

Quale approccio nella prevenzione del rischio da frane pluvio-indotte?

*Le attività dell'Università di Brescia nei settori della
geotecnica per la difesa del territorio*

Lorella Montrasio

convegno tecnico

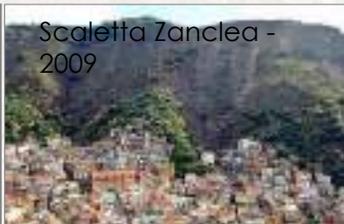
Acqua e cambiamenti climatici
rischi, sfide ed opportunità



Cosa sono le frane pluvio indotte (SOIL-SLIP)

- Movimenti franosi che coinvolgono sottili strati della coltre detritica superficiale, innescati da piogge intense.
- Una volta innescati, possono evolvere in colate di detrito o fango, che procedono verso valle a velocità sostenute (sino a $10 \text{ m/s} = 35 \text{ km/h}$) con alto potere distruttivo.

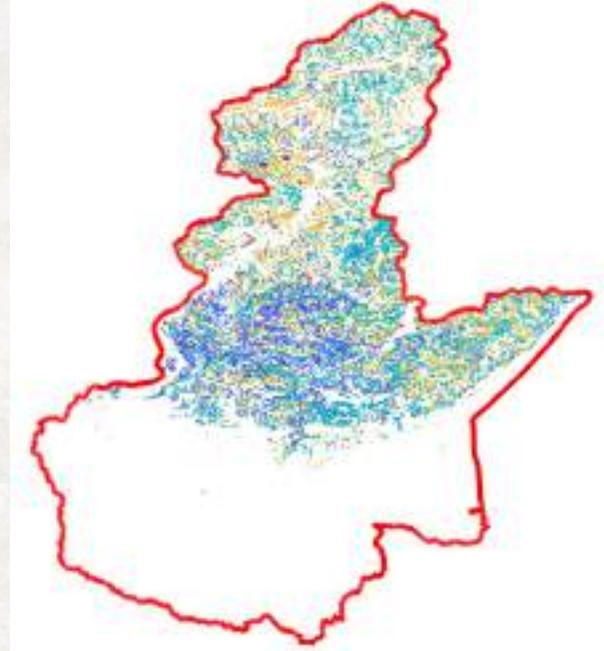
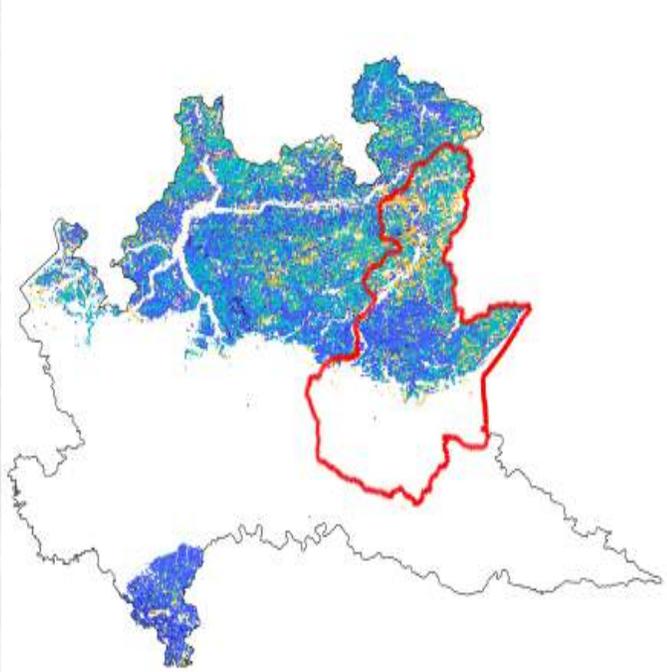
Ve ne sono esempi su tutto il territorio montuoso e collinare nazionale



Il territorio italiano è stato molto colpito da eventi franosi indotti da pioggia e i danni prodotti sono ingenti.

L'Emilia Romagna e la Lombardia le Regioni più colpite. Per la Lombardia, la Provincia di Brescia quella con la maggior numerosità di frane.

In Italia 7,6 miliardi di euro nel periodo 2013-2016. Nella Regione Emilia Romagna sono state registrate 70.037 frane nel 2005, con danni e perdita di vite umane (10-11 Aprile 2005; 2-3 dicembre 2005). *(dal progetto IFFI - inventario dei fenomeni franosi in Italia)*



Dall'inventario dei fenomeni franosi in Italia emerge la numerosità delle frane verificatesi fino al 2020:

- in Lombardia 141.970
- in Provincia di Brescia 32.756

| | |
|--|---------------------------------------|
| ● Aree con crolli/ribaltamenti diffusi | ● Crollo/Ribaltamento |
| ● Aree con frane superficiali diffuse | ● DGPV |
| ● Aree con sprofondamenti diffusi | ● Espansione |
| ● Colamento lento | ● Scivolamento rotazionale/traslativo |
| ● Colamento rapido | ● Sprofondamento |
| ● Complesso | ● n.d. |

A. Interventi di protezione attiva

Prevenzione dell'innescò dei fenomeni

- Opere di sostegno
- Sistemi di drenaggio
- Iniezioni di addensanti
- **INTERVENTI NATURALISTICI**



Scala locale

B. Interventi di protezione passiva

del costruito

- Sistemi di ritenuta
- Gallerie artificiali



Scala locale

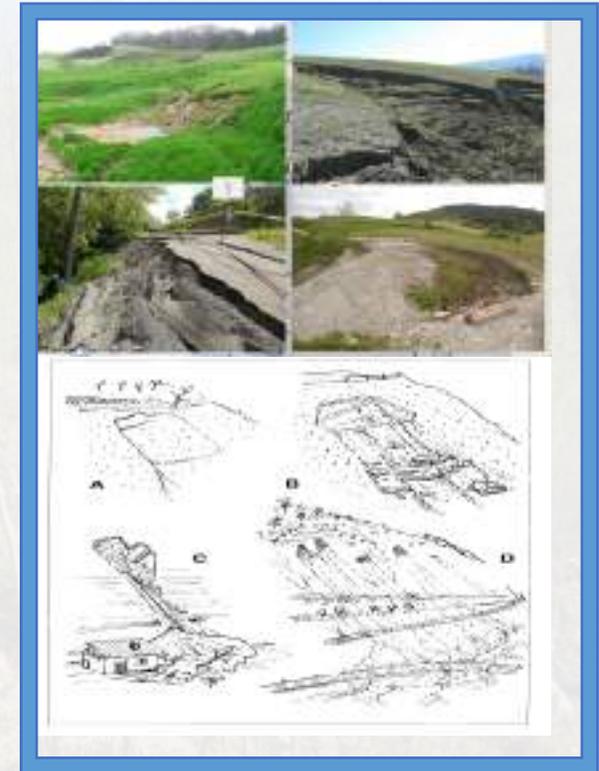
della popolazione

- Sistemi di allerta

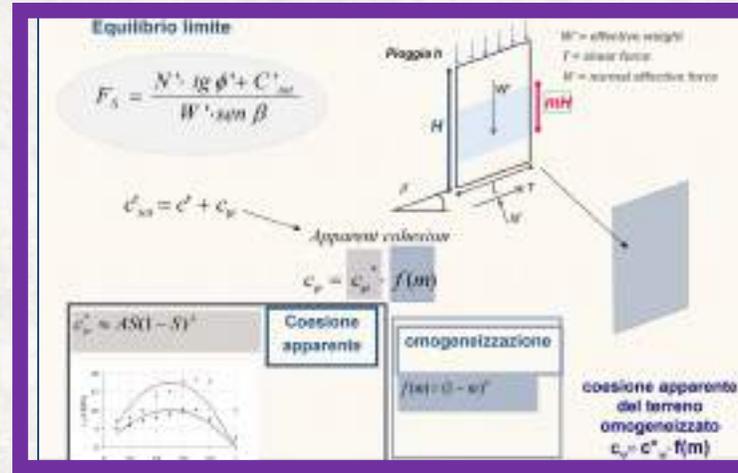


Scala territoriale

1. Osservazione e studio dei fenomeni



2. Modellazione



3. Previsione eventi

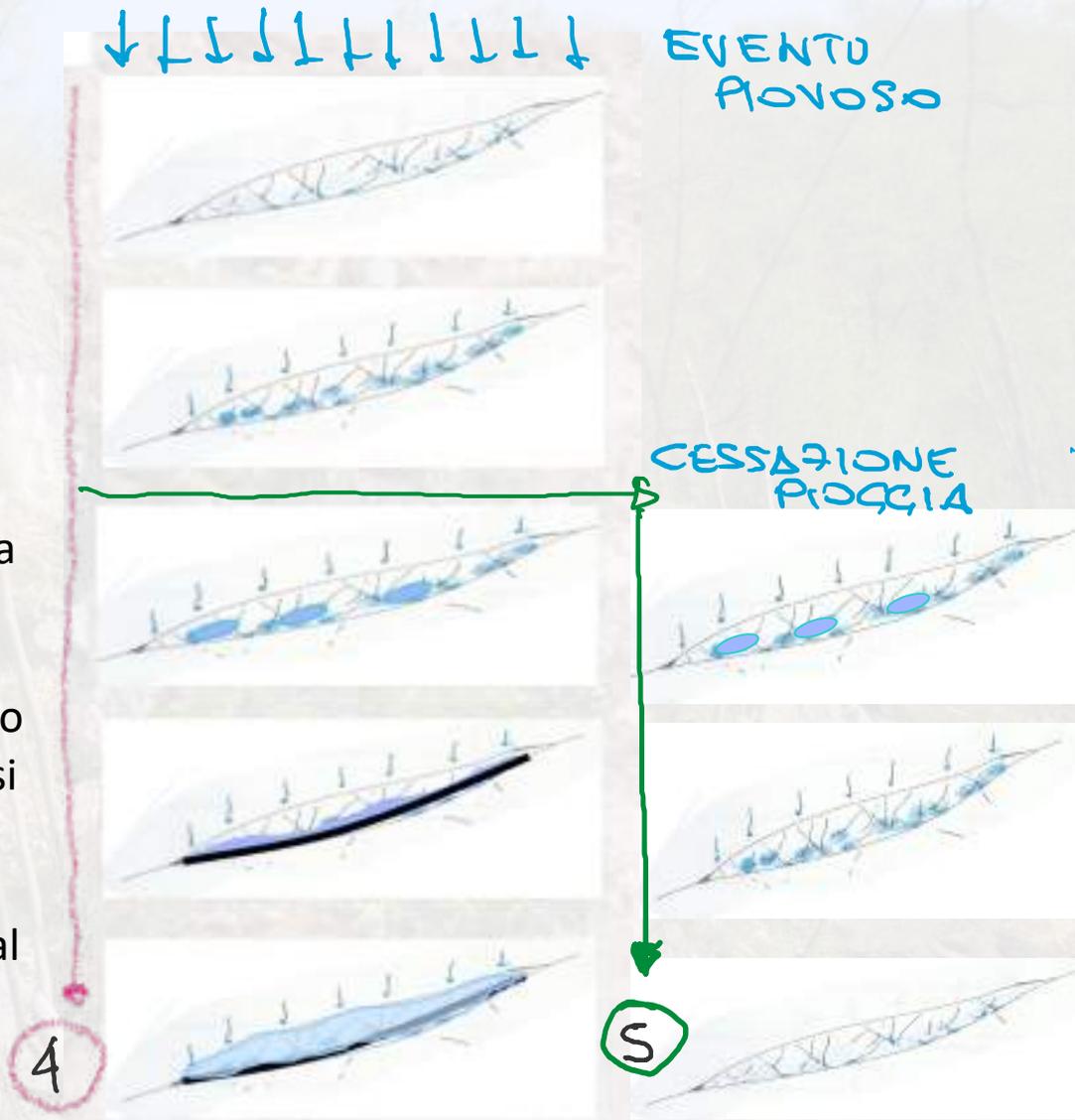
4. Messa a punto di metodi di prevenzione/protezione



- A. Interventi di protezione attiva
- B. Interventi di protezione passiva

1. Osservazione e studio dei fenomeni

1. Top-soil, terreno parzialmente saturo ad elevato grado di disomogenità e fratturazione
2. Doppia permeabilità (micro scala e macro scala)
3. La pioggia si infiltra rapidamente grazie alla macro-porosità generando 'bolle di saturazione' sospese nel top-soil che aumentano in numerosità e dimensioni con l'aumentare della pioggia
4. Se l'infiltrazione prosegue, si giunge alla perdita dell'equilibrio e al collasso, con tipologie evolutive che dipendono da diversi fattori
5. Evapo-traspirazione, deflusso verso il basso, flusso parallelo al pendio si sovrappongono al punto 3 in un processo dinamico di evoluzione dei fenomeni



2. Modellazione – Quali approcci?

- Modelli a ‘soglia di pioggia’ - black box
- Modelli fisicamente basati A, B

A – Elemento di volume

(1)
Modellazione del
comportamento dell'elemento di
volume

Infiltrazione in regime di parziale saturazione

INADATTI ALLE APPLICAZIONI A SCALA TERRITORIALE

(2)
Soluzione problema al contorno

modellazione dell'infiltrazione
attraverso la matrice
(filtrazione mezzi parzialmente saturi)

Attraverso le vie preferenziali???

B – Soluzioni semplificate al finito

(1)
Modellazione del
comportamento del sistema
meccanico idraulico a scala al
finito del conico

Equilibrio limite

ADATTI ALLE APPLICAZIONI A SCALA TERRITORIALE

$$c'_{tot} = c' + c_p$$

$$c_p = c'_p \cdot f(\theta)$$

$$c'_c = \frac{2c'(\theta - \theta_r)}{\theta - \theta_r + \theta_r}$$

Coesione
apparente

eterogeneizzazione

$$c'_c = c'_c \cdot f(\theta)$$

coesione apparente
del terreno
eterogeneizzato
 $c'_c = c'_c \cdot f(\theta)$

- Modelli basati sull'intelligenza artificiale

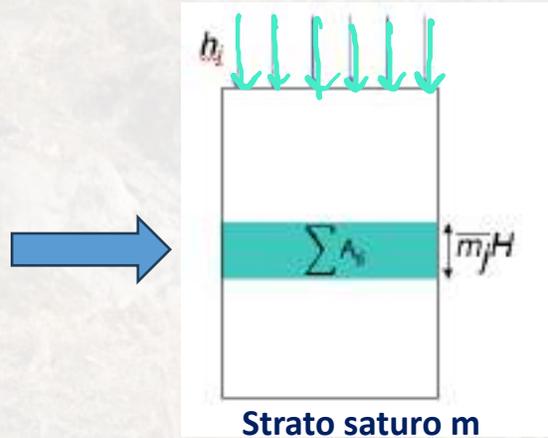
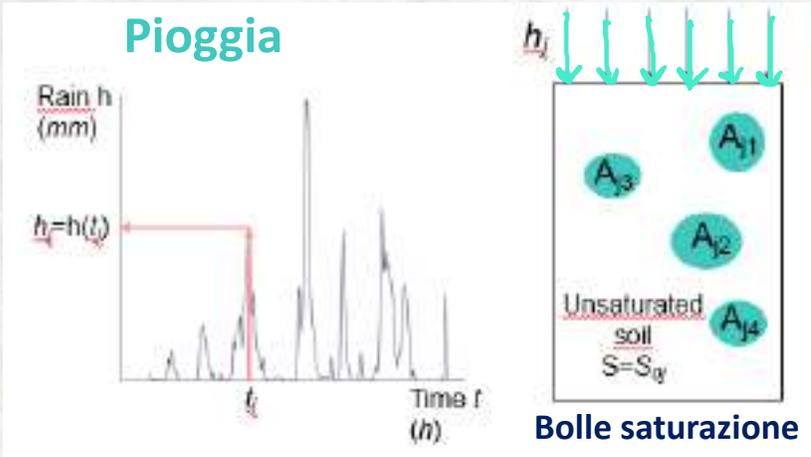


2. Modellazione – SLIP – Un modello fisicamente basato di tipo B

IPOSTESI: Pendio indefinito

Semplificazione sulla modalità di infiltrazione della pioggia – IL FATTORE m

Criteri di rottura
Criterio di Mohr- Coulomb

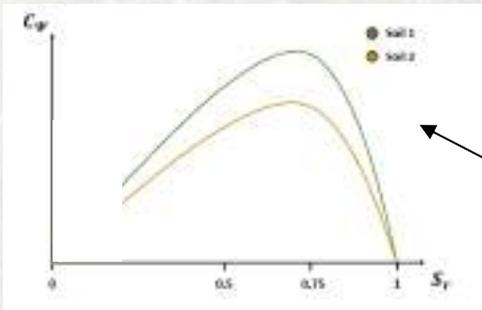


①
TERRENO PARZIALMENTE SATURO

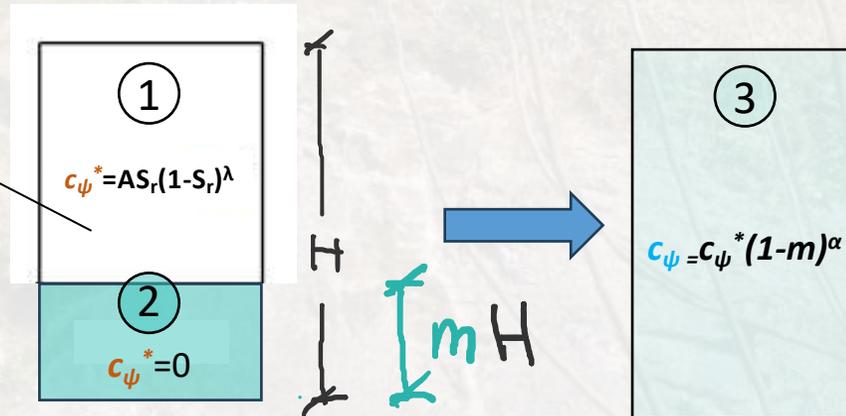
$$\tau = (c' + c_{\psi}^*) + \sigma' \tan \varphi'$$

②
TERRENO SATURO

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi'$$



Curve imbibizione ed essiccamento

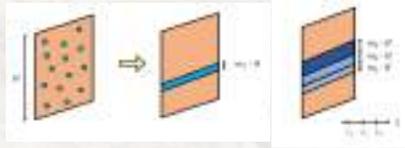


Omogeneizzazione resistenza al taglio
 concio
 (saturo-parzialmente saturo)

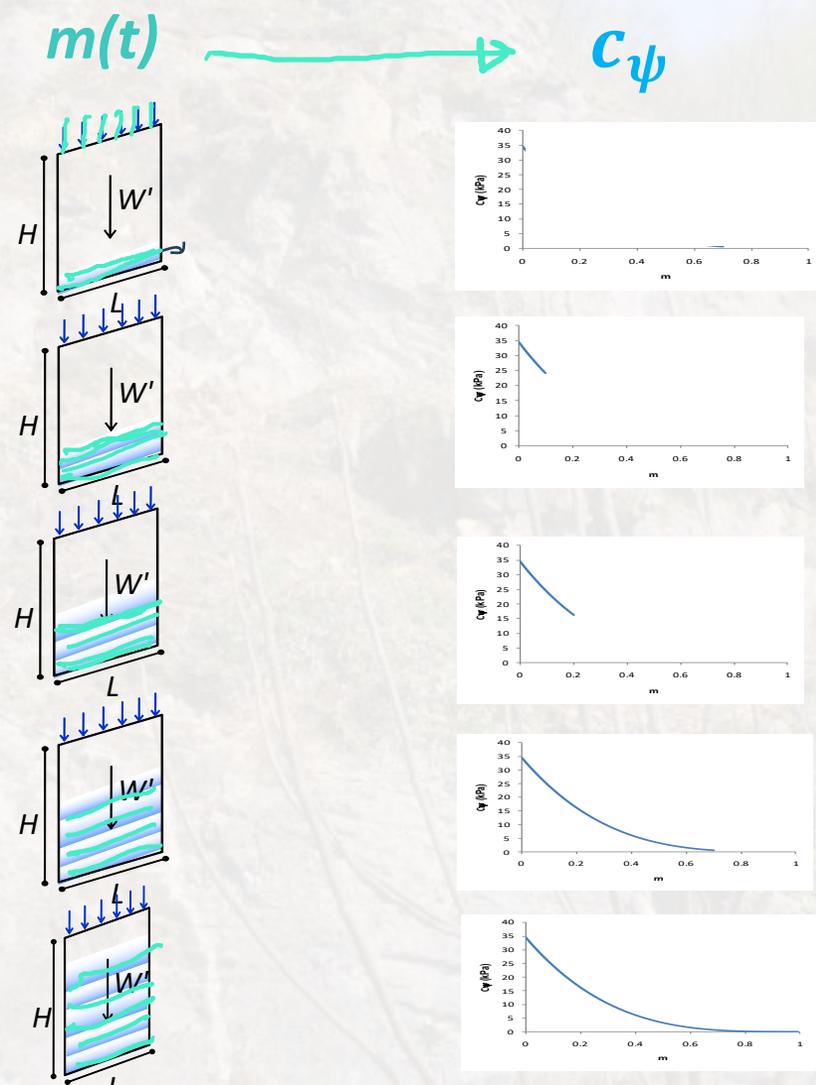
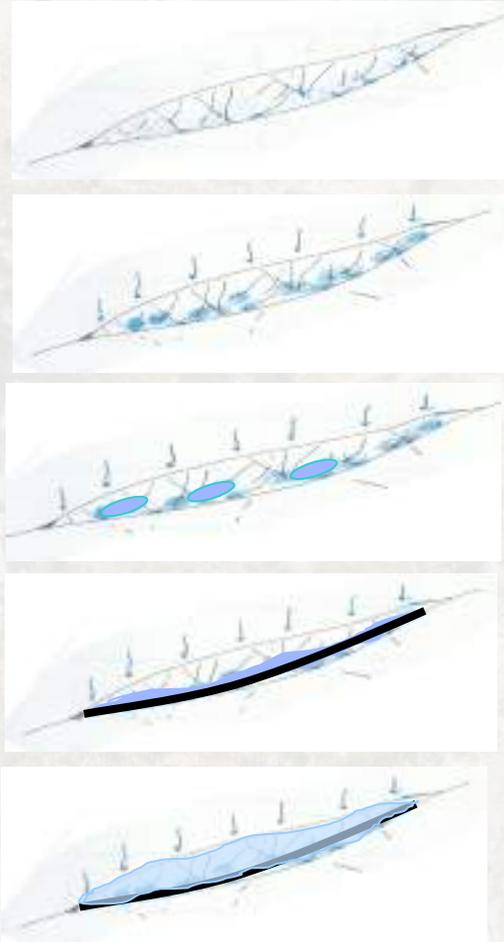
③
TERRENO OMOGENEIZZATO

$$\tau = (c' + c_{\psi}) + \sigma' \tan \varphi'$$

2. Modellazione – SLIP – Dipendenza dal tempo di m



Infiltrazione



$$m_i = \frac{h_i}{nH(1 - S_r)}$$

$$C_\psi^* \approx A \cdot S_r \cdot (1 - S_r)^\lambda$$

$$C_\psi = C_\psi^* \cdot (1 - m)^\alpha$$

DECREMENTO DI m
 m decresce nel tempo per effetto
 di infiltrazione verticale, deflusso
 o evapotraspirazione

$$m(t) = \sum_i m_i e^{-kt} (t_i - t_0)$$

Equilibrio limite su concio di terreno

$$F_s = \frac{\cot \beta \cdot \tan \varphi' \cdot [\Gamma + m \cdot (n_w - 1)]}{\Gamma + m \cdot n_w} + \frac{C_{tot} \cdot \Omega}{\Gamma + m \cdot n_w}$$

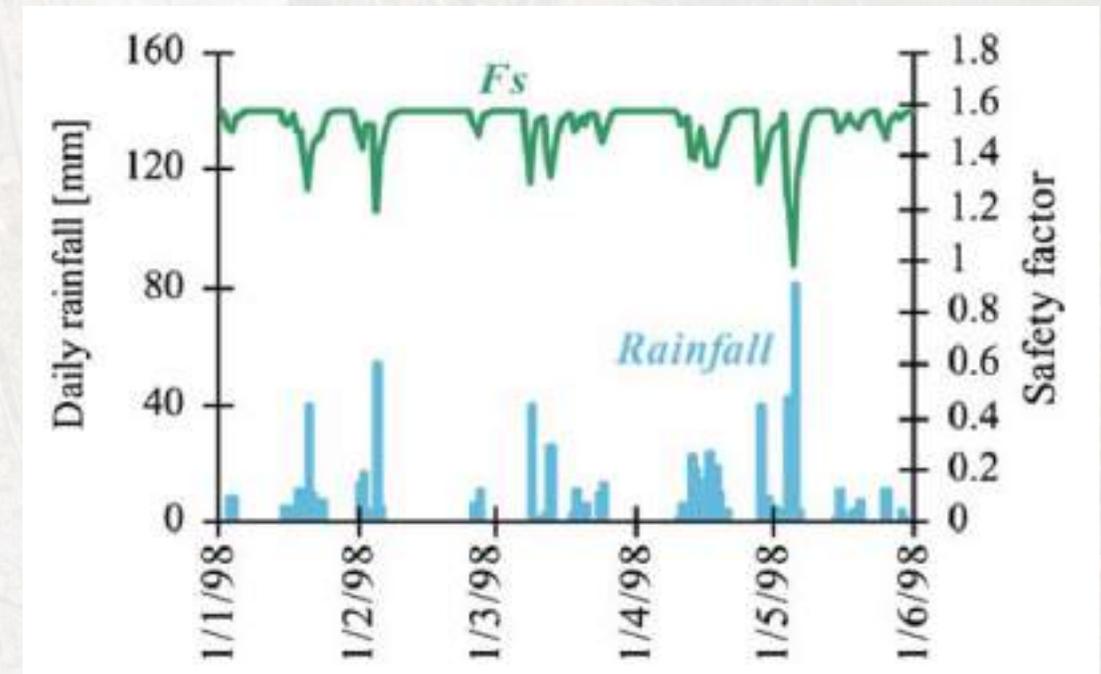
$$C_{tot} = [c' + A \cdot S_r \cdot (1 - S_r)^\lambda \cdot (1 - m)^\alpha] \cdot L$$

$$\Omega = \frac{2}{\sin(2\beta) \cdot H \cdot \gamma_w}$$

$$m = \frac{\xi}{n \cdot H \cdot (1 - S_r)} \cdot \sum_{i=1}^{\omega} h_i \cdot e^{-k_t \cdot (t_i - t_0)}$$

$$n_w = n \cdot (1 - S_r)$$

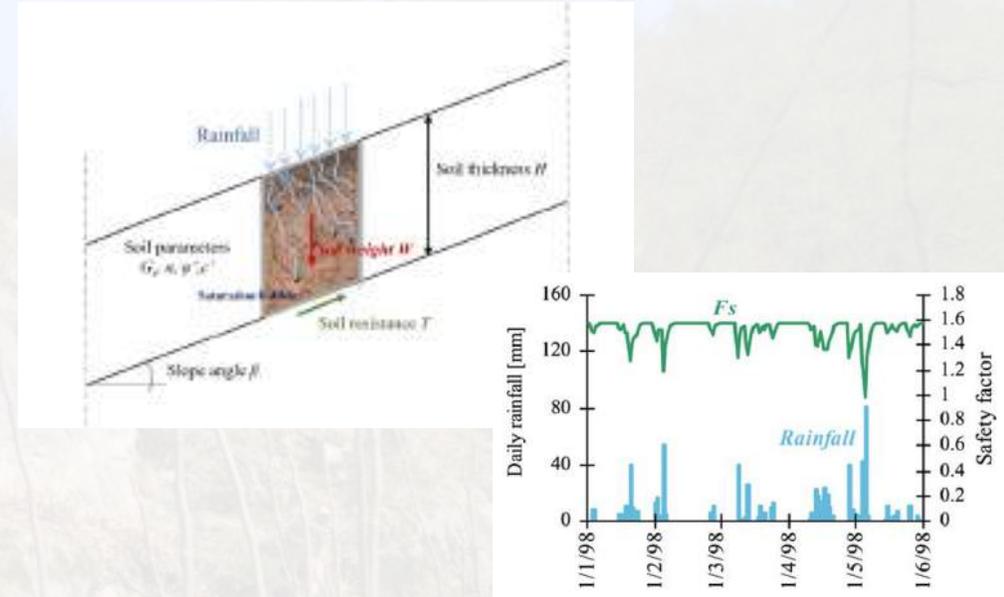
$$\Gamma = G_s \cdot (1 - n) + n \cdot S_r$$



Scala di versante

Parametri

- Geometria β, H
- Stato n, S_r
- Meccanici φ', c'
- Modellazione A, λ
- Filtrazione k_t



Scala territoriale

- comunale
- bacino
- regionale
- nazionale

Piattaforma
territoriale

DEMETRA

DPCN

PIATTAFORMA TERRITORIALE

DEWETRA

(Piattaforma del DPCN)

DATI DI PIOGGIA
IN TEMPO REALE

DEM

LITOLOGIA

USO DEL SUOLO (CORINE)

MAPPA DELLE COPERTURE

Parametri di SLIP

h

β

Φ

A

λ

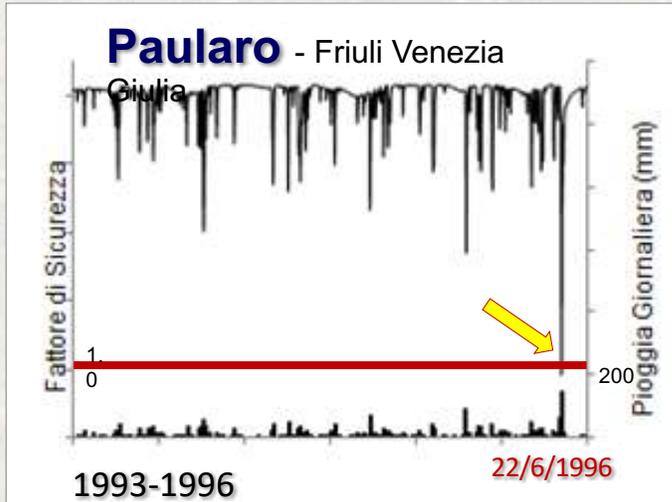
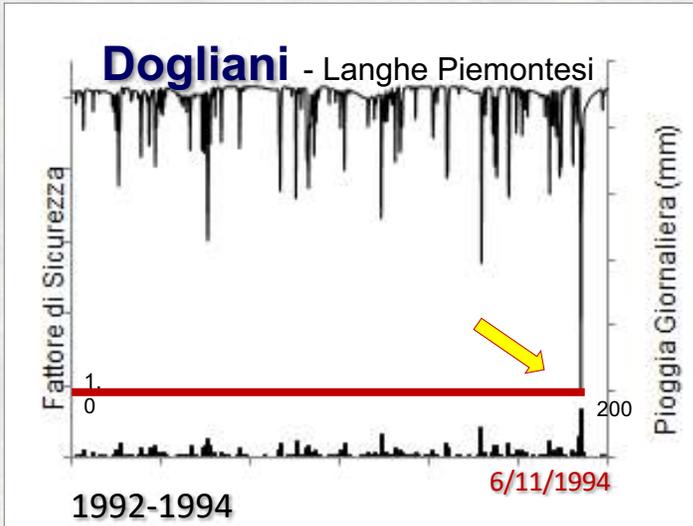
SLIP

Mappe di
susceptibilità

F_s

AREA

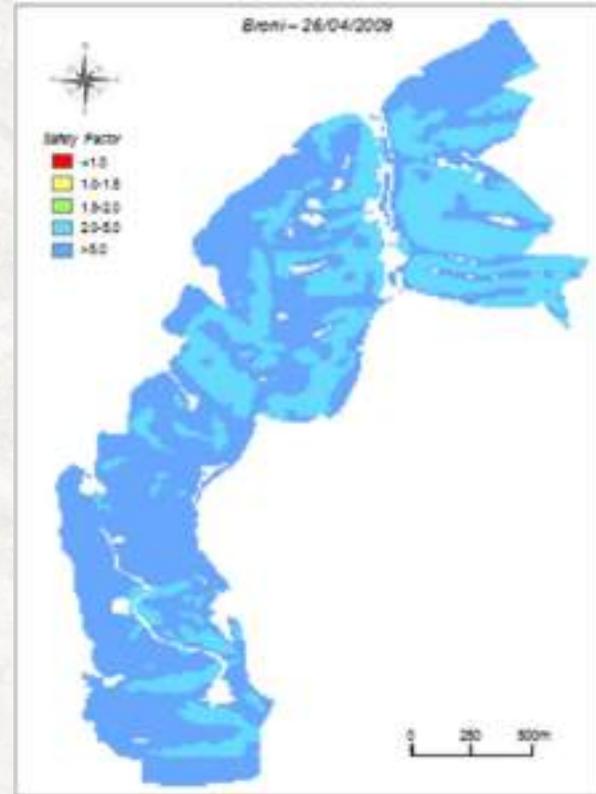
Scala puntuale



Scala locale

Dimensioni areali ~ 3 km²

Broni
(dettaglio)

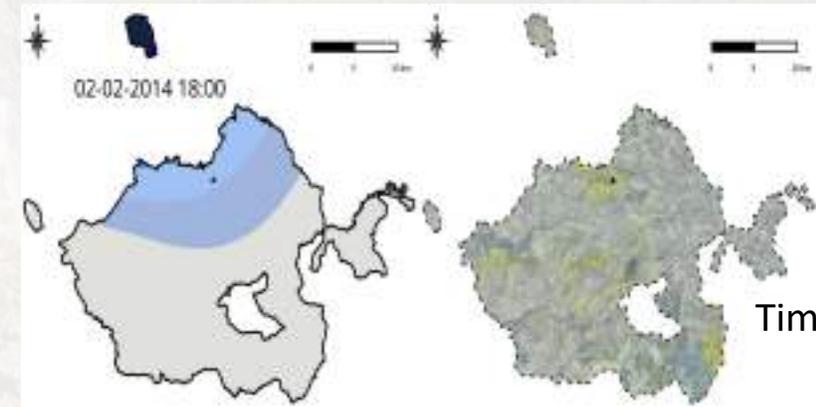


Timing giornaliero

Scala territoriale

Dimensioni areali ~ 357 km²

Enna



Timing orario

Scala nazionale

Italia Settentrionale
(31/10/2010)



Il modello SLIP, implementato in **piattaforma territoriale DEWETRA (DPCN)** è in grado di predire l'innescò dei soil-slip, a diverse scale sulla base di **dati di pioggia reali**, con **OTTIMA APPROSSIMAZIONE**

- PREDIZIONI classe A
- ANALISI comparative fra diversi modelli IMPLEMENTATI A DIVERSE SCALE TERRITORIALI

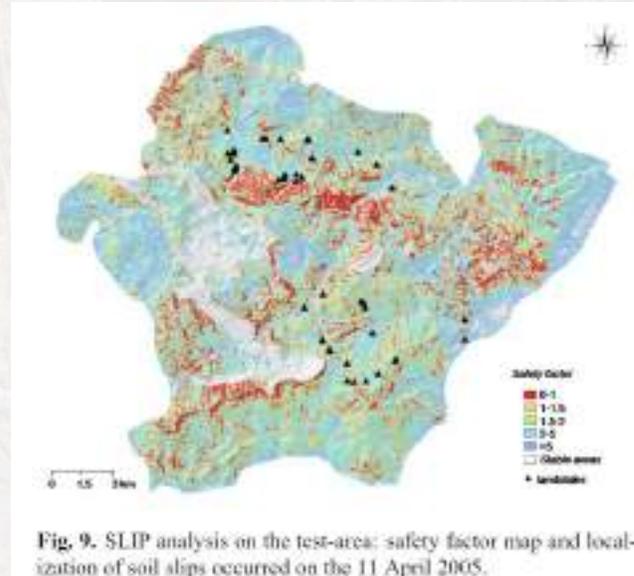
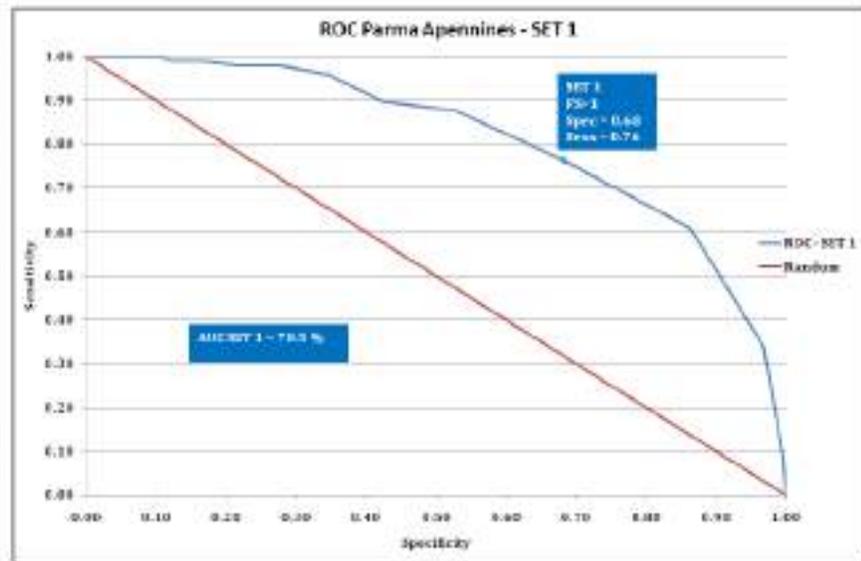


Fig. 9. SLIP analysis on the test-area: safety factor map and localization of soil slips occurred on the 11 April 2005.

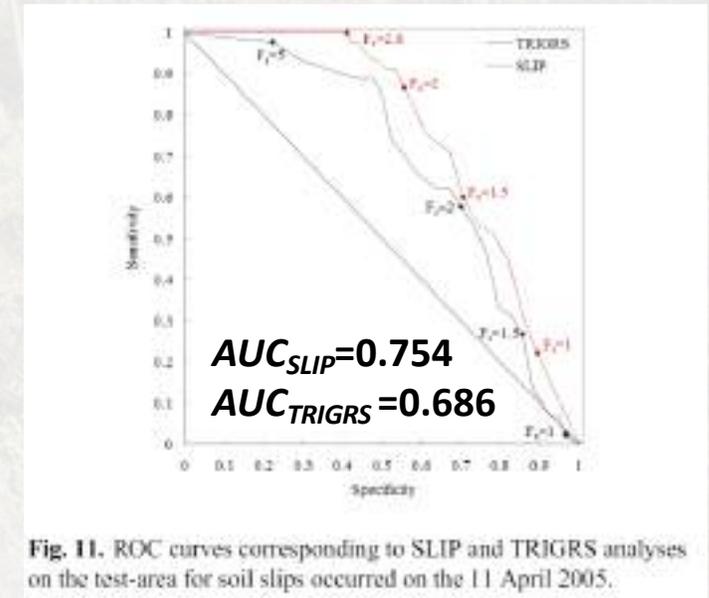


Fig. 11. ROC curves corresponding to SLIP and TRIGRS analyses on the test-area for soil slips occurred on the 11 April 2005.

Le attività del
gruppo geotecnico
di Unibs

A. Interventi di protezione attiva

Prevenzione dell'innescò dei fenomeni

- Opere di sostegno
- Sistemi di drenaggio
- Iniezioni di addensanti
- INTERVENTI NATURALISTICI



Scala locale

B. Interventi di protezione passiva

del costruito

- Sistemi di ritenuta
- Gallerie artificiali



Scala locale

della popolazione

- SISTEMI DI ALLERTA

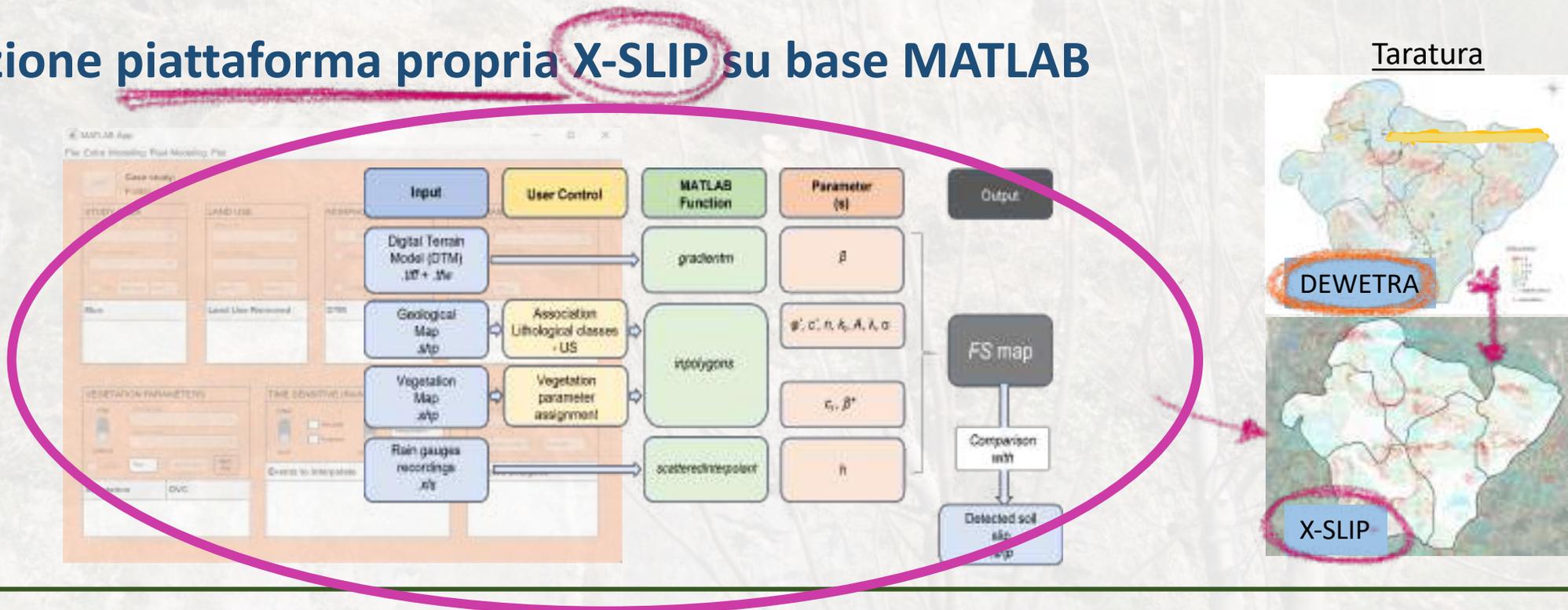


Scala territoriale

Miglioramento/affinamento della modellazione

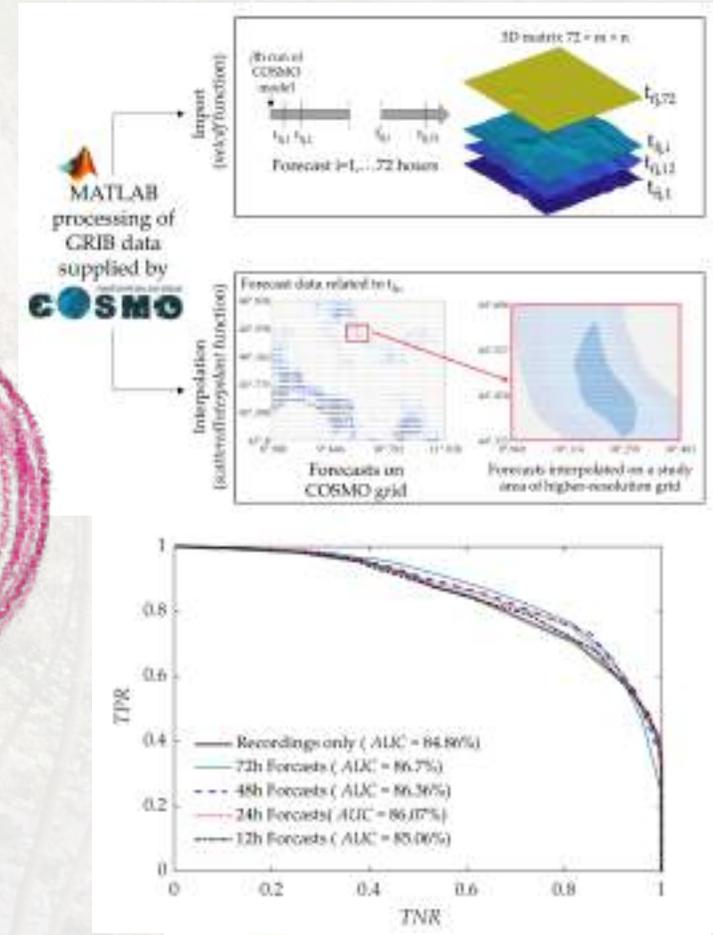
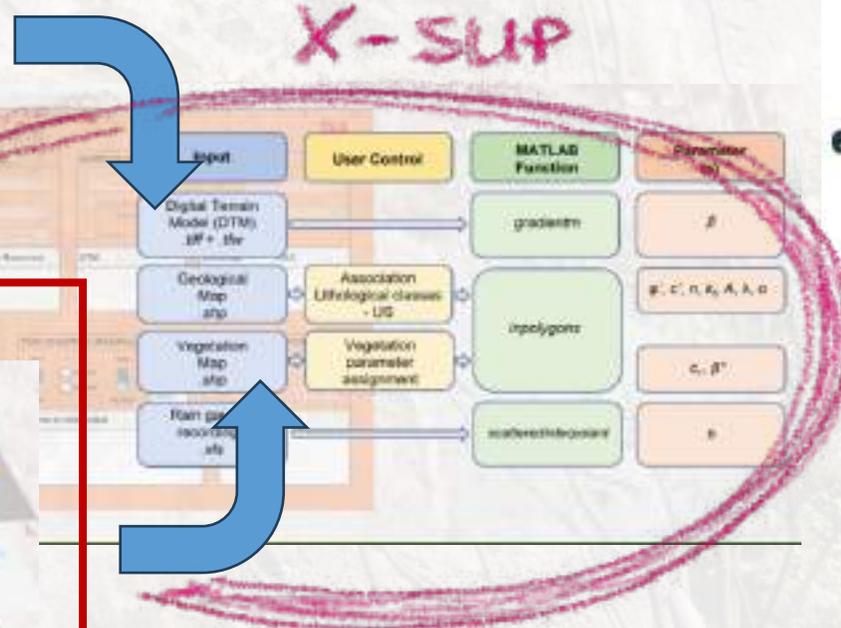
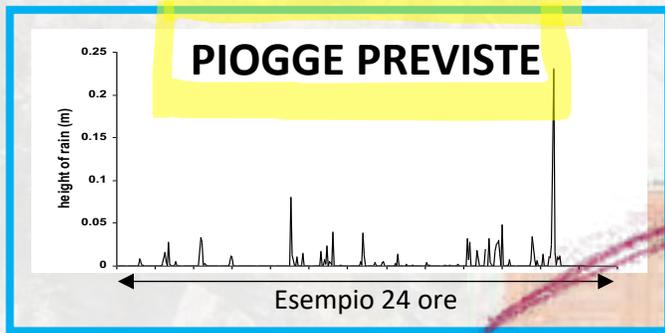
- Raccolta e impiego di dati territoriali su fenomeni realmente occorsi
- Impiego di tecniche di Machine Learning

Creazione piattaforma propria X-SLIP su base MATLAB



X-SLIP nella previsione dei SOIL-SLIP mediante impiego di **piogge PREVISTE**

Attività in cooperazione con l'Aeronautica Militare



- A. Identificazione di aree potenzialmente instabili
- B. Valutazione dell'eventuale interazione dei soil-slip (colate) con il costruito
- C. Metodologie di intervento mediante tecniche naturalistiche

A. Identificazione di aree potenzialmente instabili antistanti il manufatto

Impiego di X-SLIP in aree limitrofe

Individuazione potenziali inneschi

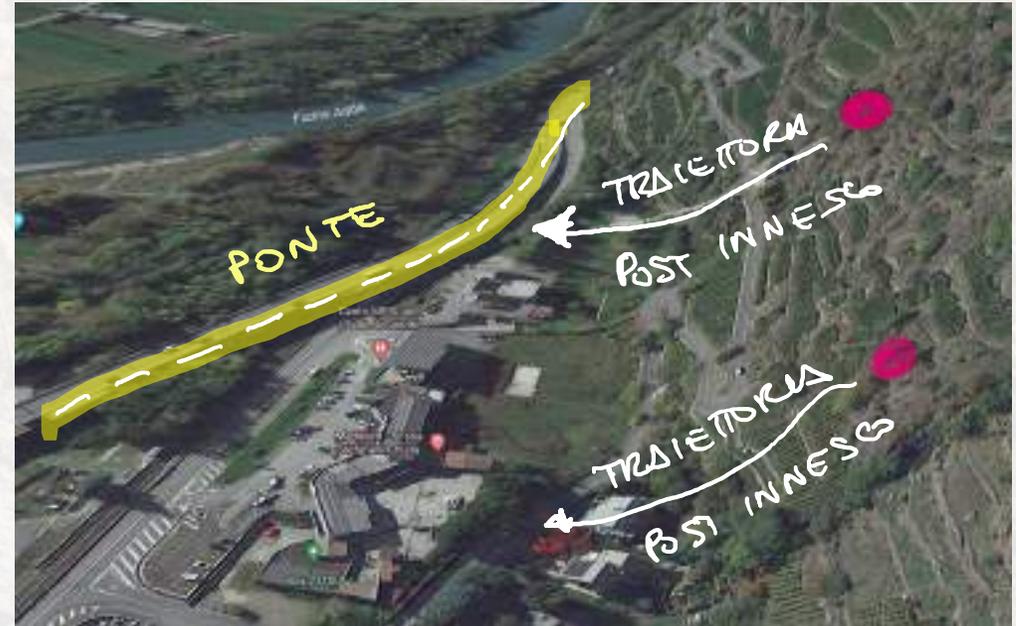
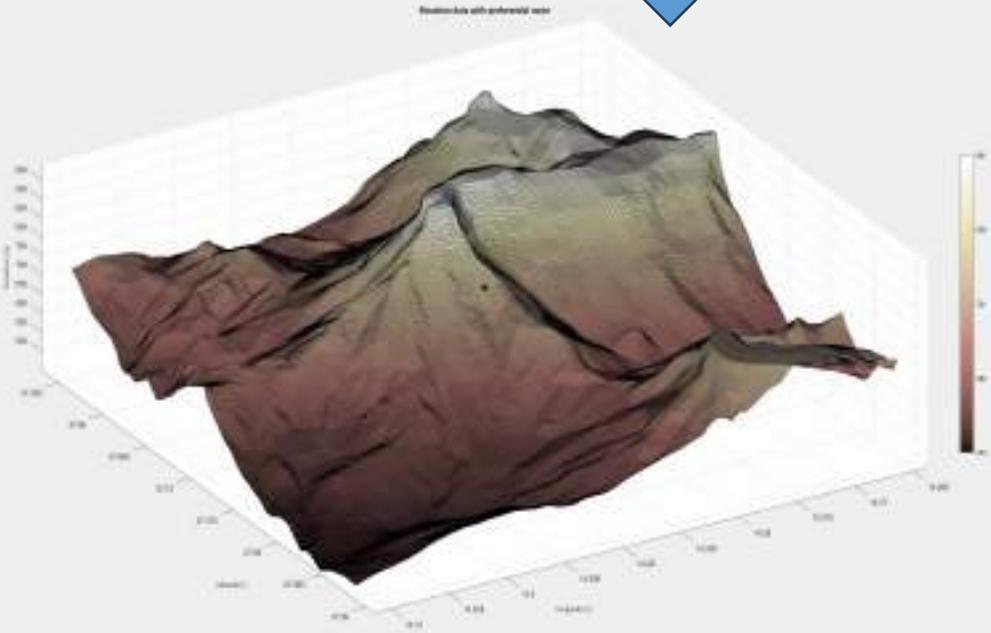
Valutazione dei tempi di ritorno



AREE POTENZIALMENTE
INSTABILI

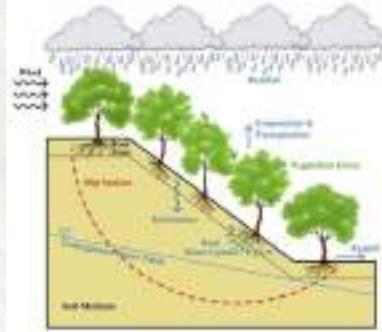
B. Valutazione dell'eventuale interazione dei soil-slip (colate) con il costruito

**Studio dell'evoluzione
post innesco**

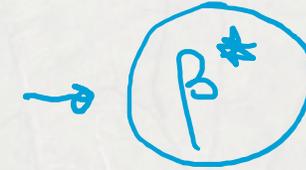


Principali benefici della vegetazione nella prevenzione dei soil slip

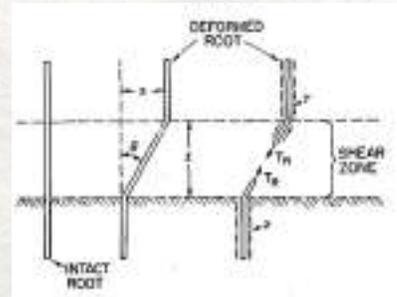
Riduzione quantità di pioggia che si infiltra nel terreno grazie al fogliame



Canopy effect



Effetto delle radici sulla resistenza del terreno



Modello W&W, 1976

$$\tau = c' + \sigma' tg\varphi' + c_R$$

c_R rinforzo radicale

Nel modello SLIP

➔ Aumento del fattore di sicurezza F_s

$$F_s = \frac{cot\beta tan\varphi' [\Gamma + m \cdot \beta^* (n_w - 1)] + C' \Omega}{\Gamma + m \cdot \beta^* n_w}$$

$$C' = [c' + c_\psi + c_R] L$$

4. Messa a punto di metodi di prevenzione e/o protezione

Le attività del
gruppo geotecnico
di Unibs

c_R e. β^* Dipendono dalla tipologia di piante



da collaborazione con agronomi

Esempio applicativo
Langhirano, 05 aprile 2013
Area soggetta a instabilità



Condizione stabilità per le
differenti vegetazioni:

Nocciolo $F_s=1.76$ $>$ Ulivo $F_s=1.48$ $>$ Vite $F_s=1.31$

- ❖ IL TEMA DELLE FRANE PLUVIO INDOTTE E' SENTITO SU TUTTO IL TERRITORIO NAZIONALE E ANCHE NELLA PROVINCIA DI BRESCIA
- ❖ LA PREVENZIONE DEI RISCHI PASSA ATTRAVERSO UN COMPLESSO STUDIO DEI MECCANISMI DI INNESCO ED EVOLUZIONE DEI FENOMENI CHE, PER ESSERE APPLICATI AL TERRITORIO, DEVONO PREVEDERE IL GIUSTO EQUILIBRIO TRA RIGORE DELLA MODELLAZIONE E NECESSITA' APPLICATIVE
- ❖ IL GRUPPO GEOTECNICO DEL DICATAM DI UNIBS HA STUDIATO E MODELLATO I FENOMENI IN COOPERAZIONE COL DPCN E APPLICATO A SCALA LOCALE E TERRITORIALE I METODI DI PREVISIONE, IMPLEMENTANDO IL MODELLO IN DEWETRA (PIATTAFORMA DEL DPCN)

❖ LA PIATTAFORMA X-SLIP MESSA A PUNTO E DI PROPRIETA' DEL GRUPPO PERMETTE ORA LA PIENA AUTONOMIA DI RICERCA E APPLICAZIONE AL TERRITORIO DEI SISTEMI DI PREVISIONE E PREVENZIONE TRAMITE:

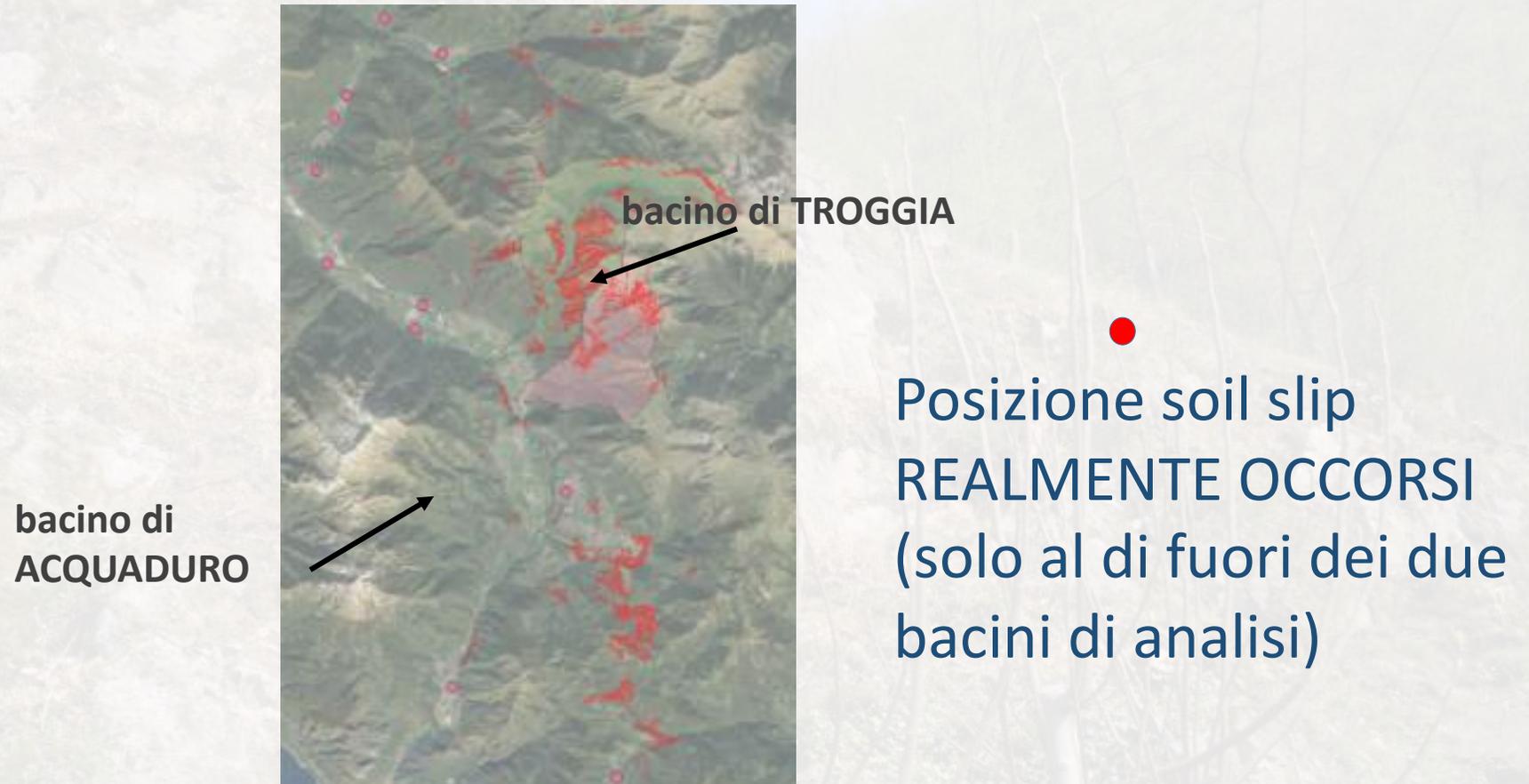
- L'ALLERTA DELLA POPOLAZIONE MEDIANTE APPLICAZIONI REAL-TIME
- LA VALUTAZIONE PREVENTIVA DEGLI INTERVENTI DI PROTEZIONE O PREVENZIONE ATTIVA O PASSIVA (A SCALA LOCALE) OVVERO INDIVIDUAZIONE DELLE AREE POTENZIALMENTE INSTABILI ANTISTANTI I MANUFATTI e STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEI FENOMENI POST-INNESCO
- LA PREVENZIONE MEDIANTE TECNICHE NATURALISTICHE IN COLLABORAZIONE CON GLI AGRONOMI

L'EFFICACIA NELLE APPLICAZIONI NON PUO' PRESCINDERE DALLA
COSTANTE E FATTIVA

INTERAZIONE CON GLI ENTI TERRITORIALI

CHE FORNISCONO DATI E INFORMAZIONI INDISPENSABILI ALLA
APPLICAZIONE SUI TERRITORI DEI MODELLI PREVISIONALI E DI ALLERTA

APPLICAZIONE A SCALA DI BACINO AL CASO DELLA VALSASSINA (EVENTO PIOVOSO del 28 OTTOBRE 2018)



La mancanza di dati provenienti dal territorio non ha permesso di lavorare efficacemente

Acque Bresciane
Servizio Idrico Integrato

ABcommunity
Trasparenza / Ascolto / Sostenibilità



GIORNATA DELL'ACQUA 2024

Acqua
è vita

convegno tecnico

Acqua e cambiamenti climatici
rischi, sfide ed opportunità