



Giovedì 09 novembre 2023

Progetto Interreg Italia Svizzera Fiume Tresa
A cavallo del Fiume Tresa: prevenzione e gestione comune delle emergenze

**GLI INTERVENTI SULLA FRANA
(WORK PACKAGE 3)
Monitoraggio e piano di allertamento**

Luca Osculati – Alessandro Uggeri

Maurizio Pozzoni – Alessandro De Pedrini

Idrogea
servizi S.r.l.

Scuola universitaria professionale
della Svizzera italiana

SUPSI

WORK PACKAGE 3: FRANA DI CADEGLIANO VICONAGO ATTIVITA' PREVISTE DAL PROGETTO

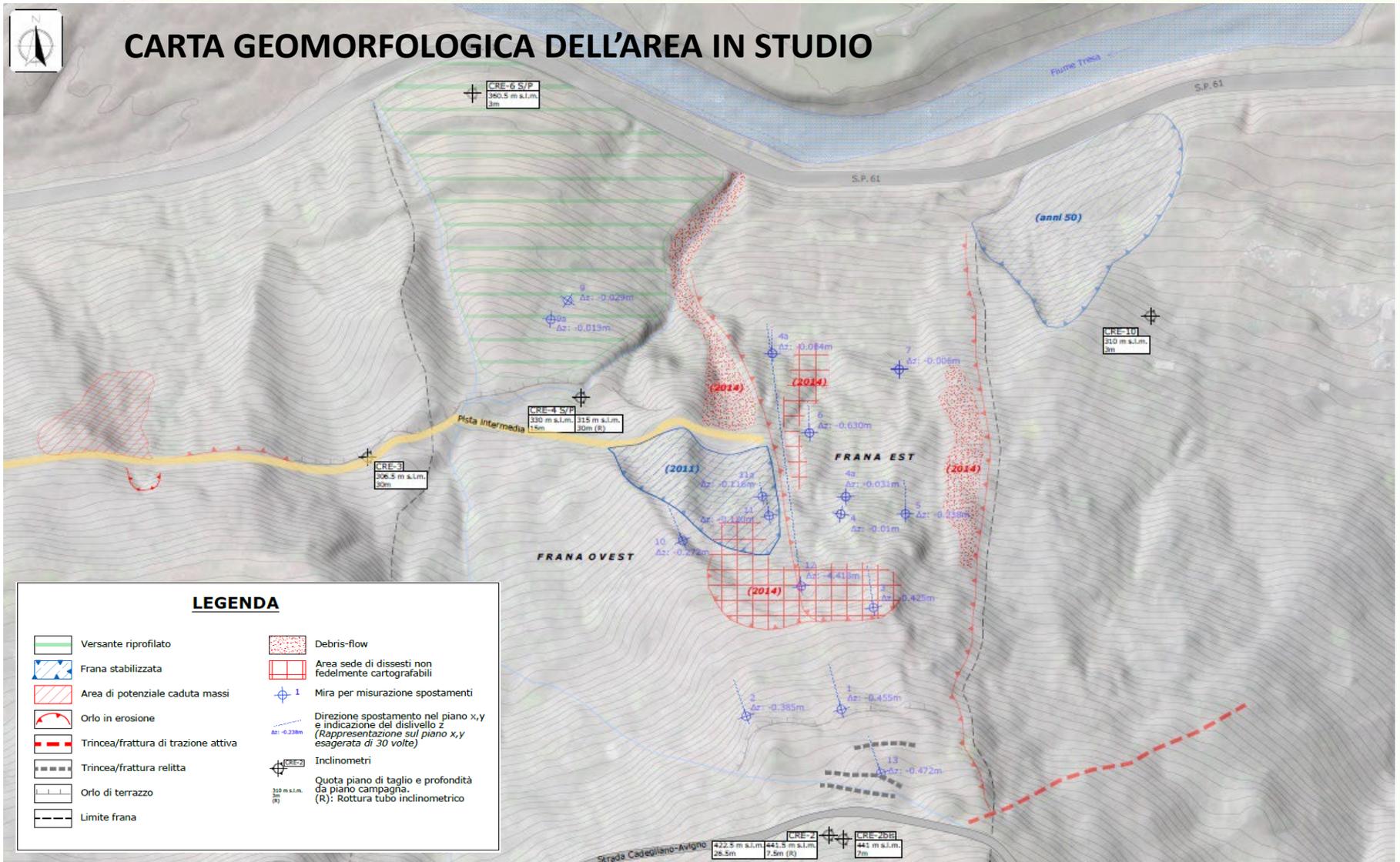
- Aggiornamento dello studio geologico e geomorfologico
- Ricostruzione ultimi eventi
- Progettazione e installazione nuove strutture di controllo
- Progettazione e installazione sistema trasmissione dati di monitoraggio
- Gestione e monitoraggio della frana, ridefinizione degli scenari di pericolo*
- Individuazione delle procedure di monitoraggio ed intervento*

*Attività svolte in collaborazione con

Scuola universitaria professionale
della Svizzera italiana

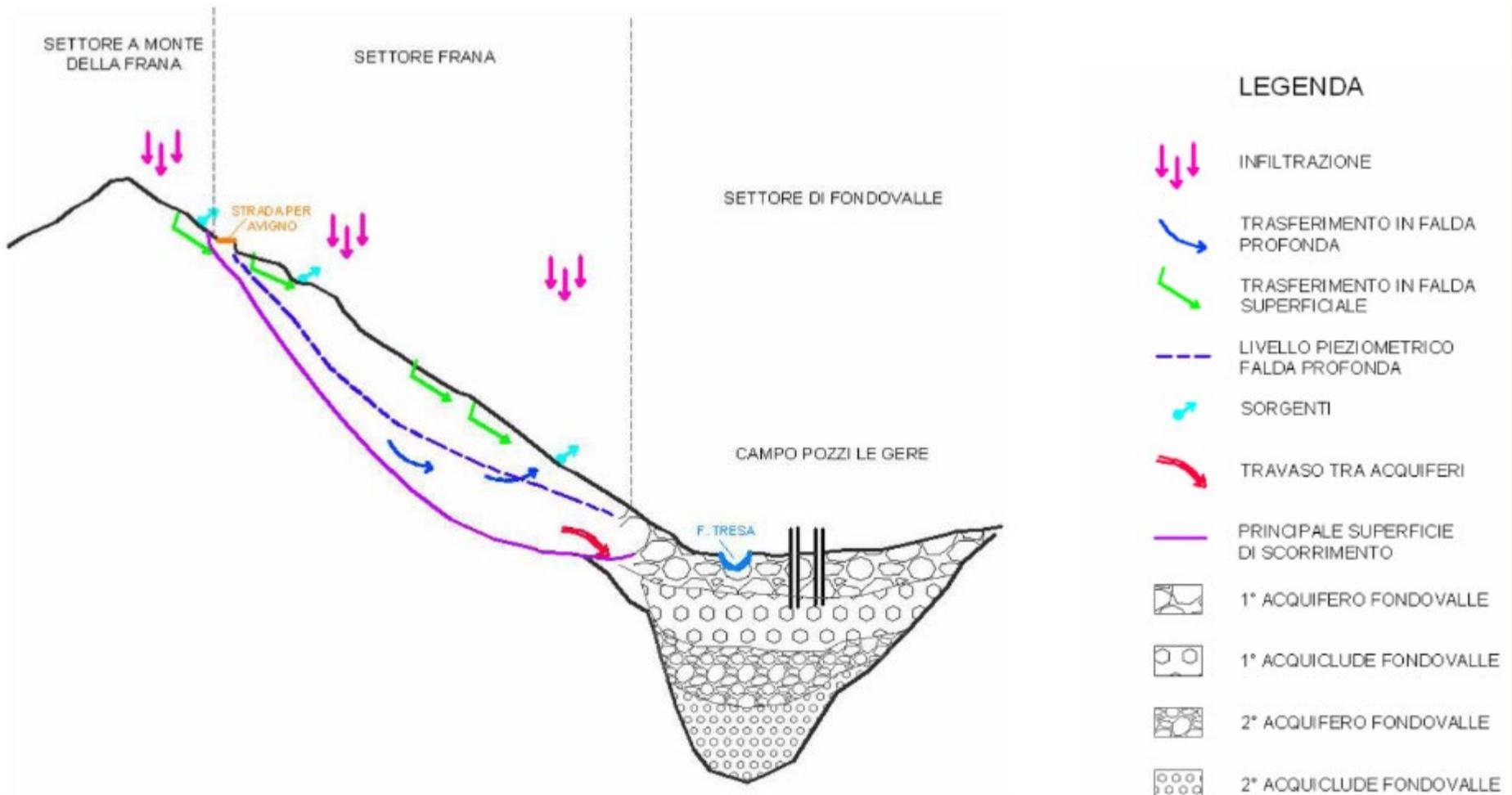
SUPSI

CARTA GEOMORFOLOGICA DELL'AREA IN STUDIO





MODELLO IDROGEOLOGICO: IDROSTRUTTURE DI VERSANTE E DI FONDOVALLE



IL SISTEMA DI MONITORAGGIO

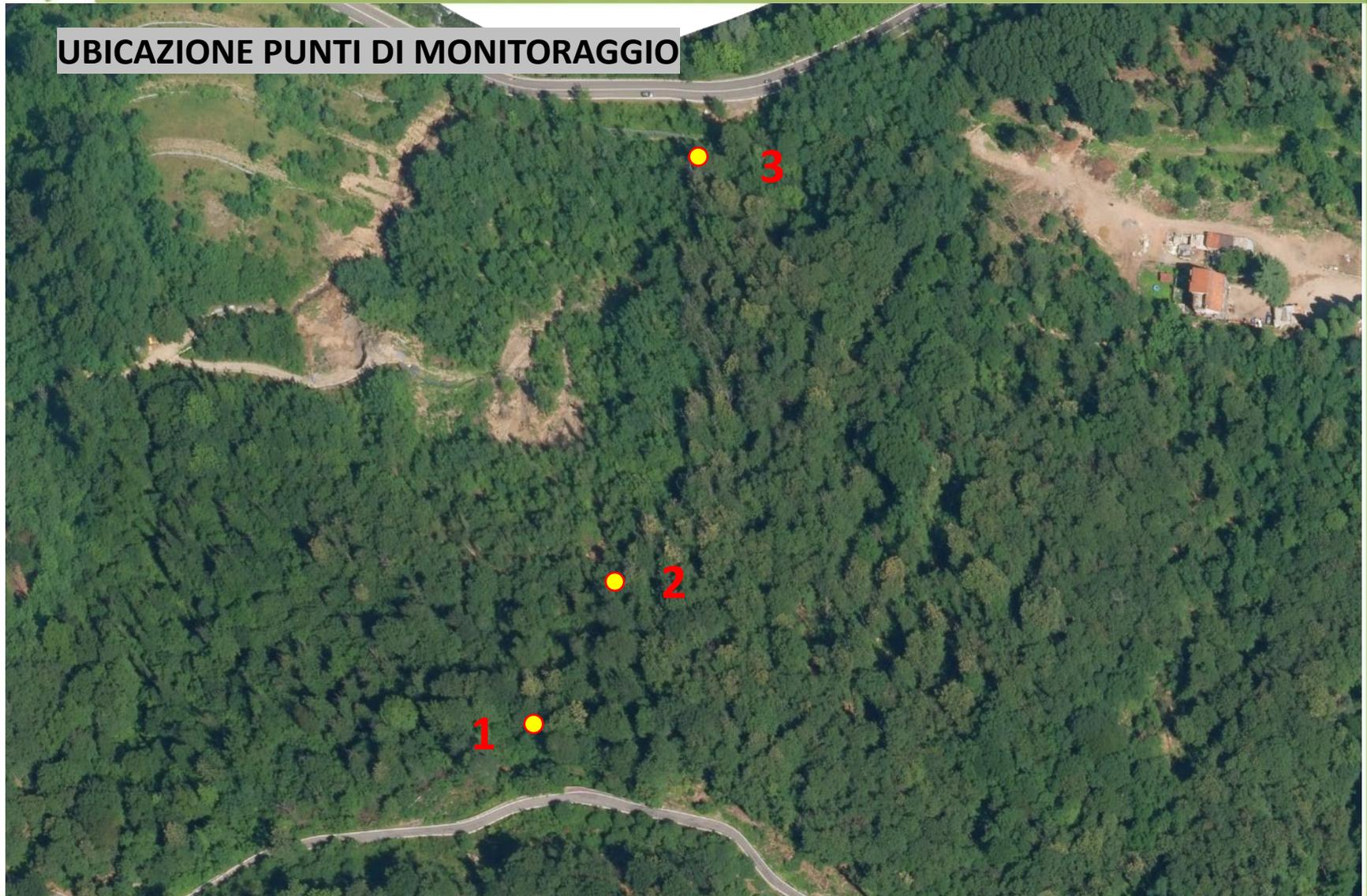
La **Provincia di Varese** ha indetto una gara per l'affidamento dei lavori per la posa del sistema di monitoraggio, aggiudicata nel settembre 2020. L'installazione si è conclusa nel febbraio 2021 e il mese successivo è iniziata l'acquisizione dei dati.

Il sistema è articolato su tre siti equipaggiati con strumenti modulari in colonna DMS (Differential Monitoring of Stability) installati in foro di sondaggio, oltre a unità di controllo e teletrasmissione dei dati con alimentazione autonoma.



FIUME TRESA

UBICAZIONE PUNTI DI MONITORAGGIO





PERFORAZIONE E CONDIZIONAMENTO FORI



SONDAGGIO S2

Perforazione a carotaggio continuo fino a profondità di 65 m, rivestimento diam. 152 da p.c. a 22.5 m, diam. 127 da p.c. a 61.5 m. La stratigrafia desunta dalla perforazione è la seguente :

Profondità [m p.c.]	Descrizione litologica
0.0 - 0.7	Terreno vegetale sabbioso limoso ricco di sostanza organica colore marrone-bruno con dispersi clasti centimetrici di micascisti
0.7 - 1.4	Sabbia medio-grossolana limoso argillosa colore avana con presenza di clasti centimetrici e pluricentimetrici poco elaborati di micascisti alterati
1.4 - 7.5	Sabbia da fine a media da sciolta a poco addensata con locali livelli limosi e abbondante presenza di clasti centimetrici e pluricentimetrici di micascisti molto alterati
7.5 - 16.85	Detrito costituito da clasti da centimetrici a decimetrici di micascisti alterati in matrice sabbioso limosa
16.85 - 19.7	Micascisti molto fratturati ed alterati con intercalazioni di gneiss minuti e vene di quarzo, scistosità obliqua rispetto alla verticale
19.7 - 20.8	Detrito costituito da clasti da centimetrici a decimetrici e frammenti millimetrici di micascisti molto alterati
20.8 - 29.8	Micascisti molto fratturati ed alterati con livelli di micascisti pseudo sfatti tra 22.2 e 23.1 m 25.4 e 26, 28 e 28.6 e tra 29.2 e 29.8 m
29.8 - 34.4	Micascisti molto fratturati ed alterati con intercalazioni di gneiss minuti e locali filoni di quarzo, scistosità obliqua rispetto alla verticale, porzioni fortemente cataclase tra 30.7 e 30.9 e tra 32 e 32.5 m
34.4 e 44.7	Cataclaste di micascisto a luogo sfatta e argillificata con locali livelli pseudo sabbioso ghiaiosi, e porzioni molto alterate con prodotti di alterazione di colore giallo avana scuro alternati a porzioni di colore grigio cenere e grigio scuro
44.7 - 46.5	Micascisto molto alterato disgregato e degradati colore marrone nocciola
46.5 - 48.9	Micascisto con biotite molto fratturato e degradato
48.9 - 49.5	Micascisto a biotite fratturato
49.5 - 61.6	Micascisto cataclase e molto fratturato a luogo fortemente disgregato con livelli pseudo sabbiosi
61.6 - 65.0	Micascisto con vene di quarzo e intercalazioni gneiss minuti con scistosità obliqua rispetto alla verticale localmente fratturato

Profondità [m]	Completamento				
	Tubo cieco	Tubo filtro	Drenaggio	Temporizzatori (sospensioni)	Cementazione
0-1					
2-3					
3-4					
4-5					
5-6					
6-7					
7-8					
8-9					
9-10					
10-11					
11-12					
12-13					
13-14					
14-15					
15-16					
16-17					
17-18					
18-19					
19-20					
20-21					
21-22					
22-23					
23-24					
24-25					
25-26					
26-27					
27-28					
28-29					
29-30					
30-31					
31-32					
32-33					
33-34					
34-35					
35-36					
36-37					
37-38					
38-39					
39-40					
40-41					
41-42					
42-43					
43-44					
44-45					
45-46					
46-47					
47-48					
48-49					
49-50					
50-51					
51-52					
52-53					
53-54					
54-55					





COLONNA DMS (Differential Monitoring of Stability)

Elementi rigidi in acciaio contenenti sensoristica, elettronica di controllo e comunicazione digitale

Centralizzatori in poliuretano

Giunti flessibili in gomma armata ad alta resistenza per i collegamenti



Profondità (m)	ID modulo	BARCODE	Composizione DMS2 L 63 m						
			Modulo strumentato	Modulo sterzo	Sensore U	Sensore T	Sensore A	Parker a lamelle	
0-1									
1-2									
2-3									
3-4									
4-5	29	210000073391							
5-8									
6-7	28	210000079563							
7-8									
8-9	37	210000074663							
9-10									
10-11	26	210000074690							
11-12									
12-12									
13-13	35	210000074648							
13-14									
14-15	24	210000074860							
15-16									
16-17	23	210000074681							
17-18									
18-19	22	210000073956							
18-20									
20-21	21	2100000795188							
21-22									
22-23	20	2100000792128							
22-24									
24-25	19	210000074679							
25-26									
26-27	18	210000074617							
27-28									
28-29	17	210000074669							
29-30									
30-31	16	210000074164							
31-32									
32-33	15	210000074600							
33-34									
34-35	14	210000077593							
35-36									
36-37	13	210000074649							
37-38									
38-39	12	2100000795317							
39-40									
40-41									
40-41	11	210000079581							
41-42									



SENSORE INCLINOMETRICO	
Tipologia sensore	MEMS
Range inclinometro [°]	±30
Sensibilità [°/LSB]	0.00035
Risoluzione [°]	0.001
Linearità [%FS]	0.1
Ripetibilità [°]	±0.002

SENSORE ACCELEROMETRICO	
Tipologia sensore	MEMS
Range [g]	±2
Sensibilità [mg/LSB]	0.004
Livello di rumore [mg/√Hz]	25
Linearità [%FS]	0.1

SENSORE PIEZOMETRICO	
Tipologia sensore	Resistivo
Range [psi]	100
Sensibilità [mV/psi]	1
Risoluzione [psi]	0.02 psi
Linearità [%FS]	±0.2
Ripetibilità [%FS]	0.05

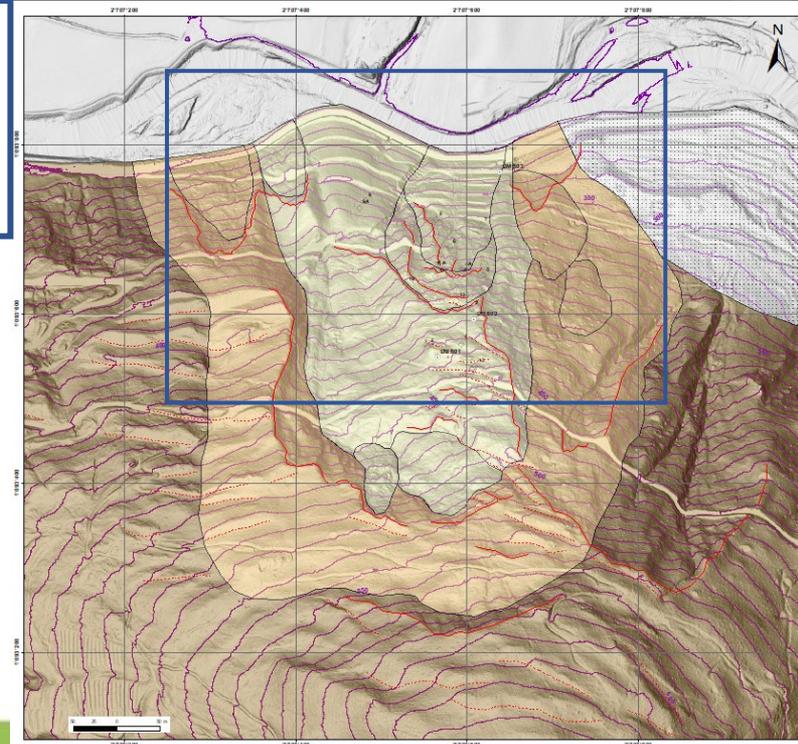
SENSORE DI TEMPERATURA	
Tipologia sensore	Termoresistenza al platino
Classe	A (DIN EN 60751/95)
Range [°C]	-50/+130°C
Resistenza [Ω]	1000
Risoluzione [°C]	0.1

ATTIVITA' PREVISTE DAL WP3: PARTE DI COMPETENZA SUPSI

- Aggiornamento dello studio geologico e geomorfologico
- Ricostruzione ultimi eventi
- Progettazione e installazione nuove strutture di controllo
- Progettazione e installazione sistema trasmissione dati di monitoraggio

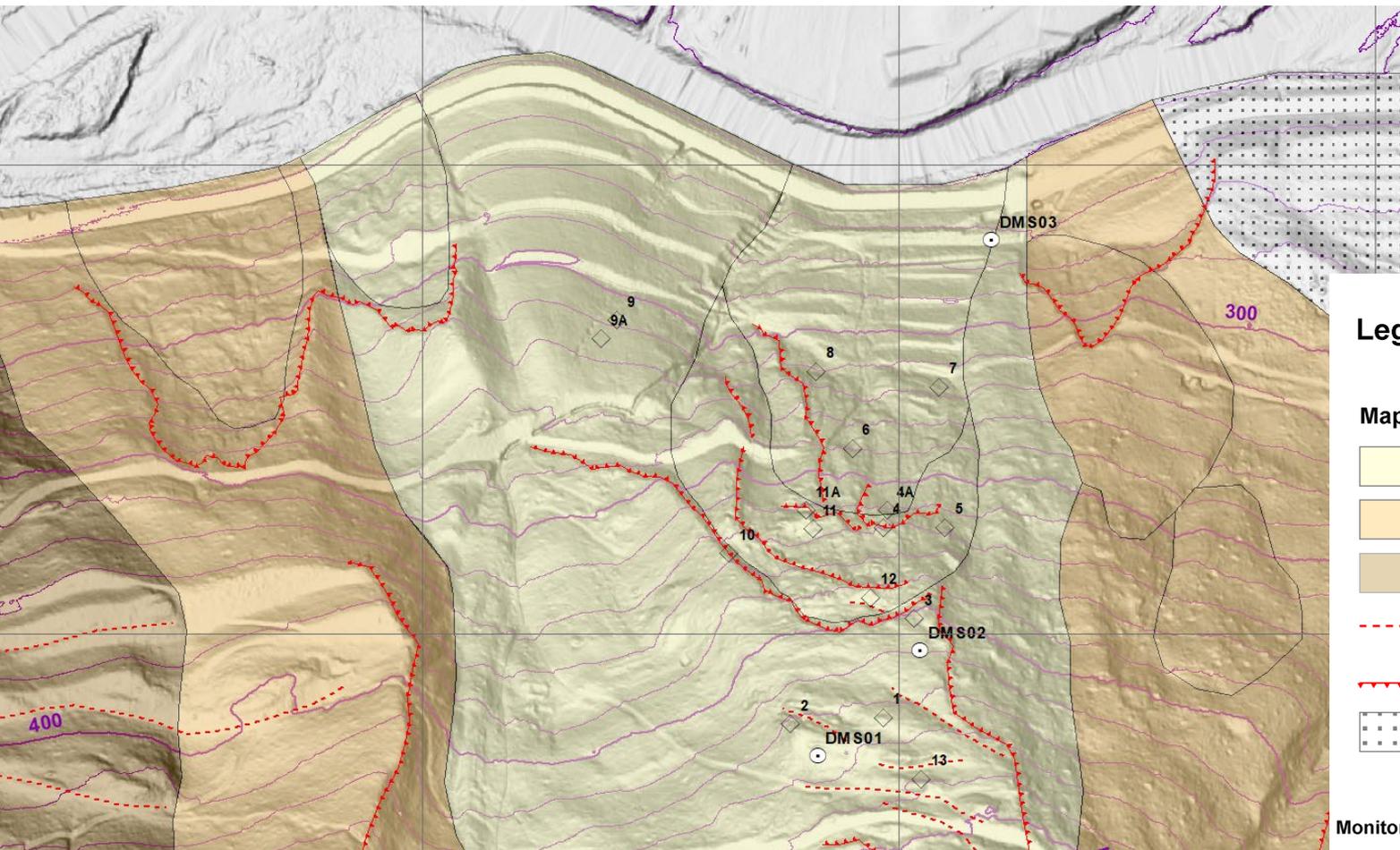
- Gestione e monitoraggio della frana
- Ridefinizione degli scenari di pericolo
- Individuazione procedure di monitoraggio ed intervento

- 
- Modellazione numerica della frana e ridefinizione degli scenari di
 - Allestimento e calibrazione modello di espansione, stima delle aree di invasione e valutazione dei possibili effetti sulla Tresa.
 - Definizione delle soglie di innesco/allarme della frana





CARTA GEOMORFOLOGICA CON ELEMENTI DI MONITORAGGIO



Legenda

Mappatura

-  scivolamento attivo
-  scivolamento inattivo
-  DGPV
-  controscarpata
-  orlo di scarpata
-  deposito paleofrana

Monitoraggio

-  Punti monitorati da UGEO (DT)
-  Sonde DMS



Monitoraggio pregresso

Misure inclinometriche e piezometriche: 17 sondaggi con letture mensili con misure dal 2004 al 2007.

Misure geodetiche:

- Teste dei tubi inclinometrici
- Misurazione di punti fissi (Ufficio dei per. nat., degli incendi e dei progetti, Ct. TI)

Misure con estensimetro:

- 4 estensimetri utilizzati tra il 2007 e 2009

Monitoraggio attivo

Monitoraggio profondo continuo - sonde multiparametriche DMS:

- inclinometri
- accelerometri
- piezometri

Misure geodetiche a cadenza annuali (Ufficio della geomatica, Ct. TI)

COLONNE DMS – SPOSTAMENTI INCLINOMETRICI

Colonna DMS2

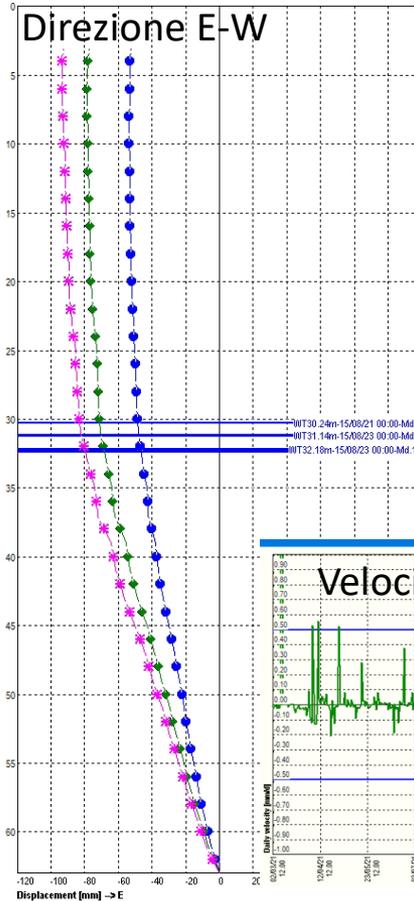
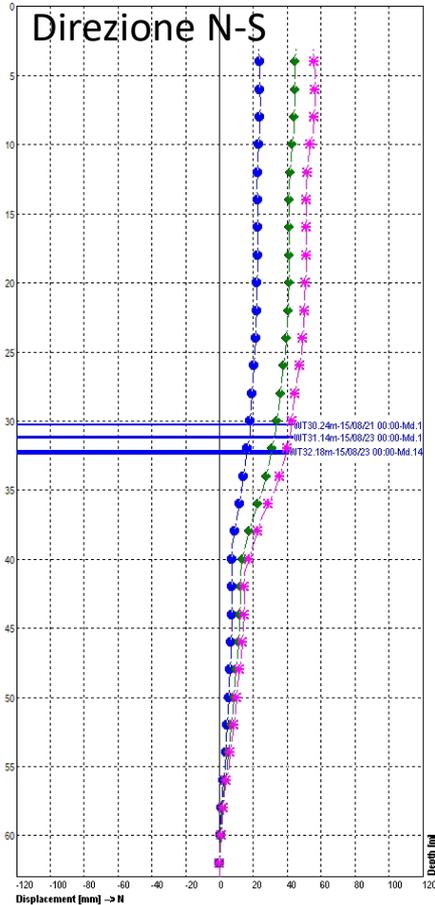
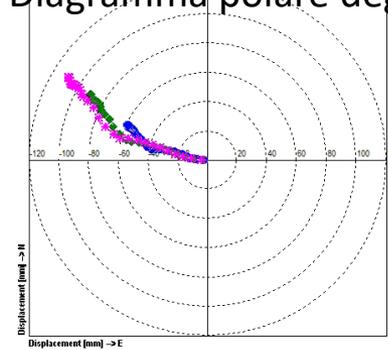
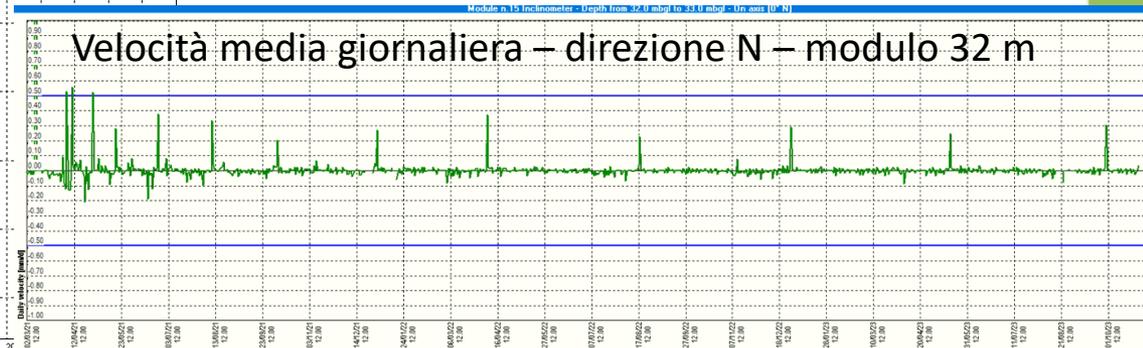


Diagramma polare degli spostamenti

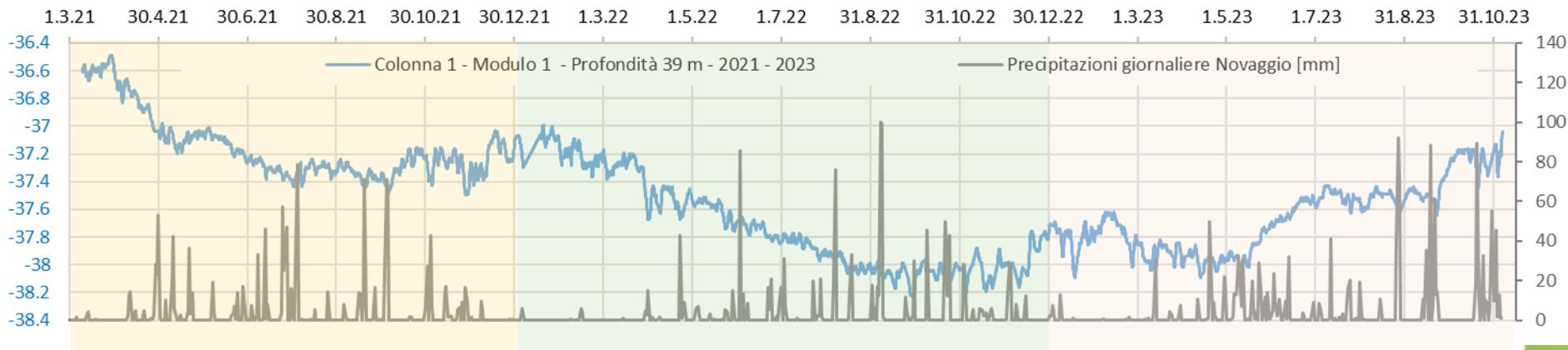


Velocità media giornaliera – direzione N – modulo 32 m



COLONNE DMS – DATI PIEZOMETRICI

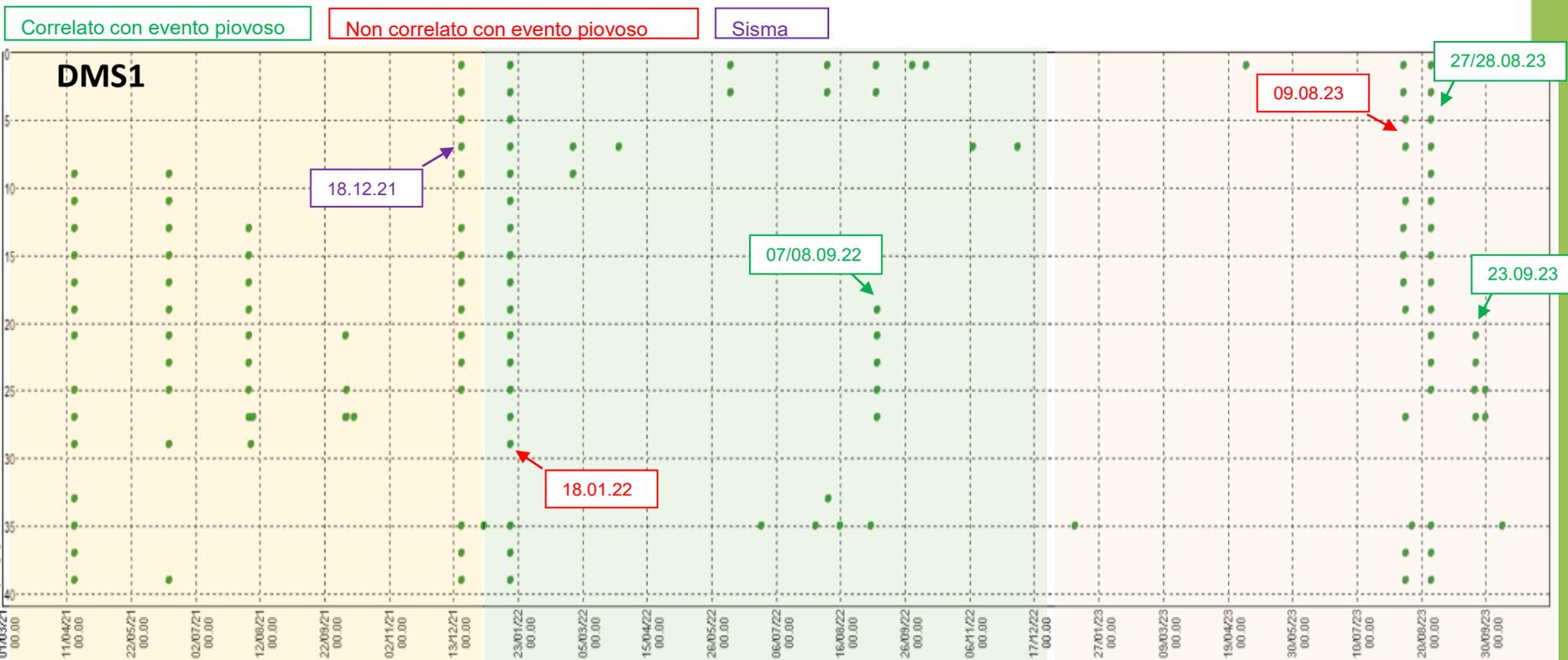
DMS1 – Livello falda **profonda** vs precipitazioni



- Misure dei piezometri da 10.03.2021 al 06.11.2023
- Scarsa correlazione tra livello della falda e piogge per il piezometri posti a **metà delle colonne** (oscillazioni di 20-30 cm circa).
- Abbassamento costante della falda per i piezometri **a fondo foro**, con una **risalita lenta durante gli eventi degli ultimi 2 mesi**
- Il livello del piezometro al piede della frana (colonna DMS 003) ha un comportamento fortemente influenzato dal livello del fiume.

COLONNE DMS – DATI ACCELEROMETRICI

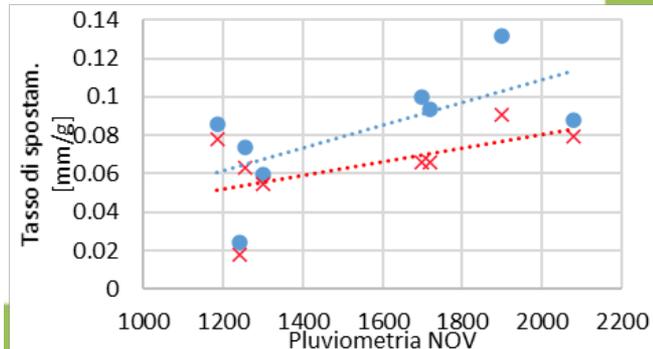
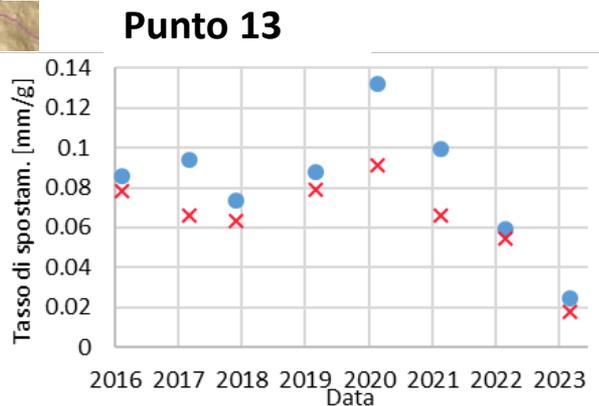
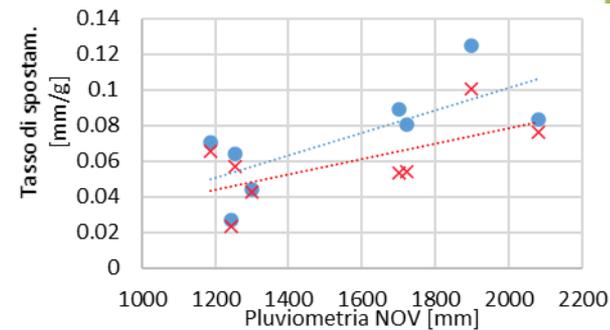
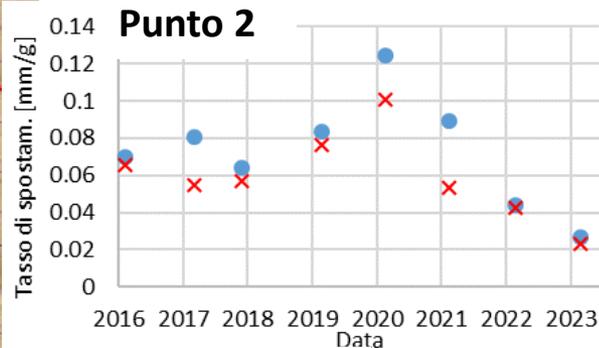
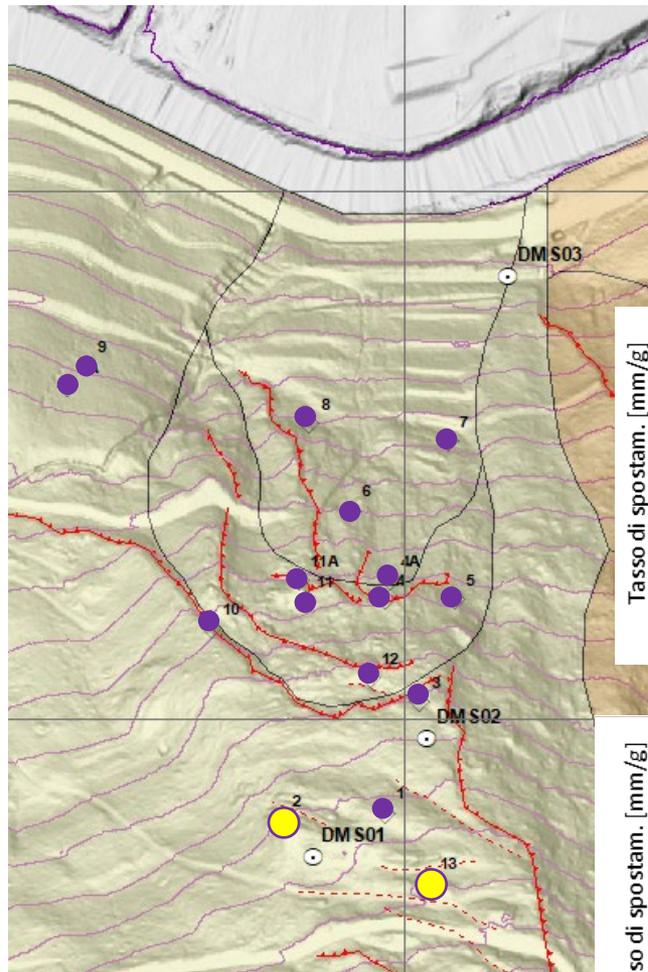
- L'accelerogramma rilevato è disponibile sia nel suo formato originale, sia come dato interpretato direttamente dal software
- Il dato interpretato visualizza tutti gli **eventi accelerometrici** che superano una **soglia** (livello 0 – 10 mg) e la **frequenza** di tali superamenti





MONITORAGGIO GEODETICO – SPOSTAMENTI INCREMENTALI

- Periodo di raccolta dati da agosto 2006
- Ad intervallo regolare, dal 2015 a cadenza annua
- Ultima misura il 02.03.2023
- **Spostamenti in diminuzione nell'ultimo anno (feb. 22 - feb. 23)**



MODELLO DI STABILITA'

Calibrazione modello 2D:

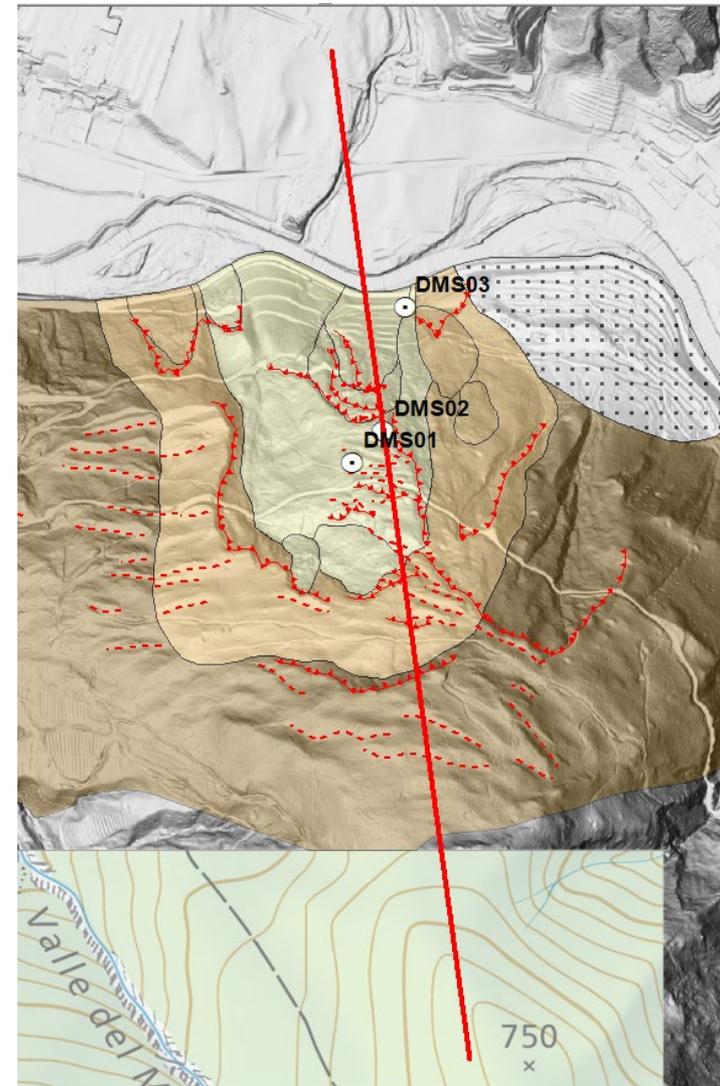
- Prove geomeccaniche di superficie e profonde
- Analisi parametrica

Validazione e divisione in scenari:

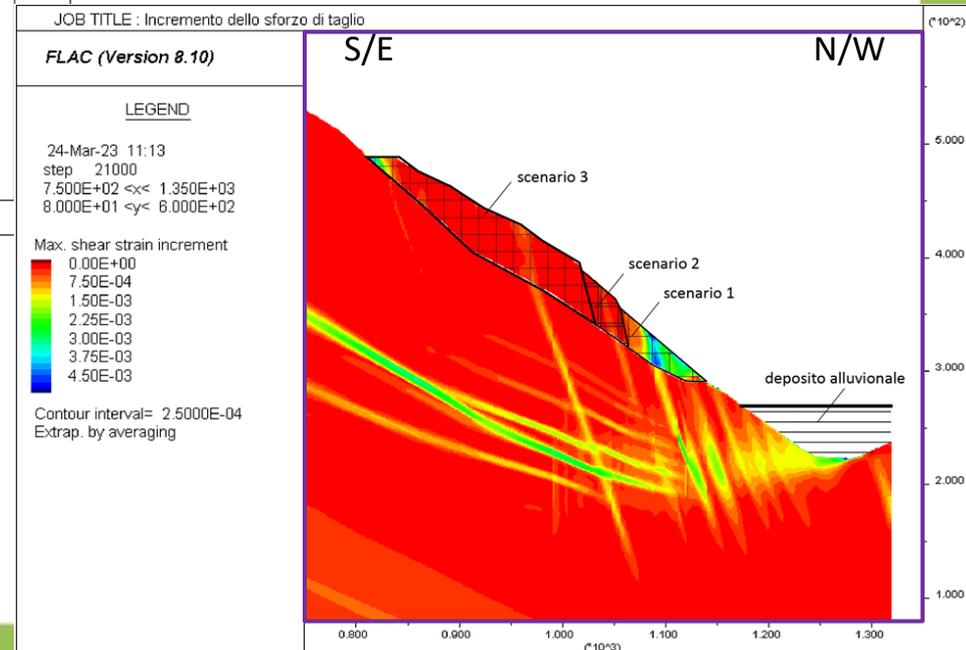
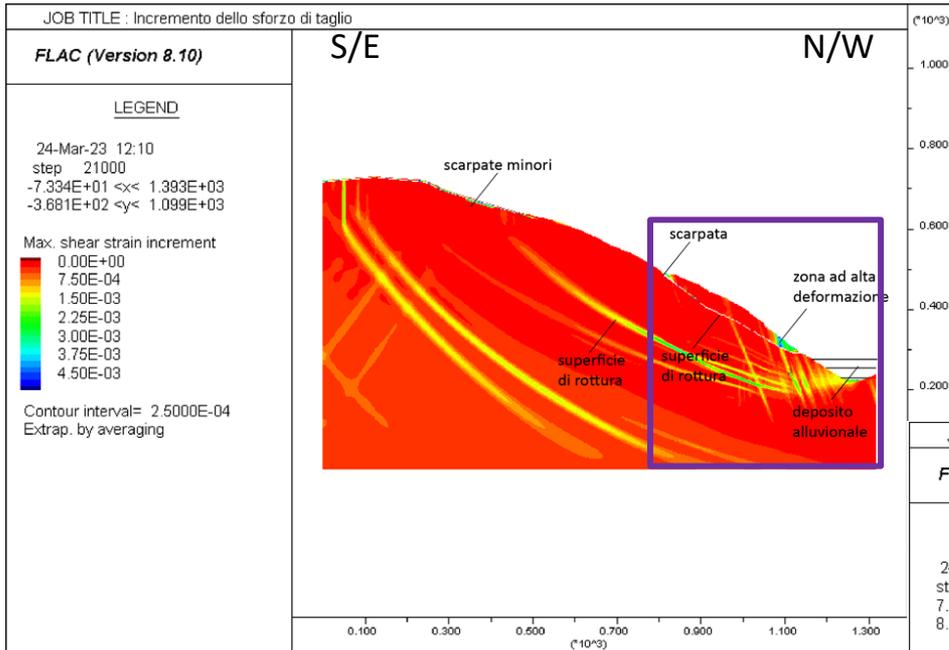
- Elementi morfologici del versante
- Dati stratigrafici
- Dati di monitoraggio

Periodo di ritorno

- Mancanza di eventi piovosi intensi (simili a quelli che in passato hanno rimobilizzato il dissesto) impediscono di stimare il **grado di rarità** degli scenari.

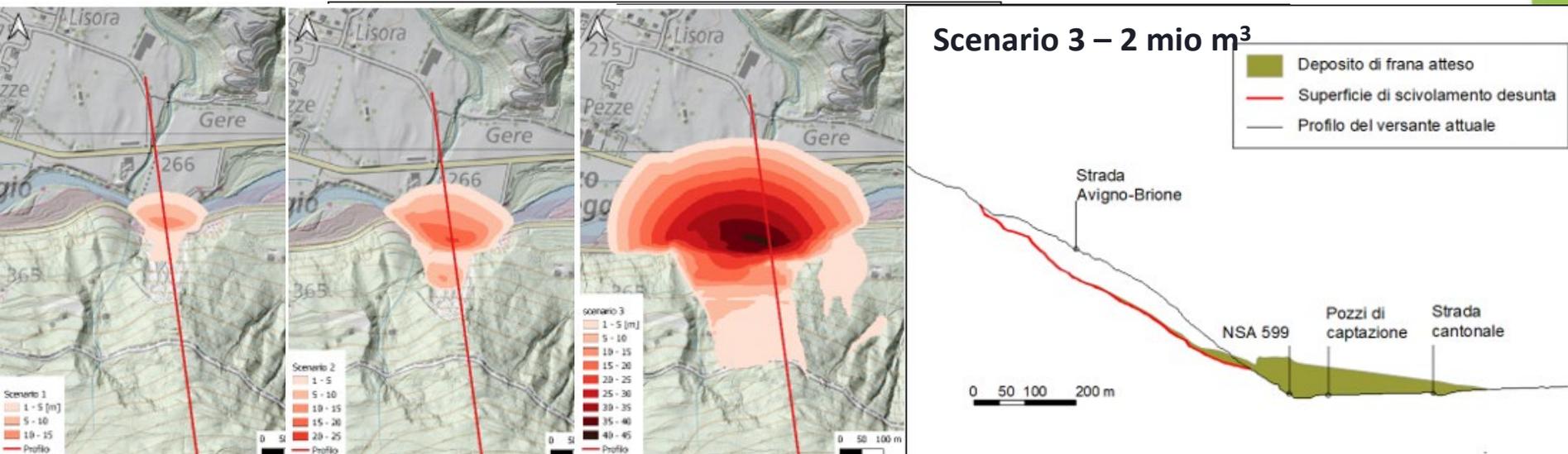


MODELLO DI STABILITA': RISULTATI E DEFINIZIONE DEI 3 SCENARI



MODELLO DI ESPANDIMENTO

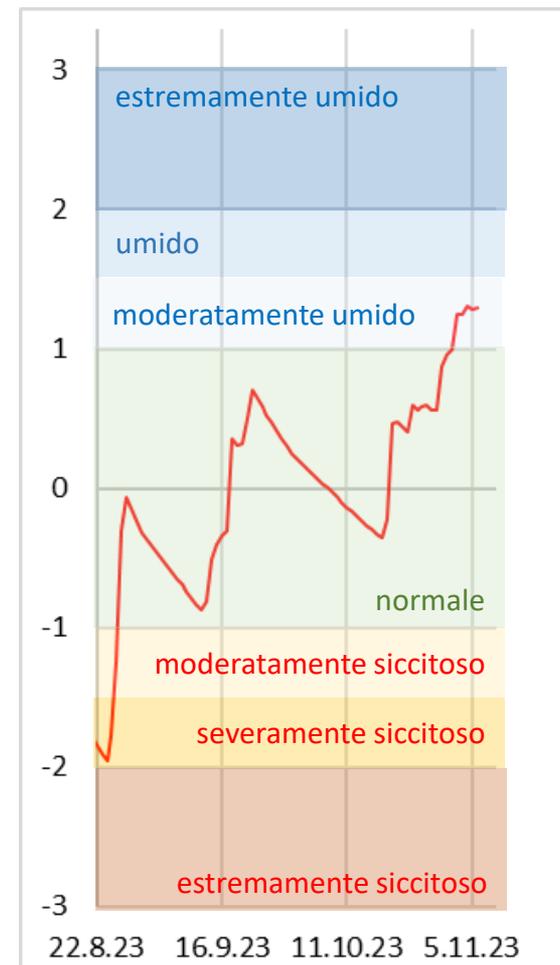
- Definizione di 3 scenari in base ai risultati del modello di stabilità
- Profondità **superficie di scivolamento** in base ai primi risultati del monitoraggio DMS: tra 25 e 35 m di profondità
- Analisi parametrica e calibrazione in base a parametri di letteratura e propagazione paleo-frane limitrofe
- Non possibile attribuire un periodo di ritorno agli scenari, di sicuro il 3 è ultracentenario



CORRELAZIONE TRA PLUVIOMETRIA E CONDIZIONI DI INNESCO DELLA FRANA

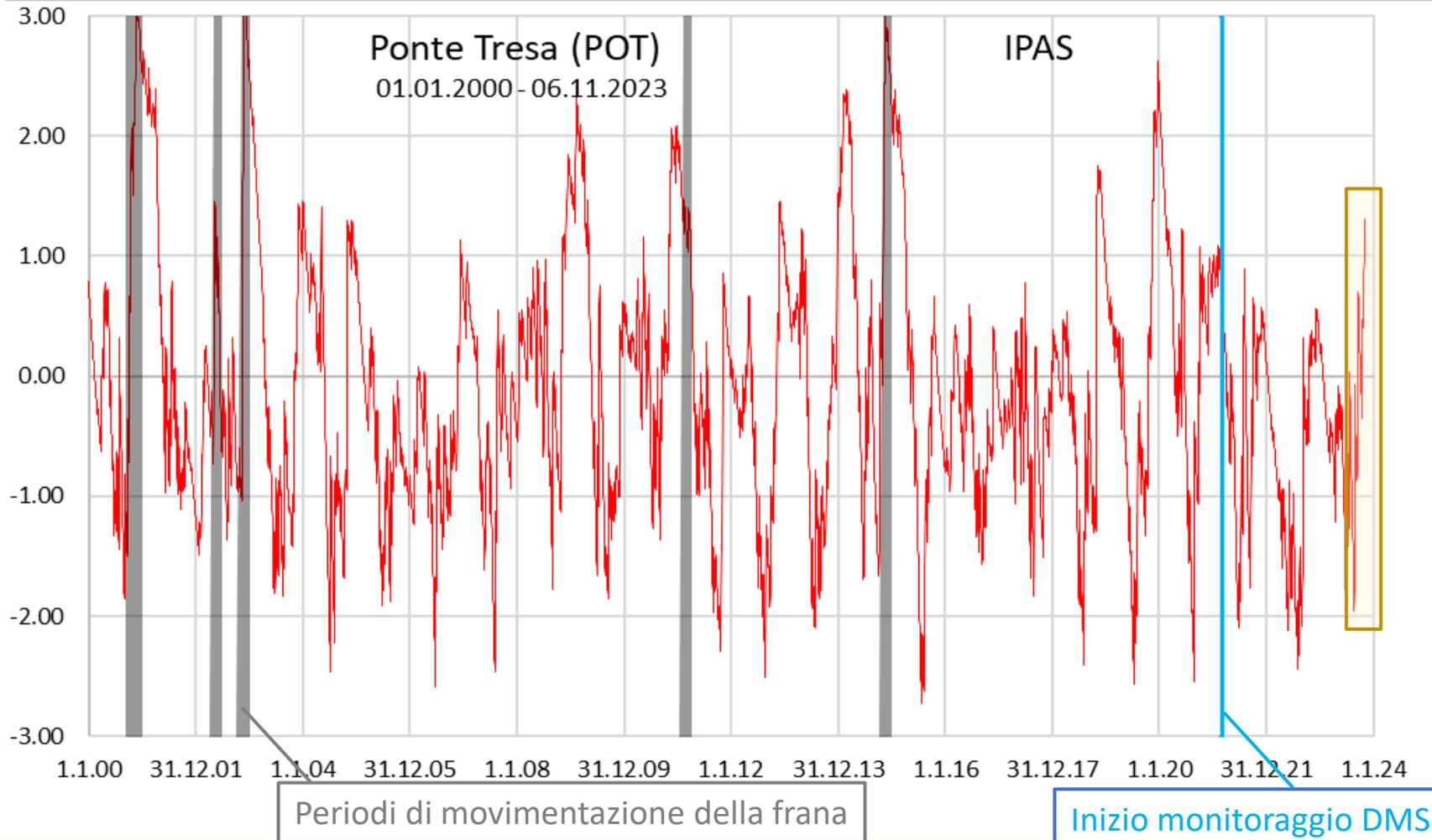
Indice di pioggia antecedente standardizzato IPAS:

- Fornisce un'indicazione dello stato di **umidità/siccità** dei primi strati superficiali del terreno
- Classificazione da estremamente umido ($Z > 2.0$) ad estremamente siccitoso ($Z > -2.0$), con la normale che è compresa tra -1 ed 1
- Già utilizzato in passato per correlare l'occorrenza di eventi franosi
- Pochi eventi a disposizione per la frana di Cadegliano-Viconago (**nessuna informazione pre-2000**)





CORRELAZIONE TRA PLUVIOMETRIA E CONDIZIONI DI INNESCO DELLA FRANA



CONCLUSIONI DELLA PARTE MODELLISTICA

Monitoraggio DMS

- Gli spostamenti cumulati nei moduli inclinometrici mostrano **deformazioni su tutta la colonna**, mostrando che non si è giunti ad un substrato roccioso stabile nelle parti più profonde della colonna.
- **Fenomeno molto** più **profondo** di quanto preventivato, con la presenza di una Deformazione gravitativa profonda di versante (**DGPV**), il cui limite inferiore non è attualmente noto
- Tra 28 (colonna 1) e 40 m (colonna 2) circa di profondità è stato possibile identificare una **superficie di scivolamento**
- I due **piezometri** a fondo foro hanno un **trend in costante diminuzione** da marzo 2021 fino a due mesi fa, mentre quelli a metà foro hanno **oscillazioni trascurabili**.
- **La scarsa pluviometria** registrata finora non ha consentito una vera e propria correlazione tra precipitazioni e movimento in profondità del dissesto (livello falda, inclinometri e accelerometri).

Modellistica ed espandimento frana

- Definizione degli **scenari di espandimento** e valutazione dei possibili **effetti sulla Tresa**.

Aspetti in corso di definizione

- Definizione delle **soglie di innesco/allarme** della frana (buoni risultati con **IPAS**, affiancamento a **monitoraggio DMS**).
- Individuazione delle **procedure di monitoraggio ed intervento**.

Prospettive future

- Sarà molto importante il **mantenimento del monitoraggio nel tempo**, onde riuscire a caratterizzare al meglio le **tempistiche di una possibile riattivazione del dissesto**.
- Il monitoraggio del dissesto e la sua correlazione con la pluviometria è sicuramente il metodo migliore per **affinare la parte modellistica** e riuscirà a migliorare la stima del grado di rarità di questi eventi.
- Valutare la **funzionalità residua delle opere di stabilizzazione**, per capire dove ha senso ripristinarle, rimuoverle oppure installarne di nuove in caso di necessità.



FIUME TRESA

IL PIANO DI ALLERTAMENTO

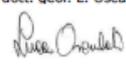
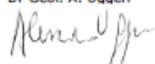
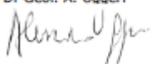


FIUME TRESA



**INTERREG V 2014-2020 ID489165 Fiume Tresa
 WP3 – Monitoraggio frana Cadegliano Viconago
 ed elaborazione del sistema d'allertamento**

Piano di allertamento

Num. Rif. Lavoro	19-158	N. copie consegnate		
	Data	Redatto (RT)	Revisionato (RC)	Approvato (RC)
R00	21/09/2023	dott. geol. L. Osculati 	Dr Geol. A. Uggeri 	Dr Geol. A. Uggeri 
R01				
R02				
Gruppo di lavoro				
Nome file		19-158 Piano di allertamento v20230921.doc		

Idrogea
servizi S.r.l.

Idrogea Servizi srl Società di Ingegneria
 Via C. Rovera, 26 - 21026 Gavirate (VA)
 P.IVA : 02744990124
 Tel. 0332 286650 - Fax 0332 234562
 idrogea@idrogea.com - idrogea@pec.it
 www.idrogea.com

In **condizioni ordinarie**:

- L'Ente gestore del sistema di monitoraggio:
 - Controlla che il sistema sia attivo ed i dati coerenti
 - Aggiorna l'organigramma e l'elenco dei contatti dei soggetti coinvolti
- La Comunità Montana del Piambello mantiene la rete sentieristica sul versante, per controllo strumenti e verifiche dirette

In caso di allerta:

- Codice ROSSO - Criticità ELEVATA
- Codice ARANCIONE - Criticità MODERATA
- Codice GIALLO - Criticità ORDINARIA
- Codice VERDE - Criticità ASSENTE
- NESSUNA PREVISIONE

Sistema di allertamento di Regione Lombardia (AllertaLOM)

Fasi operative:

Giallo e arancione -> almeno «attenzione»

Rosso -> almeno «preallarme»

In via sperimentale, si propone inizialmente di adottare le seguenti soglie:

Monitoraggio DMS - valori soglia*		Codice di allerta giallo	Codice di allerta arancione	Codice di allerta rosso	
Piezometri	DMS1 sup	1 cm/24h	1 cm/6h	1 cm/h	è sufficiente il superamento di un valore soglia per passare al grado di allerta maggiore
	DMS1 prof	1 cm/24h	1 cm/6h	1 cm/h	
	DMS2 sup	1 cm/24h	1 cm/6h	1 cm/h	
	DMS2 prof	1 cm/24h	1 cm/6h	1 cm/h	
	DMS3	10 cm/24h	10 cm/6h	10 cm/h	
Inclinometri	DMS1	1 mm/24h	1 mm/6h	1 mm/h	
	DMS2	1 mm/24h	1 mm/6h	1 mm/h	
Accelerometri	DMS1	0,2 *9,8 m/s ²	0,4 *9,8 m/s ²	0,6 *9,8 m/s ²	
	DMS2	0,2 *9,8 m/s ²	0,4 *9,8 m/s ²	0,6 *9,8 m/s ²	

Adeguamento e sviluppo del piano:

- Verifica annuale con analisi dei dati di **monitoraggio DMS e geodetico**
- Sviluppo di **soglie** fisicamente basate, utilizzando ad esempio le precipitazioni cumulate in relazione ai **livelli piezometrici**
- Valutazione dell'installazione di **stazione meteorologica** in prossimità della frana
- **Adeguamento delle soglie** e dei protocolli
- Controllo e aggiornamento dell'**organigramma** e dei contatti dei soggetti coinvolti
- Fondamentale **mantenere pienamente operativo il monitoraggio**



FIUME TRESA



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!