

**Corso di Laurea in Scienze Geologiche**  
**LA GEOLOGIA NEL MONDO DEL LAVORO: SEMINARI DI ORIENTAMENTO**



**IL DISSESTO IDROGEOLOGICO: IL RUOLO DEL GEOLOGO NELLA  
TUTELA DEL TERRITORIO PER UNO SVILUPPO SOSTENIBILE**

Massimo Pietrantoni

SECONDA PARTE

## IL RUOLO DEL GEOLOGO

**IL RUOLO DEL GEOLOGO** nella mitigazione del rischio di frana.

**UN RUOLO ATTIVO O PASSIVO?**

**PREVENZIONE O EMERGENZA?**

**IL GEOLOGO**

- ✓ **STUDI, INDAGINI E MONITORAGGIO.**  
Programmazione, direzione e interpretazione dei dati
- ✓ **ANALISI DEL RISCHIO**
- ✓ **PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI.** Il geologo integrato nel team di progettazione

# INDAGINI E MONITORAGGIO

## LE INDAGINI E IL MONITORAGGIO NELLO STUDIO DELLE FRANE

Le tipologie di indagini impiegate per lo studio delle frane non sono sostanzialmente differenti da quelle usualmente impiegate per gli altri problemi geotecnici.

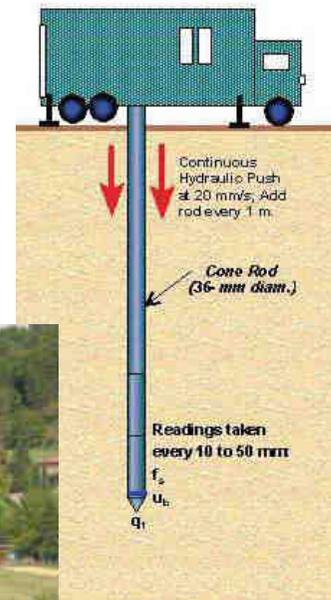
Si differenziano tuttavia per i diversi obiettivi, tipici di ogni problema. Il tema delle indagini merita quindi una valutazione mirata agli effettivi obiettivi in modo da ottimizzare le «risorse economiche» (generalmente scarse) dedicate a questa voce di spesa.

# INDAGINI E PROVE IN SITO

Indagini dirette: sondaggi, scavi pozzetti, trincee

con prove in situ e in laboratorio

Indagini indirette: prove penetrometriche, indagini geofisiche



## **Le finalità delle indagini per lo studio delle frane e della stabilità dei pendii**

- 1) Ricostruire la stratigrafia e le condizioni idrauliche del sottosuolo
- 2) Ricostruire la geometria del corpo di frana e il meccanismo cinematico
- 3) Determinare le principali grandezze geotecniche
- 4) Individuare i metodi costruttivi più idonei
- 5) Fornire gli elementi per la corretta progettazione degli interventi

Le indagini vanno approfondite in funzione del livello di progettazione /pianificazione.

### **Le fasi della progettazione**

FATTIBILITA' → DEFINITIVO → ESECUTIVO

LA FASE ESECUTIVA → "POST-OPERAM"

## LE PROVE DI LABORATORIO NELLO STUDIO DELLE FRANE

Nello studio delle frane le prove di laboratorio sono mirate, oltre alla misura delle principali caratteristiche fisiche, alla determinazione delle caratteristiche di **resistenza al taglio** dei terreni.

- ✓ Prove di taglio diretto
- ✓ Prove di compressione triassiale



## MONITORAGGIO DEI PENDII

Nei problemi di stabilità dei pendii il ricorso ad osservazioni dettagliate e protratte per lungo tempo (monitoraggio) è reso spesso indispensabile dalla complessità delle situazioni geotecniche.

Il **monitoraggio** può essere applicato:

- 1) nella fase di indagine: per determinare la geometria e il cinematismo del movimento franoso
- 2) in corso di costruzione: per verificare la correttezza delle ipotesi progettuali ed adottare eventuali opportuni accorgimenti migliorativi
- 3) ad opera ultimata (in esercizio): per verificare la correttezza degli interventi e controllare la comparsa di eventuali evoluzioni dei fenomeni

## MONITORAGGIO DEI PENDII

*Tab. 1 - Oggetto delle osservazioni di controllo di pendii o fronti di scavo*

FATTORI "ESTERNI"	COMPORIAMENTO DEL PENDIO	COMPORIAMENTO STRUTTURE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Condizioni meteorologiche</li> <li>• precipitazioni</li> <li>• temperatura aria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spostamenti o deformazioni</li> <li>• in superficie</li> <li>• in profondità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carichi trasmessi dal terreno</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deflussi corsi d'acqua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Situazione idraulica</li> <li>• pressioni interstiziali</li> <li>• "suzione"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deformazione strutture</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vibrazioni</li> <li>• sismiche</li> <li>• da volate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caratteristiche terreno</li> <li>• permeabilità</li> <li>• velocità sismica</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carichi, applicati</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fenomeni di rottura (emissione acustica)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifica della geometria</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Livelli di invaso (per bacini)</li> </ul>		

## MONITORAGGIO DEI PENDII

GRANDEZZA DA MISURARE	
Spostamenti	Inclinometri fissi e a sonda mobile Catene estensimetriche Misure topografiche e/o aerofotogrammetriche e/o da interferometria satellitare
Deformazioni	Estensimetri a filo Catene estensimetriche Tiltmetri
Livelli di falda e pressioni interstiziali	Piezometri singoli Piezometri multipoint Celle di pressione totale

## MONITORAGGIO DEI PENDII

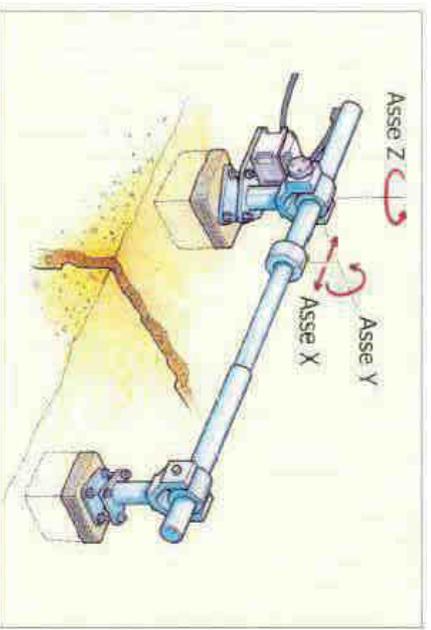
### MISURE DI SPOSTAMENTO

**Movimenti locali in superficie** - Misure topografiche di precisione



## MONITORAGGIO DEI PENDII

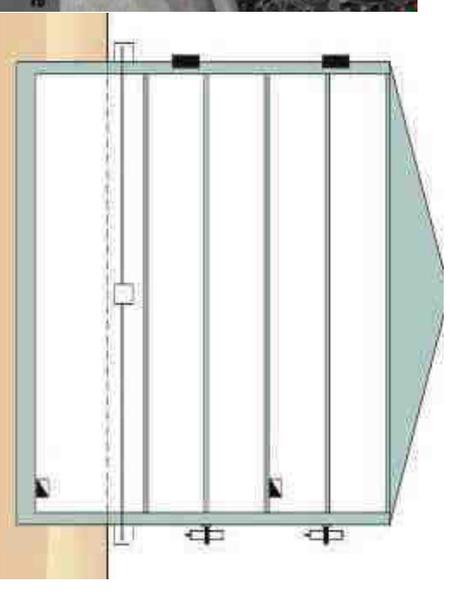
MISURE DI SPOSTAMENTO in superficie - Estensimetri e clinometri



Schema di un estensimetro a barra, per il controllo del vettore di spostamento

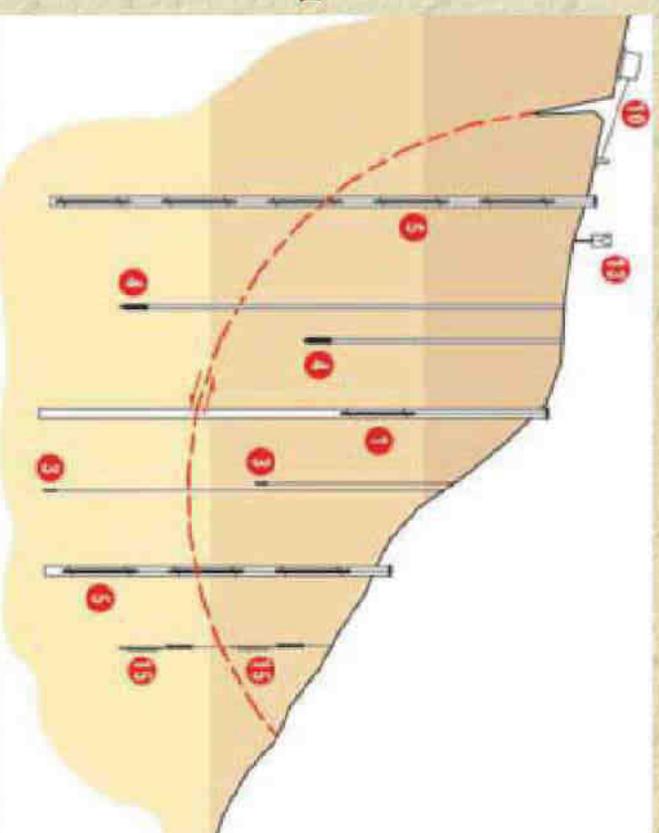


Piazza Livellometrica DSM e Clinometro di Superficie con Scatola di Protezione contro Sovratensioni



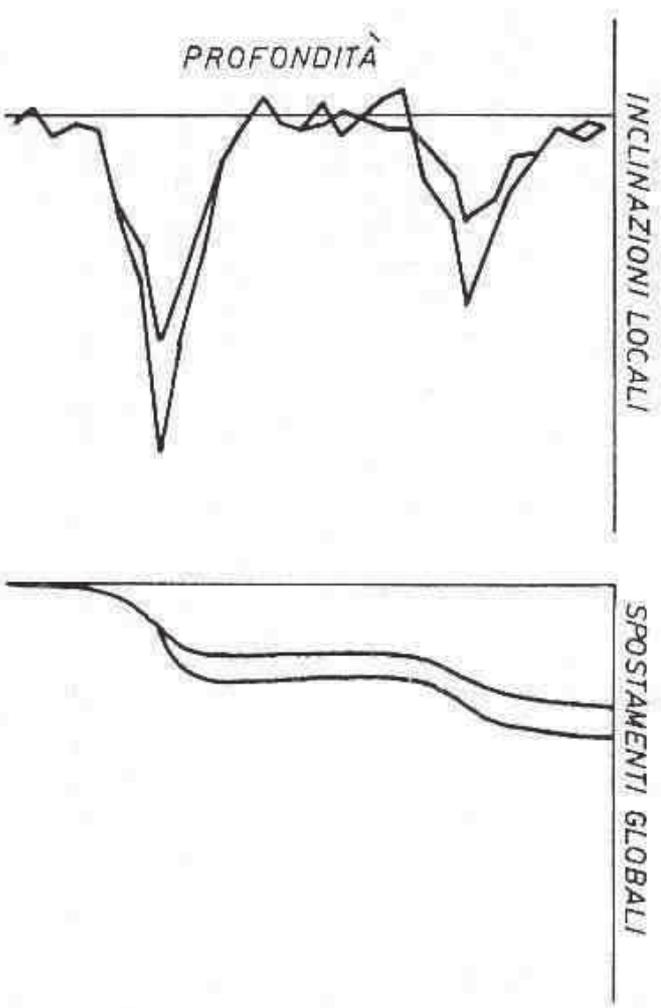
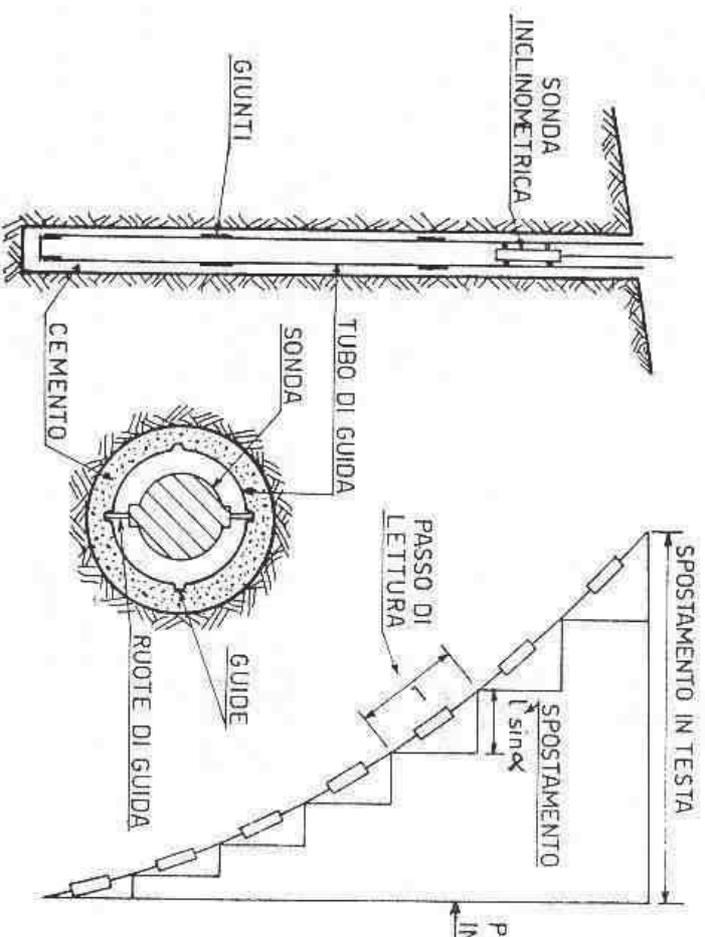
## Esempio di strumentazione

- (1) Tubo inclinometrico
- (3) Piezometri elettrici
- (4) Piezometri Casagrande
- (5) Colonna di inclinometri fissi
- (10) Estensimetri a filo
- (13) Stazione pluviometrica
- (15) Celle di pressione



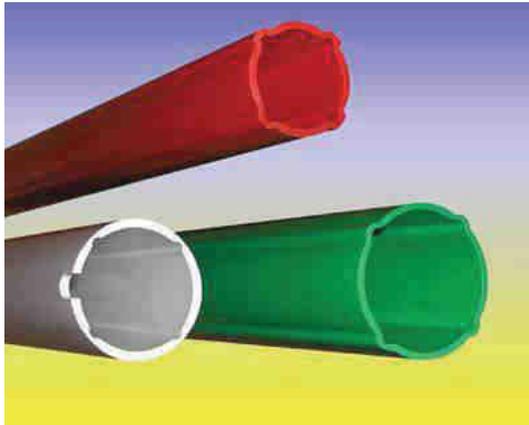
# MONITORAGGIO DEI PENDII

## MISURE DI SPOSTAMENTO Spostamenti nel sottosuolo - Inclinometri



## MONITORAGGIO DEI PENDII

### Inclinometri a sonda mobile



## MISURE DI SPOSTAMENTO

### Spostamenti nel sottosuolo - Inclinometri



Negli Inclinometri a sonda mobile l'inclinazione è rilevata manualmente tramite una sonda periodicamente calata nel tubo installato permanentemente nel terreno.

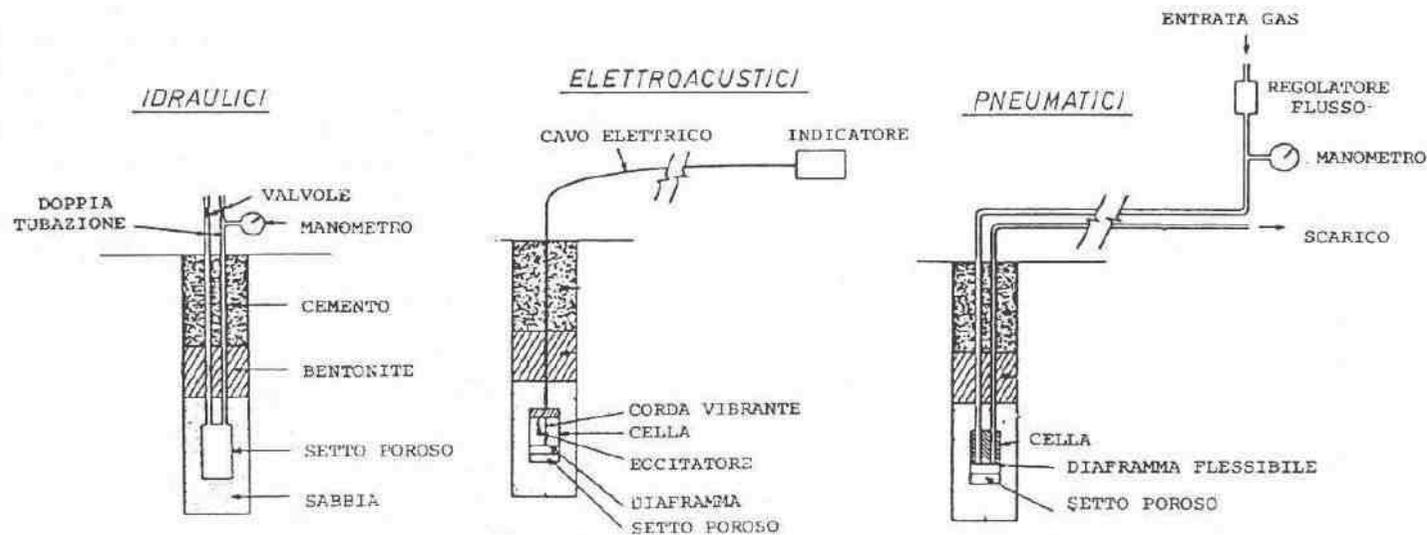
- Essi sono adatti a seguire movimenti caratterizzati da un'evoluzione temporale così lenta, da poter essere ricostruita attendibilmente con rilevazioni periodiche,
- La frana non deve produrre spostamenti elevati in tempi brevi, in quanto la sonda non può essere calata in tubi altamente deformati.



## MONITORAGGIO DEI PENDII

## MISURE PIEZOMETRICHE

Un piezometro è costituito essenzialmente da una cavità, separata dal terreno da un setto poroso (filtro) di opportuna permeabilità, e da un sensore per misurare la pressione dell'acqua nella cavità. Il piezometro è inserito in una porzione di foro riempita di sabbia e isolata dal tratto restante mediante bentonite e cementazione



*Schemi dei principali tipi di piezometri*

## MONITORAGGIO DEI PENDII

## MISURE PIEZOMETRICHE

<b>Sistemi aperti</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- A tubo aperto</li><li>- Casagrande</li><li>- Ad infissione</li></ul>
<b>Sistemi chiusi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Idraulici</li><li>- Pneumatici</li><li>- Elettrici</li><li>- BAT</li></ul>

## MONITORAGGIO DEI PENDII

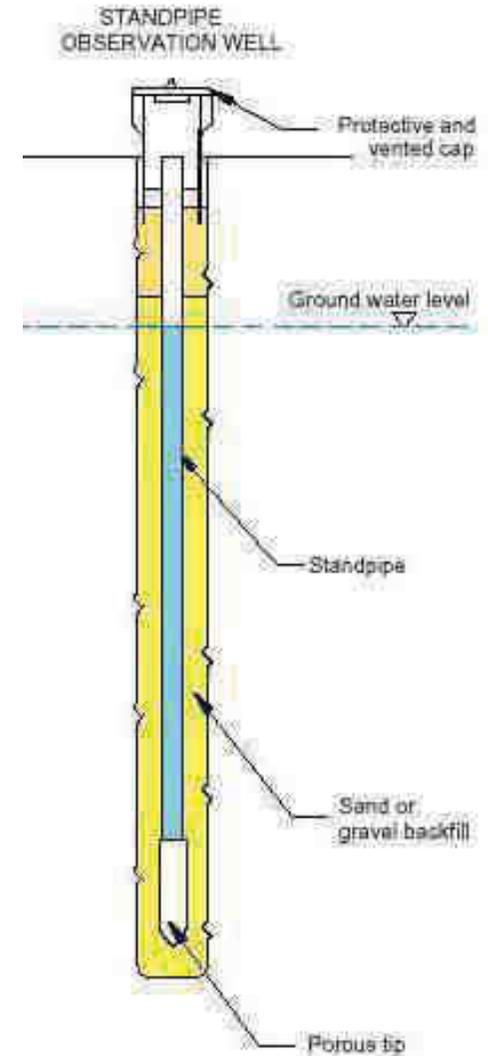
I **piezometri a tubo aperto** vengono impiegati per rilevare, misurare e controllare il livello di falda in terreni ad alta permeabilità.



Misure effettuate con  
freatimetro elettrico



## MISURE PIEZOMETRICHE



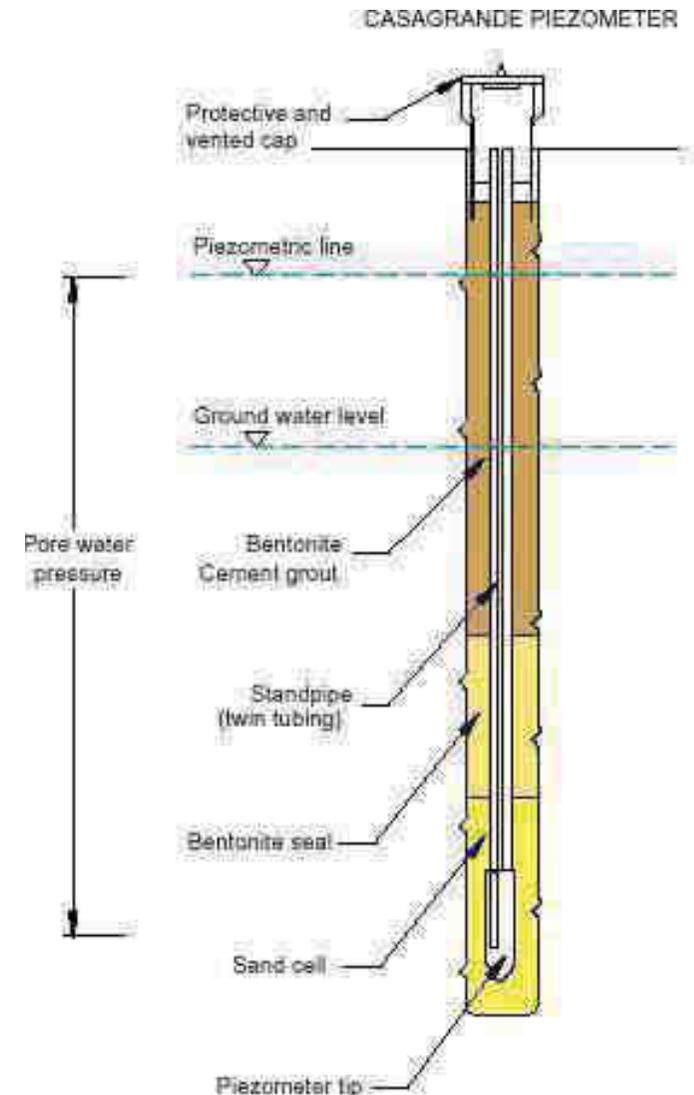
## MONITORAGGIO DEI PENDII

I **piezometri Casagrande** vengono impiegati per rilevare, misurare e controllare la pressione interstiziale dell'acqua in terreni o rocce permeabili in corrispondenza della profondità di installazione della cella filtrante.

- Il piezometro Casagrande è di solito usato in terreni sabbiosi e limosi, ma può essere impiegato anche in argille se le variazioni delle pressioni neutre sono sufficientemente lente rispetto ai tempi richiesti per la filtrazione nella cella del volume d'acqua necessario ad equilibrare le pressioni interstiziali.



## MISURE PIEZOMETRICHE



## MONITORAGGIO DEI PENDII

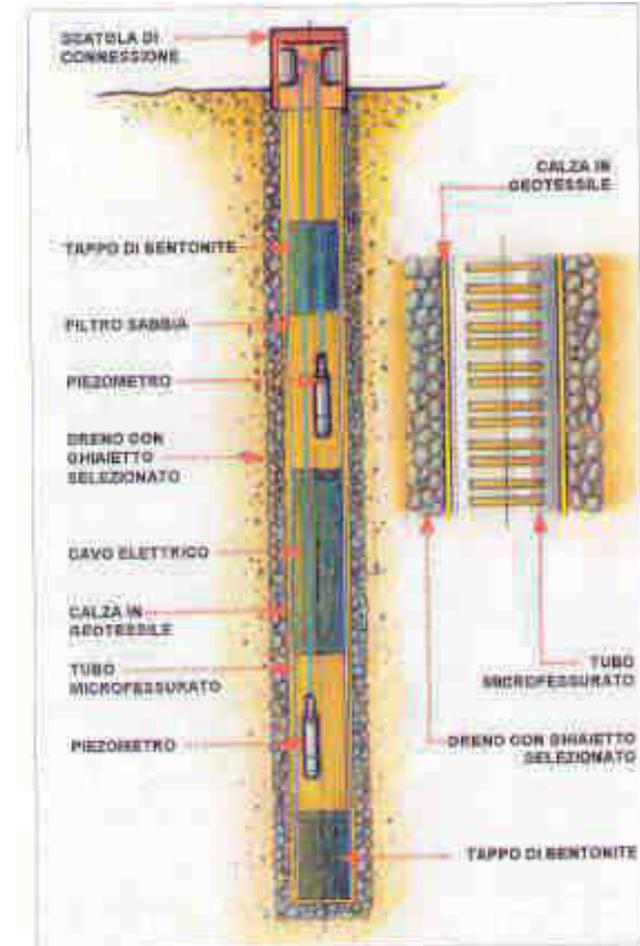
### PIEZOMETRO ELETTRICO

I piezometri elettrici sono utilizzati per misure di pressione interstiziale e livello di falda. Le applicazioni spaziano dal controllo delle sovrappressioni in suoli argillosi e limosi alla misura automatica dei livelli di falda, dalla misura e controllo della permeabilità al monitoraggio delle sovrappressioni e del gradiente idraulico in dighe e frane.

- I piezometri elettrici sono un sistema di misura piuttosto costoso ma con un basso tempo di risposta e facilità di utilizzo. Consentono misure in continuo; i dati possono essere trasmessi in remoto



## MISURE PIEZOMETRICHE



Schema di piezometro;  
per il controllo dell'oscillazione delle falde acquifere

## **MONITORAGGIO DEI PENDII**

### **PIEZOMETRO ELETTRICO**



## **MISURE PIEZOMETRICHE**



## MONITORAGGIO DEI PENDII

### Nuove tecniche di monitoraggio per pendii instabili

- Negli ultimi anni, grazie ai notevoli passi in avanti fatti dalla scienza nel campo della tecnologia, sono stati messi a punto nuovi metodi per il controllo del territorio, che sono stati applicati anche al monitoraggio di pendii instabili, supportando così le misure eseguite con la strumentazione classica (inclinometri, piezometri, estensimetri, ecc..), con un nuovo mezzo di conoscenza quale il **telerilevamento**.

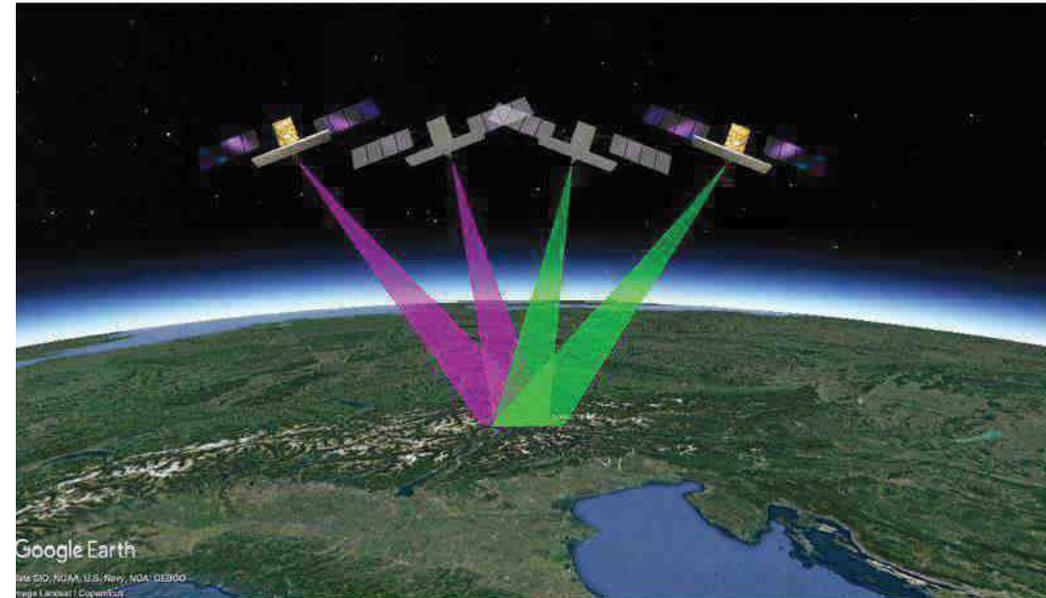
## *MONITORAGGIO DEI PENDII*

### **Nuove tecniche di monitoraggio per pendii instabili**

- ✓ Sistema NAVSTAR / GPS ;
- ✓ Fotogrammetria ;
- ✓ Terrestrial Laser Scanning ;
- ✓ Interferometria SAR (Synthetic Aperture Radar):
- ✓ Ground-Based In-SAR (da terra)
- ✓ Satellite In-SAR (da satellite)

## MONITORAGGIO DEI PENDII

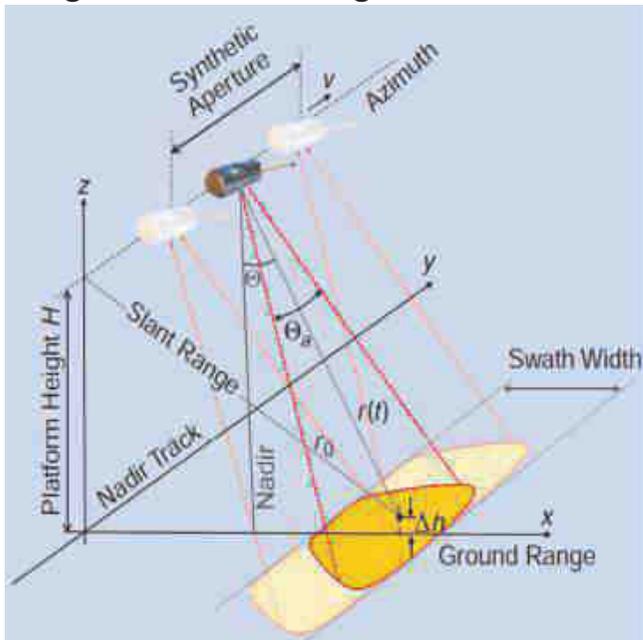
L'InSAR (Interferometric Synthetic Aperture RADAR) si basa sul confronto di immagini RADAR acquisite in tempi diversi. Oggi rappresenta la **principale metodologia di telerilevamento satellitare** impiegata ad oggi per la misura degli spostamenti della superficie terrestre e delle strutture presenti su di essa.



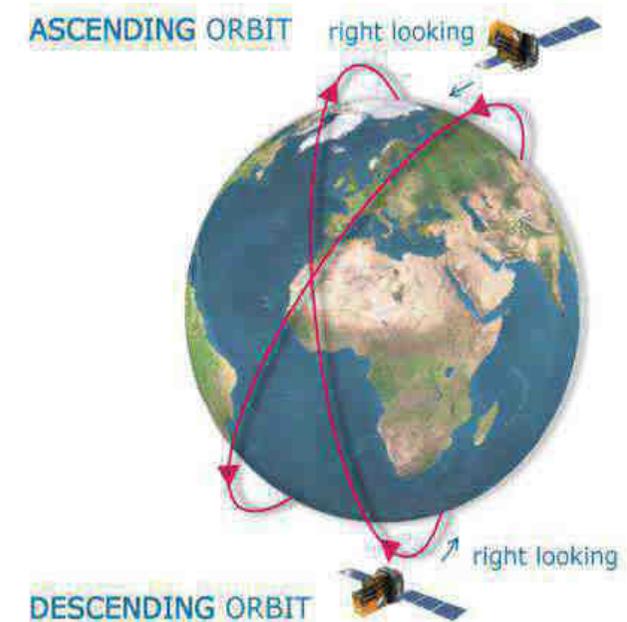
Il principio si basa sulla combinazione delle informazioni provenienti da un elevato numero di immagini che permette la ricostruzione di **serie temporali di spostamento** di oggetti a terra ben visibili dal satellite nell'intero periodo analizzato. Tale approccio viene condiviso da diverse metodologie di analisi che hanno in comune l'obiettivo di ottimizzare le informazioni di spostamento racchiuse nel segnale delle immagini SAR acquisite in tempi diversi su una medesima area. L'utilizzo delle tecniche A-DInSAR permette, non solo di individuare un dato processo deformativo, passato o in atto, ma anche di stimarne l'evoluzione nel tempo e nello spazio.

## MONITORAGGIO DEI PENDII - InSAR

Per RADAR (**RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging) si intende un sistema in grado di emettere un impulso di energia elettromagnetica e di registrarne il segnale di ritorno (**eco**), prodotto a seguito della riflessione di un oggetto al suolo (**target**). Tale impulso si propaga come segnale elettromagnetico avente **lunghezza d'onda  $\lambda$**  nel dominio delle **microonde**



*I satelliti possono acquisire in due geometrie diverse: il passaggio del satellite su una stessa area avviene in direzione circa Nord-Sud (geometria discendente) ed in direzione circa Sud-Nord (geometria ascendente). A causa della configurazione sidelooking dei satelliti, la stessa area, quindi, viene rilevata da due angoli di vista quasi complementari.*



## MONITORAGGIO DEI PENDII - InSAR

La tecnica tradizionale per la derivazione di informazioni di spostamenti da dati SAR è **l'Interferometria differenziale (DInSAR)**, che si basa sull'analisi della variazione del valore di fase tra due distinte acquisizioni e permette di calcolare gli spostamenti della superficie terrestre. L'informazione sulla differenza di fase viene ricavata dal cosiddetto **Interferogramma**, che costituisce l'elemento basilare della metodologia.

La più nota tecnica A-DInSAR si basa **sull'analisi di oggetti molto "stabili", da un punto di vista radaristico**, e naturalmente presenti nell'area d'interesse. Tali target, caratterizzati da un'elevata qualità del segnale radar nel tempo, **costituiscono dei veri e propri punti di misura (PM) interferometrici**.

*Tali "punti di misura" privilegiati, che il satellite identifica sul territorio hanno proprietà tali da consentire stime accurate della loro distanza dal sensore, con la possibilità di individuare e quantificare spostamenti di frazioni di centimetro.*

*Le misure di spostamento e di velocità dei punti di misura riguardano solo la componente dello spostamento e della velocità **lungo la linea di vista del sensore (LOS)**. Questo implica che i movimenti misurati sono in realtà la proiezione degli spostamenti del punto lungo la **congiungente sensore-bersaglio**.*

## **MONITORAGGIO DEI PENDII - InSAR**

Dall'elaborazione con la tecnica A-DInSAR, si ricavano per ciascun punto di misura:

- la **posizione** (ovvero le sue coordinate geografiche: latitudine e longitudine);
- la **velocità media di spostamento** (lungo la congiungente sensore-bersaglio, LOS) in mm/anno, con una accuratezza in funzione del numero di immagini disponibili e del sensore utilizzato, che in condizioni ottimali raggiunge valori millimetrici;
- la **serie storica di spostamento**, a partire dal primo dato disponibile, con un'accuratezza pari a pochi millimetri sulla singola misura per i punti più affidabili.

## MONITORAGGIO DEI PENDII - InSAR

È opportuno, inoltre, considerare i seguenti aspetti relativi alle analisi A-DInSAR:

- **le misure sono possibili solo in corrispondenza dei punti di misura:** è necessario, quindi, che l'area oggetto di studio presenti una densità sufficiente di punti (almeno lieve urbanizzazione oppure presenza di rocce esposte); infatti, in aree totalmente vegetate o non visibili dal satellite a causa di deformazioni prospettiche causate dalla topografia del terreno, non è possibile ottenere informazioni;
- l'analisi di fenomeni di deformazione con **evoluzione particolarmente rapida è molto difficile** e alcuni tentativi sono possibili solo disponendo di informazioni a priori sui fenomeni in atto; anche i fenomeni a cinematica impulsiva non possono essere monitorati con questa tecnica, soprattutto quando movimenti di entità centimetrica sono concentrati in tempi brevi ed in aree ristrette.

NHAZCA

A-DInSAR

WWW.SARINTERFEROMETRY.COM

# MONITORAGGIO DEI PENDII - InSAR

PUNTI DI MISURA  
Velocità LOS (mm/anno)



- > 10,0
- 10,0 5,0
- 5,0 3,0
- 3,0 1,5
- 1,5 -1,5
- -1,5 -3,0
- -3,0 -5,0
- -5,0 -10,0
- < -10,0

○ Descending



...ità dei punti di misura sintetici (PMS) lungo la direzione orizzontale. Valori positivi = Est; Valori negativi = Ovest.

## Tecniche di Fotomonitoraggio (PhotoMonitoring™)

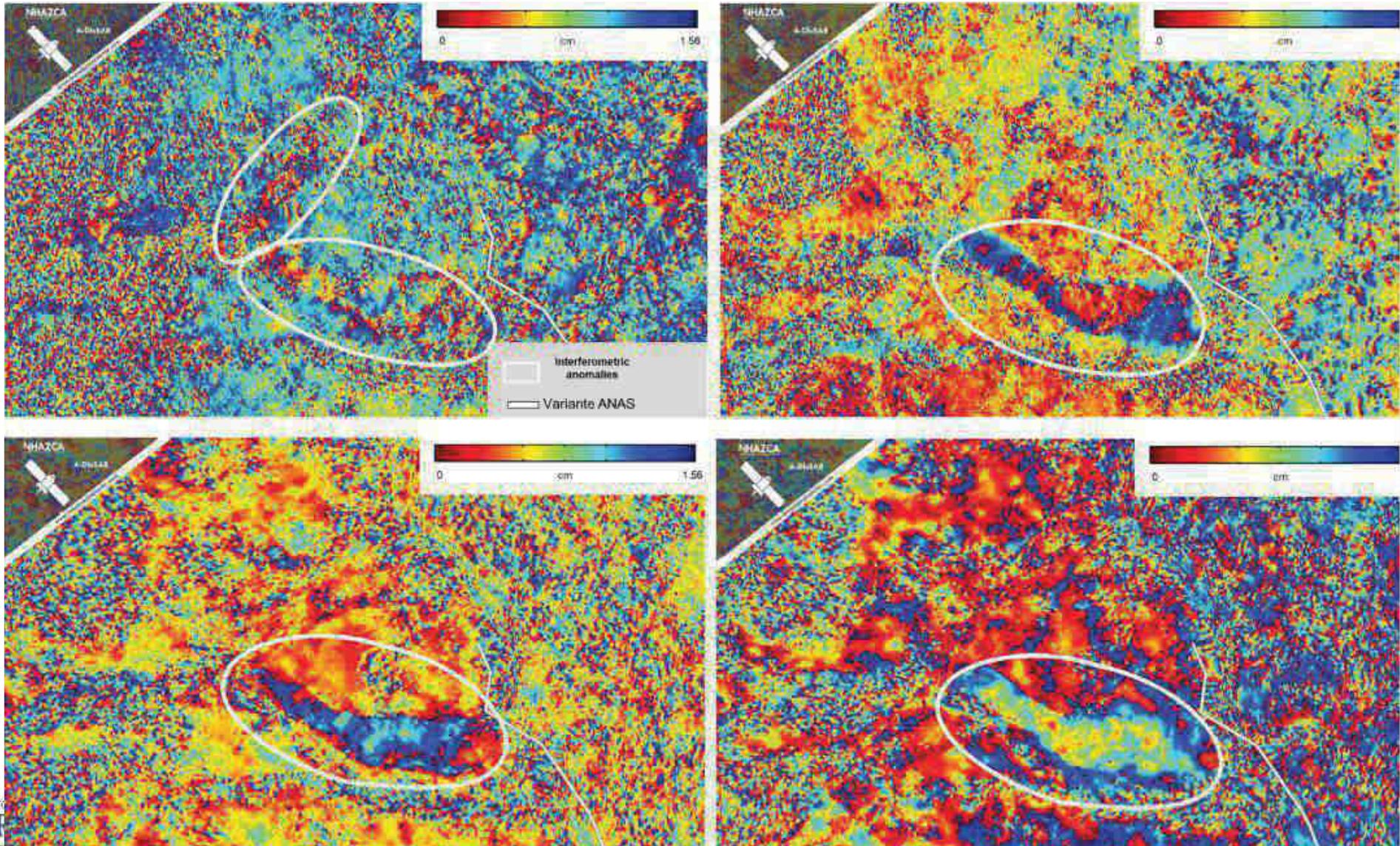


Figura 16: Alcuni interferogrammi d'esempio ottenuti dall'analisi DInSAR nel periodo compreso tra il 2011 e il 2020 che mostrano deformazioni, nella zona della frana di Lacedel (Località Gilardo), in corrispondenza dei corpi censiti come colamenti lenti (APAT, 2007).

# L'ANALISI DEL RISCHIO

## ANALISI DEL RISCHIO

L'**Analisi del Rischio** rappresenta uno strumento indispensabile per la pianificazione del territorio, dagli studi di "area vasta" (che hanno finalità informative, consultative e prescrittive) a quelli applicativi che servono per valutare gli scenari progettuali.

Si tratta di un tema che negli ultimi decenni ha avuto un forte sviluppo, ma si riscontra ancora una disomogeneità nella **terminologia** utilizzata.

- ✓ **Inventario dei fenomeni franosi.** Localizzazione, classificazione, volume, stato di attività, data..
- ✓ **Suscettibilità da frana.** Stima di tipologia, volume, distribuzione di frane esistenti o potenziali.
- ✓ **Pericolosità.** Individua una condizione con un potenziale tale da causare conseguenze indesiderate.
- ✓ **Elementi a rischio.** Popolazione, edifici, attività economiche, infrastrutture.
- ✓ **Vulnerabilità.** Grado di perdita atteso ad un elemento per effetto di un fenomeno franoso.
- ✓ **Rischio.** Entità della probabilità e della severità delle conseguenze dei fenomeni franosi.
- ✓ **Zonazione.** La partizione del territorio in aree o domini omogenei e la loro classifica (ranking) in accordo con i livelli di suscettibilità, pericolosità e rischio da frane attuali o potenziali.

## ANALISI DEL RISCHIO

La definizione del Rischio si ottiene attraverso il seguente percorso di zonazione:

**SUSCETTIBILITÀ ⇒ PERICOLOSITÀ ⇒ RISCHIO DA FRANA**

La **zonazione della suscettibilità da frana** contempla la classificazione, l'area o il volume (magnitudo) e la distribuzione spaziale delle frane esistenti e potenziali.

Le tecniche per la valutazione della suscettibilità al dissesto sono molte, quantitative o qualitative e dirette o indirette, ma tutte prevedono le seguenti fasi:

1. Realizzazione di una carta inventario dei fenomeni franosi.
2. Preparazione di carte tematiche per i parametri ritenuti direttamente o indirettamente correlati con l'instabilità dei versanti.
3. Valutazione del contributo di ogni parametro.

Classificazione in classi a diversa suscettività.

## *ANALISI DEL RISCHIO - SUSCETTIBILITA'*

I fattori che influenzano il rischio spaziale di frana (susceptività) includono caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tettoniche, proprietà geomeccaniche e geotecniche, uso del suolo e fattori morfometrici.

Per la zonazione si può usare un approccio probabilistico che mette a confronto la distribuzione delle frane con i fattori di influenza (Lee and Min, 2001; Lee and Pradhan, 2007), mediante elaborazioni con software GIS.

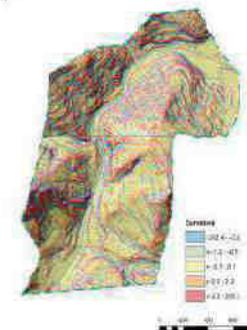
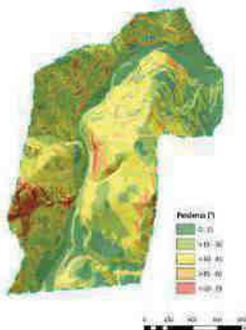
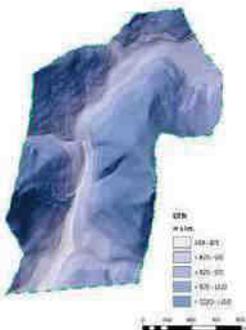
I fattori di input utilizzati nell'analisi includono:

- ❖ Frane
- ❖ Dati morfometrici: altitudine, pendenza, esposizione e curvatura
- ❖ Dati non morfometrici: litologia, distanza da strade e corsi d'acqua

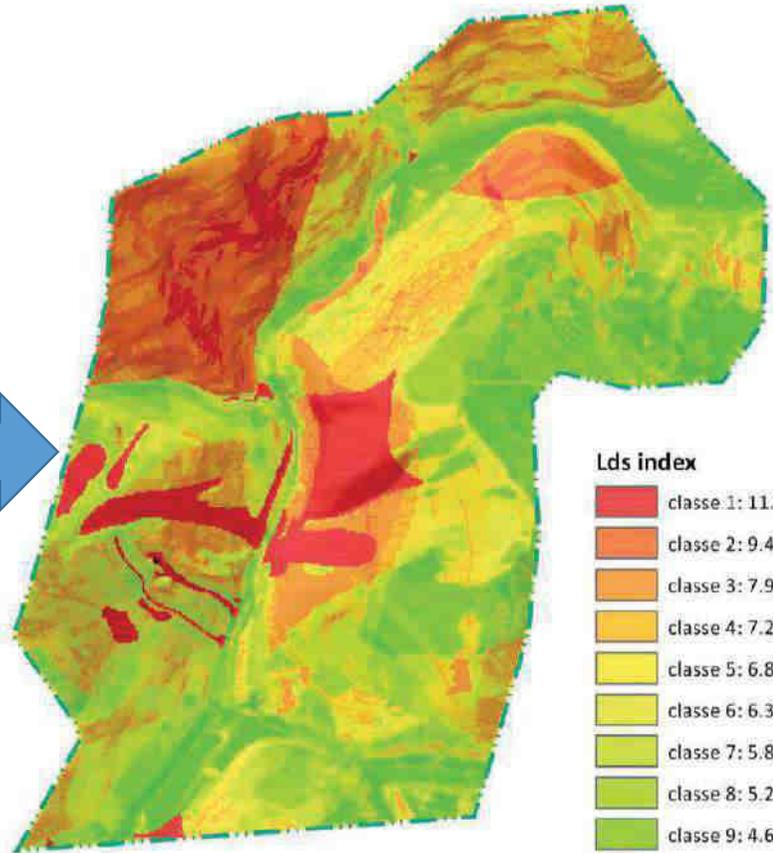
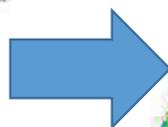
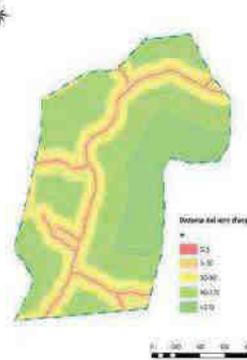
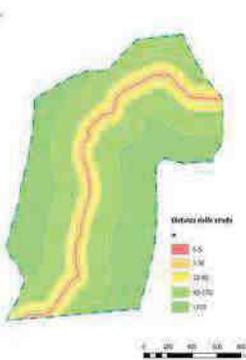
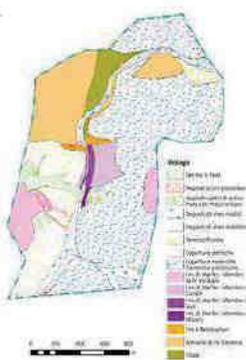
# ANALISI DEL RISCHIO - SUSCETTIBILITA'



Fattori morfometrici



Fattori non morfometrici



**Lds index**

Red	classe 1: 11.01-39.44
Orange	classe 2: 9.42-11.01
Light Orange	classe 3: 7.98-9.42
Yellow-Orange	classe 4: 7.26-7.98
Yellow	classe 5: 6.83-7.26
Light Green	classe 6: 6.39-6.83
Green	classe 7: 5.82-6.39
Light Green	classe 8: 5.24-5.82
Green	classe 9: 4.66-5.24
Dark Green	classe 10: 2.64-4.66



## ANALISI DEL RISCHIO - LA PERICOLOSITA'

Per la valutazione della pericolosità è necessario introdurre i concetti di **frequenza e intensità**.

La **frequenza** di accadimento fa riferimento allo stato di attività di una frana: attiva, sospesa, riattivata, inattiva (quiescente, naturalmente o artificialmente stabilizzata, relitta).

Per la stima dell'**intensità**, i principali parametri utilizzati sono le dimensioni e la velocità.

Gli approcci tramite velocità e dimensioni sono entrambi parziali in quanto non esaustivamente rappresentative dell'intensità. Come rilevato da Morgenstern (1985) e da Cruden & Varnes (1996), frane di ridotte dimensioni ed elevata velocità producono spesso più danni di frane con bassa velocità

Frequenza (F)	Tempo di ritorno	Stato attività	Sigla
Inattive	>500 anni	Frane inattive	Tr1
Episodiche a bassa frequenza	100÷500 anni	Frane quiescenti	Tr2
Episodiche a media frequenza	30÷100 anni	Frane quiescenti	Tr3
Episodiche ad alta frequenza	1÷30 anni	Frane quiescenti	Tr4
Frane attive - continue o ricorrenti lavori	<1 anno	Frane attive	Tr5

(BUWAL, 1998; Flageolle, 1996)

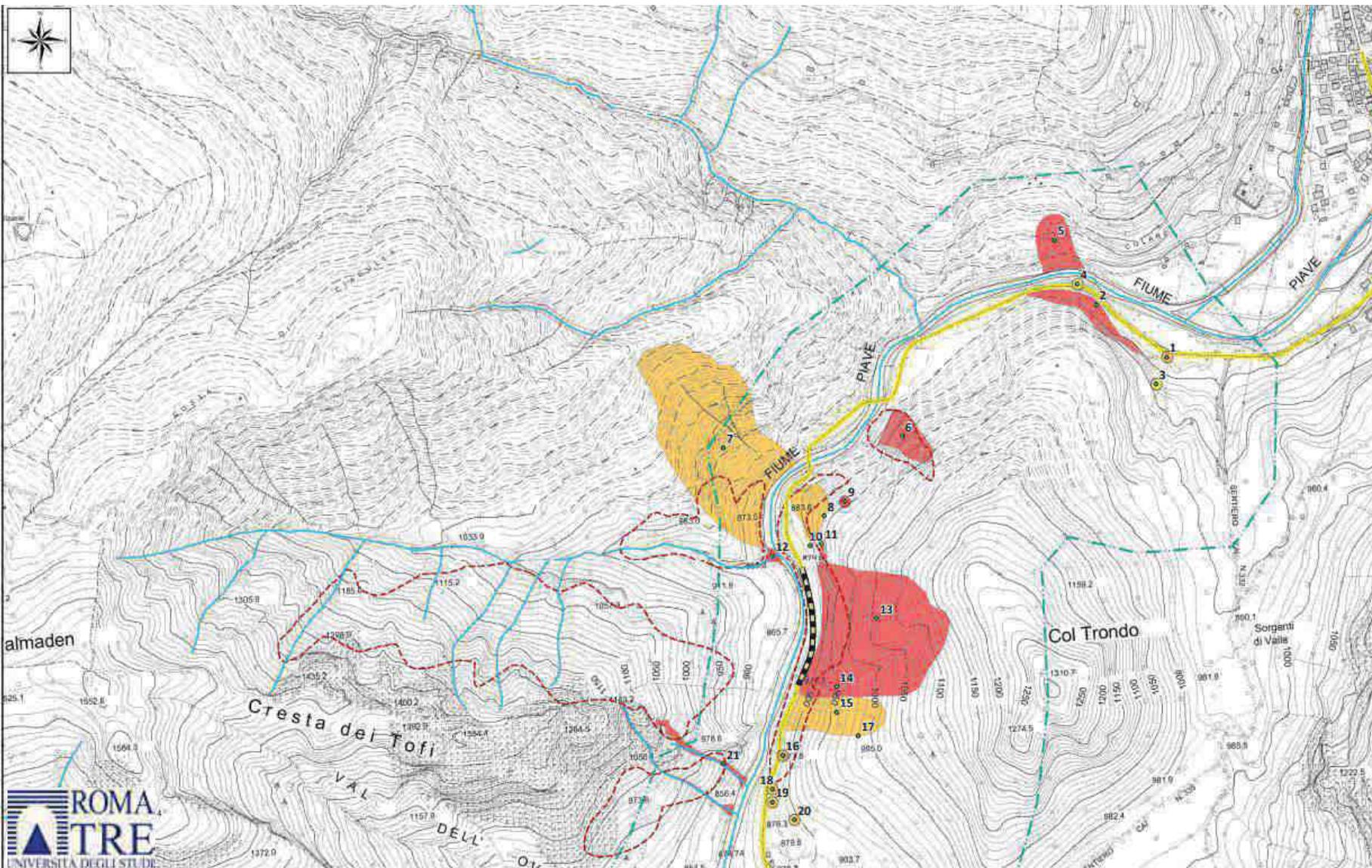
Intensità (I)	Descrizione	Volume (m <sup>3</sup> )
2	Estremamente piccola	< 5·10 <sup>2</sup>
2,5	Molto piccole	5·10 <sup>2</sup> - 5·10 <sup>3</sup>
3	Piccola	5·10 <sup>3</sup> - 5·10 <sup>4</sup>
4	Media	5·10 <sup>4</sup> - 2,5·10 <sup>5</sup>
5	Mediamente grande	2,5·10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>
6	Molto grande	10 <sup>6</sup> - 6·10 <sup>6</sup>
7	Estremamente grande	> 5·10 <sup>6</sup>

Tabella 2.1 - Scala di intensità delle frane basata sulla massa spostata (da Fell, 1994).

Classe	Descrizione	Velocità tipica	Osservazioni sui danni
I	Estremamente lento	6 mm/anno	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio, costruzione di edifici possibile con precauzioni.
II	Molto lento	16 mm/anno	Alcune strutture permanenti possono essere danneggiate dal movimento.
III	Lento	1,6 m/anno	Possibilità di intraprendere i lavori di rinforzo e restauro durante il movimento.
IV	Moderato	13 m/mese	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute.
V	Rapido	1,8 m/h	Evacuazione possibile; distruzione di strutture, immobili ed installazioni permanenti.
VI	Molto rapido	3 m/min	Perdita di vite umane, velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione.
VII	Estremamente rapido	5 m/s	Catastrofe di eccezionale violenza, edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato, molti morti.

Tabella 2.2 - Scala di intensità delle frane basata sulla velocità e sul danno prodotto (da Cruden & Varnes, 1994. Australian Geomechanics Society, 2002).

# ANALISI DEL RISCHIO - LA PERICOLOSITA'



## Legenda

- SS52
- Galleria paramassi
- Area di studio
- Cedimenti della sede stradale
- idrografia superficiale

## CLASSI DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

### Disesti delimitati

- P3 - Pericolosità geologica elevata
- P4 - Pericolosità geologica molto elevata

### Disesti non delimitati

- P2 - Pericolosità geologica media
- P3 - Pericolosità geologica elevata
- P4 - Pericolosità geologica molto elevata

- Zone di attenzione geologica P.A.I.

## ***ANALISI DEL RISCHIO - IL RISCHIO***

Per procedere alla stima del rischio da frana e alla sua zonazione occorre individuare gli elementi a rischio: persone e proprietà potenzialmente interagenti con i fenomeni franosi.

È necessaria poi una stima della probabilità spazio-temporale degli elementi a rischio.

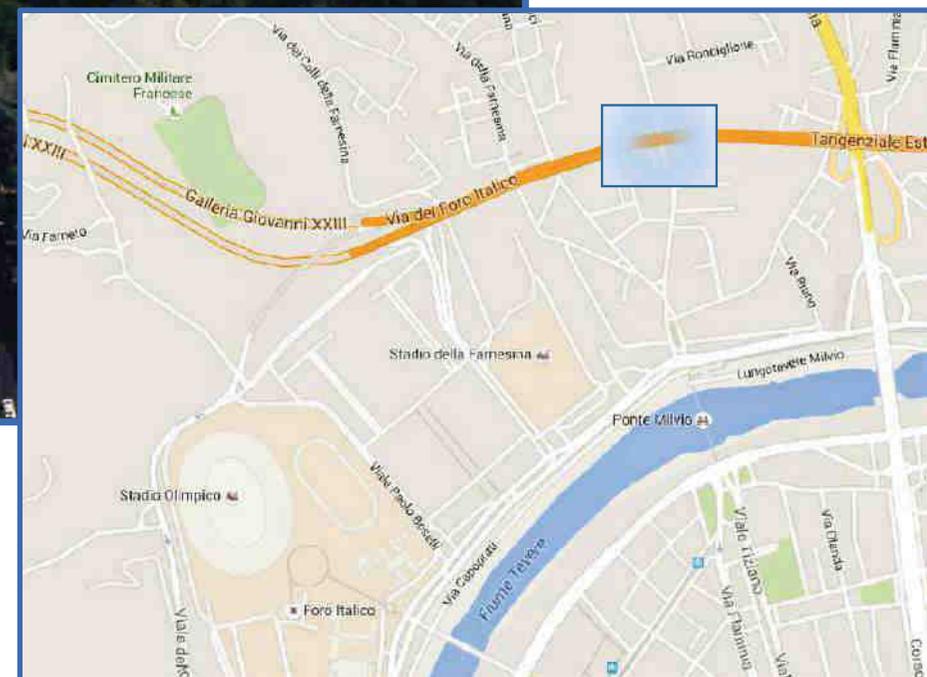
Per le persone esposte al rischio in aree residenziali si assume che la probabilità spazio-temporale sia unitaria. Per le strade (dove le persone esposte al rischio sono variabili nel tempo) si può effettuare una stima approssimata della probabilità spazio-temporale sulla base dei volumi di traffico e delle velocità.

La carta del rischio viene redatta quindi a partire dalla carta della pericolosità, introducendo gli elementi a rischio nonché la loro probabilità spazio-temporale e la loro vulnerabilità.

- ❖ Rischio per l'individuo: probabilità annuale che la persona perda la propria vita.
- ❖ Rischio per la proprietà: perdita economica annuale (€/anno).

# LA PROGETTAZIONE

# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA



Tra il 30 e 31 gennaio 2014, la città di Roma è stata interessata da intense e prolungate precipitazioni piovose.

Nell'intero quadrante Nord-Ovest della capitale si sono verificati numerose frane, erosioni e allagamenti che hanno provocato danni ad abitazioni ed infrastrutture, anche di particolare gravità

Un fenomeno franoso ha interessato la scarpata nord della trincea stradale di Via del Foro Italico (Via "Olimpica"), nel tratto della "galleria antirumore" all'altezza del sovrappasso della Via Cassia (area Ponte Milvio).



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA



Le conseguenze:

- ✓ la carreggiata dell'Olimpica in direzione San Pietro è stata interrotta e il traffico, a doppio senso di marcia, è stato spostato sulla carreggiata in direzione San Giovanni;
- ✓ gli edifici del condominio di Villa Lontana sono stati sottoposti a controlli; i parcheggi e le aree condominiali prossime alla trincea stradale sono state interdette all'accesso



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

I danni sulla sede stradale



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

I danni nell'area condominiale sovrastante



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

I primi interventi di urgenza:

- ✓ Il puntellamento della galleria «antirumore»
- ✓ La limitazione al transito nelle aree condominiali
- ✓ Il monitoraggio degli edifici
- ✓ Le indagini



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

## Le indagini geognostiche e geotecniche

- ✓ 2 sondaggi a carotaggio continuo (profondità 18 e 24m);
- ✓ 4 perforazioni con elica continua per individuazione di cavità;
- ✓ esecuzione di prove SPT (Standard Penetration Test);
- ✓ prelievo di campioni indisturbati;
- ✓ installazione di un piezometro a tubo aperto;
- ✓ installazione in due fori di tubi in PVC per video-ispezione;
- ✓ esecuzione di 2 prove MASW;
- ✓ prove di laboratorio:
  - identificazione (granulometria, limiti, peso di volume, ecc..)
  - prove di taglio diretto consolidato drenato CD con ciclo residuo
  - prove triassiali non consolidate non drenate UU



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

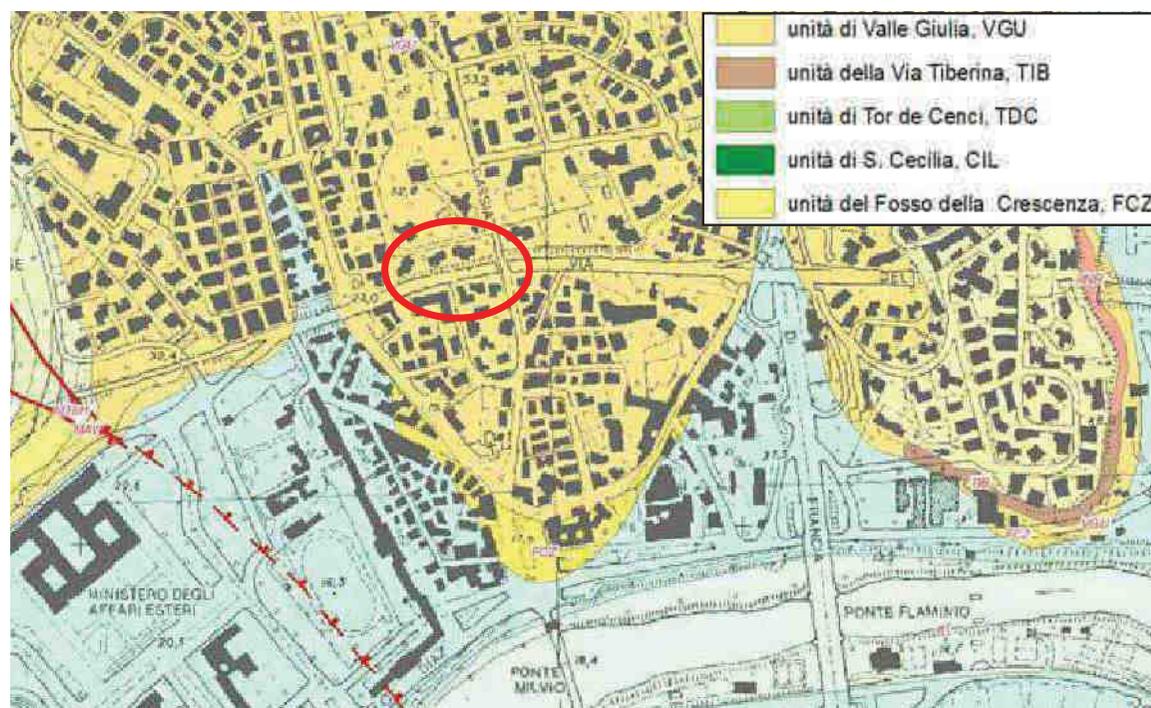
## La Geologia del sito

Contesto geologico: "Sintema Villa Glori". L'intera area collinare è costituita dalla "Formazione di Valle Giulia": depositi fluviali e fluvio-palustri riferibili al cosiddetto "Paleotevere".

Formazione di Valle Giulia:

Livello basale di ghiaie a stratificazione incrociata, passanti verso l'alto a sabbie, limi sabbiosi e limi argillosi a concrezioni carbonatiche.

Nel sito la formazione è caratterizzata dalla tipica presenza di sabbie fini e limi biancastri ("formazione fluvio-palustre" del Ventriglia)

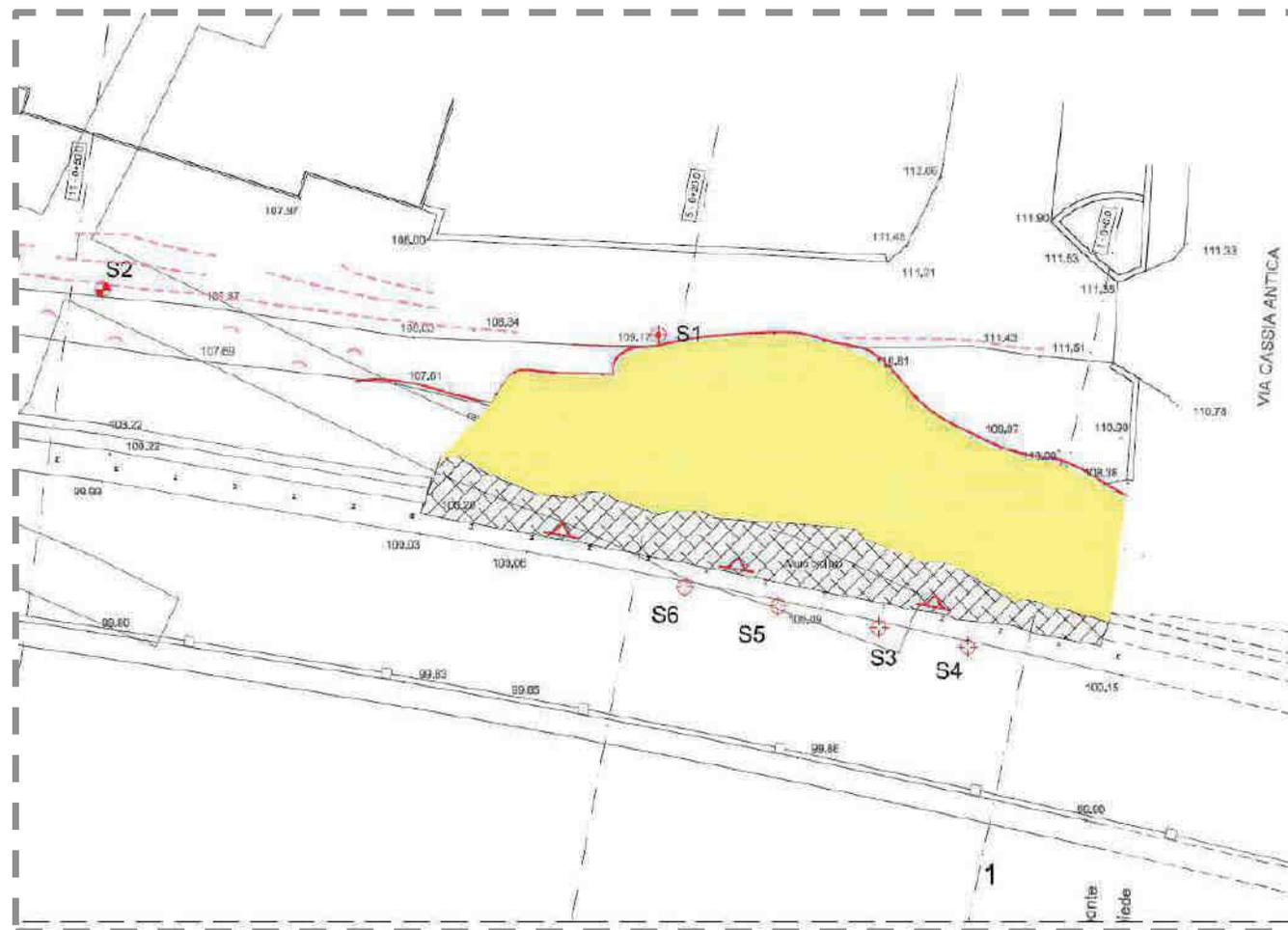


Stralcio della Carta Geologica del Comune di Roma (Funiciello-Giordano 2005)

# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

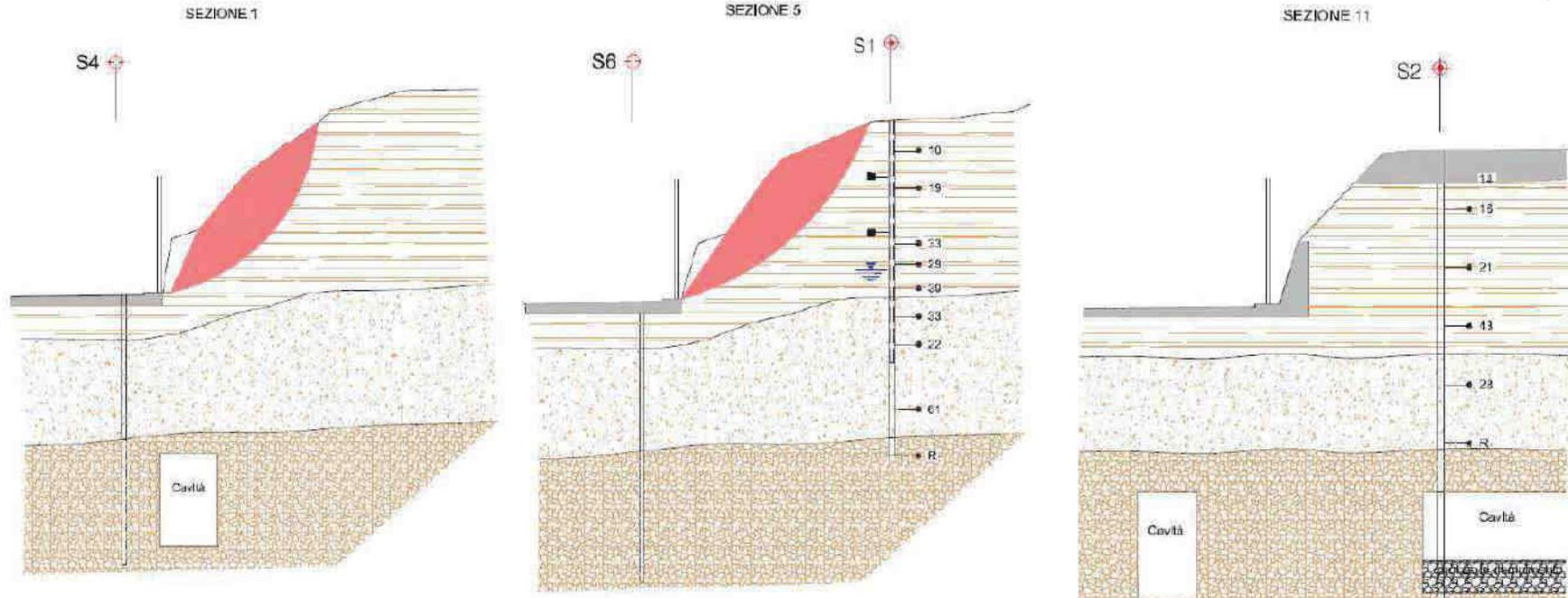
## Indagini e studio geomorfologico

CARTA GEOMORFOLOGICA E DEGLI INDIZI DI FRANA



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

## Indagini e studi



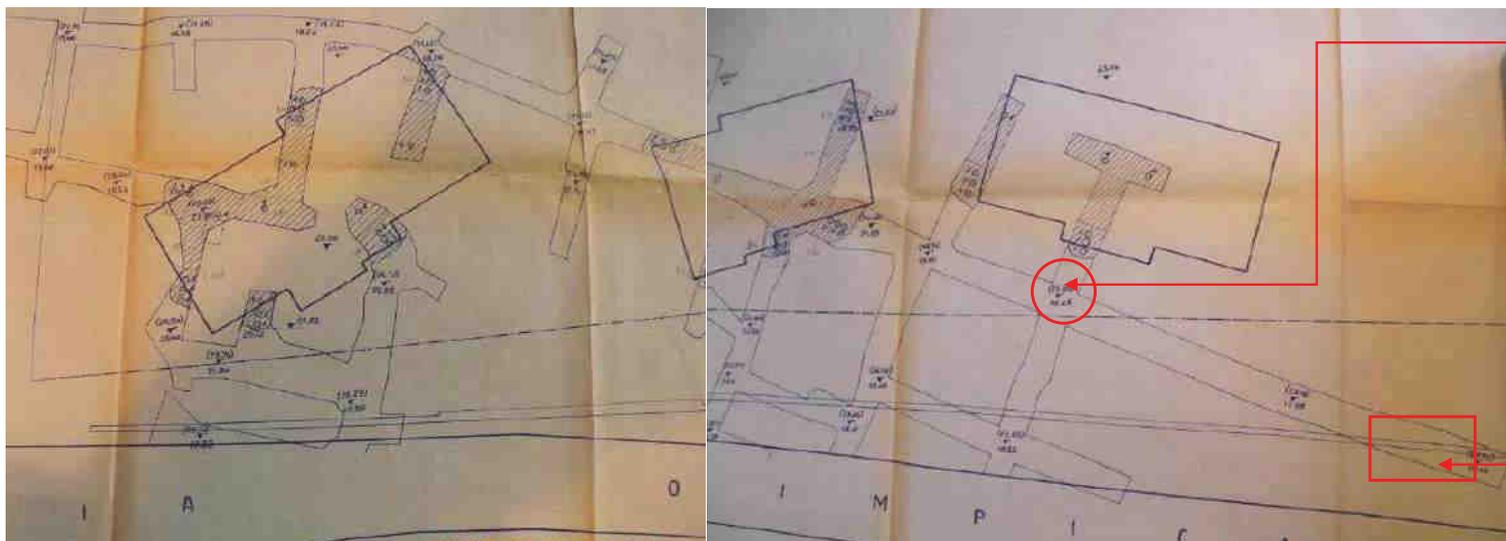
LEGENDA SEZIONI GEOLOGICHE



Unità	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi$ (°)	c <sub>u</sub> (kPa)	E <sub>u</sub> (MPa)	E (MPa)
A	Limi argillosi	19.5	5	24	80	50	20
B	Sabbie limose	19.0	0	32	-	-	40
C	Ghiaie	19.0	0	35	-	-	50

# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

## Le cavità



Sondaggio S2

Sondaggi S3-S5

Mappa della rete di cavità nel sottosuolo estratta dall'Archivio di Stato



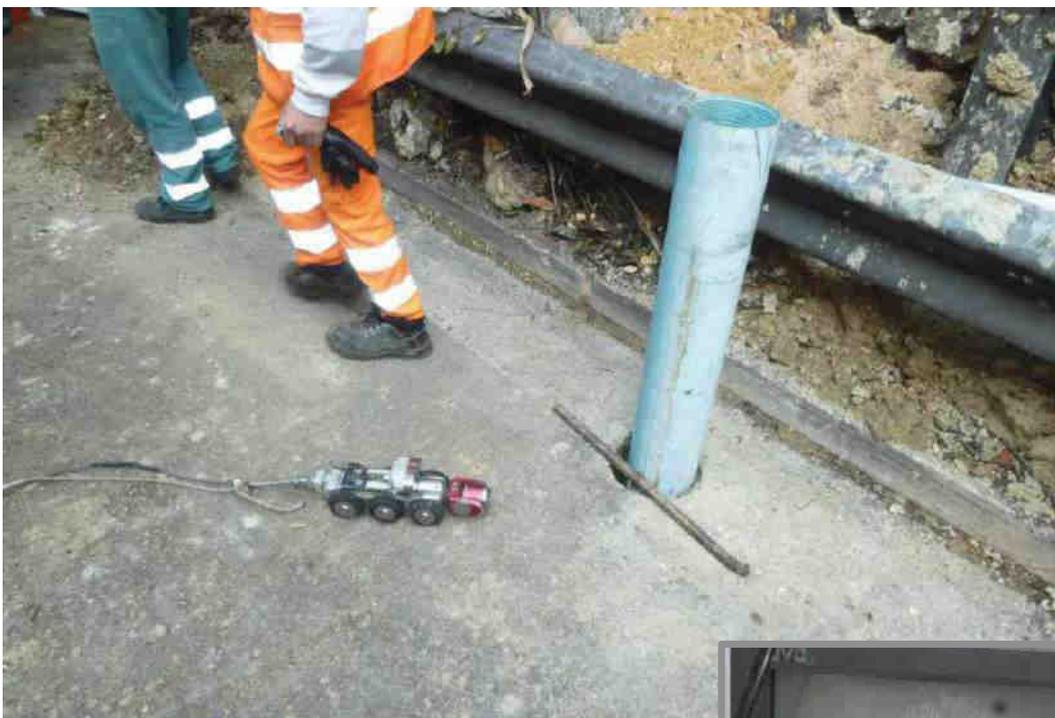
Zone nelle quali è molto probabile l'esistenza di cavità sotterranee nelle rocce sedimentarie: abbondanti segnalazioni di cavità sotterranee con estensione direttamente accertata, gruppi di cavità tra loro ricollegabili, ecc.

Zone nelle quali è probabile l'esistenza di cavità sotterranee nelle rocce sedimentarie: mancano segnalazioni dirette della presenza di cavità sotterranee; la probabile esistenza di queste è deducibile da elementi indiretti quali morfologia, geologia, visibilità sull'urna dalla cavità più nota, ecc.

Stralcio della Carta delle cavità della Città di Roma (Ventriglia)

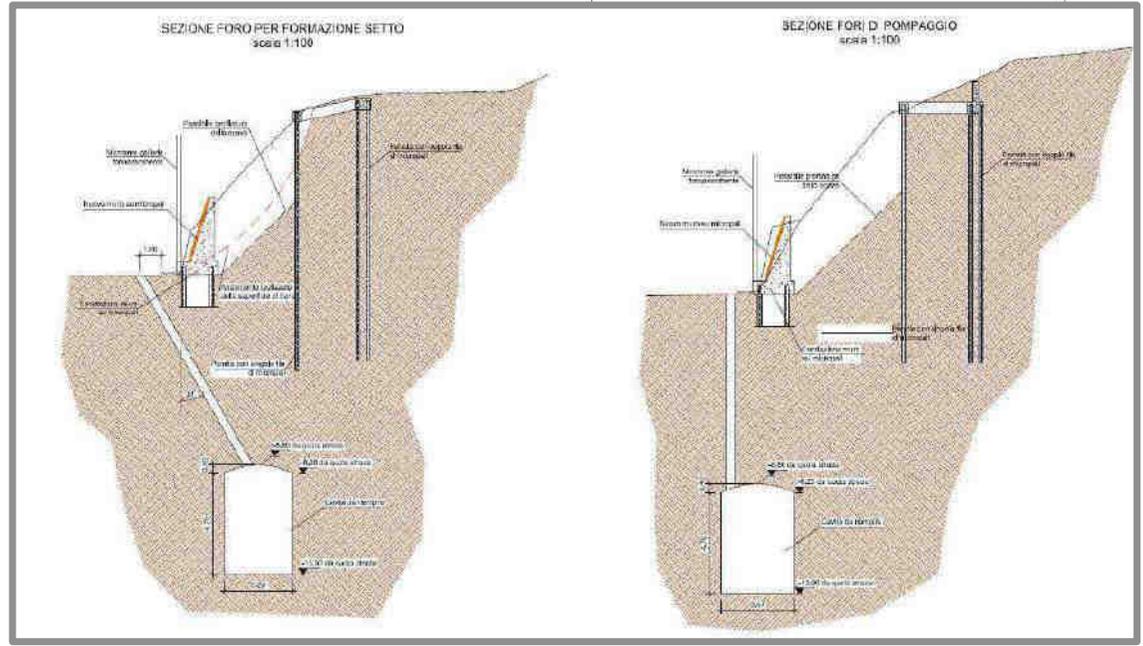
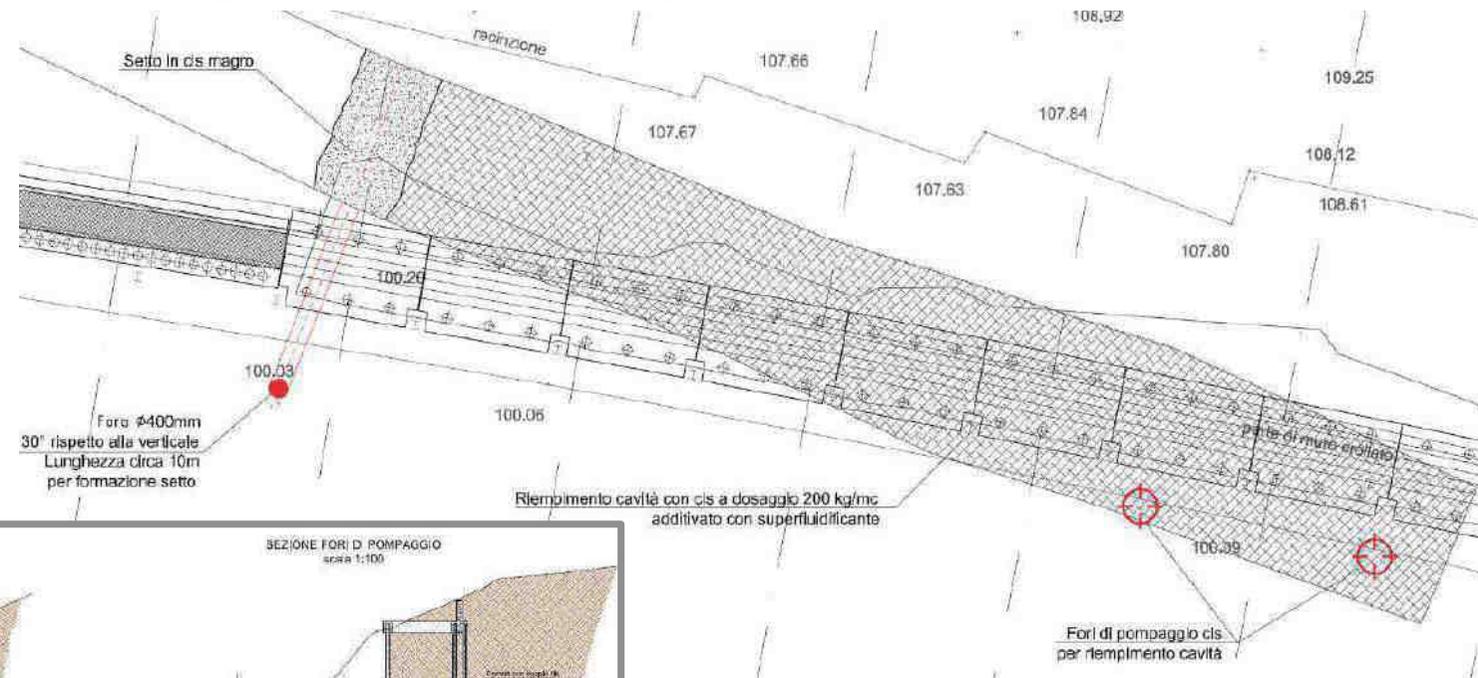
# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

Le cavità: indagini videoispettive



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

Le cavità  
Il riempimento



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

## II PROGETTO

### I VINCOLI PROGETTUALI

- 1) necessità di mettere in sicurezza la galleria anti-rumore preventivamente agli interventi
- 2) necessità di non alterare la geometria della scarpata e di non provocare vibrazioni accentuate
- 3) accessibilità e mobilità limitata dei mezzi di cantiere
- 4) presenza di edifici a immediato ridosso (edifici con fondazioni dirette)
- 5) presenza di cavità.

### LE SOLUZIONI PROGETTUALI

- 1) **Strutture di sostegno** con funzione statica di mitigare gli spostamenti orizzontali, attuare la protezione degli edifici a monte, rafforzare la pendice.
- 2) **Rafforzamento** di un breve tratto di muro in adiacenza al tratto crollato (lato Orti della Farnesina), apparentemente integro, ma fortemente minacciato dall'evoluzione del fenomeno.
- 3) **Demolizione e ripristino** della porzione di muro crollato, per una lunghezza complessiva di 36 m



# LA FRANA DELLA VIA OLIMPICA A ROMA

# II PROGETTO

PLANIMETRIA FASE DI ESECUZIONE  
scala 1:100



