



**COMUNE DI  
BRACIGLIANO**  
*Provincia di Salerno*

**INTERVENTI DI SISTEMAZIONE  
E MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO  
DISSESTI IN LOCALITÀ TAVOLARA**

DATA: LUGLIO 2023

*Intervento n°6 della deliberazione CIPE n.8 / 2012  
già n.71 dell'allegato 1 all'Accordo di Programma del 12.11.2010*

CUP: I43B08000150001

**PROGETTO RAFFORZATO DI FATTIBILITA' TECNICO - ECONOMICA**

*(ai sensi del art.41 del DL 36/2023 - Allegato 1.7)*

APPALTO INTEGRATO PROGETTO ESECUTIVO E LAVORI

numero	titolo	cod. elaborato
<b>17</b>	PIANO DI MONITORAGGIO GEOLOGICO-GEOTECNICO-IDRAULICO	PD-ED.17
		scala -

*Sindaco: Dott.re Giovanni Iuliano*

U.T.C UFFICIO TECNICO COMUNALE

Ufficio del Rischio Idrogeologico

**RUP: Arch. Paola Giannattasio**

**Supporto al RUP: Avv. Domenico Leone**  
*Giuridico Amministrativo*

**Valutazione Incidenza Ambientale:**  
**Dott. Biologo Gabriele De Filippo**

**Responsabile area economico/finanziaria:**  
**Dott. Alfonso Amabile**

**Progettazione: Ing. Cono Francesco Cimino**

**Geologo: Dott. Elio Lo Russo**

**Valutazione Impatto Ambientale:**  
**Dott. Agronomo Silvestro Caputo**



## **Introduzione**

Il monitoraggio rappresenta un metodo conoscitivo, volto all'acquisizione di informazioni quantitative sull'andamento nel tempo di variabili ritenute rappresentative dell'evoluzione di una data porzione di ambiente fisico. Tale ambiente spesso è soggetto a mutamenti del suo stato iniziale che incidono in modo sostanziale sulle attività svolte dall'uomo.

Il sistema per il monitoraggio proposto nel presente progetto ha come scopo primario la misurazione continua dei parametri caratterizzanti due fenomenologie di dissesto idrogeologico:

1. frane da crollo in roccia
2. frane per colata rapida (debris flow e/o debris avalanche)

per nella difesa dal rischio associato ad entrambe le fenomenologie si possono applicare due approcci distinti, il primo è orientato specificatamente alla definizione della loro dinamica, ovvero alla determinazione dei tempi con cui un certo parametro evolve o subisce variazioni significative, il secondo, che nel nostro caso è di forte rilevanza, consiste nel riuscire ad stabilire mediante il monitoraggio continuo il superamento di soglie di allarme che permettano di intervenire tempestivamente allorquando si verifica un evento improvviso, come nel caso di un crollo in roccia, come supporto per l'attivazione immediate di piani di emergenza.

Il monitoraggio assume pertanto una funzione di previsione dell'evento, al fine di garantire un margine di tempo sufficiente ad intraprendere provvedimenti volti alla riduzione del livello di rischio. Tuttavia esso non risulta sufficiente alla completa eliminazione del rischio stesso in quanto non si configura come metodo di intervento diretto volto alla eliminazione delle cause del dissesto.

## **Componenti principali di un sistema di monitoraggio**

Un sistema di monitoraggio integrato è sostanzialmente costituito da una serie di unità principali:

- gli strumenti di misura con relativi sensori (prismi di lettura, fessurimetri, tensiometri, etc.);
- il sistema di acquisizione dati ;
- il sistema di trasferimento dei dati dal punto di acquisizione ad un sistema di archiviazione e/o ad un centro di elaborazione dati;
- il sistema di elaborazione ed archiviazione dei dati.

Alla base del corretto funzionamento di un sistema di monitoraggio è la scelta e l'utilizzo dei componenti hardware e software del sistema che devono rispondere ad alcuni requisiti fondamentali che verranno in seguito elencati.

## **Gli strumenti di misura**

La scelta degli strumenti da utilizzare e delle relative procedure di installazione rappresenta un aspetto particolarmente importante ai fini della possibilità di successo del monitoraggio; da essi, infatti, dipende in maniera preponderante la qualità delle misure.



La fase della scelta dei sensori è preceduta dall'individuazione dei parametri da misurare. Principalmente le grandezze fisiche significative da controllare in un versante instabile sono riconducibili a due principali categorie:

- parametri che dipendono dall'evoluzione del fenomeno (grandezze cinematiche);
- parametri che influenzano l'evoluzione del fenomeno (idrogeologici, meteorologici).

Vengono di seguito elencati i parametri maggiormente significativi:

#### *parametri cinematici:*

- posizione di un punto nello spazio (metodo topografico);
- distanza (tra un punto fisso ed uno mobile);
- deformazione (dislocazione relativa tra due punti).

I parametri cinematici sono rilevati con la misura di spostamenti superficiali e/o profondi.

#### *parametri idrogeologici:*

- variazione del livello della falda freatica (piezometria)
- grado di saturazione dei terreni.

I parametri idrogeologici sono rilevati con la misura delle pressioni interstiziali.

#### *parametri idrologici e idraulici:*

- portata in alveo
- misure degli spessori delle colate rapide in tempo reale

#### *parametri meteorologici:*

- piovosità;
- umidità dell'aria;
- direzione e velocità del vento;
- temperatura (dell'aria, della neve);
- l'altezza della neve in zone di alta montagna con rischio valanghe;

I parametri meteorologici sono rilevati con la misura della quantità di precipitazioni liquide (pioggia) o solide (neve) e con misure dirette di temperatura dell'aria, dell'umidità e anche del vento. In alta montagna la misura della temperatura della neve a diverse profondità può fornire indicazioni per la previsione delle valanghe.

#### *parametri geofisici:*

- emissioni acustiche (EA)
- microsismi (MS)

I parametri geofisici sono rilevati attraverso la misura delle vibrazioni trasmesse.



Particolarmente rilevante è la scelta dei punti da monitorare, perché l'instabilità si manifesta, specialmente nella fase iniziale d'evoluzione, in zone limitate che possono sfuggire al monitoraggio. Per questo motivo è fondamentale il contributo che può venire da indagini e studi geologici, geomorfologici e geotecnici del versante.

Da valutare con cautela è anche la scelta della frequenza e ridondanza delle misure che dipendono, in particolare la prima, dalle caratteristiche cinematiche riconosciute o supposte del fenomeno.

#### **Il sistema di acquisizione dati**

Il sistema di acquisizione dati assolve il compito di comunicare con il sensore (o i sensori) a cui è collegato, memorizzare il dato e trasformarlo da unità elettrica (per esempio volt) ad unità fisica (per esempio millimetri).

#### **Il sistema di trasmissione dati**

Consente trasferimento dei dati dal punto di acquisizione (remoto) al punto di utilizzo. Esistono diversi sistemi da adottare, la cui scelta dipende essenzialmente dalle condizioni operative. In particolare:

- sistemi via cavo (elettrico o a fibre ottiche);
- sistemi via radio (wireless);
- sistemi via linea telefonica (modem).

#### **Il sistema di archiviazione ed elaborazione dati**

Consente la catalogazione e conservazione dei dati al fine del loro utilizzo interpretativo del fenomeno sotto osservazione. Sovrintende alla restituzione dei dati in forma grafica e/o di tabella ed all'eventuale attivazione di allertamento in caso di superamento di soglie prefissate. Può essere dotato di modelli numerici previsionali a sostegno della fase decisionale che precede l'attivazione dell'allertamento.

### ***Requisiti principali di un sistema di monitoraggio***

#### **Requisiti hardware**

I più importanti sono:

- la flessibilità: i componenti del sistema debbono potersi facilmente adattare alle molteplici necessità delle situazioni ed alle condizioni ambientali in cui si opera; nel sistema debbono poter essere integrate eventuali strumentazioni e reti già esistenti e comunque informazioni e dati provenienti da altre fonti;
- l'espansibilità: il sistema deve poter essere facilmente ampliato, ridotto e riposizionato in relazione all'evoluzione dei fenomeni e dalle mutate necessità conoscitive;
- l'affidabilità: deve essere garantita la funzionalità dei componenti per lunghi periodi ed in condizioni ambientali anche critiche, durante le quali spesso sono richieste le maggiori prestazioni;
- la disponibilità: il sistema deve disporre di risorse interne (ridondanza dei componenti critici, capacità di funzionamento indipendente, ecc.) per garantire adeguati livelli di funzionamento anche a fronte di eventi imprevedibili, situazioni di crisi, ecc.
- la manutenibilità: gli interventi di manutenzione, essenziali ai fini della funzionalità del sistema, devono poter essere eseguiti in modo semplice grazie alla standardizzazione dei componenti e a una progettazione che tenga conto della necessità di intervenire sugli apparecchi.



---

### **Requisiti software**

Le caratteristiche più importanti delle componenti strumentali software del sistema riguardano l'interfaccia uomo/macchina e le funzionalità di elaborazione. L'interfaccia generale del sistema deve consentire la massima semplicità e flessibilità di utilizzo dei diversi componenti funzionali, i cui requisiti principali sono:

- la semplicità delle istruzioni;
- la disponibilità di funzioni di aiuto (help) in linea per l'utente;
- l'accessibilità agevole alle diverse possibilità offerte dal sistema;
- il mantenimento di una traccia di tutto quanto avviene in una sessione di lavoro (storia dell'elaborazione).

Per quanto riguarda l'elaborazione sono necessarie diverse funzionalità:

- gestione dei dati, con funzioni di inserimento, modifica, interrogazione e cancellazione;
- comunicazione con sistemi esterni;
- modelli interpretativi e previsionali;
- grafica;
- elaborazione in tempo reale (real-time);

### ***Proposta del sistema di monitoraggio integrato***

#### **Metodologica e Obiettivi**

L'approccio utilizzato nella progettazione del sistema di monitoraggio integrato per la località Tavolara di Bracigliano è stato quello di suddividerlo inizialmente in n°2 sistemi di controllo basati su sensoristiche sostanzialmente diverse, un sistema per i fronti rocciosi suscettibili a frane da crollo, ribaltamenti e scivolamenti ed un sistema per le aree di impluvio suscettibili a frane di colata rapida. Tuttavia entrambi i sistemi si integrano in fase di acquisizione nell'unità centrale di elaborazione e gestione dei dati per poter intervenire immediatamente con l'attivazione dell'allertamento allorché vengano superate le soglie impostate. La particolare peculiarità dei fenomeni di dissesto verificabili ha indotto alla realizzazione di un sistema integrato basato sulla conoscenza dei fattori predisponenti ed innescanti il fenomeno di frana ed il tipo di evoluzione possibile per entrambi le tipologie di frana. Tale approccio è stato necessario per poter individuare i parametri da controllare di maggiore rilevanza, scegliere la strumentazione più idonea per il monitoraggio e definire le possibili modalità di esecuzione delle misure ed eventuali correlazioni tra esse. Gli obiettivi primari che i sistemi di monitoraggio si prefiggono di raggiungere sono:

- La comprensione dei meccanismi in atto;
- L'interazione dei diversi fattori che interagiscono sul dissesto (pioggia, sovraccarichi, etc)
- Analizzare i dissesti e comprendere i meccanismi di rottura e l'influenza di fattori ambientali;
- Avere funzione di allertamento immediato in seguito all'attivazione di fenomenologie di dissesto;

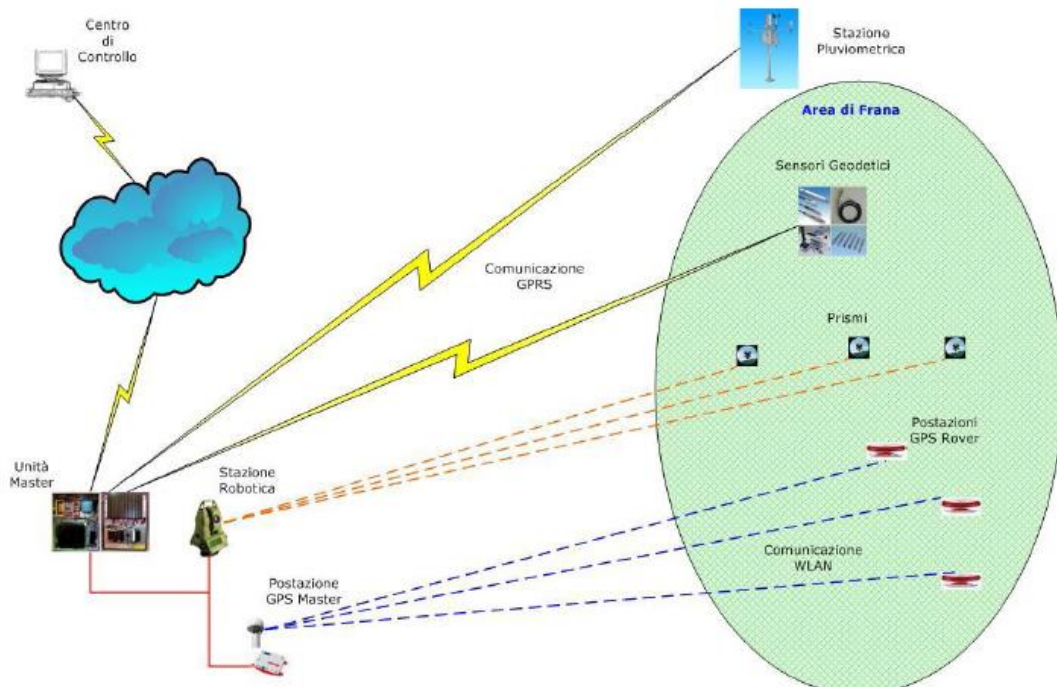


- Avere funzione di previsione e di supporto alle attivazione di piani di emergenza;
- Studiare l'efficacia di interventi di stabilizzazione.

### **Architettura del sistema di monitoraggio**

Per entrambe le aree appena descritte viene proposto un sistema di monitoraggio basato su un'architettura con *logica a intelligenza distribuita* assolutamente espandibile in futuro, costituita da n°2 stazioni di raccolta dati periferiche autonome (Unità Master), ognuna dotata di relativo datalogger multifunzionale. Scopo delle stazioni periferiche è quello di gestire le misure provenienti dai sensori localizzati nelle aree instabili e controllare in modo automatico il variare dei parametri prima descritti, trasferire i dati raccolti al centro di controllo dove verranno elaborati in *real time* per poter avere sotto controllo i fenomeni evolutivi caratteristici ed eventualmente attivare l'allertamento. In particolare tale unità, basata su PC workstation di ultima generazione, avrà le seguenti funzionalità:

- Gestione delle centraline di monitoraggio disposte in campo;
- Controllo delle soglie di allarme;
- Configurazioni dei sensori in campo;
- Elaborazione dei dati;
- Interfaccia verso gli utenti.

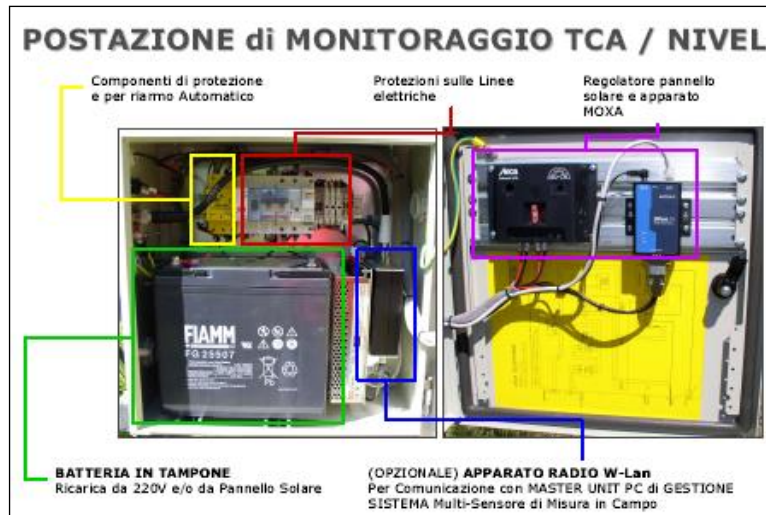






I sensori, installati nelle aree instabili secondo i criteri descritti, sono raggruppati in blocchi ed asserviti a unità periferiche di acquisizione. Il collegamento tra i sensori, dotati di trasmettitori wireless, e le unità avviene senza l'utilizzo di cavi, con trasmissione via radio.

Il flusso d'informazioni tra le unità periferiche ed il sistema centrale di controllo avviene nei due sensi, in quanto quest'ultimo è in grado di dialogare con le unità di acquisizione, per richiedere l'invio di dati, modificare la frequenza di acquisizione, informarsi sullo stato di funzionamento delle unità periferiche.



I dati acquisiti sono inviati all'unità principale di elaborazione che svolge in primo luogo il compito di smistare le informazioni nei sistemi di banca dati. Nel caso in esame ne sono previsti due. Il primo risiede presso la stessa unità centrale di controllo ed ha la funzione di banca dati locale, nella quale sono conservate le informazioni più recenti fornite dal sistema, in pratica gli ultimi tre mesi di acquisizioni. Per evitare di appesantire eccessivamente l'unità di elaborazione, che è costituita da un minicomputer e che serve anche per tutte le funzioni preliminari di elaborazione e restituzione dei dati, l'intera serie di dati acquisiti è trasmessa in *real time* ad un sistema di banca dati residente su un elaboratore centrale remoto, al quale il centro è collegato via modem attraverso una linea dedicata.

Presso l'unità centrale di elaborazione risiedono anche i modelli numerici di predizione ed i sistemi esperti che sono utilizzati per l'interpretazione e come supporto al processo decisionale, e l'unità di allertamento che provvede a segnalare automaticamente il superamento delle soglie di accertabilità delle misure ed a mettere in allarme il sistema.

Tale sistema consentirà la creazione di una banca dati contenente informazioni distribuite opportunamente nel tempo che permetteranno interpretazioni fondamentali dei fenomeni in atto ed eventuali attività da intraprendere.

L'elevata precisione dei sensori proposti che rilevano variazioni molto piccole dei parametri monitorati e la trasmissione dei dati in *real time* consentono il monitoraggio di fenomeni franosi caratterizzati sia da una elevata lentezza evolutiva che immediata e improvvisa.

Nello specifico il monitoraggio proposto comprende tre tipologie di acquisizione del dato che utilizzano metodologie differenti:

1. monitoraggio topografico di precisione automatico
2. monitoraggio pluviometrico

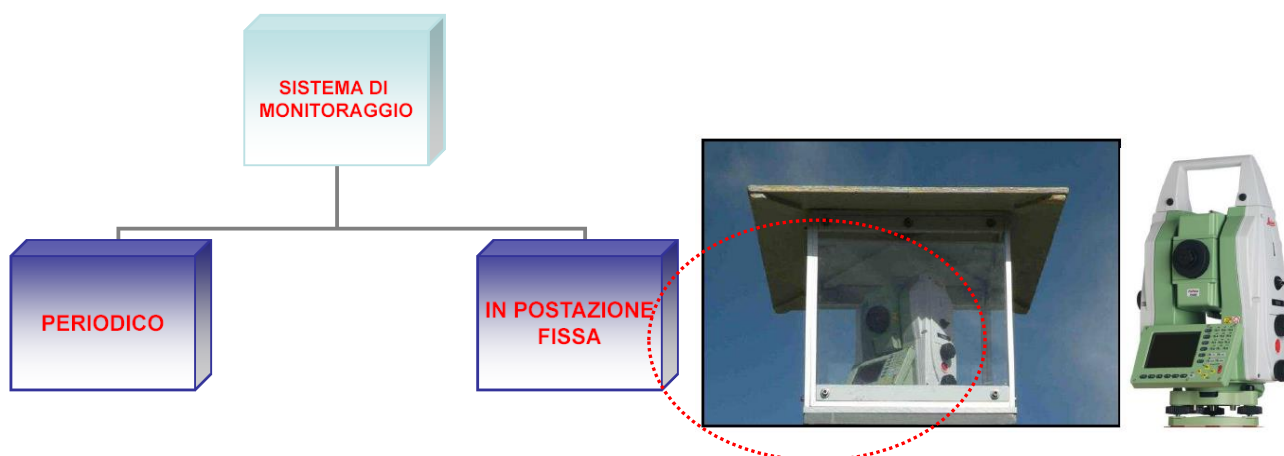


3. monitoraggio geotecnico

4. monitoraggio strutturale

### Sistemi di monitoraggio geomatico di superficie

Il monitoraggio topografico delle zone interessate sarà effettuato mediante stazione totale automatica robotica di altissima precisione in postazione fissa configurata con acquisizione in continuo e trasferimento dei dati attraverso radio modem alla unità centrale.



Gli obiettivi del sistema sono sintetizzati nei tre punti di seguito elencati:

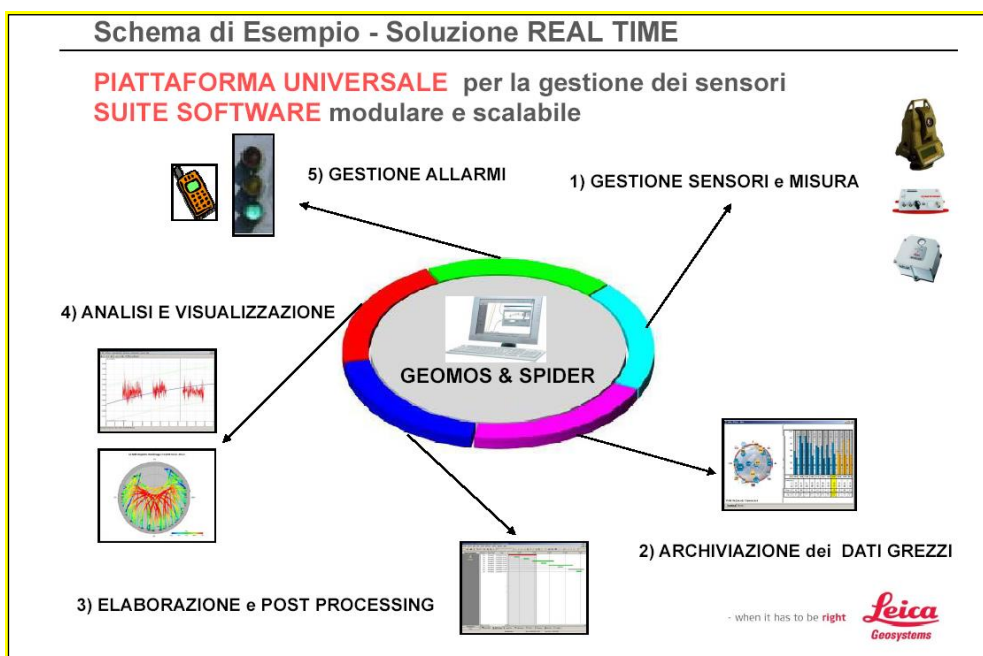
1. Sistema di Monitoraggio integrato, completamente automatico e cicli di misure in continuo, gestione automatica dell'elaborazione dei dati e degli allertamenti, sia in sito che da remoto.
2. Monitoraggio di elevatissima precisione GEODETICA di Punti in superficie nelle tre coordinate (E; N; H).
3. Postazione fissa di misura, dotata di batterie in tampone di adeguata capacità. Master unit pc di gestione dell'impianto di monitoraggio in sito, di tipo industriale, configurato con sistema di comunicazione a seconda delle esigenze a scelta tra tutte le più nuove tecnologie disponibili sul mercato. Tipo radio satel-869, apparati radio w-lan a 2.4/5.4mhz, apparati gsm/gprs/umts etc.

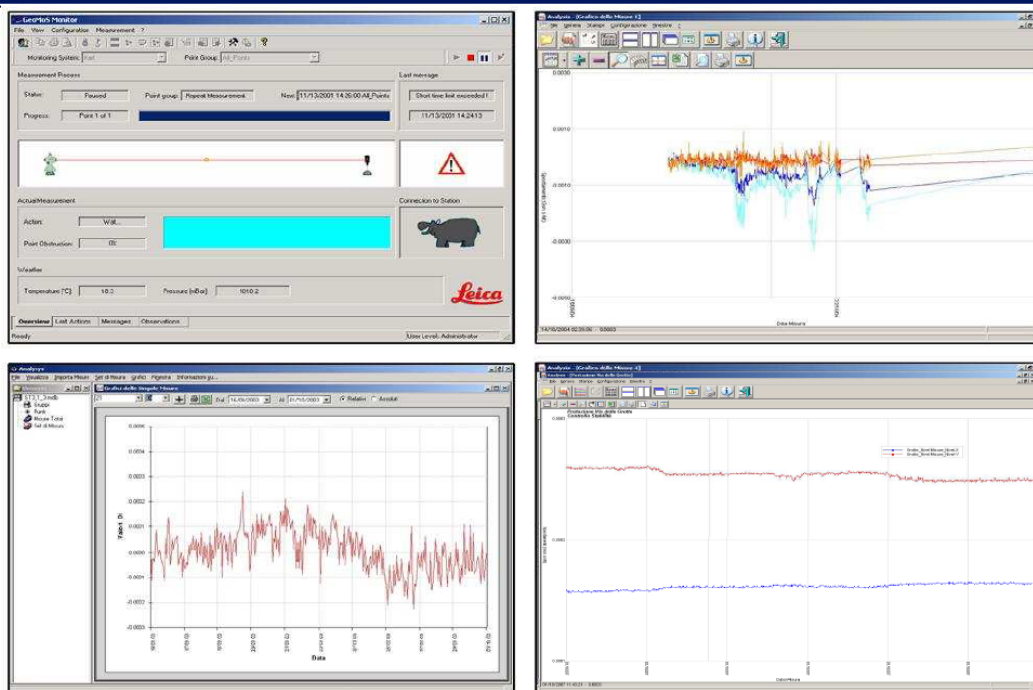
Il sistema garantirà la possibilità di disporre delle misure di monitoraggio completamente in automatico ed in continuo, con una sequenza dei cicli di misura configurabile dall'utente e, se necessario riconfigurabile anche da remoto. La stazione robotizzata è la soluzione ideale per il monitoraggio di molti punti quando è possibile l'individuazione di una postazione che garantisca l'intervisibilità con gli stessi. Nel caso in esame la stazione robotizzata di acquisizione andrà installata a valle dei fronti da controllare nell'area di pertinenza cimiteriale. Le misure saranno effettuate con tre cicli di misure giornaliere utilizzando dei prismi speciali installati sulle masse rocciose instabili in modo da avere i dati di spostamento nelle tre dimensioni spaziali. Inoltre i prismi di lettura saranno installati sulla testa degli ancoraggi previsti dal progetto di sistemazione dei fronti rocciosi, in modo da poter controllare gli spostamenti e/o la tenuta delle opere di rafforzamento corticale realizzate. Saranno inoltre installati almeno n°3 prismi di riferimento esterni all'area d'intervento da considerare fissi (su struttura antropiche considerate stabili) in modo da controllare le variazioni sulle misure dovute a condizioni ambientali diverse (temperatura, umidità dell'aria, etc.).





Chiaramente il sistema dovrebbe essere integrato dalla sensoristica strutturale che allerterebbe in tempo reale il verificarsi di eventuali fenomeni improvvisi. Le specifiche caratteristiche tecniche del sistema utilizzato sono garanzia di elevata precisione, affidabilità, ripetibilità ed omogeneità dei cicli di misura. La stazione robotizzata effettuerà i suoi cicli di misura, opportunamente organizzati ed organizzabili in qualsiasi momento anche da remoto dall'utente, misurando in sequenza prima i prismi posizionati sui 3 punti di riferimento, esterni all'area da monitorare, poi i prismi posizionati sui punti di monitoraggio. Per la gestione e elaborazione dei dati si propone di utilizzare la piattaforma software denominata Leica GeoMoS, che grazie alle sue caratteristiche di modularità e scalabilità, rappresenta la soluzione ideale ed innovativa per il controllo automatico e continuo di stazioni robotiche installate in sito e gestite da un centro di controllo remoto.





### **Principali Caratteristiche della stazione robotizzata automatica (Leica TM30):**

- Ricerca automatica ed autocollimazione del Prisma
- Precisione di puntamento inferiore a 1 mm a 200 m
- Precisione Angolare 0.5"
- Precisione Distanziometro 1mm/km

### **Centro di controllo remoto - gestione postazioni fisse in campo**

Il centro di controllo sarà costituito da un pc server, con opportuna architettura hardware, su cui saranno installati i moduli software per la gestione on-line, del sistema di monitoraggio in campo. attraverso un opportuno sistema di comunicazione, tipo gsm/gprs/umts, sarà possibile organizzare la comunicazione tra le stazioni robotiche in campo e l'unità pc server per la loro gestione, elaborazione dei dati e gestione degli alertamenti. Il centro effettuerà il recupero e salvataggio automatico del data base di tutte le misure, l'elaborazione e l'analisi intelligente di ogni nuovo ciclo di misura, secondo quanto configurato dall'utente. Sempre in automatico saranno gestiti gli alertamenti funzionali e gli eventuali allarmi in base alle soglie di variazione delle misure definite dall'utente.

### **Sistemi di monitoraggio idro\pluvio meteorologico**

A monte delle zone da monitorare, sarà installata una centralina pluviometrica, dotata di sensore di temperatura e umidità aria e anemometro, con invio dei dati in *real time* alla stazione di controllo grazie alla quale sarà possibile rilevare il quantitativo di piovosità e alertare gli enti preposti in caso di superamento di soglie fissate dall'utente.

### **Sistemi di monitoraggio geotecnico**

Tale sistema prevede l'utilizzo dei seguenti sensori:

- Tensimetri con trasduttore di pressione per le misure del fronte bagnato;



- 
- Estensimetri a filo per individuare e controllare eventuali movimenti superficiali in aree individuate e considerate instabili e/o aree di nicchia di frana.

La conoscenza delle pressioni dell'acqua nei pori del terreno ("pressioni interstiziali" o "pressioni neutre") è di fondamentale importanza nel controllo dei movimenti franosi a causa della rilevanza che la pressione dell'acqua ha rispetto la stabilità di un pendio: un eventuale incremento della pressione è sempre peggiorativa delle condizioni di stabilità.

La frequenza di misurazione delle pressioni neutre dipenderà dal tipo di terreno riscontrato e dall'andamento delle precipitazioni a scala locale. Le pressioni nei pendii seguono generalmente un andamento stagionale, raggiungendo i valori massimi durante o al termine dei periodi più piovosi, alle nostre latitudini generalmente coincidenti con il semestre autunno-invernale. I piezometri elettrici letti tramite datalogger garantiscono una frequenza d'acquisizione che va dal minuto alle 24 ore e quindi al minimo si produrrà un'acquisizione giornaliera.

In ogni caso le frequenze di monitoraggio saranno definite sulla base dell'analisi degli andamenti delle pressioni che si potranno osservare nei primi mesi di funzionamento del sistema di monitoraggio stesso.

Ogni sensore sarà collegato via wireless ad un datalogger multicanale per la misura automatica dei dati. Nel caso degli estensimetri a filo le misure sono trasmesse e registrate in continuo ed al superamento di soglie prefissate c'è l'allertamento agli enti preposti. Comunque i dati provenienti dai sensori vengono acquisiti ed archiviati in memoria:

La centralina è inoltre provvista di modem GPRS che consente di trasferire i dati su un'area FTP remota o direttamente su un web server locale (Centralina Master).

Il sistema funzionerà autonomamente effettuando un'opportuna pianificazione, impostabile anche da remoto delle misure dei sensori disposti in campo.

In dettaglio presso la unità Master saranno installati un applicativo software di supervisione e gestione dei dati rilevati che fungerà da collettore tra le centraline in campo e il Centro di Controllo.

### ***Sistemi di monitoraggio strutturale***

Tale sistema, che completerebbe il monitoraggio frane anche per ciò che riguarda la pericolosità da crolli, ribaltamenti e scivolamenti in rocce lapidee, prevede l'utilizzo di fessurimetri da roccia, attrezzatura di precisione che misura il movimento relativo dei lati delle fratture, anche molto aperte. La lettura dei fessurimetri viene eseguita automaticamente tramite trasduttori elettrici collegati a centraline automatiche di acquisizione dati.

In opzione saranno utilizzati estensimetri a filo quando i due punti siano posti a distanza relativamente notevole fra loro.

Questi strumenti hanno caratteristiche di costruzione di base e caratteristiche tecniche simili ai misuratori di giunti, i quali sono costituiti da un trasduttore potenziometrico contenuto in un involucro cilindrico dal quale fuoriesce un'astina scorrevole e da un riscontro regolabile.

I fessurimetri saranno disposti ortogonalmente in corrispondenza delle principali fratture evidenziate dal rilievo geomeccanico e situate in corrispondenza di dislocazioni in atto.

Gli estensimetri a filo saranno ancorati rispettivamente su blocchi potenzialmente instabili e pareti rocciose. Per la ubicazione dei sensori è stata redatta una tavola planimetrica allegata alla presente. Gli



---

estensimetri rileveranno in continuo la posizione del blocco ed attiveranno un allarme solo in caso di variazione della distanza tra gli ancoraggi.

In ragione dell'obiettivo primario del Comune di Bracigliano in questo settore montano, rappresentato dalla realizzazione di interventi finalizzati alla mitigazione del rischio idrogeologico derivante da colate rapide detritico-fangose e flussi iperconcentrati (rischio maggiormente diffuso nell'ambito geomorfologico considerato), il presente studio focalizza l'attenzione a tutti quegli aspetti che riguardano la mitigazione del rischio da frana derivante da tale tipologia di frane relativamente all'area di studio così come già perimetrata nel progetto di fattibilità.

Pertanto, il sistema di monitoraggio strutturale in rocce lapidee almeno in questa fase non sarà preso in considerazione.



## **Progetto dei sistemi di monitoraggio ubicazione della sensoristica e delle unità di supporto**

La progettazione della rete di monitoraggio è stata definita con dettaglio puntuale (posizione dei vari sensori in campo) dopo aver analizzato in modo approfondito sia il contesto geologico e i parametri geotecnici scaturiti dalle indagini geognostiche e dai rilievi geologici, sia il contesto geomorfologico scaturito dai rilievi topografici e laser scanning.

### **Configurazione dei sistemi e prestazioni**

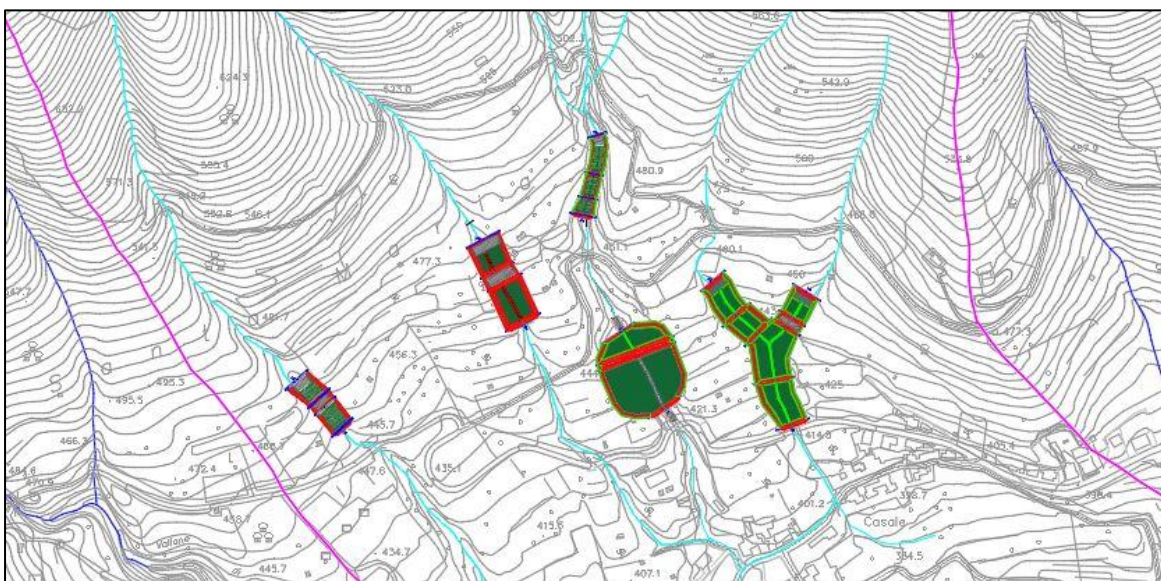
Come già detto nel paragrafo precedente, il sistema di monitoraggio totale proposto prevede l'installazione di sensoristica diversificata per le due aree d'intervento:

- aree potenzialmente instabili relative alle zone di innesco delle colate rapide detritico-fangose (debris flow), alle zone di transito e di accumulo;
- fronti rocciosi potenzialmente instabili relativi all'innesco di crolli, ribaltamenti e scivolamenti.

Vista la priorità del presente studio, rivolto alla mitigazione del rischio da colata rapida detritico-fangosa, di seguito verrà descritto lo schema di monitoraggio in funzione di tale rischio.

### ***Schema sintetico del sistema di monitoraggio nelle aree di impluvio a rischio colata rapida***

I settori interessati da tali rischi sono rappresentati dagli impluvi naturali caratterizzati da pendenze variabili, che trovano recapito nella fascia pedemontana, in corrispondenza degli abitati di Santissima Annunziata e Casale. Il progetto prevede la realizzazione di una rete di vasche di laminazione delle acque e di accumulo della parte solida e di inalveazioni a monte ed a valle di tali opere.



*Interventi di mitigazione del rischio colata detritico-fangosa previsti dal progetto*





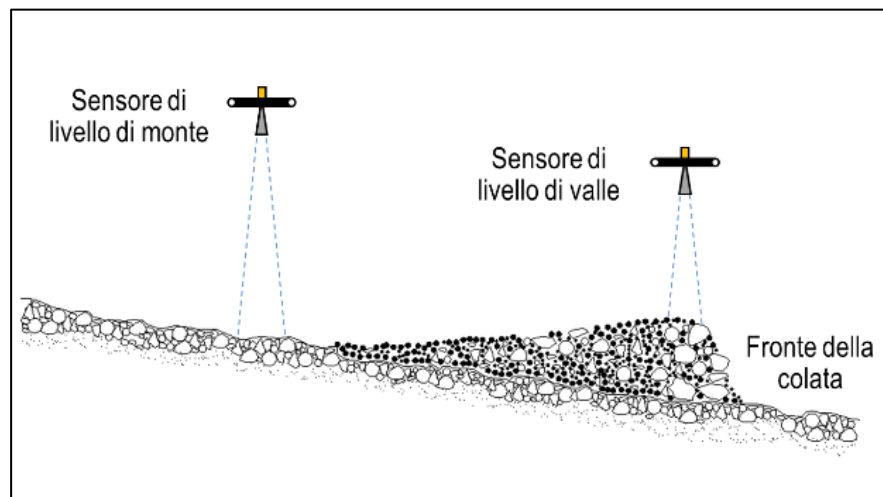
La strumentazione per il monitoraggio delle colate rapide, presenta significative differenze rispetto a quella utilizzabile per gli altri tipi di frana, mentre si accosta, per più riguardi, alla strumentazione per il monitoraggio dei deflussi in corsi d'acqua torrentizi.

Di seguito si indicano alcuni dei sensori più comunemente utilizzati per il monitoraggio delle colate rapide e per la realizzazione di sistemi di allarme.

#### *Sensori di livello*

La misura del livello, ovvero della profondità di flusso delle colate detritiche, è un dato di primaria importanza per lo studio di questi processi. La misura in continuo dei livelli permette, infatti, di rappresentare gli idrogrammi delle colate detritiche.

Le caratteristiche fisiche delle colate detritiche richiedono l'uso di sensori di livello che non entrino a contatto con la massa fluente. I sensori di livello più spesso utilizzati sono sensori ad ultrasuoni e radar. Si tratta di sensori identici, dal punto di vista del funzionamento, a quelli impiegati per la misura del livello idrometrico in corsi d'acqua e laghi



*Rappresentazione schematica della profondità di flusso*

*di una colata detritica misurata mediante sensori radar o ad ultrasuoni*

La misura della profondità di flusso delle colate detritiche per mezzo di sensori ad ultrasuoni, radar o laser richiede la loro installazione sopra il canale. La sezione scelta per l'installazione dovrà essere contenuta fra sponde relativamente stabili ed il fondo dell'alveo dovrà essere, per quanto possibile, regolare.

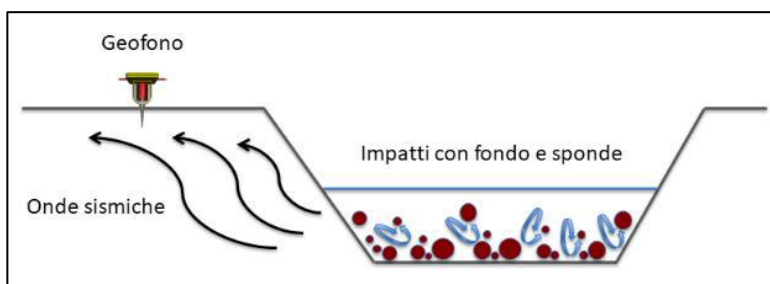




*Installazione di un sensore di livello radar su cavi d'acciaio*

### Geofoni

Nel corso degli ultimi decenni, i sensori di vibrazione del terreno (sismometri, accelerometri, geofoni) e i sensori acustici (microfoni, sensori ad infrasuoni) sono progressivamente diventati strumenti comunemente impiegati per il monitoraggio delle colate detritiche. Entrambe le categorie di sensori rilevano le onde meccaniche prodotte dai movimenti franosi che si propagano rispettivamente nel terreno o nell'aria.



*Rappresentazione schematica della propagazione delle onde sismiche generate dagli impatti del trasporto al fondo e rilevate da un geofono installato sulla sponda del corso d'acqua*

Rispetto ai sensori installati in canale, i geofoni sono in grado di rilevare le vibrazioni della colata detritica a distanza e possono dunque essere installati sulle sponde, in posizione relativamente sicura. Inoltre, essi sono piuttosto economici, sono sensori passivi che non necessitano di alimentazione per funzionare e sono facili e versatili da installare. Se impiegati a scopo di allertamento, i geofoni hanno l'ulteriore vantaggio di essere in grado di rilevare il fenomeno prima che questo raggiunga la sezione dove sono installati, in quanto le vibrazioni prodotte dal fronte di una colata detritica si propagano più velocemente del fronte stesso e sono rilevabili anche a centinaia di metri di distanza.

### Telecamera/fotocamera

La possibilità di registrare immagini e video rappresenta un impareggiabile valore aggiunto nel contesto di un sistema per il monitoraggio delle colate detritiche. Analizzare visivamente il fenomeno permette, infatti, un miglior riconoscimento ed una più accurata interpretazione dello stesso. In caso di monitoraggio a fini di protezione civile, inoltre, avere la conferma visiva del fenomeno in atto consente alle autorità competenti un immediato riscontro, che facilita una rapida implementazione delle misure previste.



Un sistema di video-sorveglianza ad alta definizione e di tipo intelligente avrà il duplice obiettivo di permettere di osservare lo stato dei luoghi in qualsiasi momento e grazie ai sensori inseriti nel sistema di riconoscere e quindi rilevare cambiamenti sostanziali della scena che potrebbero coincidere con eventi calamitosi e/o con la presenza di persone non autorizzate nelle aree osservate. Il sistema è interrogabile on-line via-internet, con possibilità di visualizzazione dello stato dei luoghi in tempo reale. In definitiva quindi, il personale abilitato potrà accedere da remoto alla visione della videocamera mediante internet. In ogni caso le immagini saranno memorizzate in appositi archivi a cadenza oraria per l'eventuale consultazione ex post.



#### *Estensimetri a filo*

Al fine di controllare eventuali movimenti superficiali in aree individuate e considerate instabili (vedere aree Z.O.B. nell'elaborato n. 37), il sistema di monitoraggio prevede l'installazione e il controllo in continuo di n. 7 sensori di spostamento quali estensimetri a filo, prevalentemente nelle aree a monte delle testate dei valloni, laddove insistono coperture piroclastiche eluvio-colluviali a scadenti proprietà geotecniche.



## Sommario

Introduzione .....	1
Componenti principali di un sistema di monitoraggio .....	1
Gli strumenti di misura .....	1
Il sistema di acquisizione dati.....	3
Il sistema di trasmissione dati .....	3
Il sistema di archiviazione ed elaborazione dati .....	3
Requisiti principali di un sistema di monitoraggio.....	3
Requisiti hardware .....	3
Requisiti software.....	4
Proposta del sistema di monitoraggio integrato .....	4
Metodologica e Obiettivi.....	4
Architettura del sistema di monitoraggio .....	5
Sistemi di monitoraggio geomatico di superficie .....	7
Sistemi di monitoraggio idro\pluvio meteorologico .....	9
Sistemi di monitoraggio geotecnico .....	9
Sistemi di monitoraggio strutturale.....	10
Progetto dei sistemi di monitoraggio ubicazione della sensoristica e delle unità di supporto.....	12
Configurazione dei sistemi e prestazioni .....	12
Schema sintetico del sistema di monitoraggio nelle aree di impluvio a rischio colata rapida.....	12
Sommario.....	16