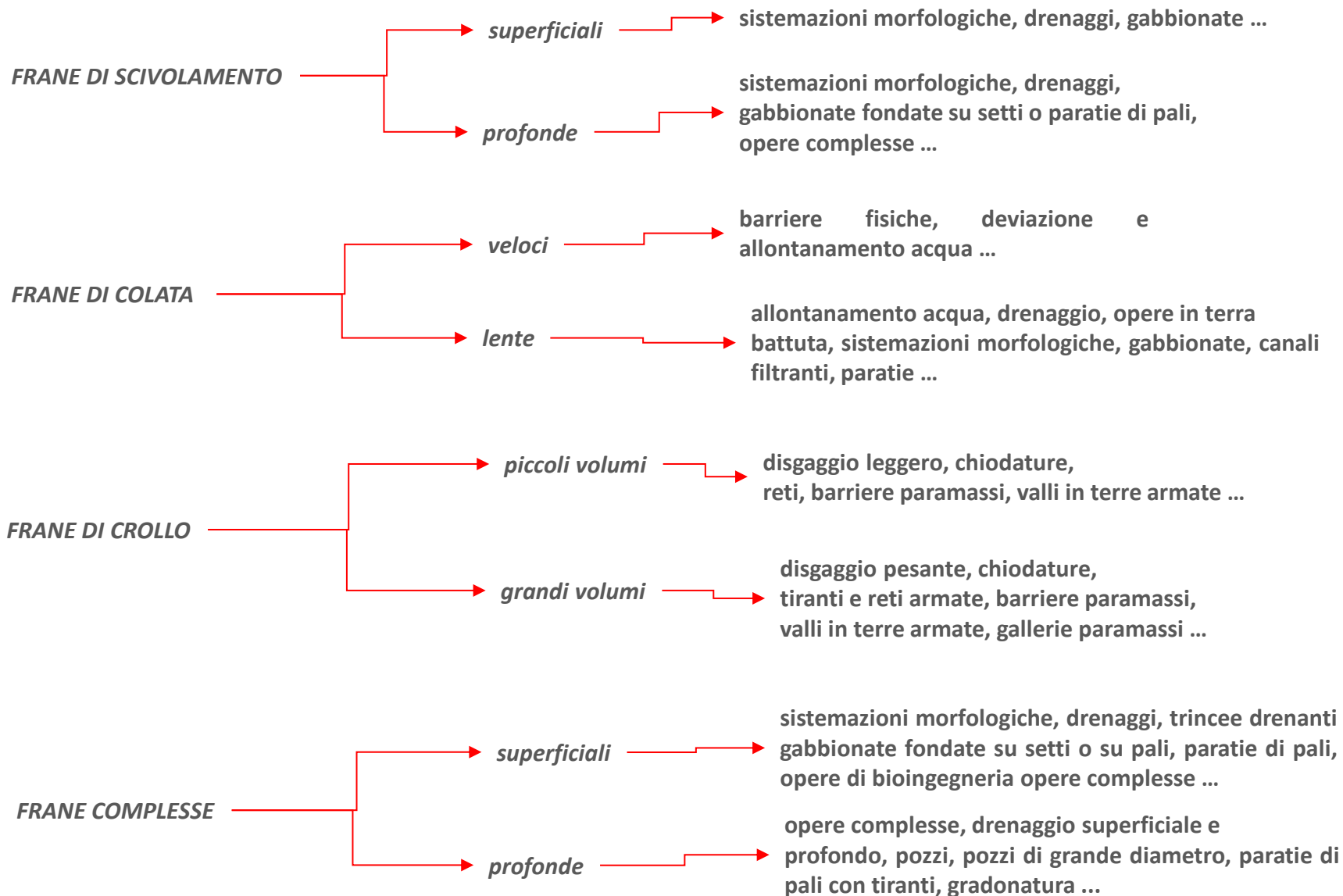
FRANE IN EMILIA-ROMAGNA

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

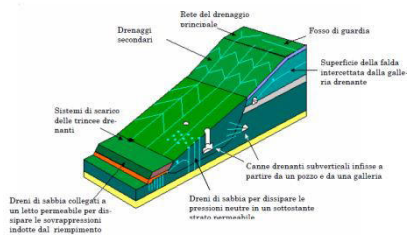


Fig. 2.7 Schemi di drenaggio superficiali e profondi





## OPZIONI POSSIBILI

### RIPROFILATURA MORFOLOGICA



### BANCHE IN TERRA BATTUTA



### GRADONATURA



### GABBIONATE



### MURI DI CONTENIMENTO

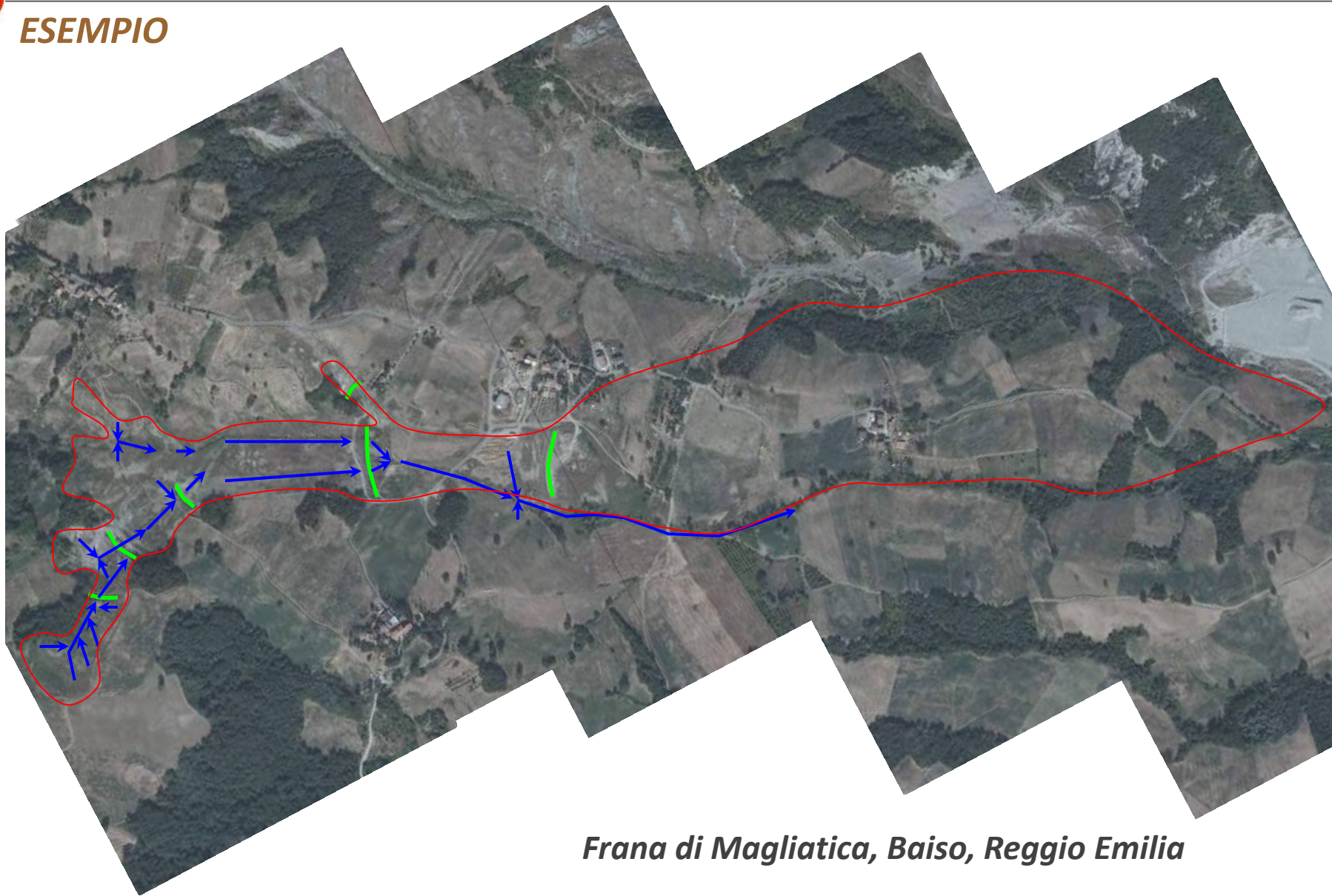


### MURI DI CONTENIMENTO SU PARATIE DI PALI E TIRANTI

COMPLESSITA' PROGETTUALE



## ESEMPIO



***Frana di Magliatica, Baiso, Reggio Emilia***





## ESEMPIO



*Foto G. Truffelli – RER-STB-Po*



## ESEMPIO



*Frana di Rossena, Reggio Emilia*



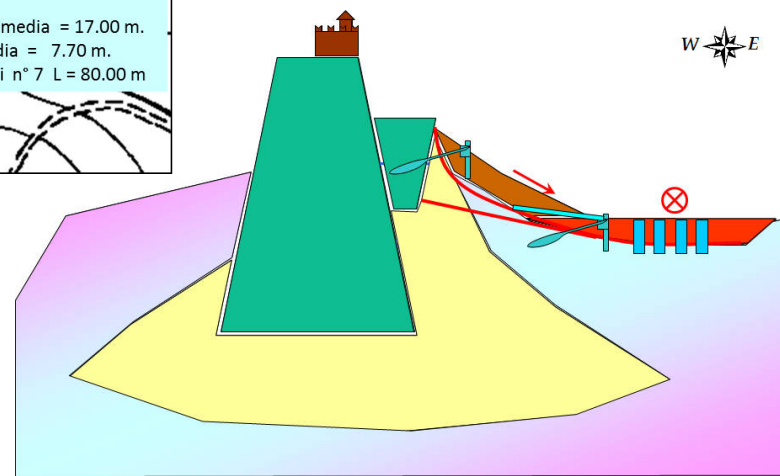
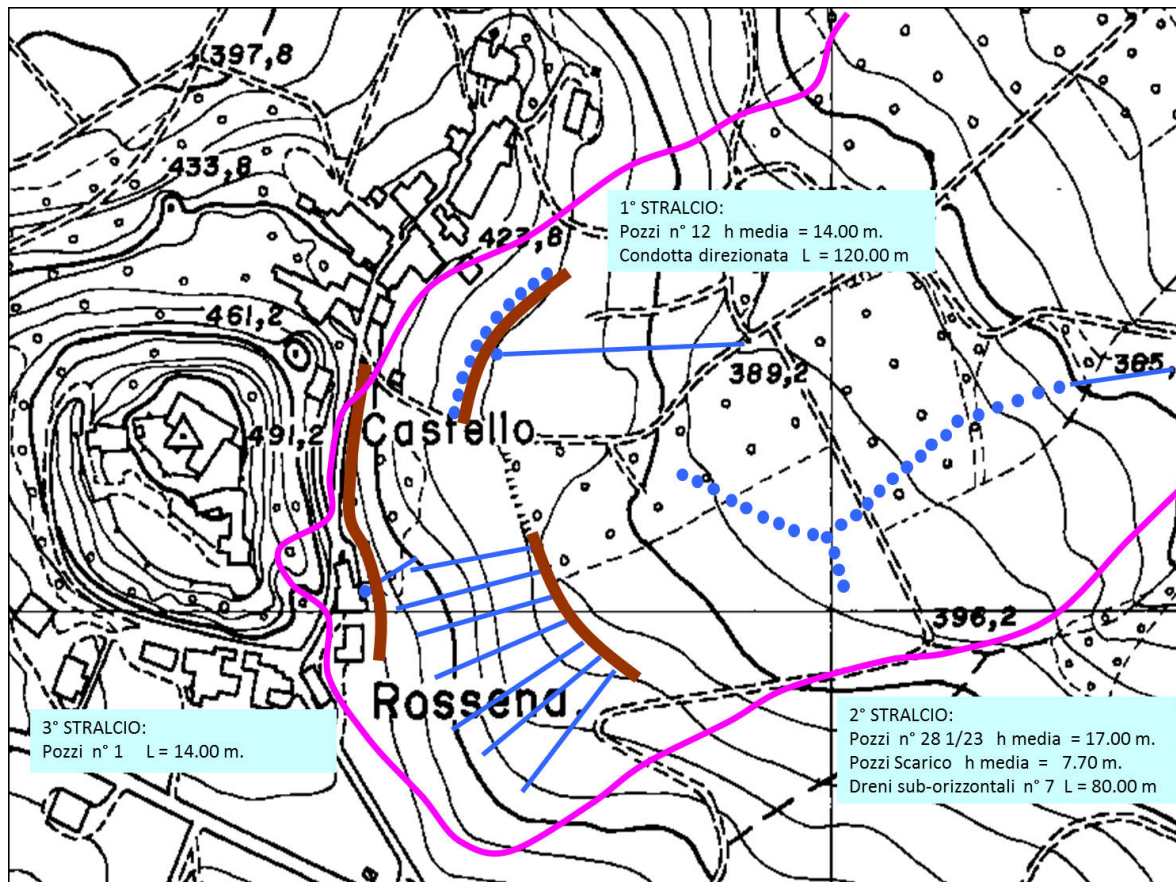


## ESEMPIO





## 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

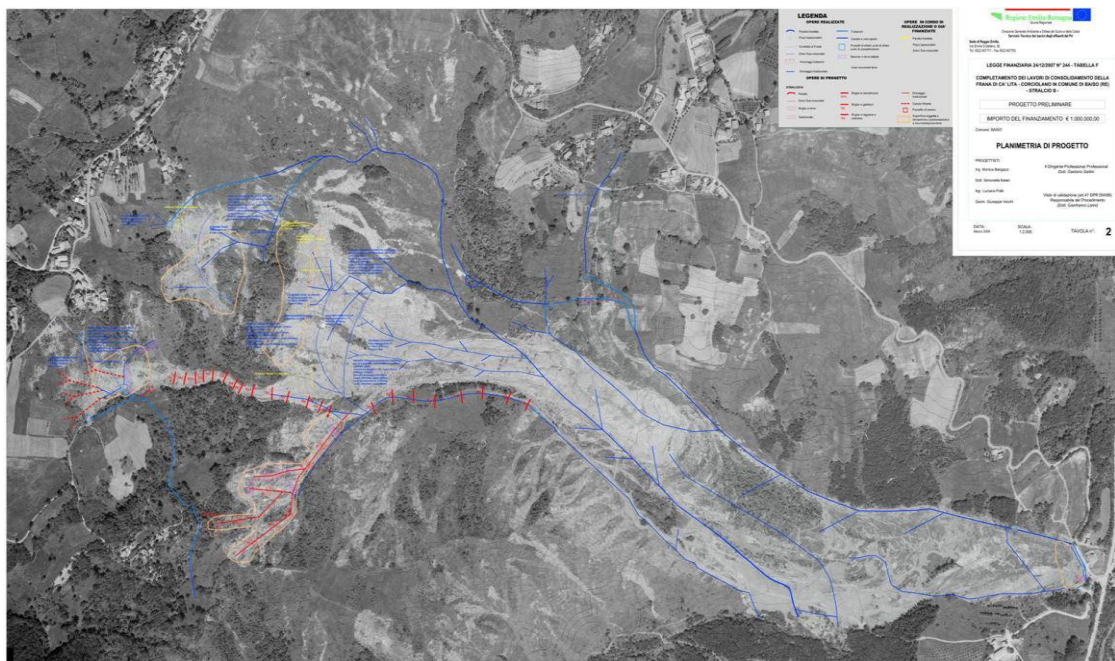


Foto G. Bertolini – RER-STB-Po

Frana di Cà Lita, Baiso, Reggio Emilia



# ESEMPIO

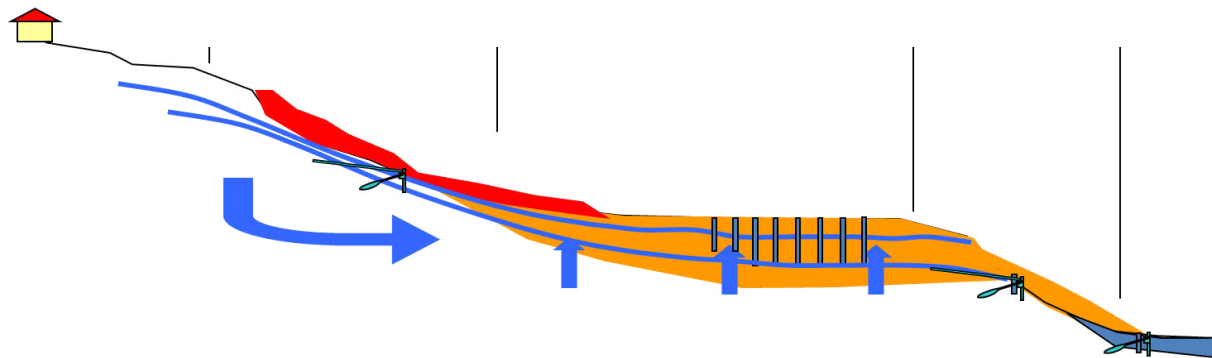
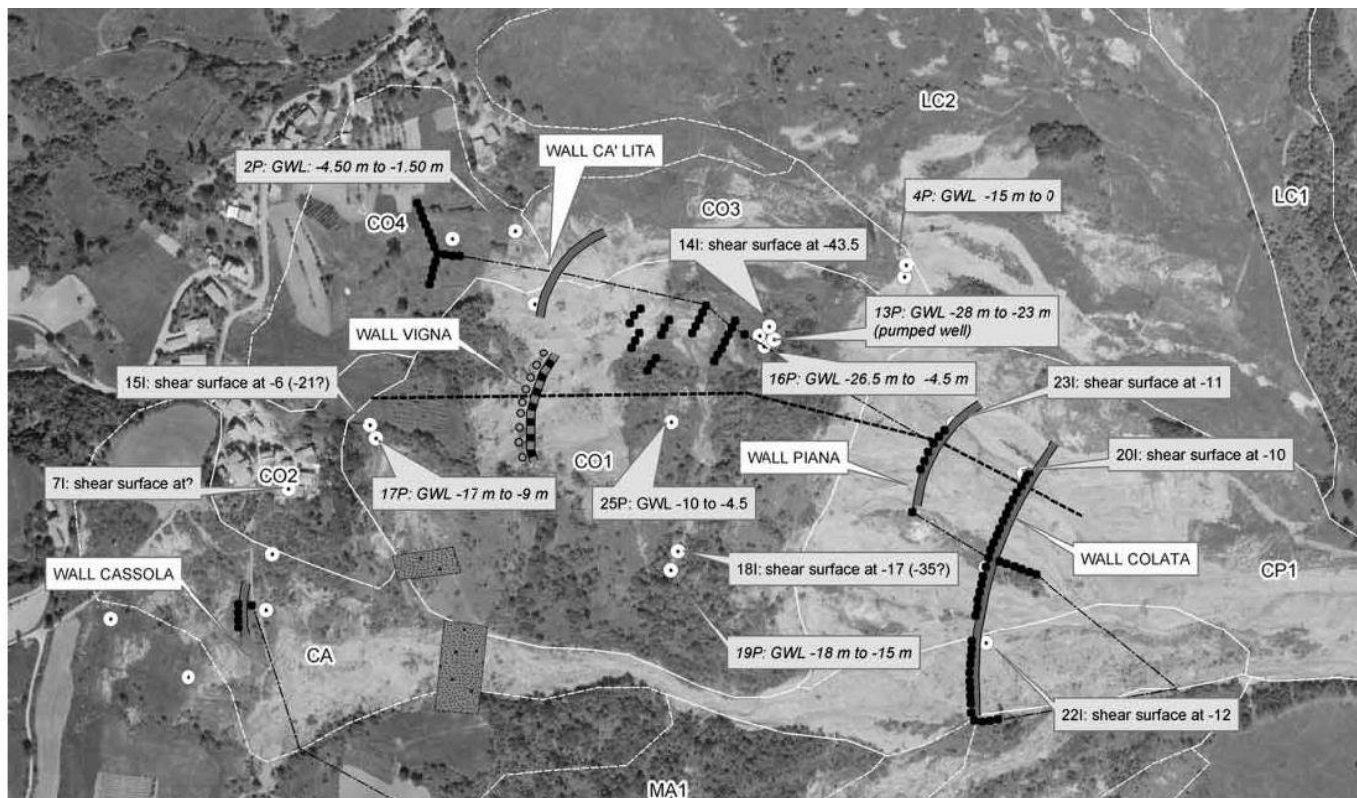


Frana di Cà Lita, Baiso, Reggio Emilia





## ESEMPIO



Frana di Cà Lita, Baiso, Reggio Emilia



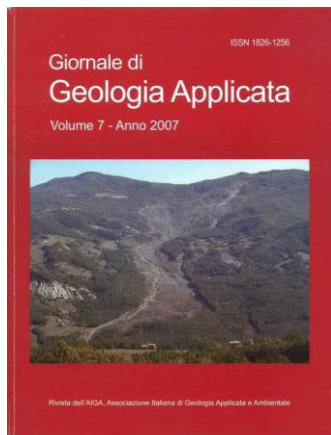
## ESEMPIO







## 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

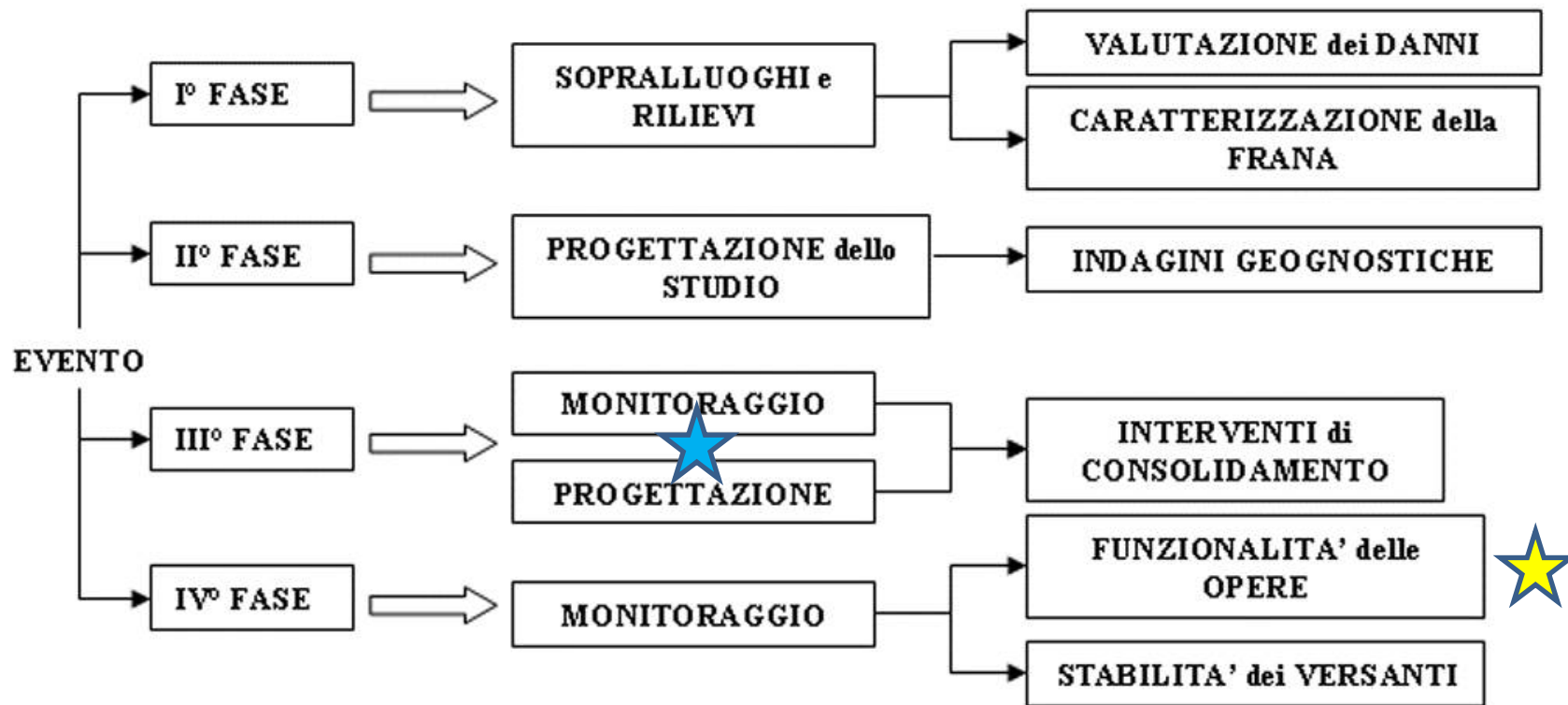
**Studio, mitigazione e monitoraggio della frana di crollo coinvolgente la strada comunale "Tagliole-Lago Santo" (Comune di Pievepelago, Appennino modenese).**

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

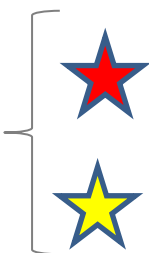
**Visualizza PDF - Scarica PDF**



## FASI OPERATIVE



**VALUTAZIONE  
EFFICACIA  
DELLE OPERE**



**A PRIORI**

**A POSTERIORI**

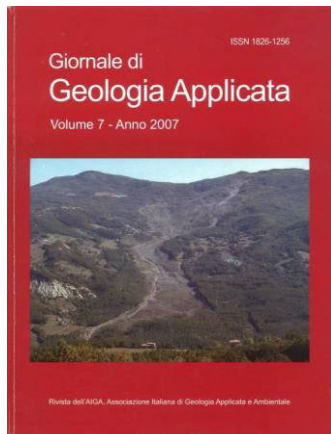
*qualitativa*  
*quantitativa*

(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

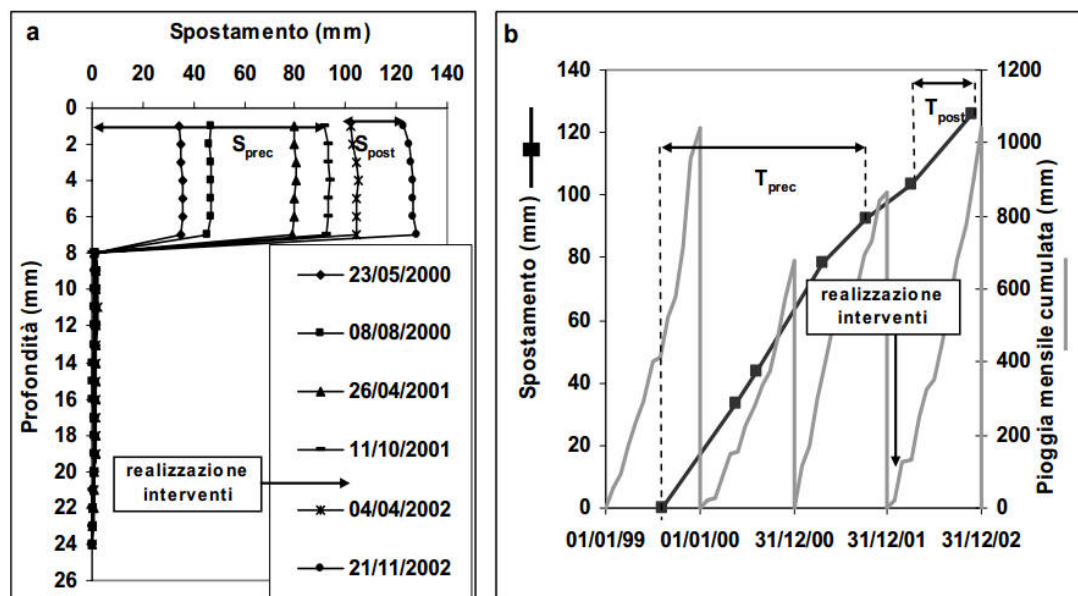


Fig. 2 – Esempio di interpretazione delle letture inclinometriche (13 - Matella). a) profilo inclinometrico; b) andamento degli spostamenti al piano campagna nel tempo e pioggia mensile cumulata (stazione pluviometrica di Invaso, 485 m s.l.m.). ( $S$ : spostamento alla superficie,  $T$ : intervallo di 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

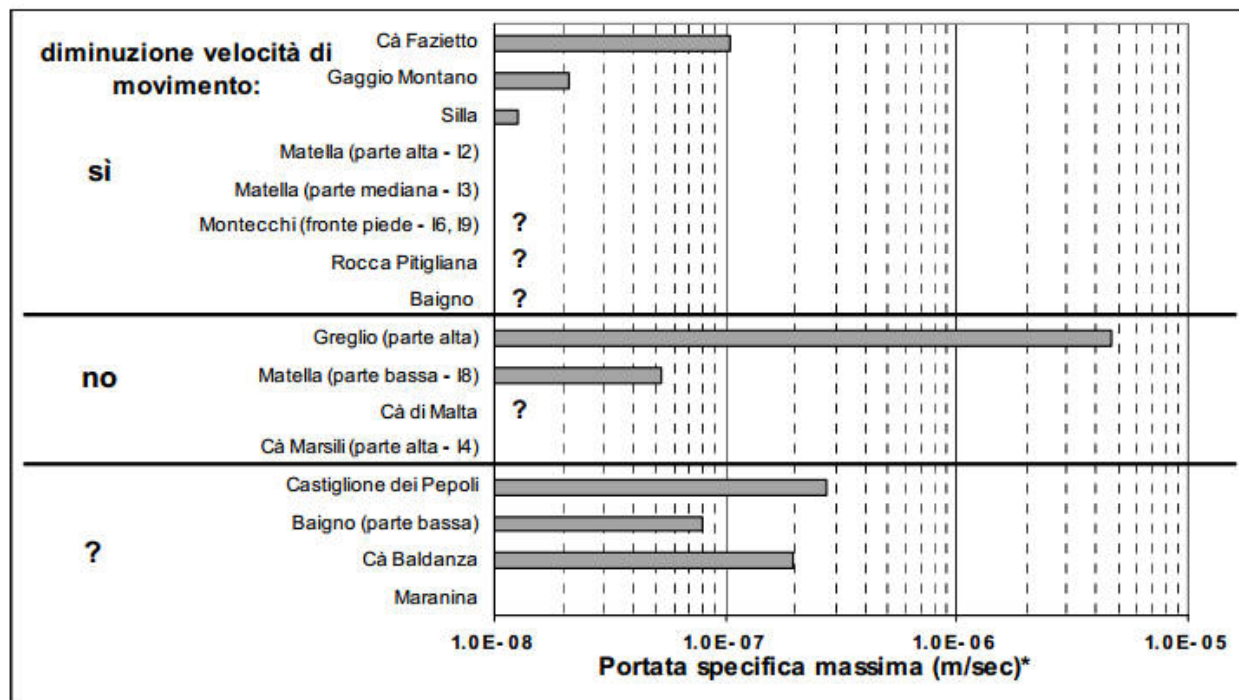


Fig. 4 –Valori di portata massima misurata allo scarico dei drenaggi (\*normalizzata rispetto alle dimensioni dei drenaggi)

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)	ϕ' (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	z (m)	β (°)	h <sub>w</sub> (m)		Fs		ΔFs
						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

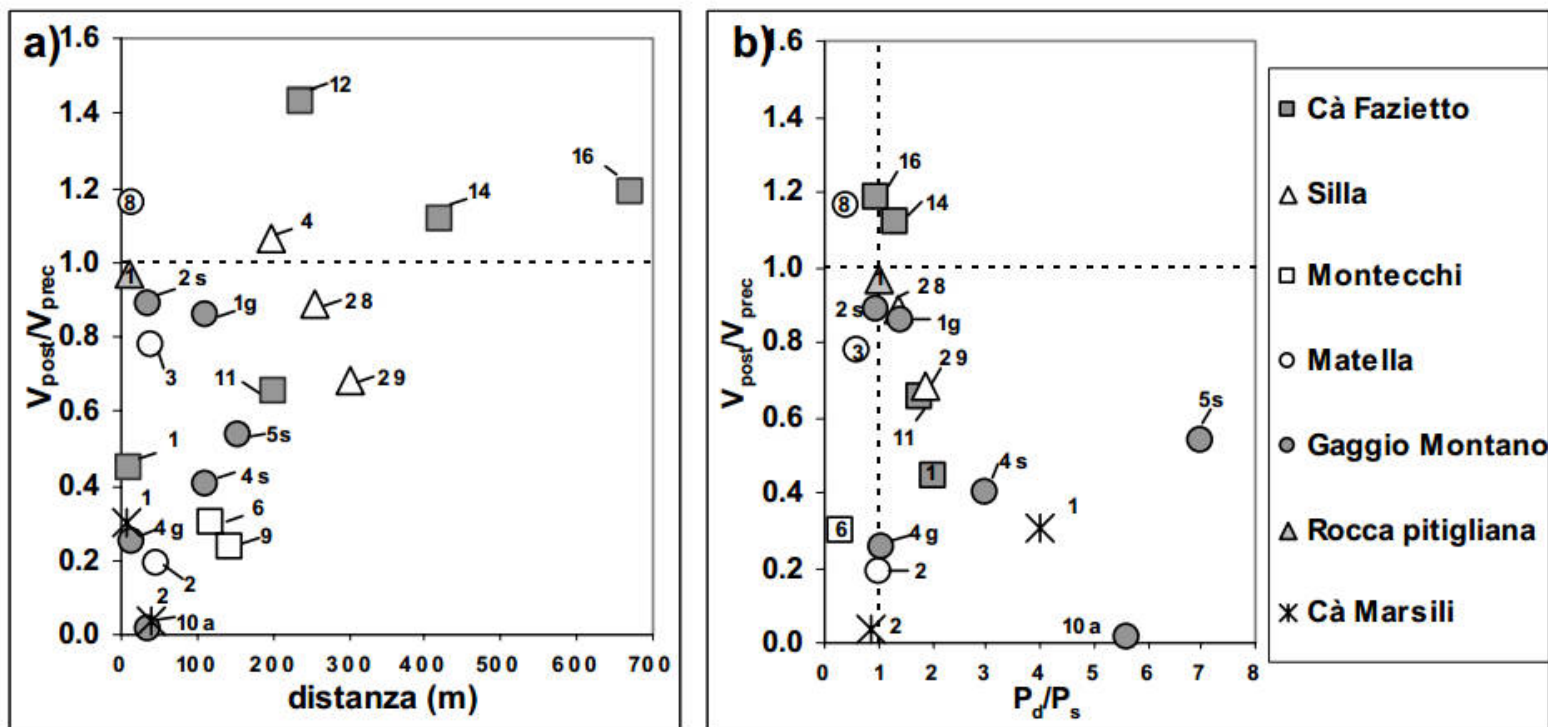


Fig. 3 – Confronto tra la variazione di velocità di spostamento precedente e successiva gli interventi di stabilizzazione: a) con la distanza dei punti di misura dalle opere; b) con la profondità di posa dei drenaggi ( $P_d$ ) normalizzata rispetto alla profondità della superficie di rottura ( $P_s$ ) ( $P_d/P_s < 1$ : 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

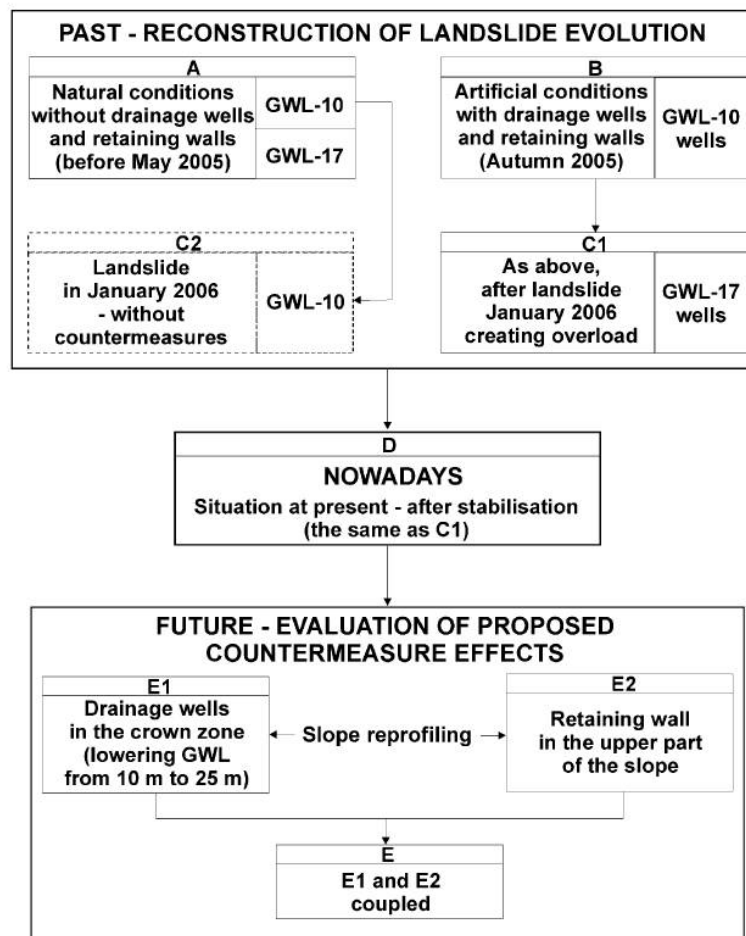




## VALUTAZIONE A PRIORI



## MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA + MODELLAZIONE GEOTECNIA

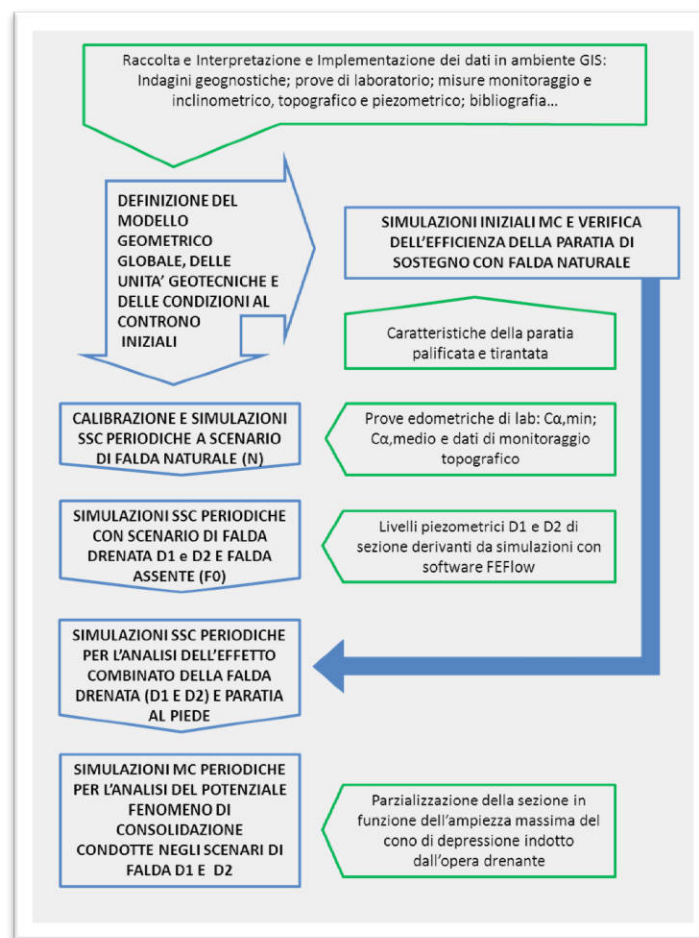
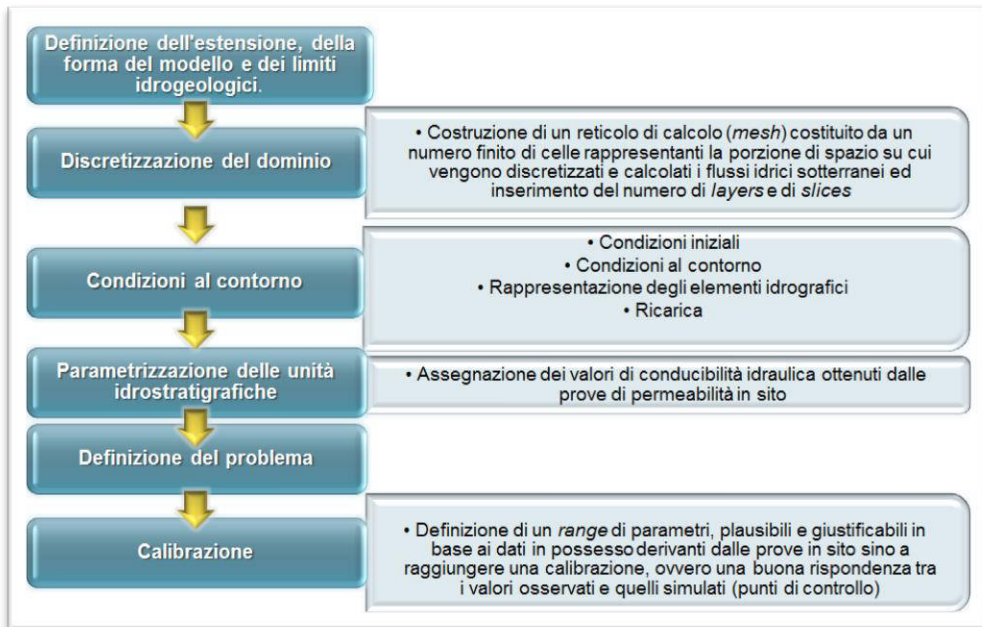




## VALUTAZIONE A PRIORI



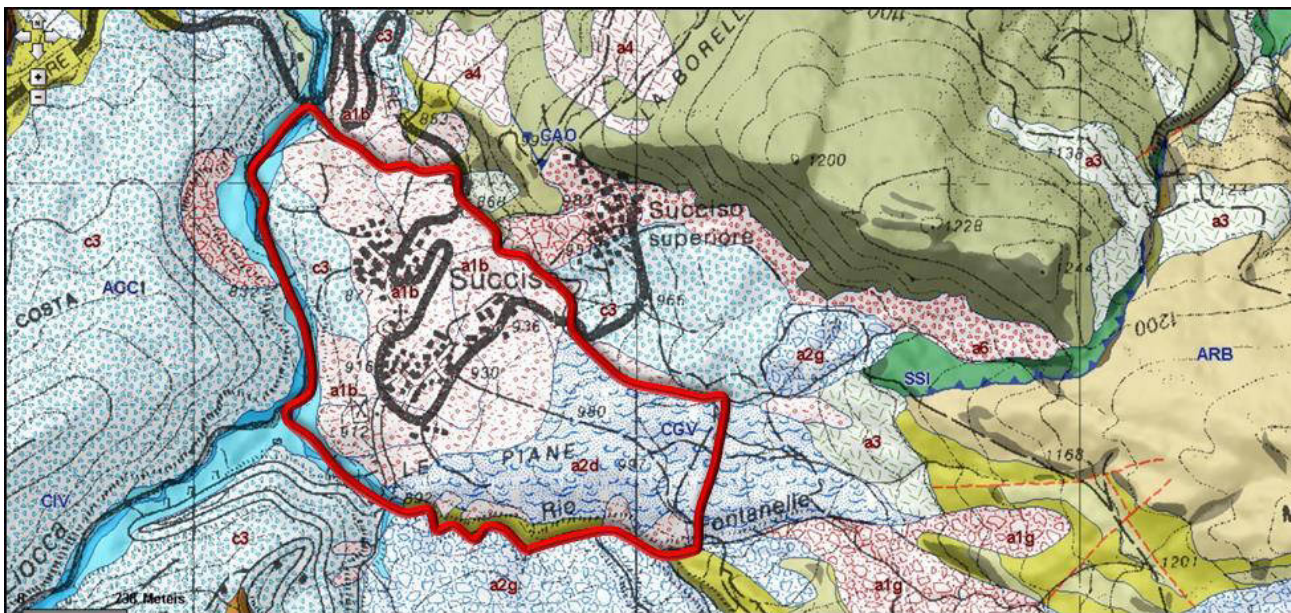
# MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA + MODELLAZIONE GEOTECNIA







## 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)

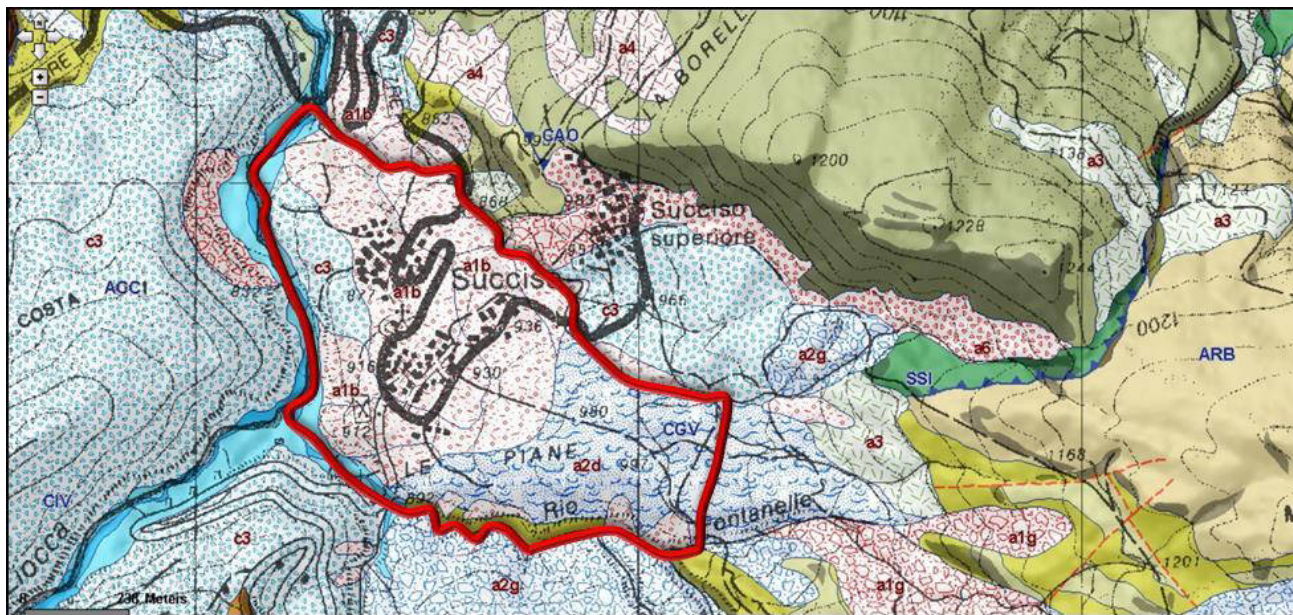
### Liguri

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





## ESEMPIO: Succiso (RE)

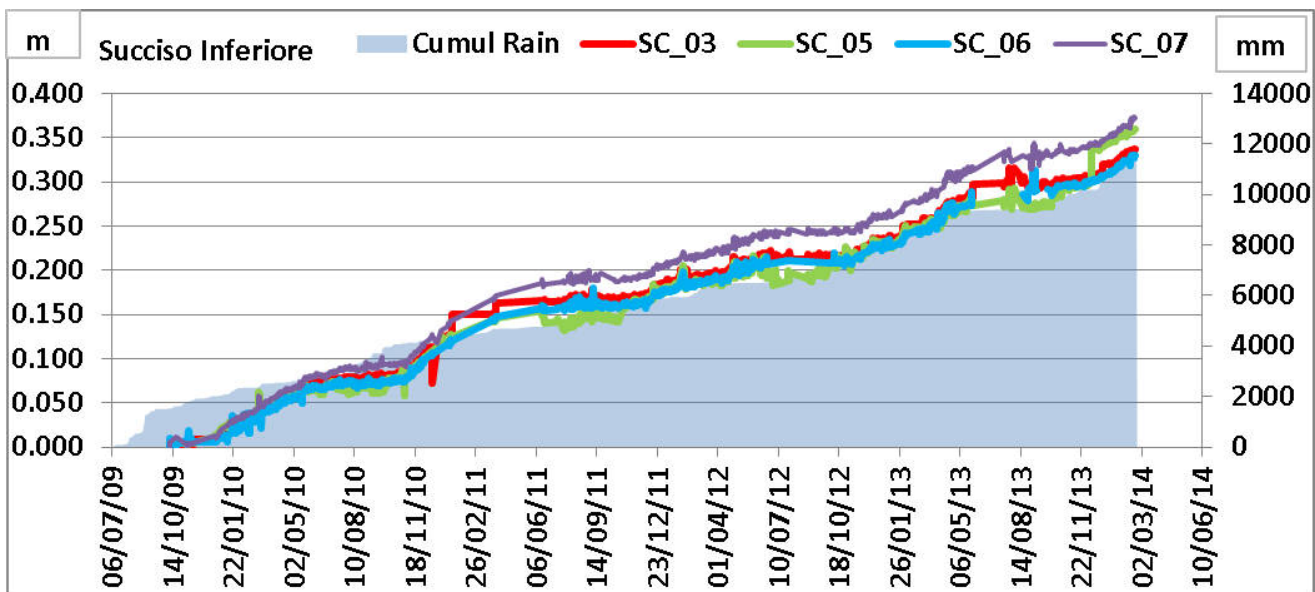
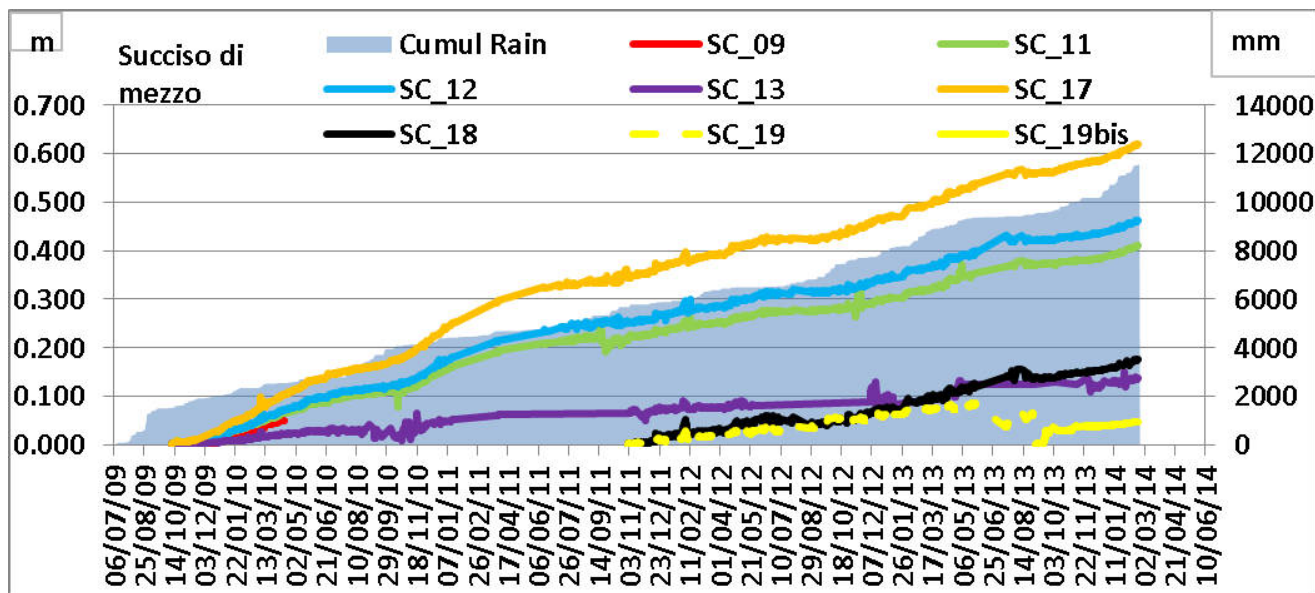


The landslide is named after the village of Succiso, that was damaged by acceleration of earth slide movements in 1951, 1952 and, quite severely, in 1966 and 1972. Succiso was first declared, according to law 445/1908, as “to be consolidated” (DPR n 201 of 14/02/1957) and, later on, as “to be transferred” (DL n°976 of 18/12/1966 – G.U. 24/4/70). From 1972 to 2008 the landslide did not underwent any other particular acceleration event and presumably, it moved at rates in the order of few cm/year, as it does presently. Consequently, the village of Succiso was again re-classified as “to be consolidated” (DGR n° 686 of 12/05/2008). Following such





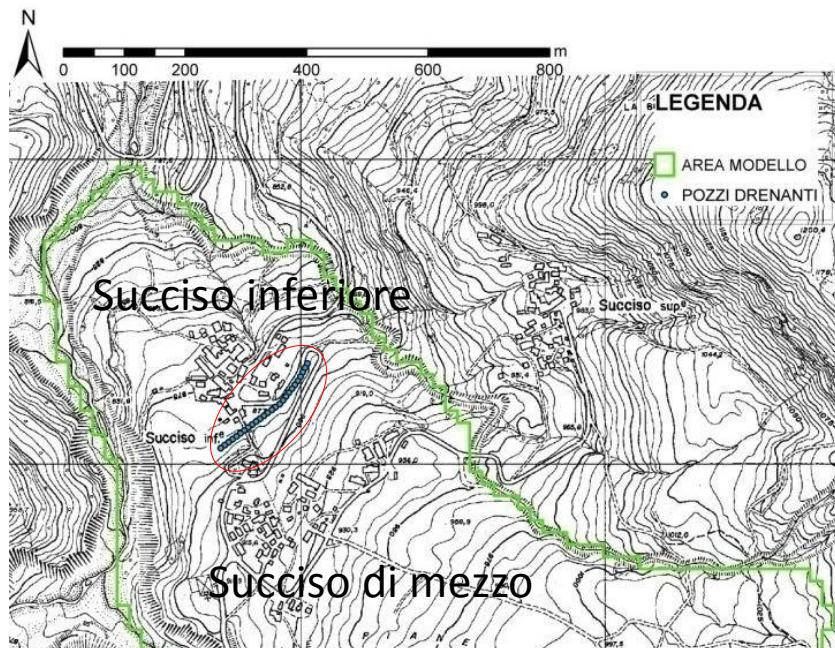
## ESEMPIO: Succiso (RE)





## ESEMPIO: Succiso (RE)

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









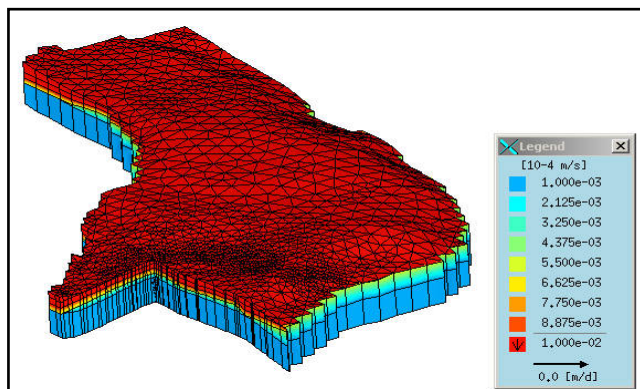
## ESEMPIO: Succiso (RE)



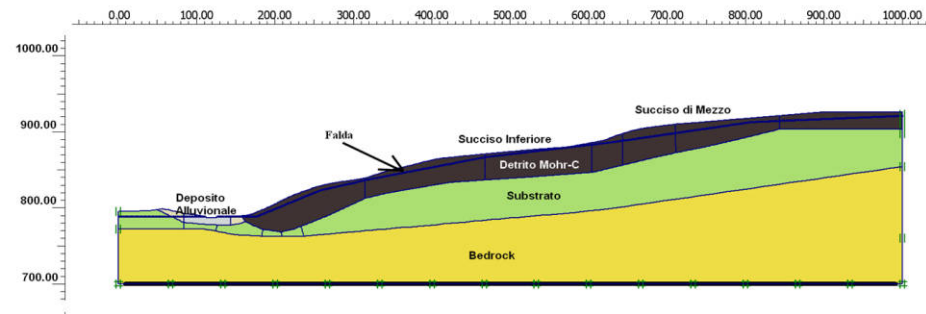
### MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA + MODELLAZIONE GEOTECNIA

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







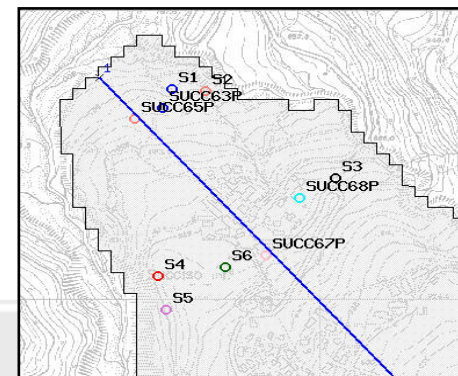
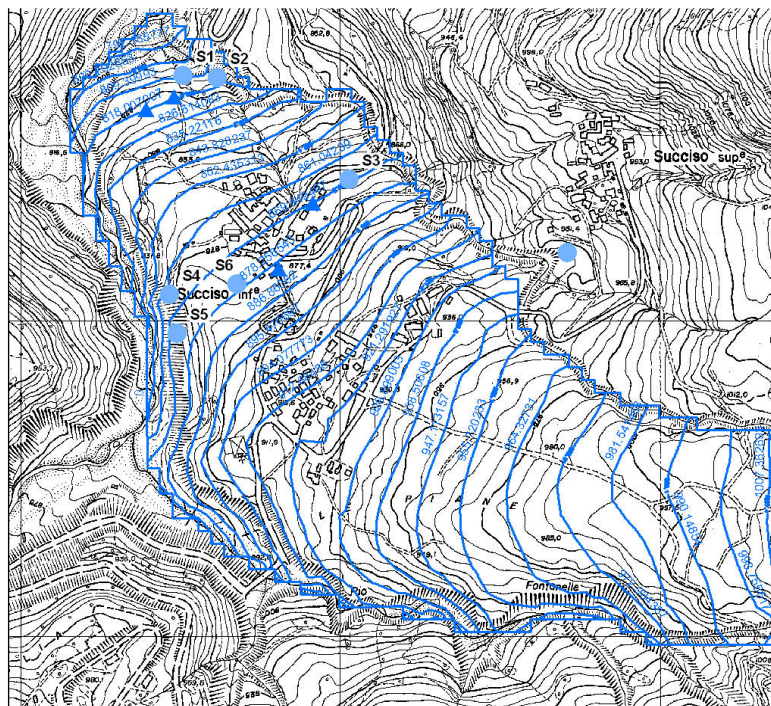
## ESEMPIO: Succiso (RE)



### MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA

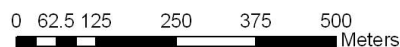
#### Calibrazione sui dati di monitoraggio

- ✓ 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





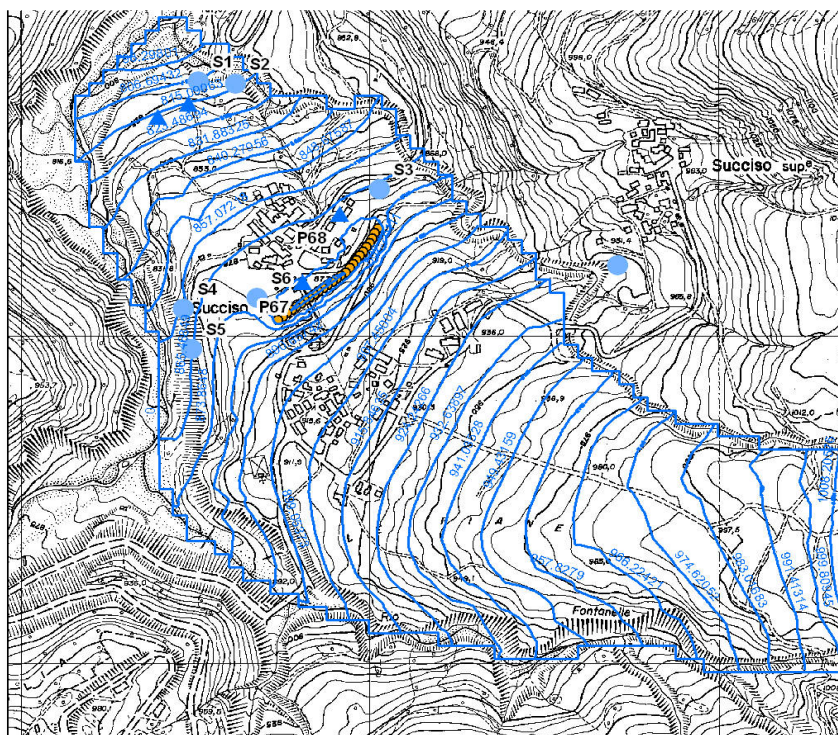
## ESEMPIO: Succiso (RE)



### MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA

#### Forward analysis

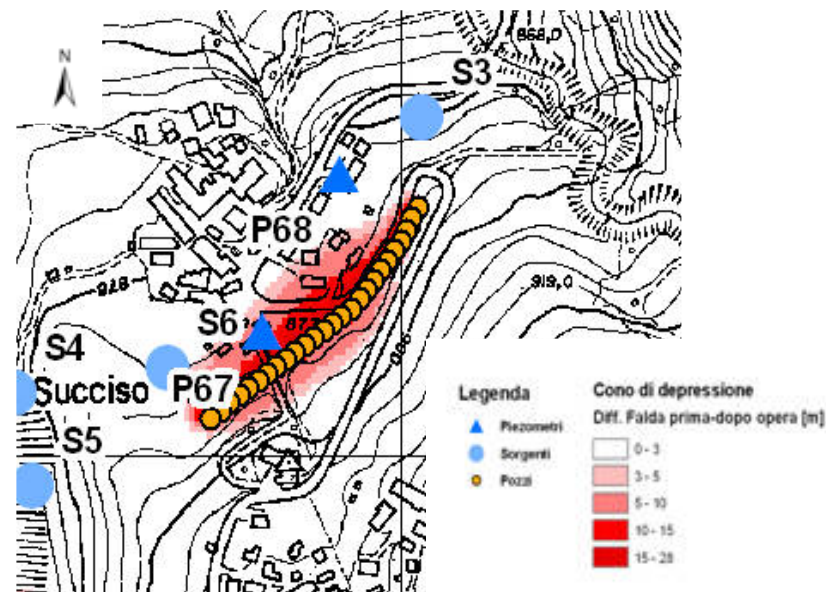
- ✓ Presenza di opere (pozzi)
- ✓ Diversi scenari  $k$  idraulica



#### Legenda

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

0 62.5 125 250 375 500 Meters



- 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



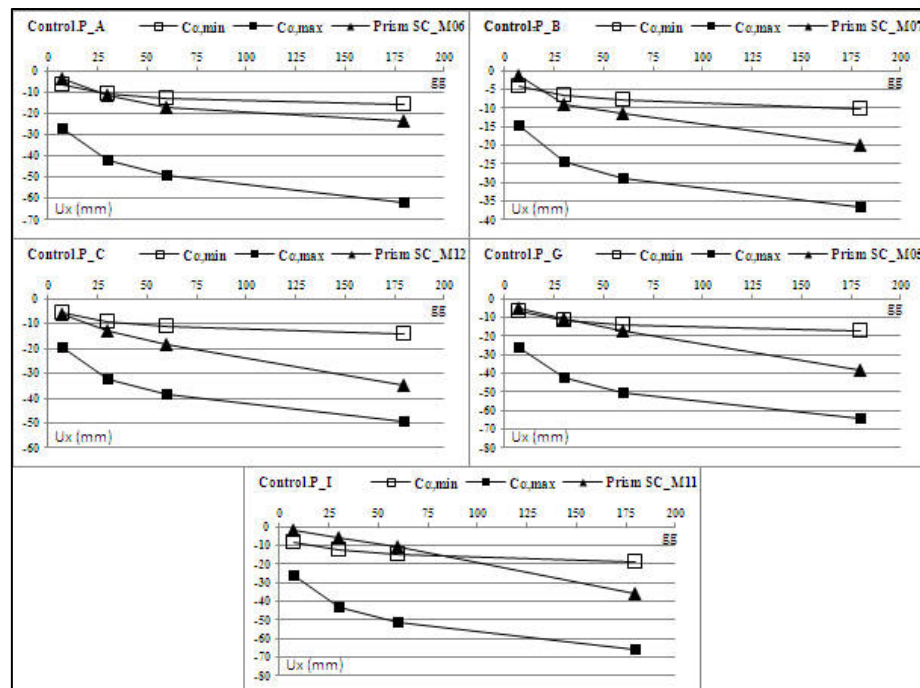
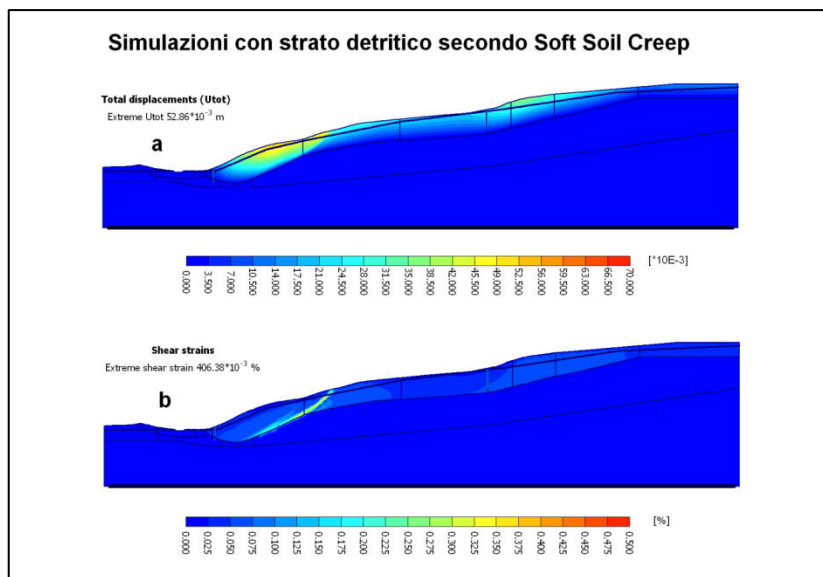
## ESEMPIO: centro abitato di Succisa (RE)



### 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

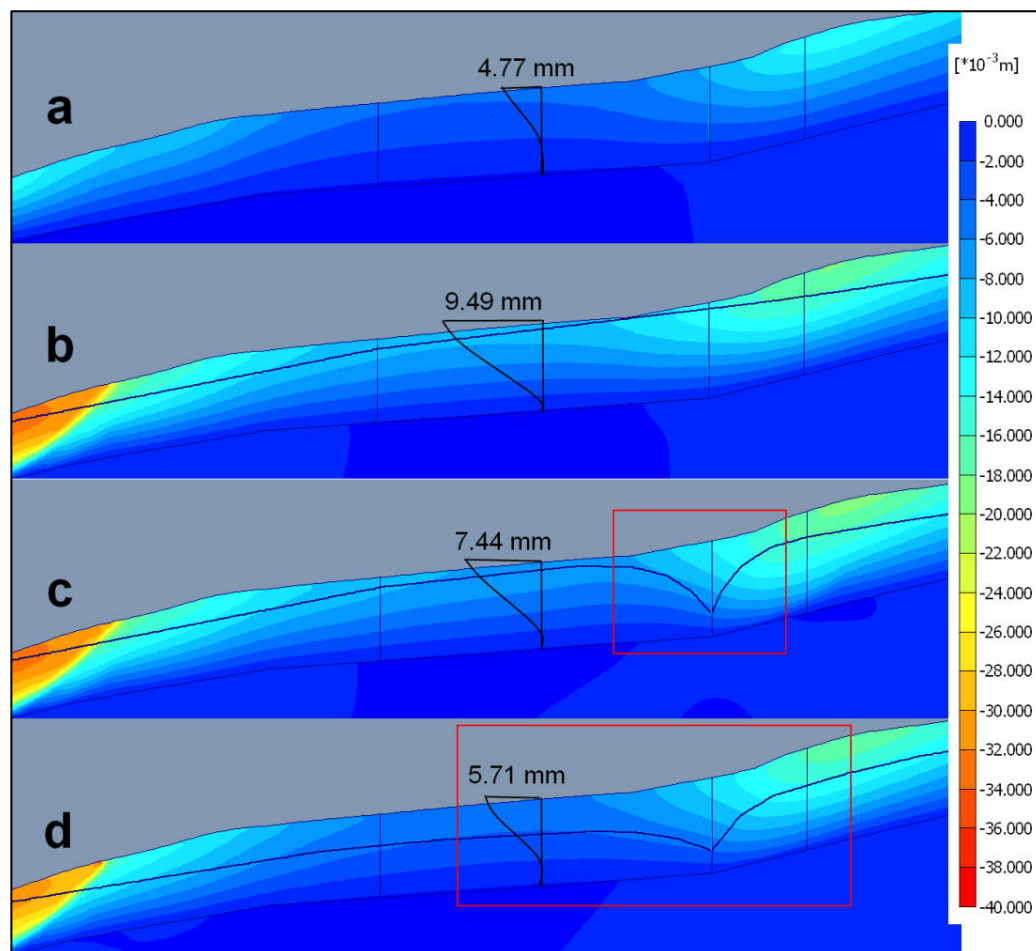
### Forward analysis

#### 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)



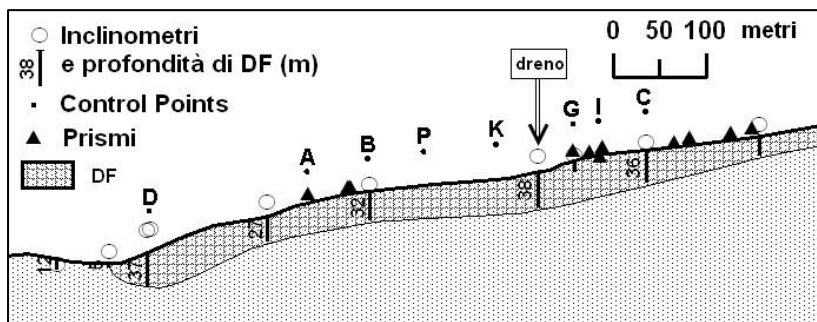
### MODELLAZIONE GEOTECNIA

#### Forward analysis

✓ Presenza di opere

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

✓ Diversi valori di compressibilità secondaria



#### Modello SSC

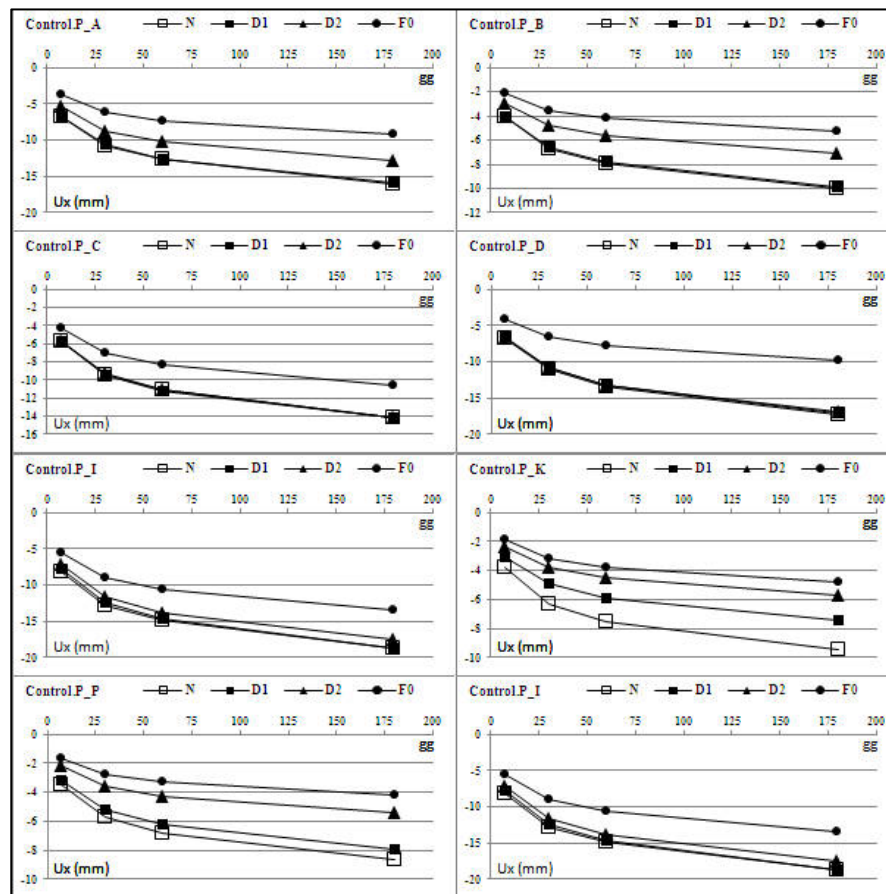
Confronto degli spostamenti orizzontali (Ux) calcolati nei Control Points nei diversi scenari di falda:

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)



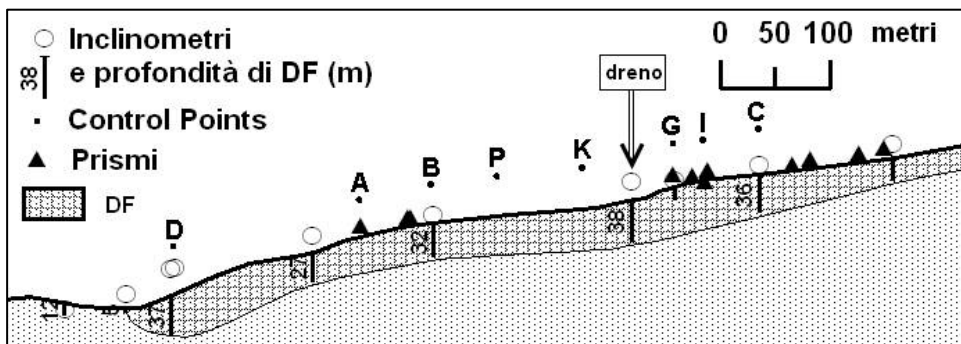
### MODELLAZIONE GEOTECNIA

#### Forward analysis

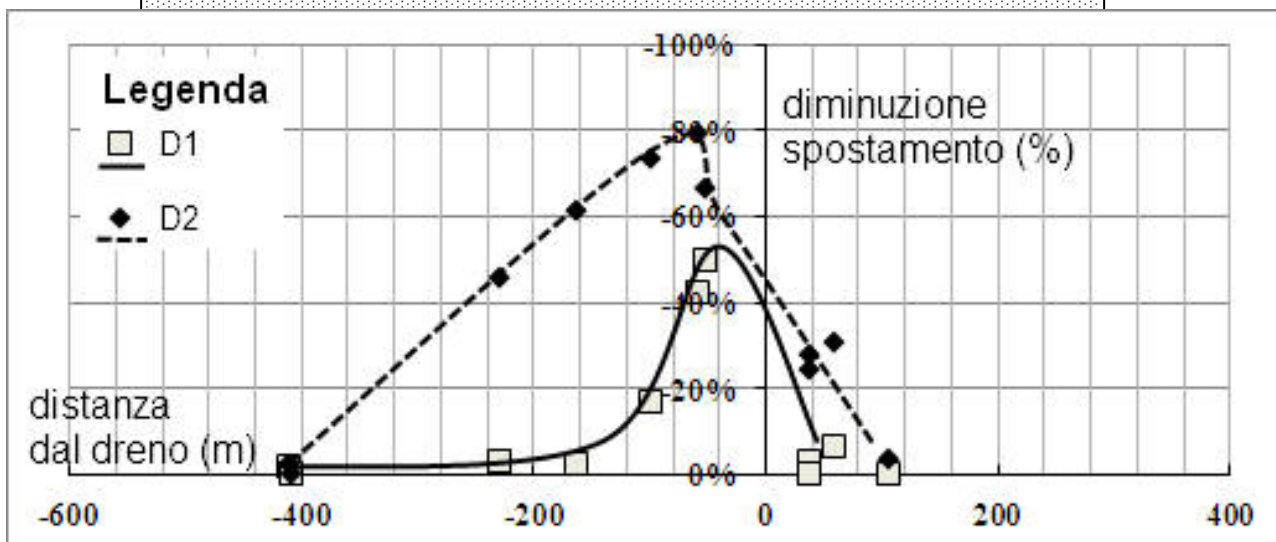
✓ Presenza di opere

✓ [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)







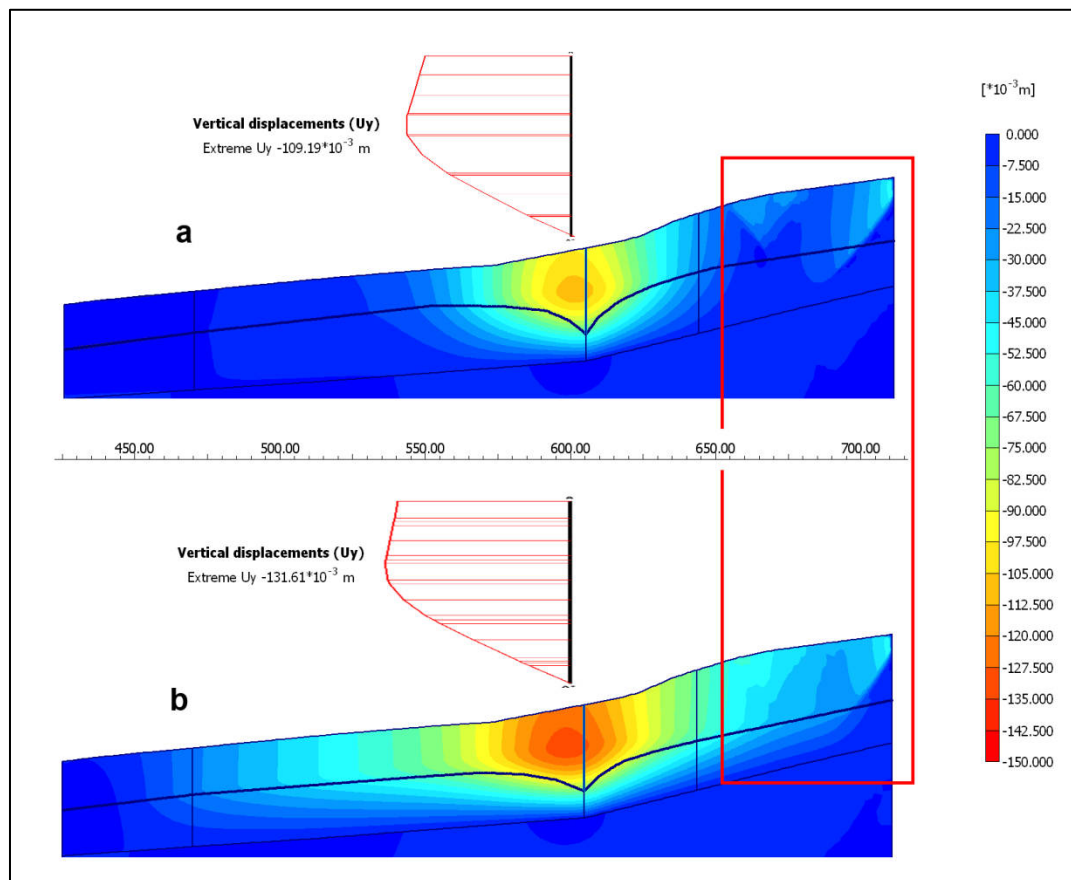
## ESEMPIO: Succiso (RE)



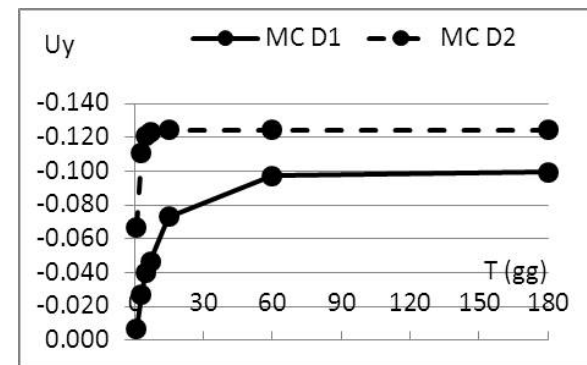
### MODELLAZIONE GEOTECNIA

#### 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)

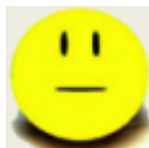




## **IN CONCLUSIONE** negli ultimi vent'anni...



**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***