

SISTEMI INTEGRATI PER IL MONITORAGGIO, L'EARLY WARNING  
E LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO  
LUNGO LE GRANDI VIE DI COMUNICAZIONE



investiamo nel vostro futuro  
PROGETTO PON01\_01503



Quaderno  
**27** PON LEWIS  
Sperimentazione



**autostrade//Tech**



A cura di Giuseppe Viggiani e Mariano Capuozzo | **DELIVERABLE WP 9.1 - 911**  
**Sperimentazione**



*Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione"*

## **Premessa**

Frane e inondazioni sono un problema di grande rilevanza nel nostro Paese. Negli ultimi anni le vittime e i danni dei disastri idrogeologici hanno raggiunto livelli inaccettabili e impongono un grande e immediato impegno della comunità nazionale per cercare di mitigare il livello di rischio, utilizzando strategie articolate ed efficaci capaci di integrare, in una visione organica, interventi strutturali e non strutturali.

Su questi temi l'Università della Calabria è impegnata da anni in attività di studio e di ricerca di rilevanza nazionale e internazionale e nella diffusione e promozione della cultura della previsione e prevenzione del rischio idrogeologico. Nel 2011 insieme ad altri partner, ha promosso un progetto di ricerca triennale, "Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione", finalizzato allo sviluppo di un sistema complesso e articolato di preannuncio delle frane da impiegare per le fasi di previsione/prevenzione del rischio idrogeologico.

Il Progetto, indicato con l'acronimo LEWIS (Landslide Early Warning Integrated System), è stato svolto, nel periodo 2012-2014, nel quadro del Programma Operativo Nazionale 2007-13 "Ricerca e Competitività".

I risultati conseguiti sono descritti in questa collana di Quaderni PON LEWIS.

Il progetto è stato sviluppato dall'Università della Calabria e Autostrade Tech S.p.A. insieme ai partner industriali Strago e TDGroup, alle Università di Catania, di Reggio Calabria e di Firenze e al CINID (Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia). Per l'Ateneo calabrese hanno partecipato diversi laboratori e gruppi di ricerca: CAMILab (con funzione di coordinamento),  $\mu$ Wave, Geomatica, Nems, Geotecnica, Dipartimento di matematica.

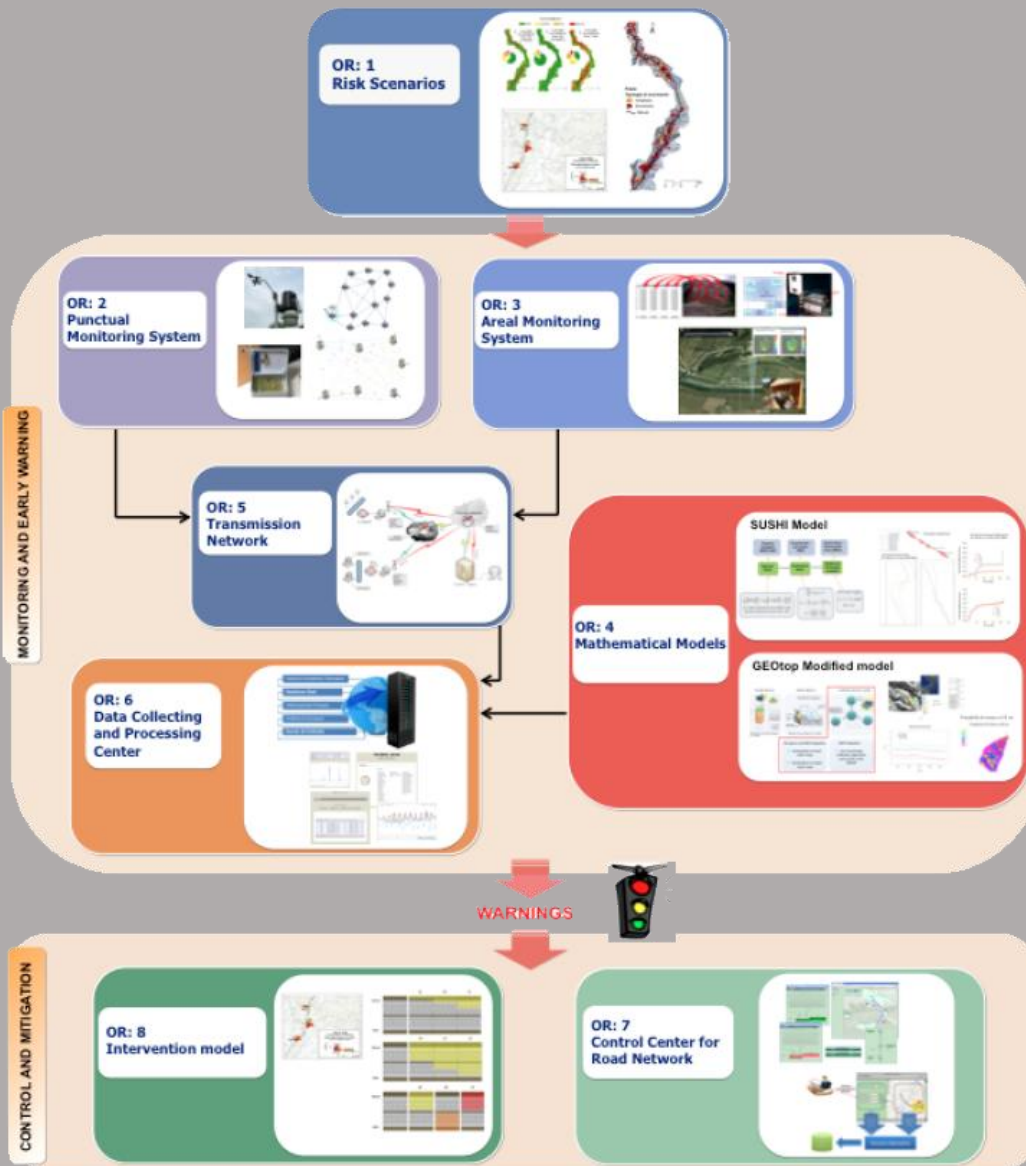


Figura 1 - Articolazione del sistema integrato di monitoraggio dei versanti e di preannuncio dei movimenti franosi

Il progetto è finalizzato allo sviluppo di un sistema di monitoraggio dei versanti e di preannuncio dei movimenti franosi che possono interessare le grandi vie di comunicazione e all'identificazione dei conseguenti interventi non strutturali di mitigazione.

Il sistema è articolato in due sottosistemi (fig. 1):

- ✓ Monitoraggio e preannuncio,
- ✓ Controllo e mitigazione,

che richiedono la preventiva individuazione degli scenari di rischio ossia dei danni che l'eventuale attivazione di una frana può produrre sugli elementi a rischio presenti (infrastruttura viaria, autoveicoli, persone). La procedura originale sviluppata nell'ambito del progetto prevede l'identificazione, lungo il tratto autostradale di interesse, delle aree soggette a movimenti franosi e la conseguente definizione dei relativi scenari di evento e di rischio.

Il sottosistema *Monitoraggio e preannuncio* è formato da diverse componenti: rete di monitoraggio "puntuale" che comprende sensori che misurano localmente l'inizio degli spostamenti superficiali o profondi; rete di monitoraggio "areale" che include sensori che controllano a distanza il fenomeno franoso con tecniche radar; modelli matematici di simulazione dell'innesco e della propagazione dei movimenti franosi. Nel progetto LEWIS sono state sviluppate numerose componenti innovative e sono state modificate e migliorate altre componenti già esistenti. In particolare tra i sensori puntuali sono stati sviluppati i sistemi SMAMID e POIS; tra quelli areali sono stati realizzati un radar in banda L, uno scatterometro, un interferometro; tra i modelli si sono sviluppati e/o migliorati: GEOtop, SUSHI, SCIDDICA.

La raccolta dei dati misurati dai sensori è affidata ad un unico sistema di trasmissione dati che trasmette anche le informazioni necessarie per il funzionamento dei modelli. Il sottosistema è completato da un Centro di acquisizione ed elaborazione dei dati (CAED) che, sulla base dei dati misurati dai sensori e delle indicazioni dei modelli, valuta la situazione di pericolo lungo il tronco autostradale emettendo i relativi livelli di criticità.

I livelli di criticità emessi dal CAED sono l'elemento di collegamento tra il sottosistema *Monitoraggio e preannuncio* e il sottosistema *Controllo e mitigazione*. Gli avvisi di criticità sono acquisiti dal Centro di comando e controllo del traffico (CCCT) che, sulla base di un modello di intervento predefinito, attiva le procedure standardizzate per la mitigazione del rischio, che vanno dalla

sorveglianza diretta del tratto di interesse da parte di squadre tecniche all'interruzione del traffico su entrambe le direzioni di marcia.

Il progetto prevede anche lo sviluppo di attività sperimentali su tre tronchi autostradali lungo la A3, la A16 e la A18, nonché l'erogazione di un Master di secondo livello denominato ESPRI (ESperto in Previsione/Prevenzione Rischio Idrogeologico).

Il progetto di ricerca è stato organizzato in Obiettivi Realizzativi (OR), ciascuno dei quali suddiviso in Work Package (WP), a loro volta articolati in Attività Elementari (AE). In totale erano previste 11 OR, 47 WP e 243 AE. In particolare le OR 1-8 riguardano la ricerca e si articolano in 26 WP e 139 AE. Le OR 9-11 sono dedicate a sperimentazione, governance e trasferimento tecnologico, integrazione e aggiornamento dell'attività di ricerca nella fase di Sviluppo Sperimentale e si articolano complessivamente in 21 WP e 104 AE.

I Quaderni che compongono questa collana sono stati costruiti con riferimento ai singoli WP, per la parte che riguarda la ricerca, e quindi ogni Quaderno contiene la descrizione dei risultati conseguiti nel WP, articolata in base alle AE previste.

Sono, inoltre, previsti altri tre Quaderni:

Quaderno 0 che contiene una descrizione di sintesi, in inglese, dei risultati conseguiti nell'ambito del progetto.

Quaderno 28 che contiene l'informazione relativa alle attività di divulgazione dei risultati scientifici.

Quaderno 29 che contiene la descrizione dei risultati conseguiti con l'attività formativa.

Il Quadro editoriale complessivo è riportato in tabella 1:

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
<b>0</b>	-	-	Research outcomes
<b>01</b> Parte prima	1	1.1	Linee guida per l'identificazione di scenari di rischio
<b>01</b> Parte seconda	1	1.1	Linee guida per l'identificazione di scenari di rischio
<b>02</b>	2	2.1	Monitoraggio idrogeologico
<b>03</b> Parte prima	2	2.2	Monitoraggio con unità accelerometriche (Sistema SMAMID)
<b>03</b> Parte seconda	2	2.2	Monitoraggio con unità accelerometriche (Sistema SMAMID)
<b>04</b>	2	2.3	Circuiti integrati a bassa potenza per sistemi di monitoraggio con unità accelerometriche
<b>05</b>	2	2.4	Monitoraggio con sensori puntuali di posizione e inclinazione (Sistema POIS)
<b>06</b>	3	3.1	Sviluppo di uno scatterometro a risoluzione variabile
<b>07</b>	3	3.2	Elettronica di bordo dello scatterometro ed inclinazione
<b>08</b>	3	3.3	Sviluppo di un radar in banda L
<b>09</b>	3	3.4	Tecniche di analisi e sintesi di segnali radar per la simulazione accurata di scenari complessi
<b>10</b>	3	3.5	Elettronica di bordo del radar in banda L



QUADERNO	OR	WP	TITOLO
11	3	3.6	Sistemi interferometrici radar ad apertura sintetica basati a terra
12	4	4.1	Modello areale per il preannuncio delle frane da innesco pluviale (Modello GEOtop)
13	4	4.2	Modelli completi di versante di tipo puntuale per il preannuncio di movimenti franosi (Modello SUSHI)
14	4	4.3	Modelli di propagazione delle frane tipo colate (Modello SCIDDICA)
15	5	5.1	Rete Wireless di Telecomunicazioni: sviluppo e scelta dei parametri di progetto
16	6	6.1	CAED. Acquisizione dati: architettura del sistema
17	6	6.2	CAED. Elaborazione dei dati
18	7	7.1	CCCT. Progettazione
19	7	7.2	CCCT. Interfaccia verso il centro di acquisizione ed elaborazione dati
20	7	7.3	CCCT. Interfaccia con altre centrali operative e canali di diffusione delle notizie
21	7	7.4	CCCT. Modulo per la presentazione e convalida delle allerte
22	7	7.5	CCCT. Modulo per la gestione delle informazioni di traffico
23	7	7.6	CCCT. Integrazioni con moduli speciali

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
24	8	8.1	Definizione del modello di intervento e predisposizione del Piano di Emergenza
25	8	8.2	CCCT. Gestione delivery allerte e attivazione squadre d'intervento
26	8	8.3	CCCT. Gestione percorsi alternativi
27	9	9.1 - 9.11	Sperimentazione
28	10	10.1 - 10.2	Piano di comunicazione e diffusione
29	-	-	Master ESPRI (Esperto in Previsione/Prevenzione Rischio Idrogeologico)

Tabella 1 - Quadro editoriale complessivo della collana di Quaderni PON LEWIS

31 dicembre 2014

Il Responsabile Scientifico del progetto PON LEWIS

*Pasquale Versace*



# INDICE

## SPERIMENTAZIONE

1 **1. Il Progetto LEW e il programma di Sperimentazione in sito**

---

4 **2. Siti selezionati per la sperimentazione**

---

4 **2.1 Autostrada A3**

4 **2.1.1 Unità Geomorfologiche (UG) e Unità Geomorfologiche monitorate (UGM)**

5 **2.1.2 Caratteristiche idrogeologiche**

11 **2.2 Autostrada A16**

11 **2.2.1 Unità Geomorfologiche (UG) e Unità Geomorfologiche Monitorate (UGM)**

11 **2.2.2 Caratteristiche idrogeologiche**

14 **2.3 Autostrada A18**

14 **2.3.1 Unità Geomorfologiche (UG) e Unità Geomorfologiche monitorate (UGM)**

15 **2.3.2 Caratteristiche idrogeologiche**

18 **3. I sistemi di monitoraggio**

---

18 **3.1 Sistema per la misura degli spostamenti del terreno in profondità**

21 **3.2 Sistema per la misura di pressioni neutre**

22 **3.3 Sistema per la misura delle tensioni totali nel terreno**

24 **3.4 Sistema per la misura delle tensioni totali nel terreno**

25	<b>3.5 Sistema per la misura del grado di umidità nel terreno</b>
25	<b>3.6 Sistema per la misura degli spostamenti superficiali</b>
27	<b>3.7 Sistema di sensori inclinometrici MEMS (STRAGO)</b>
28	<b>3.8 Sistema interferometrico RADAR</b>
29	<b>3.9 Sistema SDR RADAR in Banda L</b>
32	<b>3.10 Stazione meteorologica</b>
32	<b>3.11 Sistema MUMS (Modular Underground Monitoring System)</b>

35 **4. Sperimentazione sull'Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria**

---

50 **5. Sperimentazione sull'Autostrada A16 Napoli-Canosa**

---

61 **6. Sperimentazione sull'Autostrada A18 Messina - Catania**

---

63 **Appendice**

Rappresentazione cartografica dei sistemi di monitoraggio

## 1. Il Progetto LEW e il programma di Sperimentazione in sito

Il Progetto di ricerca “SISTEMI INTEGRATI PER IL MONITORAGGIO, L’EARLY WARNING E LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO LUNGO LE GRANDI VIE DI COMUNICAZIONE” (Progetto LEW) prevede lo sviluppo di un sistema integrato di monitoraggio per segnalare con adeguato anticipo la possibilità di movimenti franosi potenzialmente dannosi, utile per attivare le misure di salvaguardia atte ad evitare danni alle persone.

La ricerca comprende sia attività in sito (reti di monitoraggio puntuali e areali, reti di telecomunicazione), sia attività di elaborazione e controllo (modelli di simulazione, centri di acquisizione e di elaborazione dati, centri di comando e controllo).

La sperimentazione, più precisamente, riguarda tre tratti autostradali: l’A3 Salerno-Reggio Calabria fra Cosenza e Altilia, l’A16 Napoli-Canosa fra Lacedonia e Candela e l’A18 Messina e Catania fra Messina e Roccalumera. I versanti a monte e a valle di questi tratti sono stati oggetto di un’analisi di scenari di evento articolata in tre livelli. L’analisi ha permesso di localizzare svariate Unità Geomorfologiche (UG) significative, fra le quali ne sono state individuate alcune da sottoporre a monitoraggio (Unità geomorfologiche monitorate – UGM).

Per ciascuna di esse è stato progettato un idoneo apparato di monitoraggio, composto da sistemi diversi, comprendenti sia apparecchiature tradizionali (come inclinometri, piezometri e celle di pressione), che dispositivi innovativi sviluppati nell’ambito del Progetto (radar, sensori puntuali).

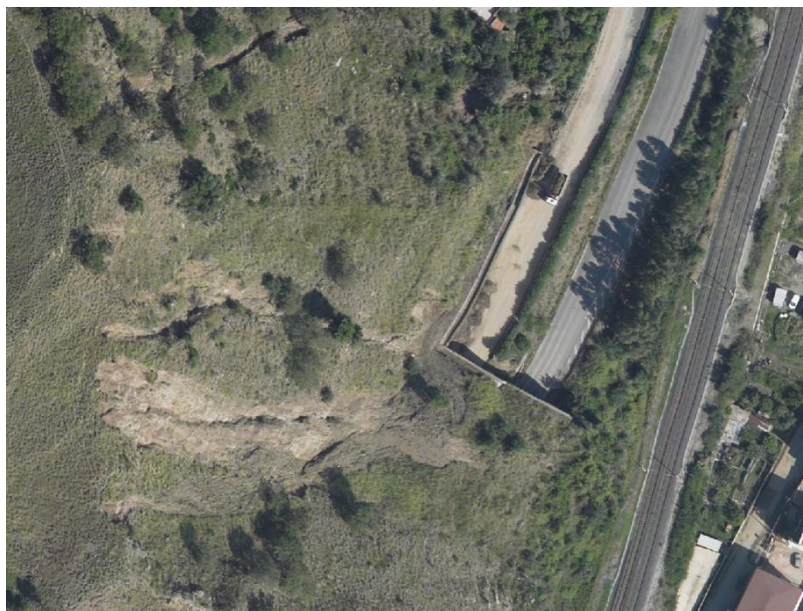
Tutti i sistemi – mediante tecnologie esistenti o sviluppate allo scopo – sono in grado di trasmettere con continuità i dati registrati ad un Centro di Acquisizione e Elaborazione Dati (CAED) ubicato presso l’Università della Calabria. Dal CAED, le informazioni, opportunamente elaborate, vengono infine inviate ai Centri di Comando e Controllo (CCC).

I CCC sono localizzati presso la sede di Autostrade Tech nell’UNICAL (per l’A3), presso la sede del Consorzio Autostrade Siciliane (per l’A18) e presso la Direzione di Tronco DT6 dell’A16. Essi hanno lo scopo di trasformare i warning provenienti dal CAED in modalità operative lungo tratti autostradali, attivando altresì i canali di comunicazione necessari al coordinamento delle attività di intervento.



*A3 Salerno-Reggio Calabria: area interessata dalla frana del mese gennaio del 2009  
(dopo gli interventi di sistemazione)*





*A16 Messina-Catania – gravi fenomeni di dissesto recenti*



## 2. Siti selezionati per la sperimentazione

### 2.1 AUTOSTRADA A3

---

Il tratto autostradale oggetto d'indagine ha una lunghezza di circa 27 km ed è ubicato in Calabria, fra la Catena Costiera calabrese e l'Altopiano della Sila, a Sud della città di Cosenza.

#### > 2.1.1 Unità Geomorfologiche (UG) e Unità Geomorfologiche monitorate (UGM)

La sperimentazione lungo il tratto autostradale dell'A3 riguarda due unità geomorfologiche.

##### **UG 1 MANCARELLI**

L'UG 1 (loc. Mancarelli) è caratterizzata dalla presenza di scorrimenti attivi sia a monte che a valle del tratto autostradale in questione. La carta della suscettibilità, elaborata mediante il metodo di Analisi Condizionale, mostra che l'area è costituita da zone a suscettibilità da alta a molto alta.

Nell'ambito dell'UG 1, l'UGM 1 è localizzata alla progressiva km 266+100 e alla quota di circa 400 m slm.

Trattasi di scorrimento attivo la cui scarpata si imposta su sabbie.

Le maggiori criticità riguardano il rischio di deformazione del manto stradale lungo la carreggiata nord e l'occupazione della carreggiata sud dalla scarpata a monte (si rilevano accumuli sulla galleria paramassi).

Gli interventi eseguiti sono limitati ad un restringimento della carreggiata di valle.

##### **UG 2 FIEGO**

L'UG 2 (località Fiego, adiacente alla precedente) è caratterizzata dalla presenza di scorrimenti attivi e quiescenti che, nella parte meridionale, si impostano in parte su antiche superfici deposizionali. Nell'area si riconoscono, inoltre, zone soggette ad erosione concentrata. La carta della suscettibilità,

elaborata mediante il metodo di Analisi Condizionale, mostra che l'area è costituita da zone a suscettibilità da moderata a molto alta.

Nell'ambito dell'UG 2, l'UGM 2 è localizzata alla progressiva km 266+850 ed alla quota di 490 m m slm circa.

Trattasi di scorrimento attivo la cui scarpata si imposta su sabbie.

Le maggiori criticità riguardano il rischio di occupazione della carreggiata sud dalla scarpata a monte.

Gli interventi eseguiti consistono in un muro in gabbioni al margine della carreggiata Sud e in alcune opere di canalizzazione delle acque superficiali.

### > 2.1.2 Caratteristiche idrogeologiche

Le aree oggetto di indagine sono ubicate a sud di Cosenza, fra gli svincoli di Cosenza e Rogliano, nella valle incisa dal Torrente Albicello (bacino del F. Crati).

Dal punto di vista geologico, il sito è ubicato in corrispondenza del contatto tettonico tra la formazione metamorfica scistoso-gneissica, di età Paleozoica, e la formazione calcarenitica di età miocenica; il contatto tra le due formazioni è condizionato da un forte scadimento qualitativo dei due litotipi.

Gli stessi, che hanno natura litoide fratturata, anche se in affioramento presentano caratteri fisici piuttosto alterati e degradati, specie la formazione metamorfica, in corrispondenza del sito subiscono un accentuato processo di spinta degradazione e frammentazione dei blocchi rocciosi costituenti al punto da formare un volume ghiaioso-sabbioso, con ciottoli, immersi in una abbondante matrice limoso-argillosa.

L'ammasso è caratterizzato da una notevole disomogeneità secondaria, dovuto al diverso grado di alterazione dei vari membri componenti le formazioni, complicato anche dalla presenza di fasce detritiche che si alternano stratigraficamente alla sequenza dei litotipi in posto.

Ne consegue che i caratteri geologici, sia in affioramento che in stratigrafia, vedono un alternarsi di strati e plaghe, di dimensioni da qualche decimetro a qualche metro, di sabbie ghiaiose, ciottoli, sabbia grossolana in matrice limosa, limo argilloso con inclusi lapidei, frammenti calcarei misti a sabbia quarzoso-feldspatica, quest'ultima unità a testimoniare la commistione tra le due formazioni, quella calcarenitica e quella metamorfica, inglobate per

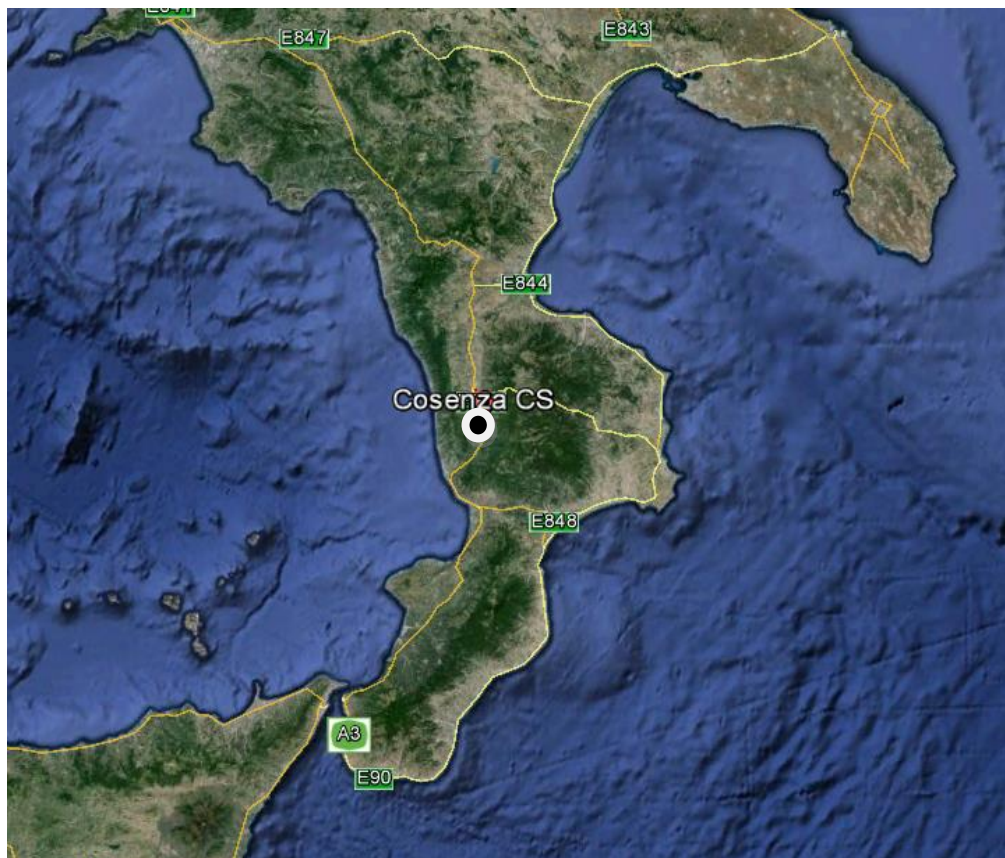
l'accostamento della roccia di origine "tagliato" da un contatto per faglia che ne ha contribuito a generare la produzione di detrito misto tra le due aree sorgenti.

Il quadro idrogeologico appare, dunque, fortemente condizionato dalla situazione geologica e geo-strutturale; il detrito, per la sua disomogeneità, presenta una permeabilità secondaria  $K$  del tipo per porosità, con range di valori molto variabili ma che, in linea generale, determinano una entità "media", con valori  $10^{-3} < K < 10^{-5}$  cm/s, essendo le acque di infiltrazione comunque favorite dalla presenza di continue lenti e plaghe sabbiose e ghiaiose all'interno di un ammasso comunque pervaso dalla presenza di limo ed argilla (provenienti dall'alterazione di scisti e gneiss).

Il substrato litoide, molto fratturato, si trova a diverse decine di metri di profondità, ed è, al contrario, caratterizzato da permeabilità mista, per porosità e fratturazione, in relazione al variabile grado di alterazione e degradazione della roccia litoide originaria.

Si rileva la presenza di emergenze sorgive occasionali, effimere, legate all'andamento degli eventi meteorici, che, nella zona, mantengono valori medio-elevati rispetto alla media regionale (1206 mm annui alla stazione pluviometrica di Rogliano); lo sviluppo di piccole sorgenti è legato ad una discreta propensione all'accumulo idrico nell'ampia concavità morfologica posta a monte del sito, con infiltrazione nel detrito e venuta a giorno per limite di tamponamento (acquiclude) rappresentati dallo sviluppo, disomogeneo ed anisotropo, dei livelli e lenti di limo e limo argilloso diffusi nell'ammasso, che raggiungono valori di permeabilità bassi ma mai di totale impermeabilità ( $10^{-5} < K < 10^{-6}$  cm/s).

Ne consegue una lenta ma determinante tendenza all'infiltrazione, che favorisce la formazione di falde profonde, mentre le falde sospese rappresentano, quindi, situazioni temporanee legate all'intensità dell'evento giornaliero, più raramente ai valori elevati mensili, quasi mai alle piogge violente alla scala oraria, che assumono una buona tendenza al ruscellamento superficiale, favorito dalla presenza di un impluvio attivo, rettilineo, a discreta capacità drenante e buona capacità di trasporto.



*A3 - Localizzazione dei siti monitorati*



*A3, UGM 1 - Frana Mancarelli in corrispondenza del rilevato autostradale*



*A3, UGM 2 – frana Fiego: opere di protezione*



*A3, UGM 2 – frana Fiego: fronte in corrispondenza della carreggiata*



*A3, UGM 2 – frana Fiego: versante in frana*

## **2.2 AUTOSTRADA A16**

---

Il tratto autostradale oggetto d'indagine, compreso fra gli svincoli di Lacedonia e Candela dell'A16 Napoli-Canosa, ha una lunghezza di circa 17 km e ricade in prossimità del confine fra Puglia e Campania.

### **> 2.2.1 Unità Geomorfologiche (UG) e Unità Geomorfologiche Monitorate (UGM)**

La sperimentazione lungo il tratto autostradale dell'A16 riguarda una Unità geomorfologica. Ad essa si è successivamente aggiunto un secondo sito, esterno al tratto oggetto di analisi, e localizzato alla progressiva 97+450. Tale sito risulta di particolare interesse per l'entità dei movimenti osservati e per le possibili ripercussioni sul tratto autostradale corrispondente.

#### **UG 1 – UGM 1**

L'area compresa nella UG 1 interessata dal piano di indagini (UGM1) presenta una estensione pari a circa 0.19 km<sup>2</sup> ed è caratterizzata dalla presenza di fenomeni franosi di tipo complesso, perlopiù attivi, i cui cumuli coalescenti hanno raggiunto la porzione di terrazzo alluvionale presente immediatamente a ridosso del tratto autostradale

La scelta di questo settore di versante è oggettivamente dettata dall'attività delle frane o sistema di frane complesse desunta dai rilievi di campo che mostrano il chiaro avanzamento dell'unghia del movimento franoso, nonché dai parametri definiti nel database della Carta Inventario dei fenomeni franosi che definiscono una Intensità massima delle frane considerate.

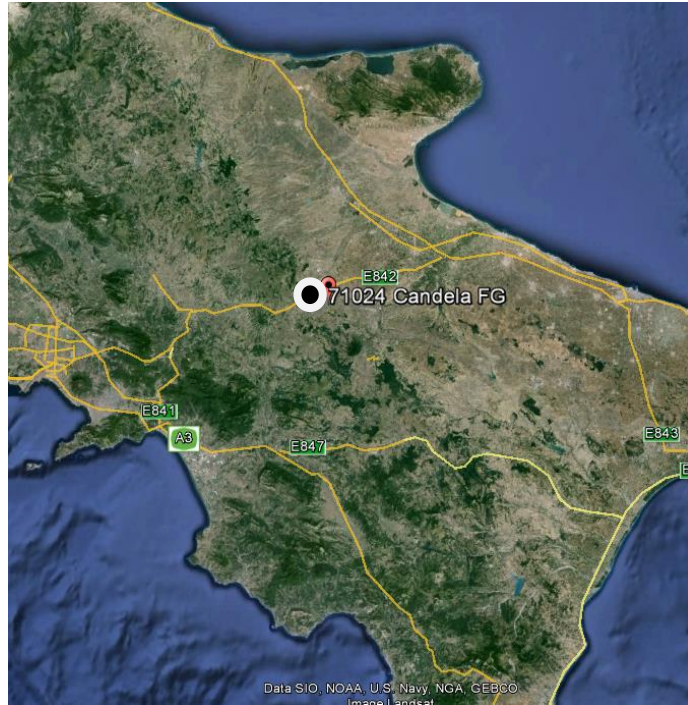
### **> 2.2.2 Caratteristiche idrogeologiche**

L'assetto generale dell'area di studio è caratterizzato dalla presenza dell'ampia valle del Torrente Calaggio che, in questo tratto, segue un andamento SW-NE, ed al quale il tracciato autostradale corre generalmente in affiancamento. Il settore a Sud del corso d'acqua presenta una fisiografia tipicamente collinare, con quote che possono superare i 500 m; la porzione settentrionale, invece, si presenta più diffusamente pianeggiante. La morfologia



del territorio sembra fortemente legata, in questi contesti, alle aree di affioramento delle diverse unità litostratigrafiche, che presentano competenze e resistenza all'erosione tra di loro anche molto diverse. Da un punto di vista geologico, nell'area oggetto delle indagini affiorano essenzialmente terreni del substrato pre-quadernario riferibili alle unità tettoniche Lagonegro II), Dauna e Vallone del Toro, derivate dalla progressiva deformazione del Bacino lagonegrese-molisano, talvolta sovrastati dai depositi dei bacini infrapliocenici discordanti, consistenti principalmente in rocce sedimentarie detritiche - ed occasionalmente evaporitiche - di età compresa tra il Cretacico Superiore ed il Pliocene Inferiore, tra cui calcari, arenarie, marne, argilliti, argille, sabbie e conglomerati. In particolare, i siti interessati sono caratterizzati dalla diffusa presenza in affioramento di successioni argillose, diversamente e diffusamente interessate da movimenti gravitativi per scivolamento rotazionale e/o da colate e colamenti sub-superficiali. La natura argillosa di questi terreni ne condiziona in maniera marcata ed evidente la stabilità, che risulta particolarmente critica proprio al contatto tra le unità più marcatamente argillose (dominanti) e quelle più marcatamente litoidi del substrato.

E' stata evidenziata, in fase di rilevamento di campo la potenziale fragilità delle litologie ubicate nelle unità argillose o nelle unità di relativo substrato, a componente marnosa e siltosa, arenacea e flyschoidale e con presenza di termini carbonatici brecciati o in ammassi scomposti.



*A16 – localizzazione dei siti monitorati*



*A16 - UGM 16*

## **2.3 AUTOSTRADA A18**

---

Il tratto autostradale oggetto d'indagine ha una lunghezza di circa 16 km e ricade nel settore nord-orientale della Sicilia, lungo il versante ionico del sistema montuoso dei Peloritani.

### **> 2.3.1 Unità Geomorfologiche (UG) e Unità Geomorfologiche monitorate (UGM)**

La sperimentazione lungo il tratto autostradale dell'A3 riguarda una unità geomorfologica.

#### **UG 2**

L'UG 2 consiste in un versante nel complesso piuttosto acclive dove è possibile osservare diversi movimenti franosi attivi di piccola-media estensione costituiti essenzialmente da una frana complessa, alcuni piccoli scorrimenti e da un'area caratterizzata da movimenti lenti superficiali.

L'UGM2 è costituita da un versante incumbente su circa 500 m della carreggiata autostradale in direzione N-S a circa 1.8 km dal casello di Messina sud. Tale versante mostra evidenti segnali di dissesto che, seppure non cartografati nel PAI agg. 2010, risultano attivi, tanto che, ai fini della mitigazione del potenziale rischio per la carreggiata autostradale, sono stati effettuati dei lavori consistenti in una barriera di gabbioni posta al di sopra del muro di controripa che affianca la carreggiata in questione.

L'intero versante presenta un'area pari a circa 35.000 m<sup>2</sup> con quote che vanno dai 21 ai 117 m e pendenze fino a 62°. La progressiva è il km 2+800.

La SubUGM1 è quella maggiormente attiva ed è costituita da un corpo di frana complessa principale e da alcuni scorrimenti traslativi secondari. La SubUGM2 è invece caratterizzata da fenomeni più lenti e superficiali che si verificano su un versante terrazzato a monte di un tratto autostradale completamente privo di protezione.

Le maggiori criticità riguardano il rischio di occupazione di entrambe le carreggiate dalla scarpata a monte.

Gli interventi eseguiti consistono in alcune gabbionate dislocate sul versante.

### > 2.3.2 Caratteristiche idrogeologiche

Nell'ambito della delimitazione dell'unità geomorfologica, affiora quasi esclusivamente la formazione denominata Ghiaie e Sabbie di Messina del Pleistocene medio, consistenti in sabbie grigio-giallastre o rossastre e ghiaie a prevalenti clasti cristallini di diametro da 2 a 30 cm, da subarrotondati ad appiattiti, spesso embriciati, in abbondante matrice siltosa, con livelli di sabbie fini e silt quarzosi.

La formazione in argomento è caratterizzata da clinostratificazione ad alto angolo, che diminuisce progressivamente verso l'alto, indicativa di facies di tipo deltizio e/o di conoide sottomarina legata agli apporti di paleofiumare.

Al piede della porzione di versante maggiormente attiva è stato realizzato un intervento di stabilizzazione-contenimento mediante gabbionate.

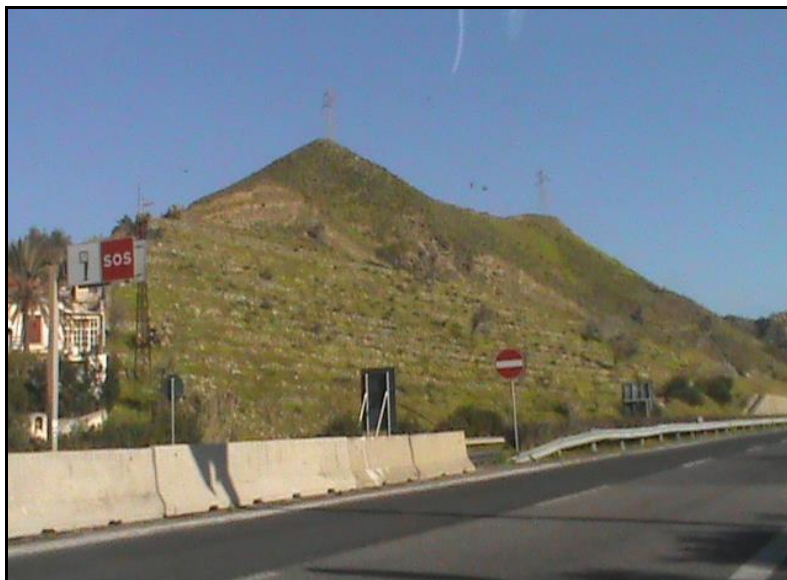
In relazione alla variabile permeabilità in senso sia verticale che orizzontale, conseguente alla eterogenea granulometria con presenza significativa della componente pelitica, la circolazione idrica sotterranea è relativamente attiva seppure discontinua e ridotta nelle zone in cui è maggiore il contenuto di materiale pelitico.

Nell'acquifero possono riscontrarsi a varia profondità livelli idrici di estensione e spessore diverso, assimilabili a falde sospese, la cui temporanea esistenza e produttività dipendono strettamente dall'andamento delle precipitazioni meteoriche.

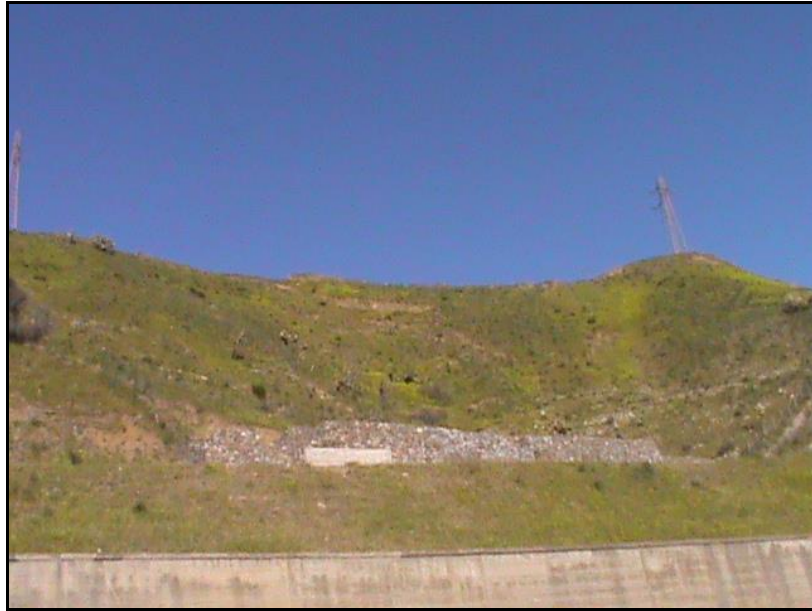
Alla base della successione è presente un corpo idrico relativamente continuo con produttività generalmente modesta ma di interesse locale, sostenuto dall'interfaccia acqua dolce/acqua salata e connesso idraulicamente con i soprastanti depositi alluvionali e costieri.



*A18 - localizzazione del sito monitorato*



*A18 – UGM2*



*A18 – UGM2*

## 3. I sistemi di monitoraggio

### 3.1 SISTEMA PER LA MISURA DEGLI SPOSTAMENTI DEL TERRENO IN PROFONDITÀ

---

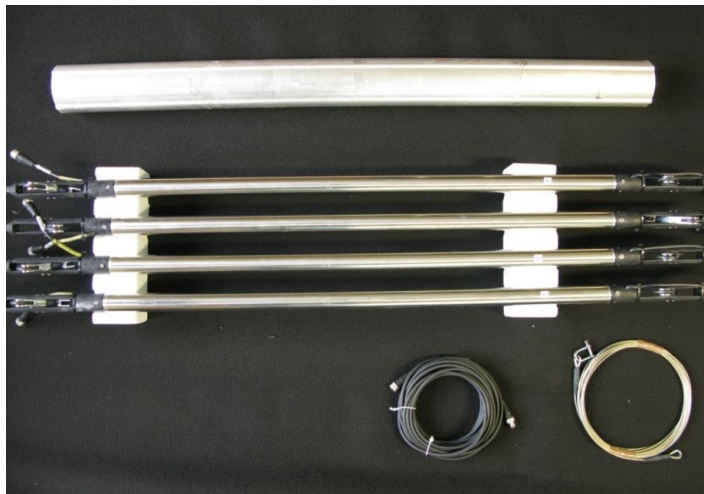
Il Sistema per la misura degli spostamenti del terreno in profondità è realizzato mediante una perforazione ad andamento verticale eseguita a rotazione a carotaggio continuo a secco. Vengono adoperati carotieri di diametro compreso fino a 127 mm, in grado di perforare terreni anche di elevata consistenza.

Le profondità massime raggiunte sono di 40 m dal piano di campagna. È eseguita una cementazione dal basso con miscela cemento-bentonite.

Nel foro di sondaggio è installata una catena inclinometrica della lunghezza massima di 40 metri, costituita da 4 inclinometri fissi (cioè a profondità di installazione non variabile) modello S412HD, prodotti dalla SISGEO.

Più esattamente, la catena viene attrezzata con quattro sensori inclinometrici del tipo MEMS differenziali digitalizzati (risoluzione 0.0013°), ubicati a varie profondità, con cavi di connessione portati in superficie.

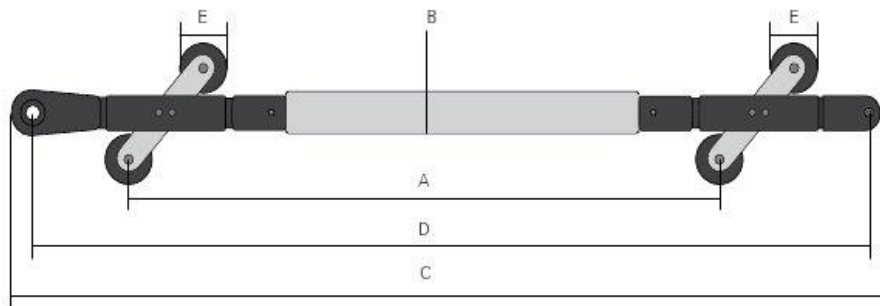
Il sistema è protetto da un pozzetto in calcestruzzo.



*Inclinometri fissi SISGEO S412HD con tubo inclinometrico, cavi di connessione e cavi metallici*

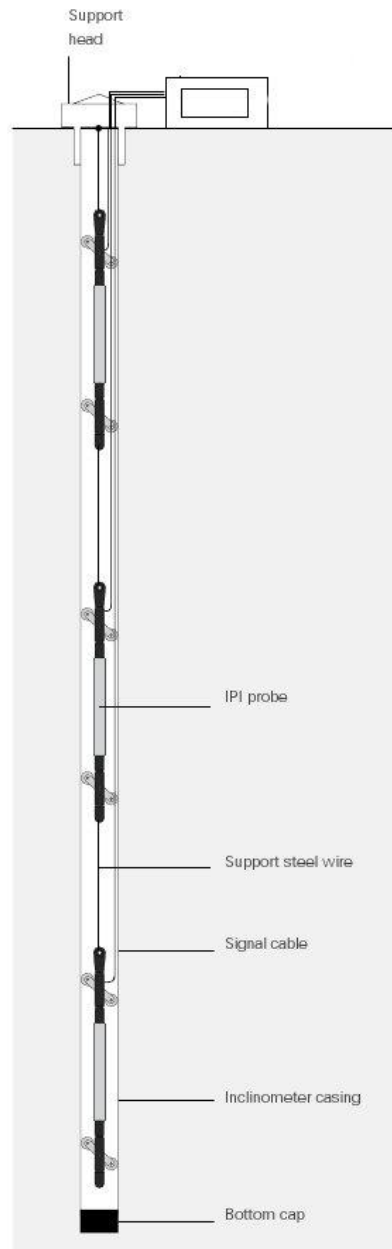
PROBE FEATURES

Distance between wheels (A)	1000 mm	1000 mm
Body diameter (B)	28 mm	28 mm
Total length (C)	1230 mm	1230 mm
Total length at joint (D)	1200 m	1200 m
Wheel diameter (E)	28 mm	28 mm
Material	stainless steel and thermoplastic resin	stainless steel and thermoplastic resin
Casing compatibility	casing ID from 54 mm up to 88 mm	casing ID from 54 mm up to 88 mm



*Caratteristiche geometriche degli inclinometri fissi SISGEO S412HD (da manuale Sisgeo)*





*Schema di installazione degli inclinometri fissi SISGEO S412HD  
(da manuale Sisgeo, modif.)*

### 3.2 SISTEMA PER LA MISURA DI PRESSIONI NEUTRE

---

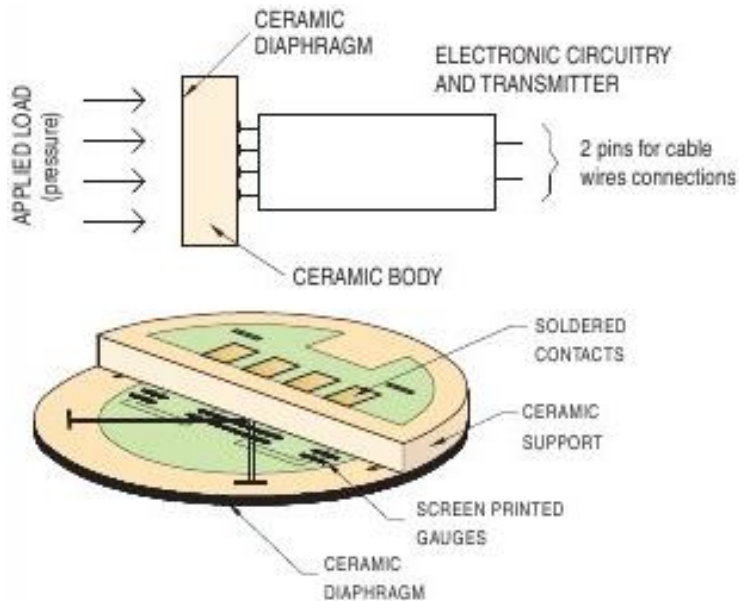
Il Sistema per la misura di pressioni neutre è realizzato mediante una perforazione ad andamento verticale eseguita a distruzione di nucleo. Vengono adoperati carotieri di diametro fino a 127 mm, in grado di perforare terreni di consistenza anche elevata.

Le profondità massime raggiunte sono di 30 m dal piano di campagna. Nel foro di sondaggio è allestita una tubazione piezometrica, equipaggiata con un trasduttore di pressione 4-20mA 500 kPa, modello P252R prodotto dalla SISGEO (range di misura: 100-200 kPa). I trasduttori, inseriti in una cella Casagrande, sono adatti per un monitoraggio a lungo termine, ma predisposti per essere rimossi per la calibrazione, per la manutenzione o per essere riutilizzati in un altro tubo.

Il sistema è protetto da un pozzetto in calcestruzzo.



*Trasduttore di pressione mod. P252R Sisgeo*



*Struttura del trasduttore di pressione mod. P252R Sisgeo (da manuale Sisgeo)*

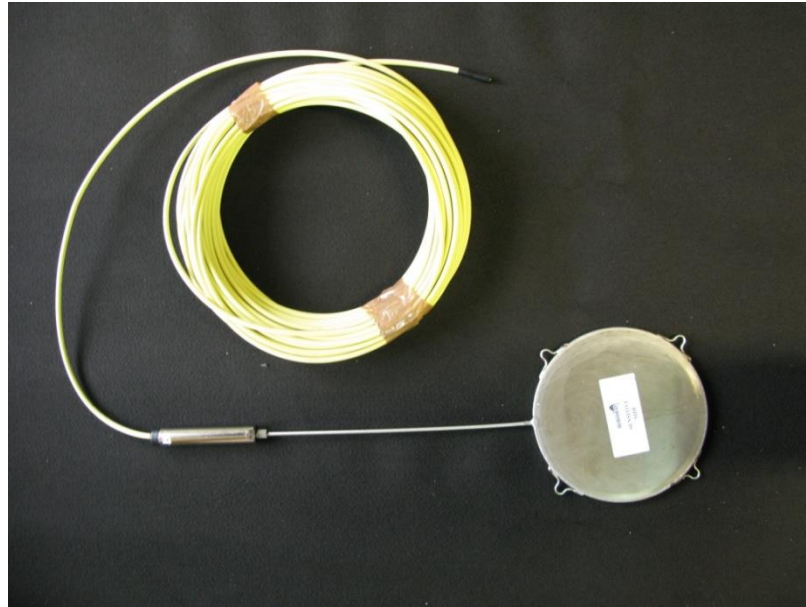
### 3.3 SISTEMA PER LA MISURA DELLE TENSIONI TOTALI NEL TERRENO

Il Sistema per la misura delle tensioni totali nel terreno viene eseguito mediante scavo a trincea, fino ad una profondità di 2 m dal piano di campagna.

Vengono allestite 4 celle di pressione totale in acciaio inox, modello L141, prodotte dalla SISGEO.

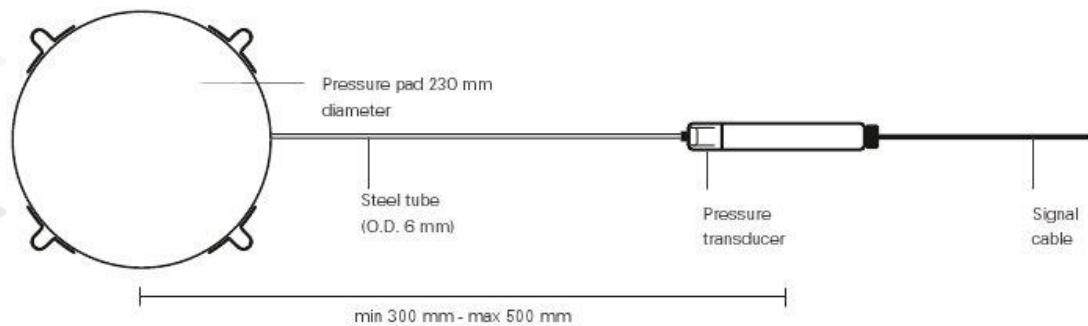
Le celle hanno piatto circolare o rettangolare e sono munite di trasduttori di pressione 4-20 mA, con relativo cavo di segnale e tubo idraulico di collegamento.

Il sistema è protetto da un pozzetto in calcestruzzo.



*Cella di pressione mod. L141 Sisgeo*

Pad	circular, 230 mm diameter
Pad thickness	12 mm
Material	Stainless steel
Total weight	4.5 Kg
Hydraulic line	6 mm OD stainless steel tube



*Caratteristiche geometriche della cella di pressione mod. L141 Sisgeo  
(da manuale Sisgeo)*

### 3.4 SISTEMA PER LA MISURA DEL CARICO DI SUZIONE NEL TERRENO

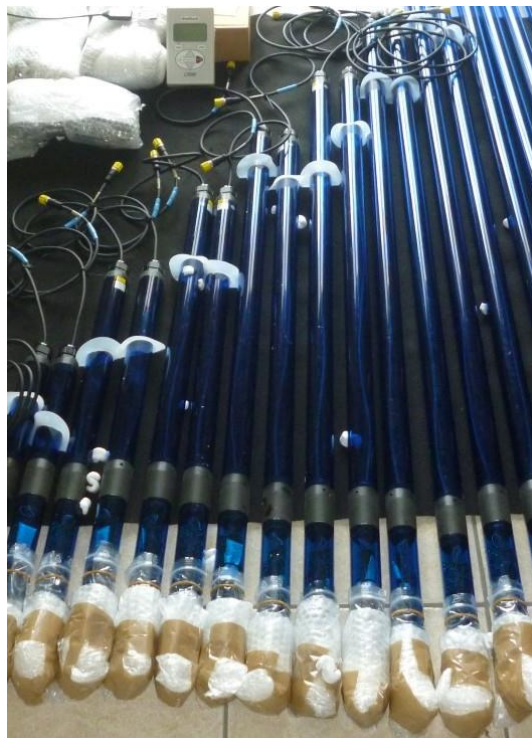
---

Il Sistema per la misura del carico di suzione nel terreno è realizzato mediante una serie di perforazioni di piccolo diametro, fino ad una profondità di 2m dal piano di campagna.

Più esattamente, le perforazioni hanno una profondità variabile da 20 cm a 200 cm, con passo di 20 cm.

In ciascuna di esse viene allestito un tensiometro modello TS1 prodotto dalla UMS con range di misura -85 kPa +100 kPa e accuratezza  $\pm 0.5$  kPa, con relativo cavo di estensione.

Il modello TS1 UMS ha la peculiarità esclusiva di riempirsi automaticamente in caso di vuotamento per evaporazione e di vuotarsi in caso di temperature prossime a quelle di congelamento (è provvisto di sonda di temperatura).



*Tensiometri UMS mod. TS1*

### 3.5 SISTEMA PER LA MISURA DEL GRADO DI UMIDITÀ NEL TERRENO

---

Il Sistema per la misura del grado di umidità nel terreno è realizzato mediante una serie di perforazioni di piccolo diametro, fino ad una profondità di 2m dal piano di campagna.

Più esattamente, le perforazioni hanno una profondità variabile da 20 cm a 200 cm, con passo di 20 cm.

In ciascuna di esse viene allestito un misuratore TDR del contenuto d'acqua (accuratezza:  $\pm 0.01 \div 0.03 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), temperatura e conducibilità elettrica (accuratezza:  $\pm 10\%$ ), modello 5TE prodotto dalla Decagon.

Il sensore è munito di tubazione rigida per il posizionamento ed il successivo sfilamento, nonché dei cavi di segnale e di estensione.



*TDR 5TE Decagon (da manuale Decagon)*

### 3.6 SISTEMA PER LA MISURA DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI

---

Nell'ambito del Progetto, è stato sviluppato un sensore puntuale integrato per la misura ed il monitoraggio di posizione ed inclinazione, caratterizzato da dimensioni contenute, basso peso, basso consumo e costo ridotto.

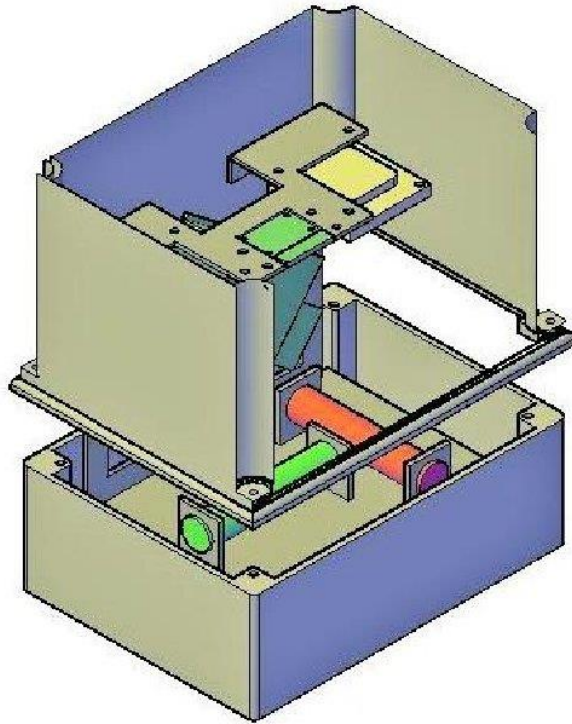
La lettura dell'inclinazione avviene grazie alla lettura ottica di due livelli toriche, usando un sensore CCD digitale ed un software di elaborazione per la valutazione della posizione della bolla e, quindi, della determinazione della relativa inclinazione. Il sensore è realizzato su una struttura di supporto che può

essere fissata sia ad un manufatto da monitorare, sia su palo di sostegno infisso nel terreno.

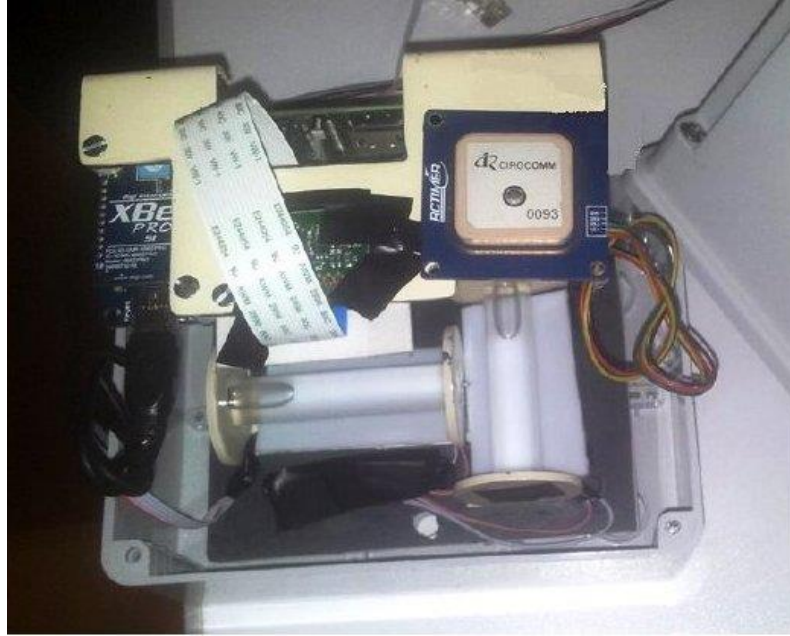
Il sistema si compone di:

- Sistema di lettura;
- Sistema di posizionamento satellitare;
- Sistema di elaborazione dati;
- Sistema di trasmissione dati;
- Telaio di supporto.

Per la trasmissione dati sono utilizzati moduli XBee, tecnologia radio nata dalla necessità di definire uno standard di comunicazione wireless per la creazione di reti di micro-dispositivi che abbiano bassi costi e consumi limitati.



*Sensore puntuale integrato (in evidenza le livelle toriche sulla piastra di base)*



*Sensore puntuale integrato*

### **3.7 SISTEMA DI SENSORI INCLINOMETRICI MEMS (STRAGO)**

---

STRAGO S.p.A., partner del Progetto, ha sviluppato un sistema di misura inclinometrico di superficie costituito da una Wireless Sensor Network (WSN) accelerometrica basata su tecnologia MEMS denominata SWAN, comprendente:

- 4 unità accelerometriche slave che acquisiscono dati, ricevono comandi e restituiscono i dati acquisiti alla unità coordinatrice master;
- una unità master che riceve via wireless i dati acquisiti dalle unità slave restituendoli via seriale a un PC embedded e invia alle stesse, via wireless, i comandi per le fasi di sveglia, acquisizione, download, ritorno allo stato Wake on Radio.

Il sistema di gestione, comunicazione e trasmissione dati in remoto è invece costituito da:

- un PC embedded, su cui è attivo il software di gestione, controllo, configurazione della rete SWAN e elaborazione e trasmissione dati;



- il middleware del nodo concentratore locale che raccoglie i dati e le elaborazioni della rete SWAN e li invia al CAED;
- un modem per la trasmissione dati in remoto verso il CAED e l'accesso da remoto sul PC tramite Team Viewer.

### 3.8 SISTEMA INTERFEROMETRICO RADAR

---

Il sistema interferometrico è un radar ad apertura sintetica con piattaforma terrestre mobile per misure interferometriche (GBInSAR).

Il sistema, dovendo essere utilizzato in condizioni di emergenza, pur mantenendo elevate caratteristiche di risoluzione e di precisione, consente una facile e veloce installazione, con un'elevata frequenza di acquisizione ed è corredato da opportuni applicativi per il *processing* e *post-processing* dei dati.

Le deformazioni del suolo possono essere individuate con precisione millimetrica in tempo quasi-reale, con acquisizioni in media ogni 5 minuti. Queste consistono in matrici 1001x1001 di valori complessi, contenenti informazioni relative alla fase ed all'ampiezza di ciascun *pixel* rappresentante una specifica area sulla scena.

Le apparecchiature si muovono ciclicamente su un binario, alloggiato in un casotto di protezione.



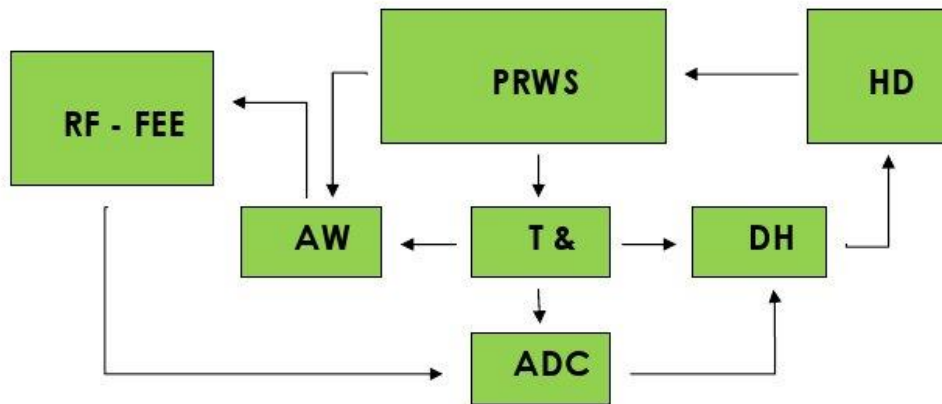
*Interferometro e binario*

### **3.9 SISTEMA SDR RADAR IN BANDA L**

---

Il Sistema SDRadar in banda L è stato sviluppato nell'ambito del Progetto con la finalità principale di garantire la possibilità di penetrare nella vegetazione eventualmente presente sul versante monitorato

Il sottosistema a radiofrequenza è costituito da una singola catena di conversione Up e Down, un'unità di generazione in frequenza (FCGU), un amplificatore di potenza (PA), un amplificatore a basso rumore (LNA) e un'interfaccia all'antenna. La sezione di temporizzazione e controllo, progettata ad hoc per l'applicazione, sovrintende a tutte le funzioni del Radar e gestisce i moduli sopra descritti.



**AWG:** modulo di generatore di forme d'onda programmabile

**T&C:** modulo di temporizzazione e controllo per la generazione dei segnali di sincronizzazione

**DH&F:** formattazione e gestione dei campioni acquisita dall'ADC

**ADC:** modulo di conversione analogico digitale

**RF-FEE:** modulo di amplificazione dei segnali trasmessi e ricevuti

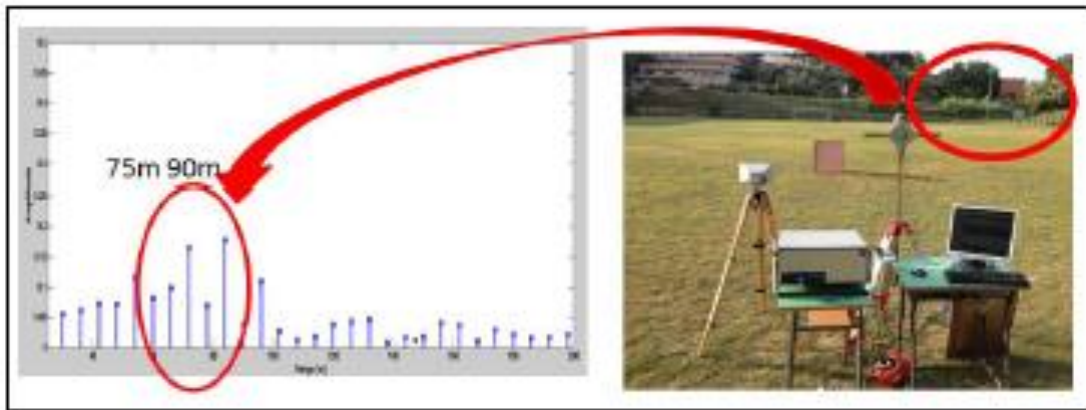
**PRWS:** unità di controllo dello strumento

**HD:** unità di immagazzinamento dati

*SDRadar in banda L: schema a blocchi*



*SDRadar in banda L in fase di realizzazione*



*SDRadar in banda L: prove di funzionamento in campo*

### **3.10 STAZIONE METEOROLOGICA**

---

Il monitoraggio meteorologico è affidato ad una stazione in grado di misurare i principali parametri a supporto degli altri sistemi di monitoraggio e dei modelli matematici di previsione.

In particolare, il sistema rileva e trasmette:

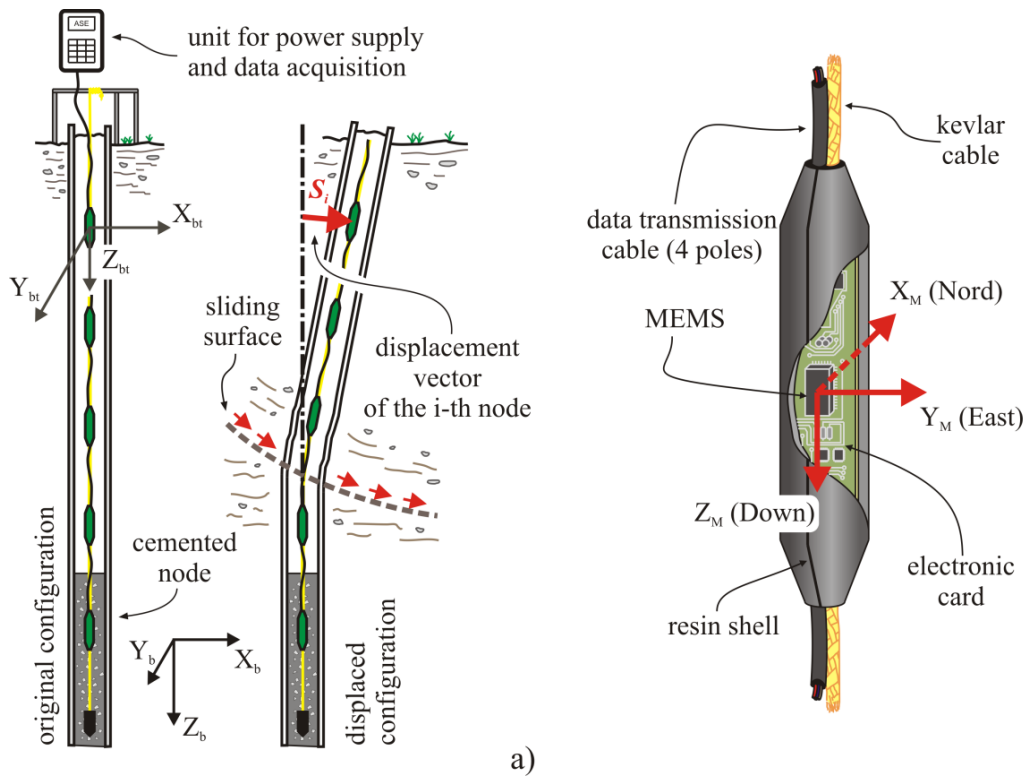
- temperatura ed umidità dell'aria (sensibilità 0.5°C, 0,5% RH);
- direzione del vento (sensibilità  $\pm 7^\circ$ );
- intensità del vento (sensibilità  $\pm 1.5$  m/s);
- precipitazione (sensibilità  $\pm 0.2$  mm);
- radiazione solare totale (sensibilità  $10 \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$ );
- pressione atmosferica (sensibilità 2 hPa).

### **3.11 SISTEMA MUMS (MODULAR UNDERGROUND MONITORING SYSTEM)**

---

Oltre ai sistemi descritti e previsti nel Progetto LEW, nella sperimentazione in sito è stato utilizzato anche il sistema di monitoraggio MUMS (Modular Underground Monitoring System) sviluppato per il monitoraggio dei movimenti di versante e delle deformazioni delle strutture geotecniche ad opera di ASE Advanced Slope Engineering s.r.l. del DICATeA Università degli Studi di Parma.

Con le catene MUMS le misure vengono effettuate automaticamente e in remoto, con risoluzione temporale che può essere decisa a seconda delle necessità. Ciascuna catena può essere dotata di sensori ad alta risoluzione per misurare la deformazione di strutture civili, sensori termici e sensori termici ad elevata risoluzione, sensori barometrici e sensori di pressione assoluta per il monitoraggio delle falde acquifere.



*Installazione tipica di una catena in versante: si possono osservare la base della catena, tipicamente cementata e localizzata in una porzione stabile del pendio, l'ipotetica superficie di scorrimento e i nodi soggetti a spostamento (a). Nodo inclinometrico: sono evidenziati il sensore MEMS e il relativo sistema di coordinate a cui si riferiscono le misure di accelerazione e campo magnetico (b)*

I nodi inclinometrici sono costituiti da una scheda elettronica progettata per accogliere un sensore MEMS (Micro Electro-Mechanical System), in grado di misurare le 3 componenti del campo gravitazionale terrestre lungo gli assi del sistema di riferimento interno. Lo stesso sensore restituisce anche le 3 componenti del campo magnetico terrestre nel medesimo sistema di coordinate.

La centralina a cui è connessa la catena interroga i nodi ad intervalli di tempo prefissati e salva i relativi dati su un supporto di memoria in attesa che il modulo GPRS li invii presso il centro di elaborazione. Il principio fondamentale su cui si basa l'elaborazione dei dati e la successiva ricostruzione degli spostamenti è il

seguito: un nodo che viene installato in sito sarà caratterizzato da una particolare giacitura nello spazio che è ricostruibile sulla base delle grandezze fisiche acquisite dal sensore MEMS.

Nel caso di un movimento del versante o della struttura monitorata, i nodi tendono a muoversi e ad assumere una nuova giacitura. Confrontando le nuove posizioni con quelle iniziali è possibile ricavare la rotazione di ciascun nodo. Essendo nota la spaziatura tra i nodi, è possibile ricavare le componenti di spostamento (nord-sud ed est-ovest) in corrispondenza di ciascun nodo della catena.

Tra i principali vantaggi del sistema si rilevano:

- l'acquisizione automatica dei dati (i dati raccolti vengono trasmessi a terminali in remoto);
- la registrazione dei dati lungo tutta la lunghezza del foro,
- il funzionamento dell'inclinometro anche in caso di deformazioni importanti nel sottosuolo che renderebbero impossibile il passaggio di una sonda tradizionale all'interno del tubo inclinometrico.

## 4. Sperimentazione sull'Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria

Il monitoraggio delle due UGM selezionate per la sperimentazione comprende sistemi di misura di quasi tutte le tipologie previste in progetto. Le attività di installazione sul corpo delle frane - ad eccezione del Sistema per la misura degli spostamenti superficiali - sono completate ed il sistema è in comunicazione con il CAED dell'Università della Calabria.

Nel dettaglio, i sistemi sono distribuiti e strutturati come riepilogato di seguito.

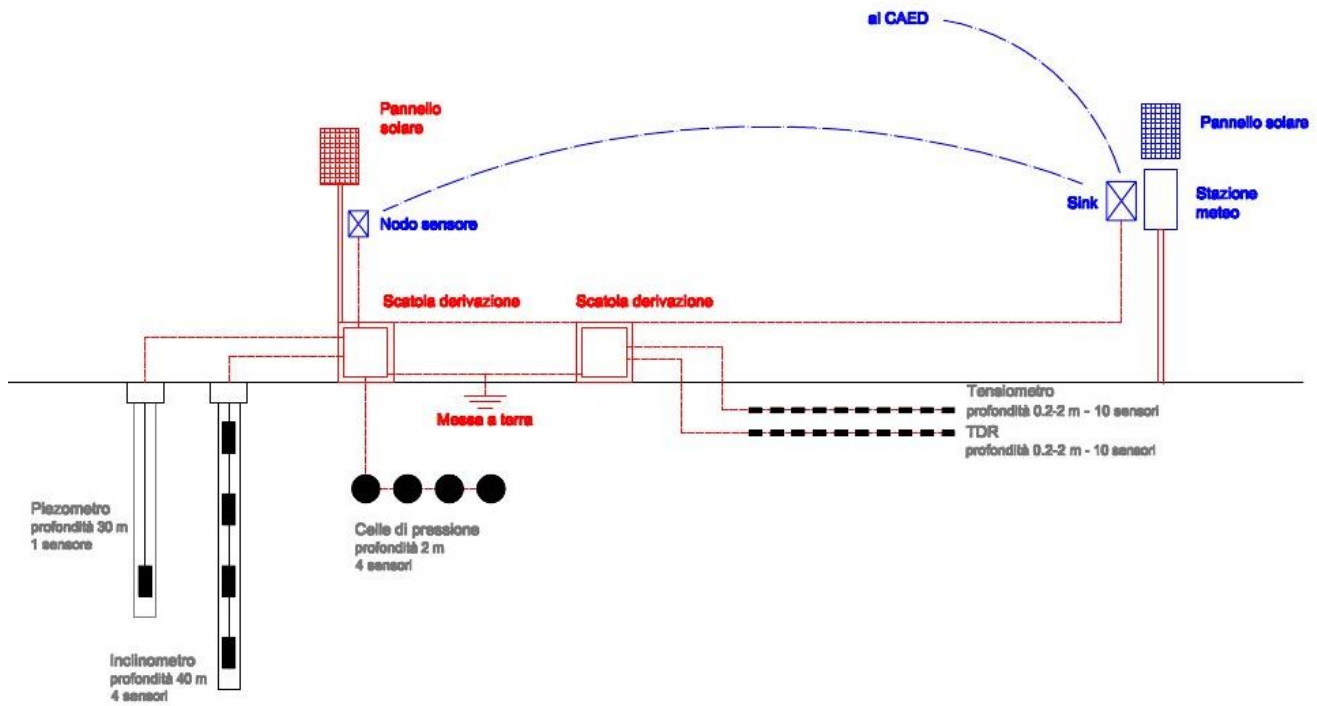
	<b>A3</b>	
	<b>UGM 1 - Mancarelli km 266+100</b>	<b>UGM 2 - Fiego km 266+850</b>
<b>Stazione 1</b>	Sistema per la misura degli spostamenti nel terreno in profondità	Sistema per la misura degli spostamenti nel terreno in profondità
	Sistema per la misura delle pressioni neutre	Sistema per la misura delle pressioni neutre
	-	Sistema per la misura delle tensioni totali nel terreno
<b>Stazione 2</b>	Sistema per la misura degli spostamenti nel terreno in profondità	Sistema per la misura del carico di suzione nel terreno
	Sistema per la misura delle pressioni neutre	Sistema per la misura del grado di umidità nel terreno
<b>Stazione 3</b>	Sistema per la misura del carico di suzione nel terreno	-
	Sistema per la misura del grado di umidità nel terreno	-
<b>Altri</b>	Radar	Sistema per la misura degli spostamenti superficiali Stazione meteo

*A3 – Sistemi di misura*



SITO	STRUMENTAZIONI	N. INSTALLAZIONI	N. SENSORI /INSTALLAZIONE	QUANTITA'
<b>UGM 1 – Mancarelli km 266+100</b>	PIEZOMETRO	2	1	2
	INCLINOMETRO	2	4	8
	TENSIOMETRO	1	10	10
	TDR	1	10	10
	CELLA PRESSIONE	2	4	8
	RADAR	1	1	1
<b>UGM 2 - Fiego km 266+850</b>	PIEZOMETRO	1	1	1
	INCLINOMETRO	1	4	4
	CELLA PRESSIONE	1	4	4
	TENSIOMETRO	1	10	10
	TDR	1	10	10
	METEO	1	6	6
	SENSORI PUNTUALI INTEGRATI	1	5	5
<b>Totale sensori:</b>				<b>79</b>

*A3 – Dettaglio dei sensori*



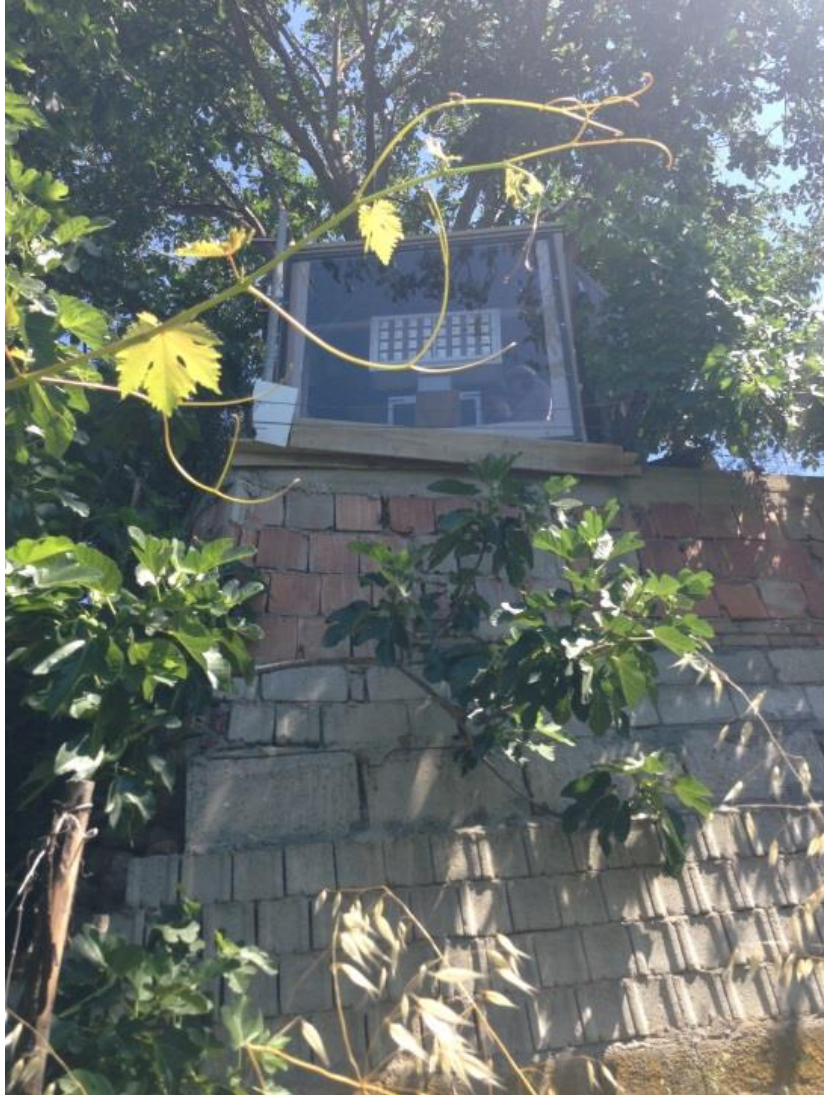
A3, UGM 2: schema del sistema di monitoraggio e trasmissione (corpo frana)

Il radar SDR in banda L risulta installato nell'apposito alloggiamento prospiciente al versante in frana, completo di sistema di antenna trasmittente, antenna ricevente, sistema di acquisizione e trasmissione dati. Il sistema completo è illustrato nelle figure seguenti. La vista dal basso evidenzia l'antenna usata in ricezione, che viene opportunamente pilotata mediante un sistema di motorizzazione, al fine di scandire la scena da monitorare.

Il radargramma rappresentato deriva dall'elaborazione dei dati acquisiti su una scansione comprensiva di 5 settori ed evidenzia la corretta rilevazione di un traliccio ricadente nel campo di vista del radar, posto ad una distanza compresa tra 300 m e 350 m.



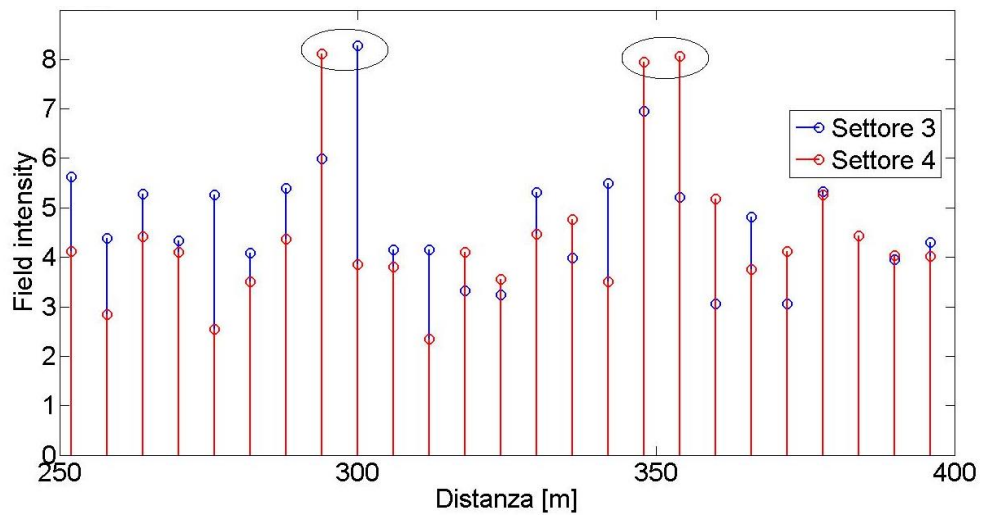
*A3, UGM 1 - Sistema SDRadar montato all'interno della struttura di protezione*



*A3, UGM 1 - Sistema SDRadar: vista dal basso dell'installazione*



A3, UGM 1 - Connessione dell'SDRadar al sistema di acquisizione e trasferimento dati



A3, UGM 1 - Radargramma ottenuto dall'elaborazione dei dati acquisiti su una scansione di 5 settori



*A3, UGM 1 - Scena scandita dal radar (in evidenza, il traliccio rilevato dal dispositivo)*

La sperimentazione comprende anche le indagini e le prove di laboratorio seguenti, alcune delle quali saranno eseguite a seguito delle misurazioni in corso.

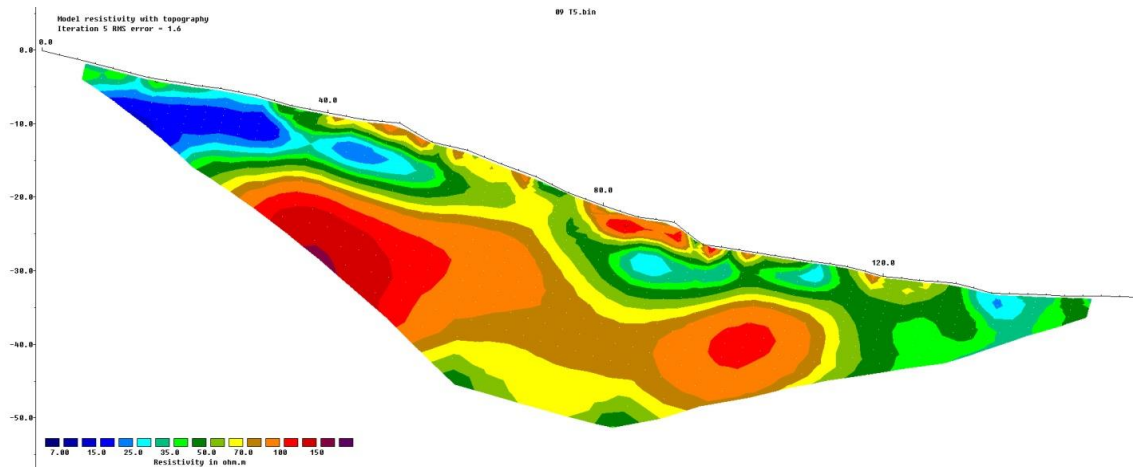
<b>PROVE</b>	<b>MANCARELLI Quantità</b>	<b>FIEGO Quantità</b>
ANALISI GRANULOMETRICA	12	-
ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE	12	8
LIMITI LIQUIDITA'-PLASTICITA'	12	8
CONTENUTO ACQUA NATURALE	12	8
PESO UNITA' VOLUME NATURALE	10	8
PESO SPECIFICO GRANULI	10	8
TRIASSIALE CONSOLIDATA DRENATA	3	3
TRIASSIALE CONSOLIDATA NON DRENATA	3	3
TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATA DRENATA	6	6
TAGLIO DIRETTO RESISTENZA RESIDUA EDOMETRICA	6	-
PERMEABILITA' CARICO VARIABILE	3	3
STANDARD PENETRATION TEST	14	10
PROVA DILATOMETRICA DMT	4	-
PERMEABILITA'	12	12
TOMOGRAFIA GEOELETTRICA (m)	1000	800
CURVE CARATTERISTICHE DI RITENZIONE IDRICA	-	5
PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE (m)	-	240
MICROTREMORI	-	5
MASW	-	5
PENETROMETRICA DINAMICA (m)	-	60
SONDAGGI (PERFORAZIONI A CAROTAGGIO CONTINUO)	2	3

*A3 - Indagini e prove di laboratorio*



*A3, UGM1 - Esecuzione delle tomografie*





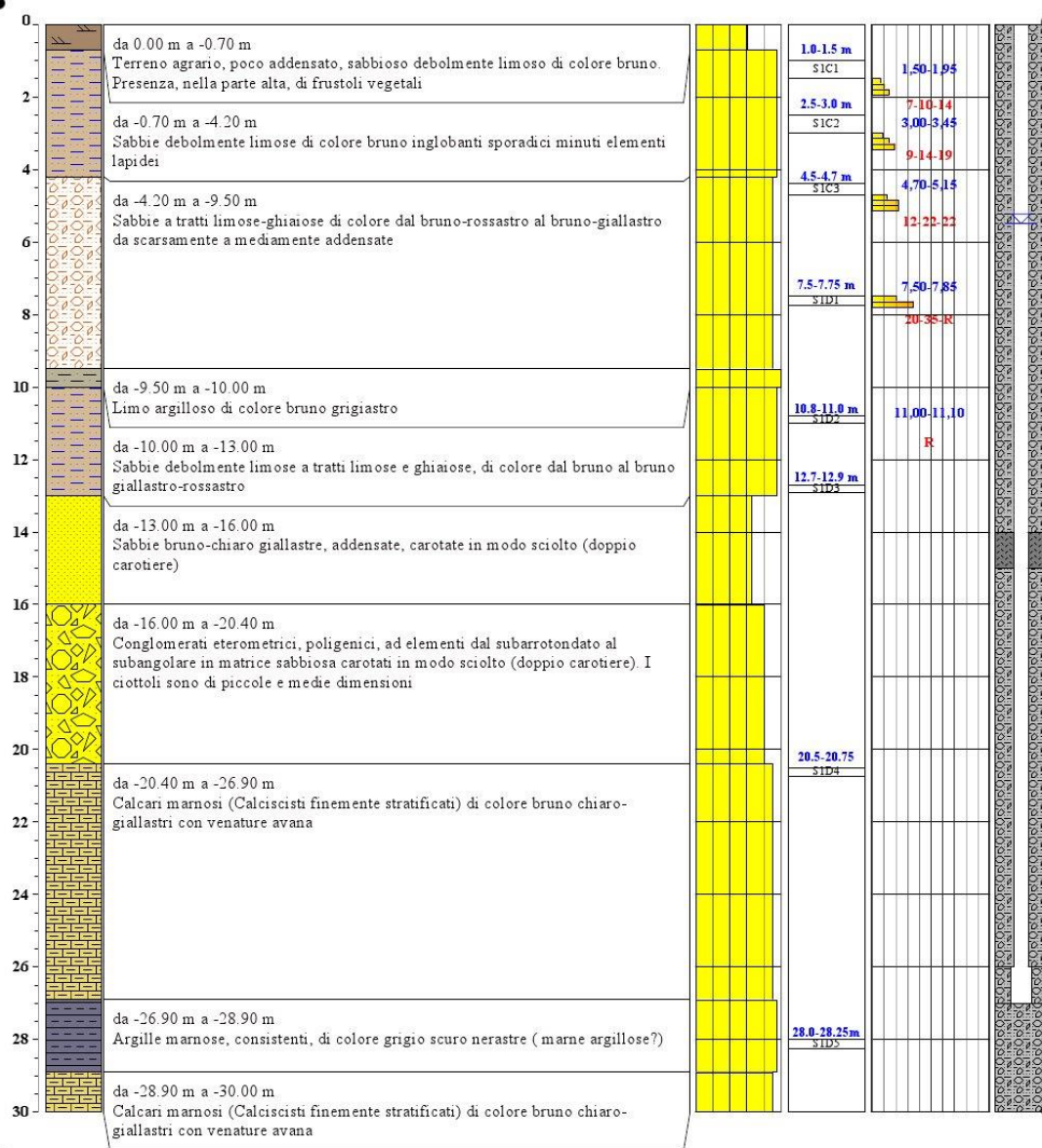
*A3, UGM1 – Output Tomografia*



*A3, UGM1 – Esecuzione delle perforazioni*



*A3, UGM1 – esiti carotaggi*



A3, UGM1 – stratigrafia con dettaglio dei campionamenti e dello schema di installazione del piezometro



*A3, UGM2: nodo sensore*



*A3, UGM 2: stazione meteorologica e nodo sink*



*A3, UGM2: esecuzione delle perforazioni per l'alloggiamento dei tensiometri*



*A3, UGM2: tensiometri in opera e pozzetti di alloggiamento piezometri, inclinometri e scatole di derivazione*



*A3, UGM 1: scatola di derivazione e verifica dei dati acquisiti mediante centralina portatile*

## 5. Sperimentazione sull'Autostrada A16 Napoli-Canosa

Le attività di sperimentazione sono state concentrate sul sito al km 97+450, non essendo stato possibile condurre ad esito le pratiche amministrative per l'accesso all'UGM 1 (km 112+350). Il monitoraggio, tuttavia, sarà finalizzato esclusivamente alla fase di raccolta di dati strumentali e non alla sperimentazione del sistema di early warning, poiché non risulta praticabile, con il livello di conoscenza attuale della frana, la definizione di criteri per la valutazione della criticità in funzione dei valori misurati e trasmessi dai sensori.

Di conseguenza, per l'UGM1, la sperimentazione ha riguardato solo i dispositivi immediatamente amovibili e temporanei (Interferometro, Sistema per la misura degli spostamenti superficiali, Sistema di sensori inclinometrici MEMS).

Nel dettaglio, il monitoraggio comprende i sistemi di misura distribuiti e strutturati come segue. Le attività di monitoraggio e installazione sono in parte eseguite (sistema MEMS, perforazioni, interferometro, Sistema per la misura degli spostamenti superficiali) e in parte in corso di attuazione (installazione sensori in profondità, scatole di derivazione, sistema di trasmissione).

Oltre ai sistemi di monitoraggio previsti nel progetto, nell'UGM1 è stato installato un sistema indipendente MUMS così composto:

- N. 2 strumenti di monitoraggio MUMS, collegati attraverso una rete GPRS al server automatico di elaborazione dati. La lunghezza di entrambe le catene MUMS è di 20 m, ciascuna costituita da 31 nodi di cui:
  - N. 25 nodi inclinometrici standard (dotati di accelerometro triassiale MEMS, magnetometro triassiale MEMS e sensore di temperatura);
  - N. 5 nodi ad alta risoluzione (dotati di livella elettrolitica biassiale e sensore di temperatura);
  - N. 1 nodo piezometrico.
- Una centralina per l'acquisizione e la memorizzazione dei dati collocata in una posizione intermedia tra le due catene inclinometriche. Tale unità è stata dotata inoltre di n. 1 nodo barometrico per la misura e registrazione della pressione atmosferica istantanea.

	<b>A16</b>	
	<b>km 97+450</b>	<b>UGM 1, km 112+400</b>
<b>Stazione 1</b>	Sistema per la misura degli spostamenti nel terreno in profondità	
	Sistema per la misura delle pressioni neutre	
<b>Stazione 2</b>	Sistema per la misura del carico di suzione nel terreno	
	Sistema per la misura del grado di umidità nel terreno	
<b>Stazione 3</b>	Sistema per la misura del carico di suzione nel terreno	
	Sistema per la misura del grado di umidità nel terreno	
<b>Stazione 4</b>	Sistema per la misura degli spostamenti nel terreno in profondità	
	Sistema per la misura delle pressioni neutre	
<b>Altri</b>	Stazione meteo Sistema MUMS	Interferometro Sistema per la misura degli spostamenti superficiali Sistema di sensori inclinometrici MEMS (STRAGO)

*A16 – Sistemi di misura*



SITO	STRUMENTAZIONI	N. INSTALLAZIONI	N. SENSORI /INSTALLAZIONE	QUANTITA'
<b>UGM 1 km 112+350</b>	INTERFEROMETRO	1	1	1
	SENSORE PUNTUALE INTEGRATO	1	5	5
	SENSORI INCLINOM. MEMS (STRAGO)	1	5	5
<b>km 97+450</b>	METEO	1	6	6
	TDR	2	5	10
	TENSIOMETRO	2	5	10
	PIEZOMETRO	3	1	3
	INCLINOMETRO	1	3	3
	INCLINOMETRO	2	1	2
	SENSORI INCLIN. E PIEZOMETRICI MUMS	2	31	62
<b>Totale sensori:</b>				<b>107</b>

*A16 – Dettaglio dei sensori*

La sperimentazione comprende anche le indagini e prove di laboratorio seguenti:

PROVE	UGM 1 km 112+350 e km 97+450 Quantità
ANALISI GRANULOMETRICA	4
ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE	4
LIMITI LIQUIDITA'-PLASTICITA'	4
CONTENUTO ACQUA NATURALE	4
PESO UNITA' VOLUME NATURALE	4
PESO SPECIFICO GRANULI	4
TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATA DRENATA	4
EDOMETRICA	4
STANDARD PENETRATION TEST	12

*A16 - Indagini e prove di laboratorio*



*A16, UGM 1: sistema MEMS (STRAGO S.p.A.)*



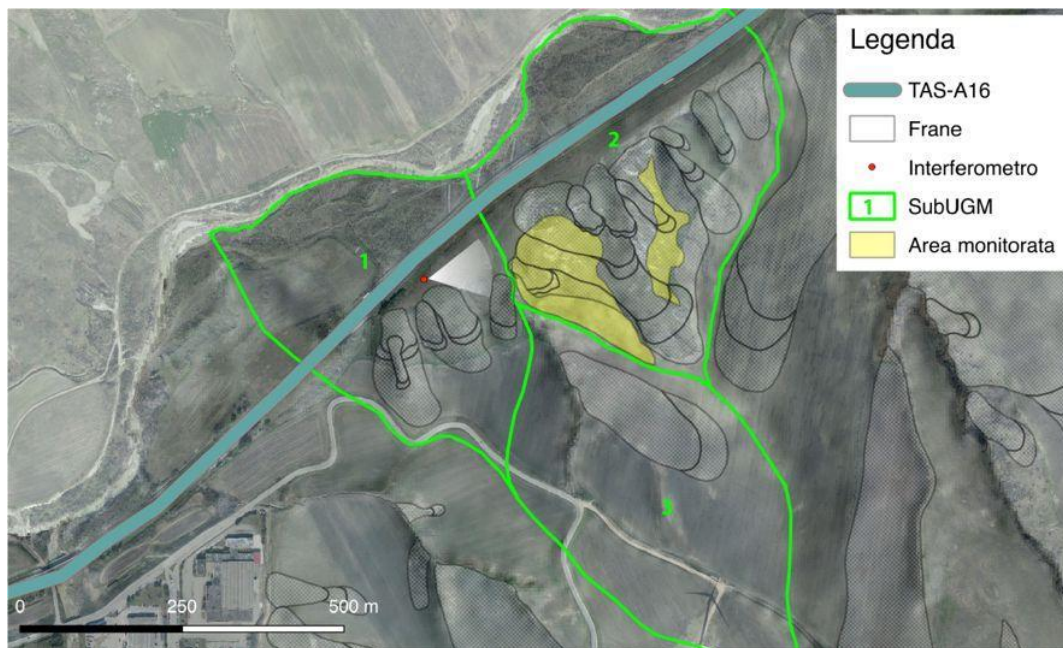
*A16, UGM 1: centro di acquisizione e trasmissione dati Sistema MEMS (STRAGO S.p.A.)*

p.c.	Profondità		Colonna Stratigraf.	Stratigrafia e descrizione dei terreni	Falda	Prove S.P.1	Pressiometric	Tubo Idrometrico	Campione indurizzato	RQD %	Carotaggio %
	Q.rel. (m)	Spess. (m)									
		1.00		Terreno vegetale costituito da sabbia limosa marrone.							
		3.40		Limo argilloso debolmente sabbioso, marrone, da poco consistente a molle, con inclusi litici marnosi e arenacei ( $\phi = .05-1$ cm).							
		4.40		Limo argilloso debolmente sabbioso di colore grigio, poco consistente, con rari inclusi litici marnosi e arenacei ( $\phi = 0.8-1.2$ cm).							
5.00		6.00		Alternanza di livelli argilloso marnosi di colori differenti, dal grigio al rossastro, fino al verdastro. Nei livelli sono inclusi litici marnosi e arenacei ( $\phi = 0.5-1.5$ cm).							
		14.00									
		15.00									
		20.00									
		20.00		Trovanti litici marnosi e calcareo-marnosi immersi in matrice sabbiosa limosa di colore grigiastro.							
		4.00									
		24.00									
		1.00		Ciottoli immersi in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore giallastro.							
25.00		25.00									
				Fine sondaggio							

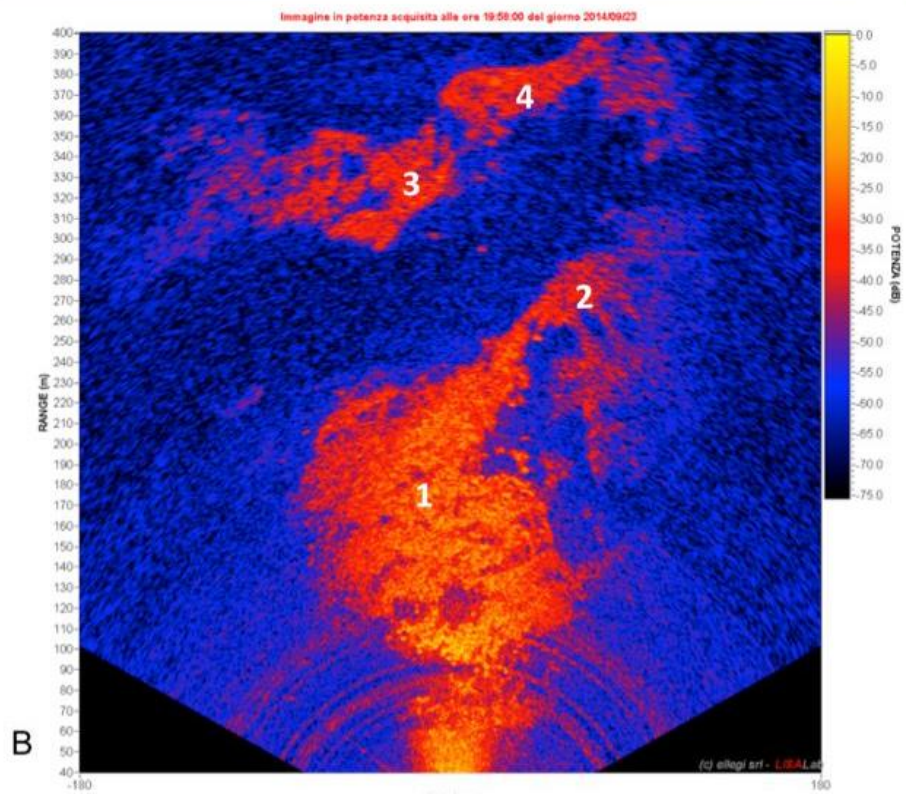
A16, UGM 1: sondaggio eseguito a carotaggio continuo



*A16, UGM1: Installazione del casotto e dell'interferometro*

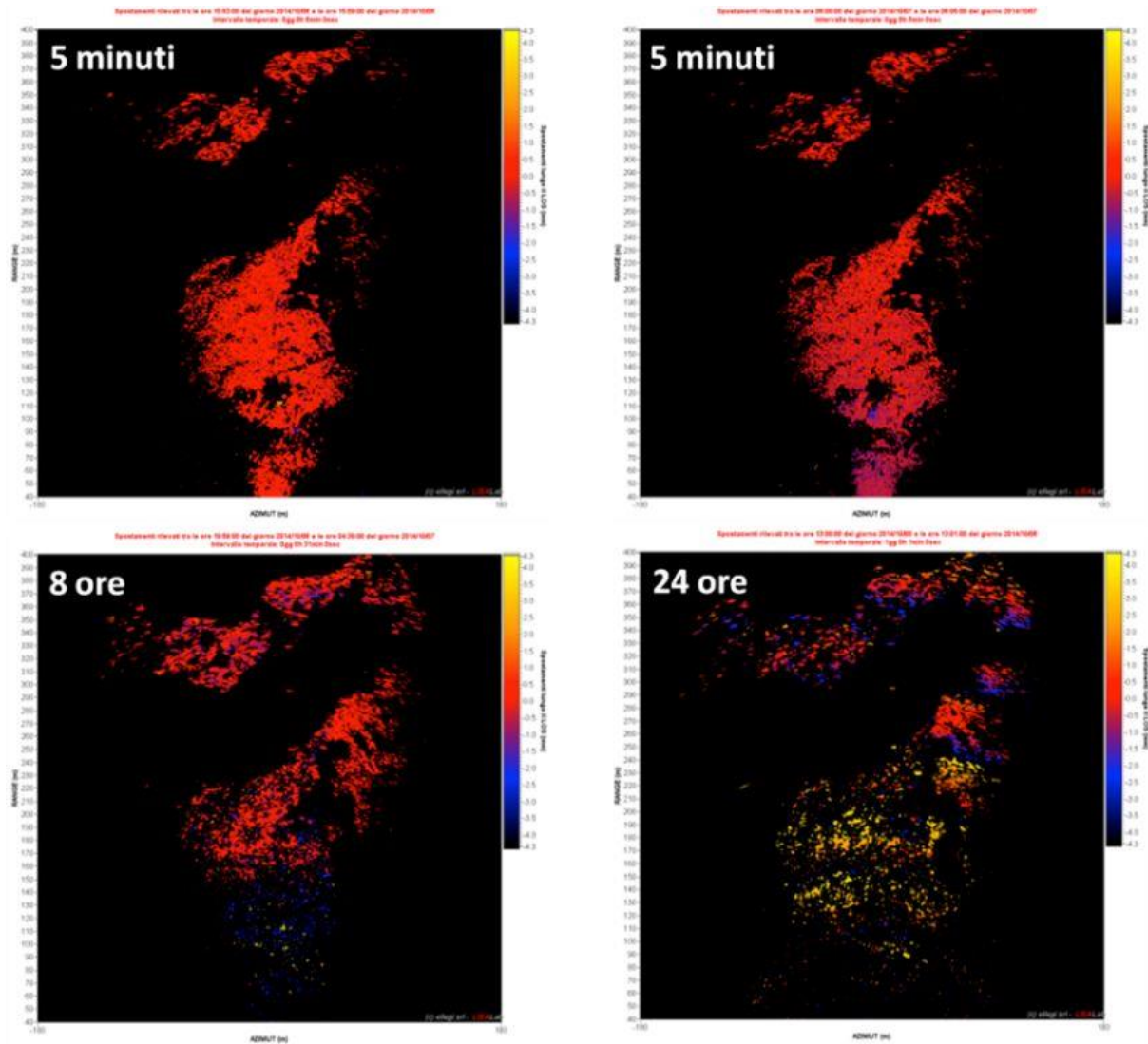


*A16, UGM1: Punto di installazione dell'interferometro e angolo di vista dell'area monitorata*

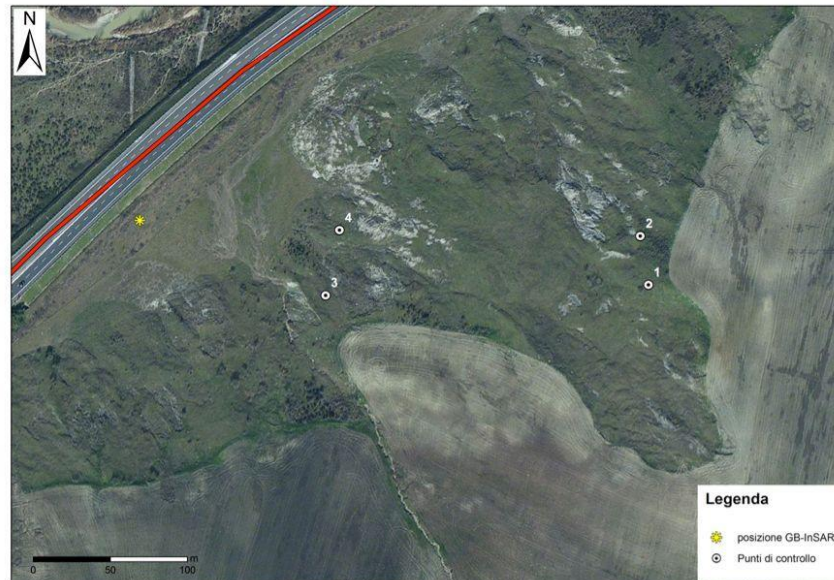


A16, UGM1: Scenario osservato dall'interferometro (A) e relativa mappa in potenza (B).

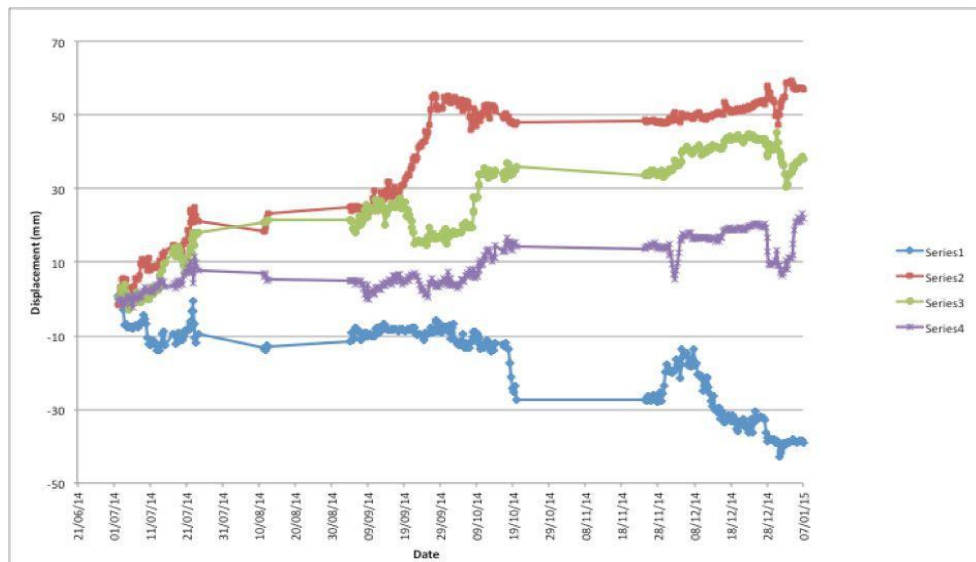
I numeri indicano i principali riflettori e la loro localizzazione sul versante osservato



A16, UGM1 - Interferometro: esempi di mappe di spostamento a 5 minuti, 8 ore e 24 ore



A16, UGM1 - Interferometro: localizzazione dei punti di controllo su ortofoto dell'area in esame



A16, UGM1 - Interferometro: esempio di serie storica per i 4 punti di controllo, basata su interferogrammi ad 8h





*A16, km 97+450: Sistema per la misura degli spostamenti nel terreno in profondità e delle pressioni neutre (perforazioni)*



*A16, UGM1 - Predisposizione della catena MUMS*

## 6. Sperimentazione sull'Autostrada A18 Messina - Catania

Il monitoraggio della UGM selezionata per la sperimentazione comprende i sistemi di misura distribuiti e strutturati come segue. Le attività di installazione programmate non sono state a tutt'ora eseguite per il perdurare di problemi amministrativi di accesso al sito.

	<b>A18</b>
	<b>UGM 2 - km 2+800</b>
<b>Stazione 1</b>	Sistema per la misura del carico di suzione nel terreno
	Sistema per la misura del grado di umidità nel terreno
	Sistema per la misura delle pressioni neutre
<b>Stazione 2</b>	Sistema per la misura degli spostamenti nel terreno in profondità
	Sistema per la misura delle tensioni totali nel terreno
<b>Stazione 3</b>	Sistema per la misura del carico di suzione nel terreno
	Sistema per la misura del grado di umidità nel terreno
	Sistema per la misura delle tensioni totali nel terreno
	Sistema per la misura degli spostamenti nel terreno in profondità
<b>Altri</b>	Stazione meteo
	Sistema per la misura degli spostamenti superficiali

*A18, UGM2 – Sistemi di misura*

SITO	STRUMENTAZIONI	N. INSTALLAZIONI	N. SENSORI /INSTALLAZIONE	QUANTITA'
<b>UGM 2</b> <b>km 2+800</b>	INCLINOMETRO	2	4	8
	PIEZOMETRO	1	3	3
	CELLA PRESSIONE	2	4	8
	TENSIOMETRO	2	10	20
	TDR	2	10	20
	SENSORE PUNTUALE INTEGRATO	1	5	5
	METEO	1	6	6
	<b>Totale sensori:</b>			

*A18, UGM2 – Dettaglio dei sensori*

## **APPENDICE**

Rappresentazione cartografica dei sistemi di monitoraggio





*A3, UGM 1 - MANCARELLI: delimitazione della frana ed opere di difesa esistenti*



*A3, UGM 1 - MANCARELLI: ubicazione dei dispositivi di monitoraggio*

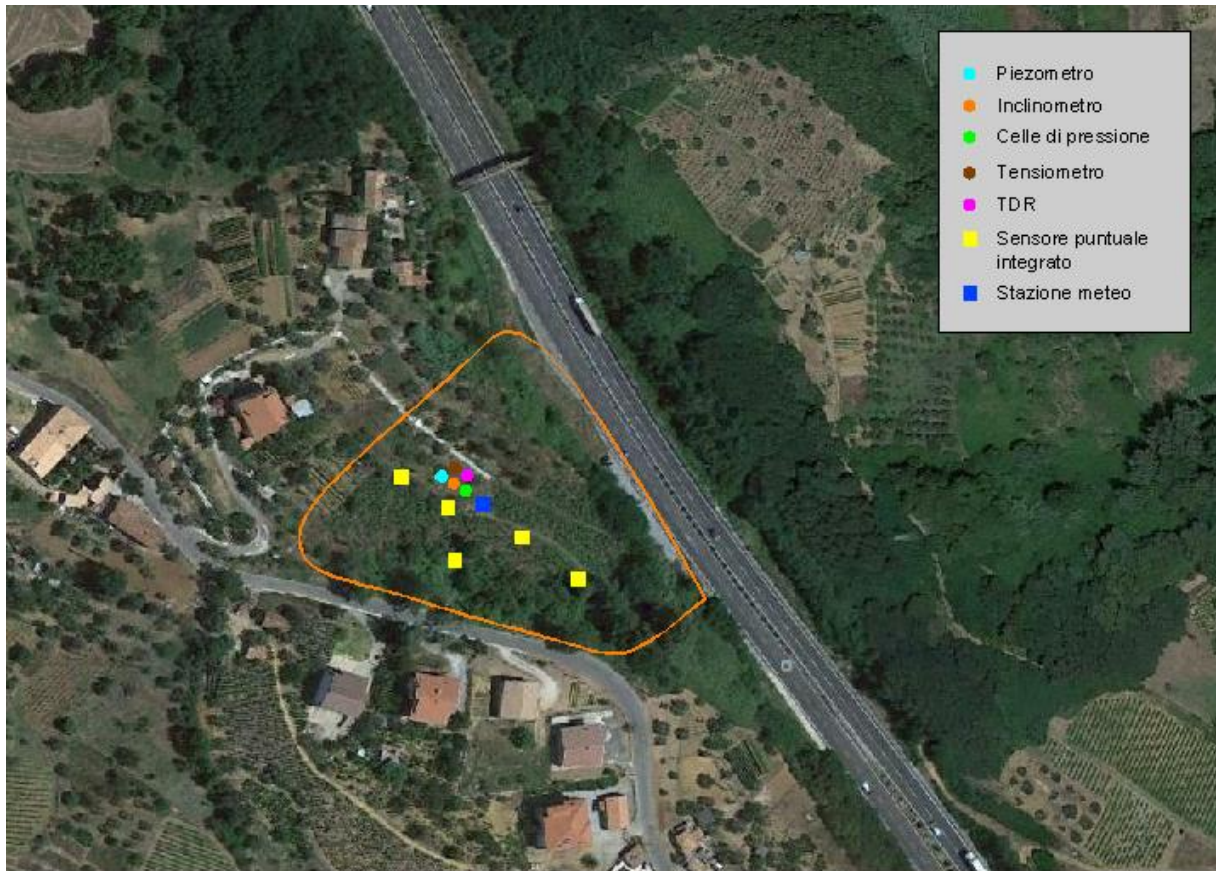


*A3, UGM 1- MANCARELLI: Rete di trasmissione*

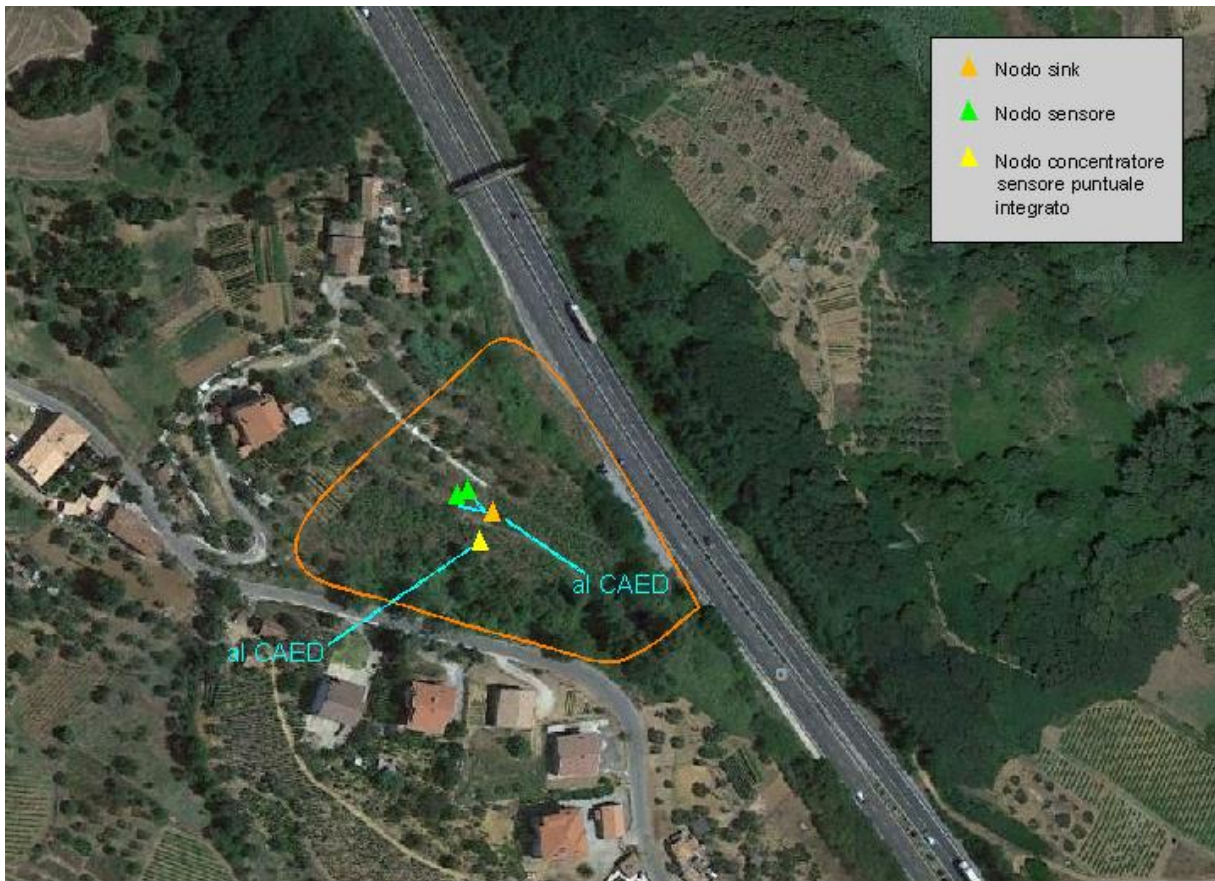


*A3, UGM 2 - FIEGO: delimitazione della frana ed opere di difesa esistenti*





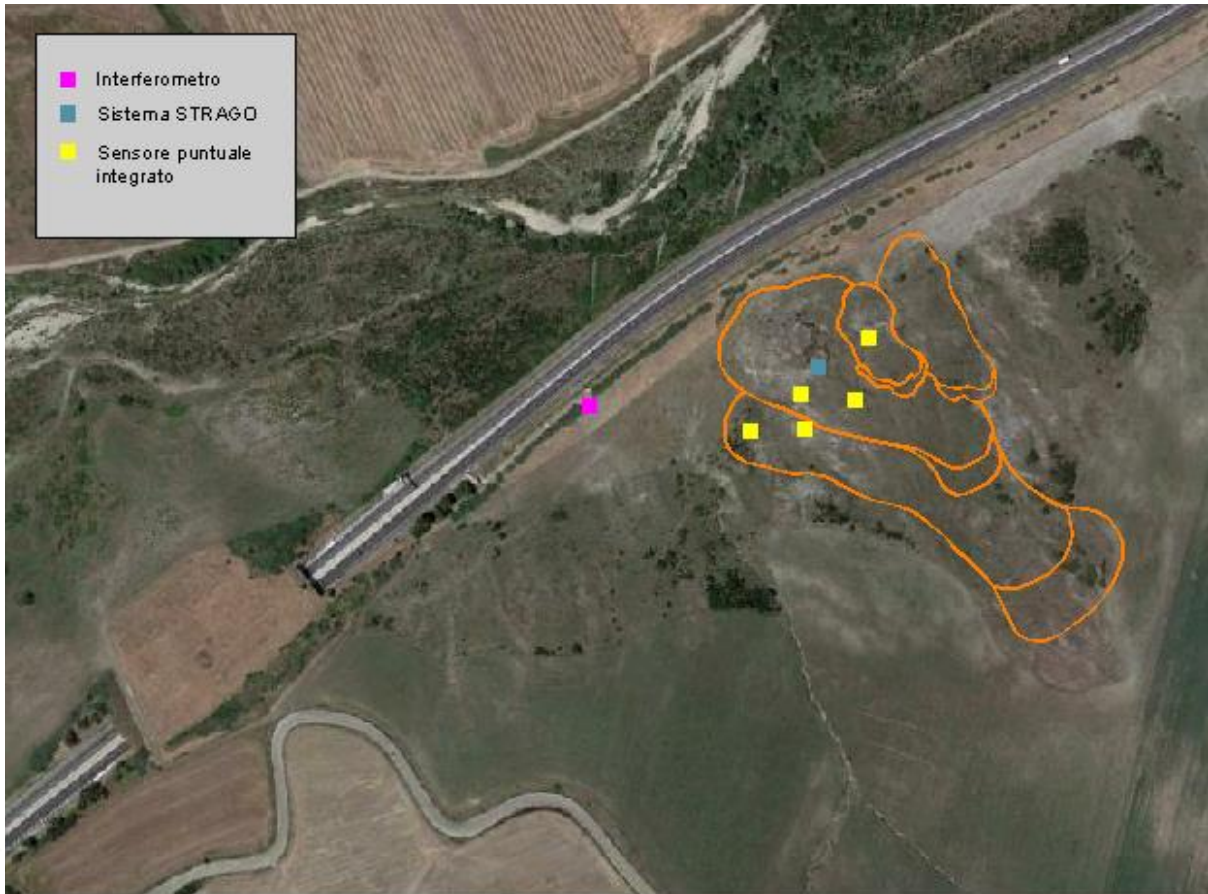
*A3, UGM 2 - FIEGO: ubicazione dei dispositivi di monitoraggio*



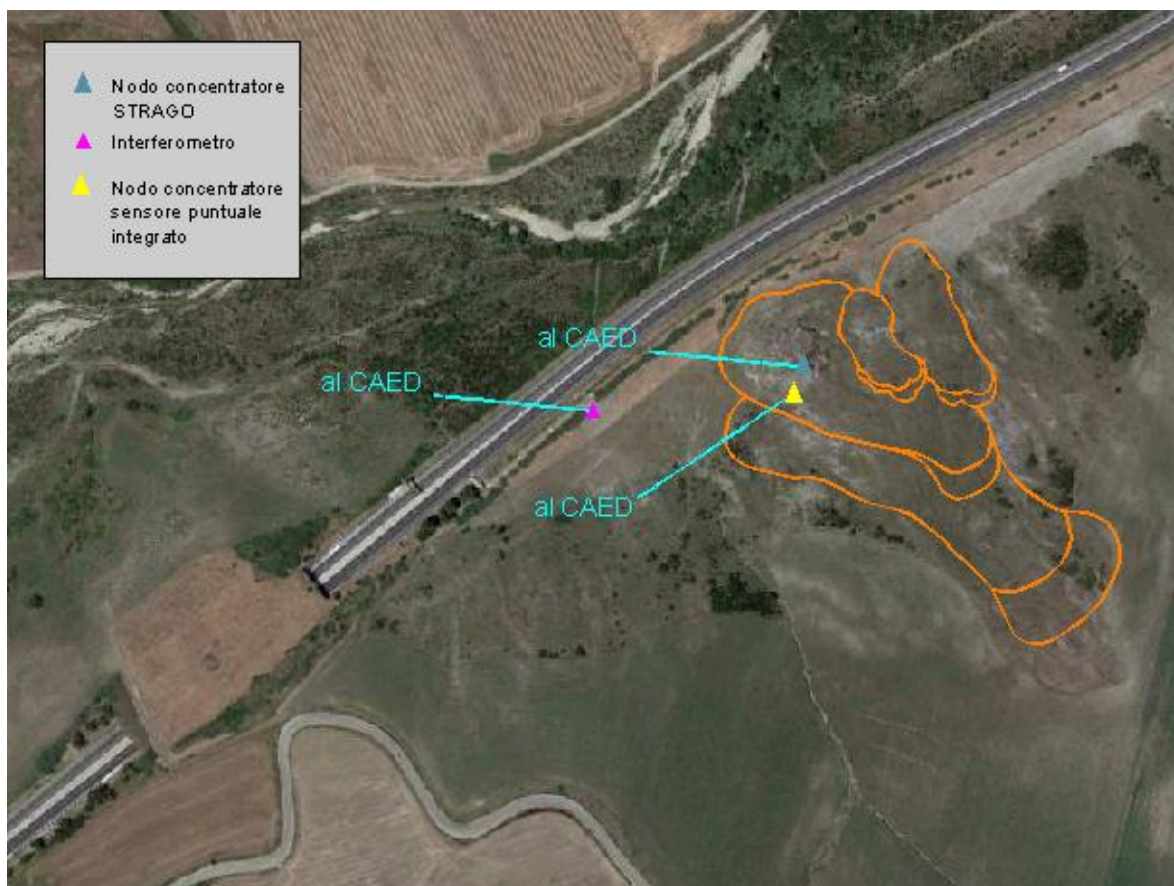
A3, UGM 2 - FIEGO: Rete di trasmissione



*A16, UGM 1 – km 112+350: delimitazione della frana ed opere di difesa esistenti*



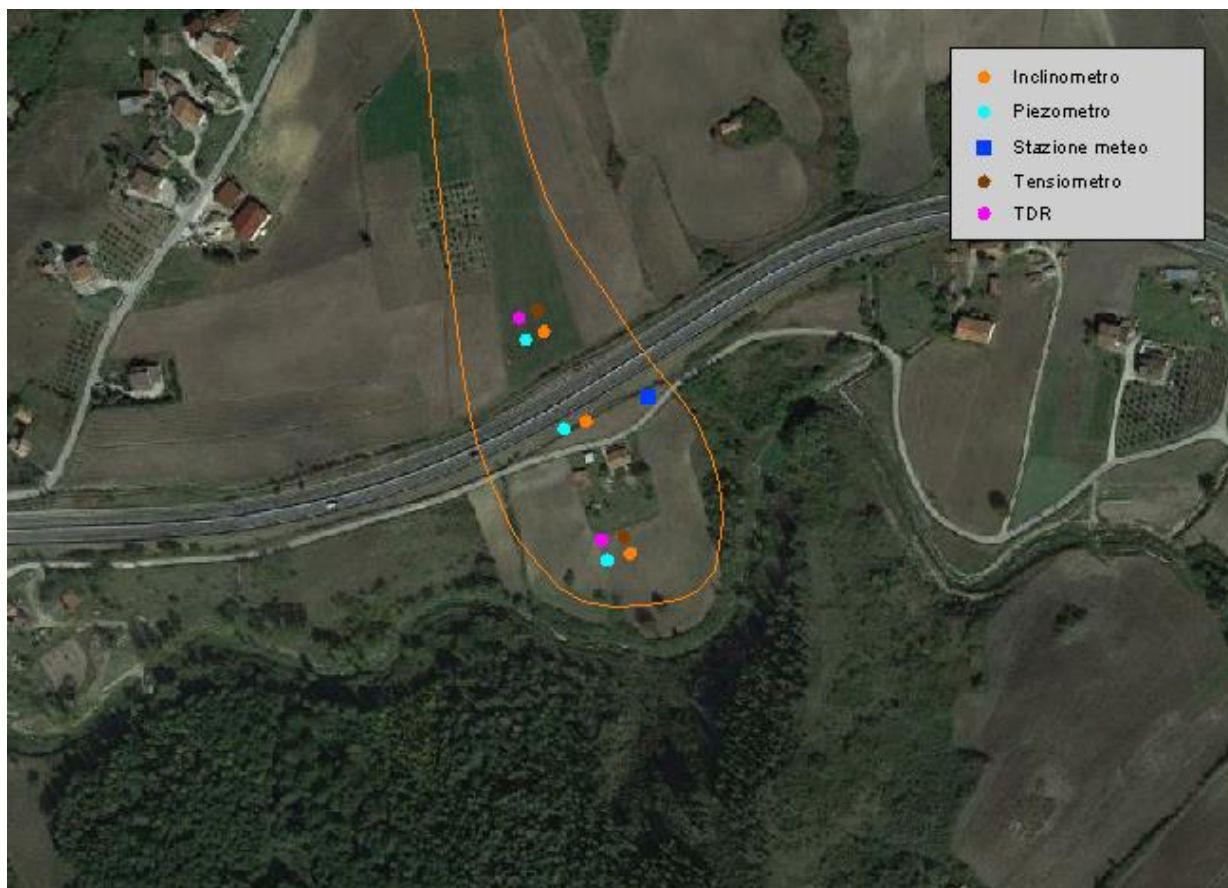
*A16, UGM 1 – km 112+350: ubicazione dei dispositivi di monitoraggio*



*A16, UGM 1 – km 112+350: Rete di trasmissione*



*A16, km 97+450: delimitazione della frana ed opere di difesa esistenti*



*A16, km 97+450: ubicazione dei dispositivi di monitoraggio*

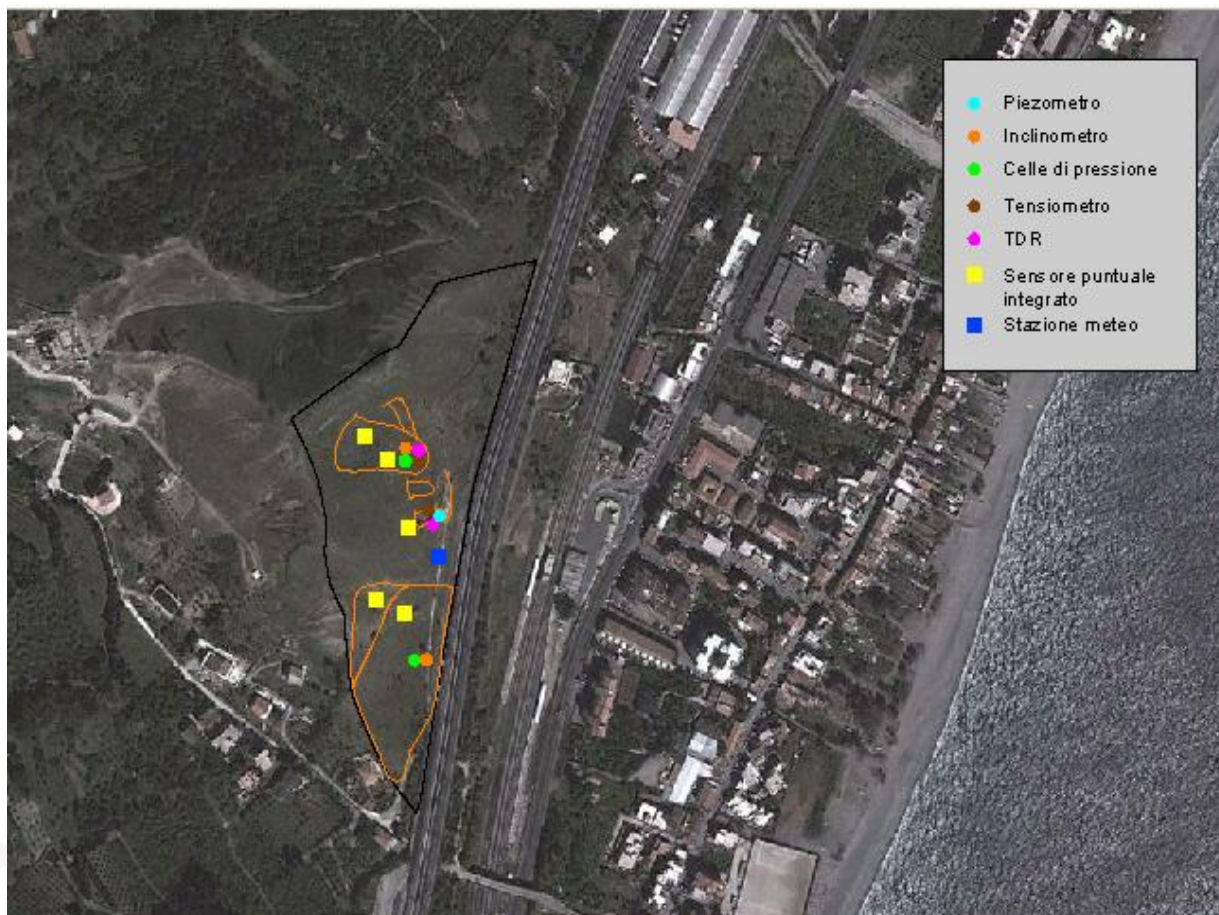


*A16, km 97+450: Rete di trasmissione*





*A18, UGM 2 – km 2+800: delimitazione della frana ed opere di difesa esistenti*



*A18, UGM 2 – km 2+800: ubicazione dei dispositivi di monitoraggio*



*A18, UGM 2 – km 2+800: Rete di trasmissione*

