Ministero per i Beni e le Attività Culturali
Direzione Regionale
per i Beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Soprintendenza per i Beni Archeologici della Calabria

Regione Calabria
Dipartimento 12 -Turismo e Beni Culturali-

Accordo di Programma Quadro (APQ)
"Beni e attività culturali per il territorio della Regione Calabria"



CAPOCOLONNA (KR)

Ampliamento delle conoscenze della realtà archeologica di Capocolonna e messa in sicurezza delle strutture archeologiche riportate in luce

Codice APQ	**SPA 2 - 4**	Finanziamento	**Fondo Aree Sottoutilizzate (F.A.S.) - Delibera CIPE n. 84/2000**

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO N.	TITOLO ELABORATO :	SCALA:
P. 1e	**Capo E) Monitoraggio costone** **Relazione**	

REDAZIONE		VISTI E PARERI	FIRMA E SIGLE
Ufficio di progettazione interno		Perizia di spesa N. del Approvata con Decreto N. del	**I PROGETTISTI**
Responsabile del procedimento	dott.ssa Simonetta BONOMI		
Progettazione	Dott.ssa Maria Grazia AISA Arch. Vincenzo AMMENDOLIA Arch. Elisabetta DOMINIJANNI		
Consulenze e collaborazioni esterne			
Consulenza tecnica	Ing. Angelo Gerardo MAIORINO Ing. Salvatore TALARICO Arch. Fortunato M. CRUGLIANO		**IL DIRETTORE REGIONALE** ***Francesco PROSPERETTI***

RETE DI MONITORAGGIO STRUMENTALE
DEL COSTONE IN CAPOCOLONNA (KR)

1. Rete di monitoraggio strumentale per il controllo dei movimenti franosi



(Nell'immagine con il tratto colorato viene riportata la parte di costone oggetto di monitoraggio)

FASI DEL MONITORAGGIO

FASE 1 – Caratterizzazione del versante

Consiste in uno studio preliminare del versante interessato dal dissesto.

I principali fenomeni franosi a cui è potenzialmente soggetto l'ammasso roccioso sono i crolli di cunei di roccia delimitati da una o più superfici di discontinuità ed i ribaltamenti di blocchi di roccia all'interno di zone dell'ammasso interessate da discontinuità verticali o subverticali.

Attraverso questa fase di studio, che si sviluppa attraverso sopralluoghi e successive elaborazioni fisico meccaniche, si procede all'individuazione delle superfici di rottura, dei volumi potenzialmente instabili e dei cinematismi che possono innescarsi.

Per questa fase preliminare si dovrà procedere ad un rilievo topografico anche mediante laser scanner, in cui si dovranno avere le misurate dei punti fissi da installare su tutta l'area oggetto di monitoraggio, punti fissi da materializzare mediante "mire fisse" in numero sufficiente.

FASE 2 –Sistema di monitoraggio

Dopo la caratterizzazione del sito è possibile individuare ed implementare il sistema di monitoraggio idoneo per controllare le evoluzioni del versante attraverso l'acquisizione di dati in continuo, e da misurazioni complementari programmate con frequenza semestrale (rilievo iniziale, rilievo intermedio dopo sei mesi rilievo finale ad ultimazione acquisizione dati). In questa fase si dovranno determinare:

- tipologia dei dispositivi di misura da installare (estensimetri, lettori ottici, accelerometri etc.)
- l'ubicazione dei dispositivi;

FASE 3 – Realizzazione del sistema di monitoraggio e messa in esercizio
La realizzazione del progetto del sistema di monitoraggio realizzato nella "Fase 2" consiste nella messa in opera dei dispositivi di misurazione, del sistema centrale di raccolta, trasmissione e gestione da remoto dei dati nonché delle necessarie opere di presidio delle apparecchiature.

FASE 4 – Acquisizione e analisi dei dati di monitoraggio
L'ultima fase è la fase di esercizio del sistema di monitoraggio, ovvero dell'acquisizione dei dati di monitoraggio, della successiva elaborazione dei dati raccolti, della verifica periodica del corretto funzionamento dei sensori e della realizzazione di eventuali interventi di manutenzione ordinaria della strumentazione installata.

Sistema di monitoraggio

La rete strumentale da installare dovrà assicurare la misurazione dei parametri di pressioni e spostamenti, tali da permettere la telemisurazione da parte di un sistema automatico di acquisizione dati.

Il monitoraggio dovrà essere eseguito per un lasso temporale non minore della durata complessiva dei lavori e comunque non inferiore ad un anno.

Complessivamente dovranno essere monitorati:

- le pressioni interstiziali;
- Cedimenti verticali e/o rotazioni;
- Deformazioni superficiali e profonde;
- Movimenti relativi tra gli ammassi;

L'intero sistema strumentale dovrà essere integrato e misurato in modo automatico da parte di un sistema di acquisizione dati che consenta:

- la gestione automatica delle alimentazioni e delle misurazioni della rete sensoriale;
- l'archiviazione delle misure, validazione delle stesse e graficazione dei dati secondo modalità specifiche;
- trasferimento delle informazioni ad utenti remoti;
- gestione automatica di segnalazioni di anomalie al momento di esecuzione della misura per confronto con soglie preimpostate.

La rete strumentale dovrà essere collegata mediante cavi elettrici strumentali (a 2 ed a 6 conduttori) ad un Sistema di Acquisizione dati automatico costituito da sufficienti Unità periferiche e Centraline di acquisizione, oltre ad un Personal Computer con Software di gestione del monitoraggio, il tutto nei locali adiacenti all'area da monitorare di proprietà della Soprintendenza archeologica.

Tali Unità consentono la gestione automatica dell'alimentazione, del riscaldamento e della lettura dei sensori e sono pertanto differenziate sulla base delle caratteristiche elettriche della risposta del sensore interrogato (frequenze per i piezometri, tensioni per i clinometri).

Le Unità Periferiche saranno installate e dotate di appositi contenitori a protezione IP65, fissati alle pareti in posizione idonea.

Ciascun'Unità Periferica è collegata mediante proprio cavo digitale alla Centralina di Acquisizione dati, ubicata in locali adiacenti all'area da monitorare di proprietà della Soprintendenza archeologica.

Il percorso di questa connessione sarà studiato e realizzato in modo da costituire il minimo impatto possibile.

Le deformazioni misurate da ciascuno strumento sono controllate da un sistema di allertamento automatico in cui sono dovranno essere inserite delle soglie di allarme opportunamente definite per consentire di seguire in sicurezza l'evoluzione dello stato deformativo.

Attrezzature da utilizzare:

Piezometro aperto a tubo fisso

Consiste di una colonna di tubi in PVC rigido o in metallo, fessurati ed eventualmente rivestiti di tessuto non tessuto per la parte in falda e ciechi per il rimanente tratto.

Vanno posti in opera entro un foro rivestito con una tubazione provvisoria, di diametro utile pari almeno al doppio del diametro dei tubi di misura adottati. Una volta eseguita a quota la pulizia del foro, si inserisce la colonna fino a fondo foro; quindi si procede all'immissione, nell'intercapedine colonna - tubazione, di materiale granulare (sabbia, sabbia - ghiaietto) in modo da realizzare un filtro poroso attorno al tratto di colonna finestrato.

Tale operazione va eseguita ritirando la tubazione provvisoria mano a mano che si procede con l'immissione dall'alto del materiale filtrante, curando di controllare la quota di questo con idonei sistemi di misura (cordelle metriche, etc.). II bordo inferiore della tubazione dovrà sempre trovarsi al di sotto della quota raggiunta dal materiale di riempimento.

Affinché l'elemento filtrante poroso misuri la pressione interstiziale di un ben preciso strato di terreno, l'intercapedine viene sigillata al di sopra dello strato che si vuol monitorare con cemento e bentonite. Qualora esista la possibilità di infiltrazioni indesiderate dal basso si pone in opera, nel foro di sondaggio, al di sotto dello strato di interesse, un tampone impermeabile.

Al termine della formazione del filtro, si procede all'esecuzione di un tappo impermeabile di circa 1 metro di altezza, formato generalmente da palline di bentonite o argilla opportunamente pestellate, onde separare la zona filtrante dal tratto di foro superficiale, che andrà poi riempito con materiale di risulta, oppure cementato a seconda delle esigenze. In superficie, si provvede quindi ad eseguire un idoneo pozzetto, possibilmente con chiusura a lucchetto o simili, per il contenimento e la protezione della testa del piezometro.

I vantaggi del piezometro aperto a tubo fisso sono:

- l'affidabilità dei dati registrati;
- ha effettuato con successo lunghe serie di registrazioni;
- l'autodegassazione se il diametro interno del tubo è adeguato;
- l'integrità dei sigilli può essere valutata dopo l'installazione;
- la possibilità di essere convertito in un piezometro a diaframma;
- la possibilità di essere usato per misure di permeabilità.

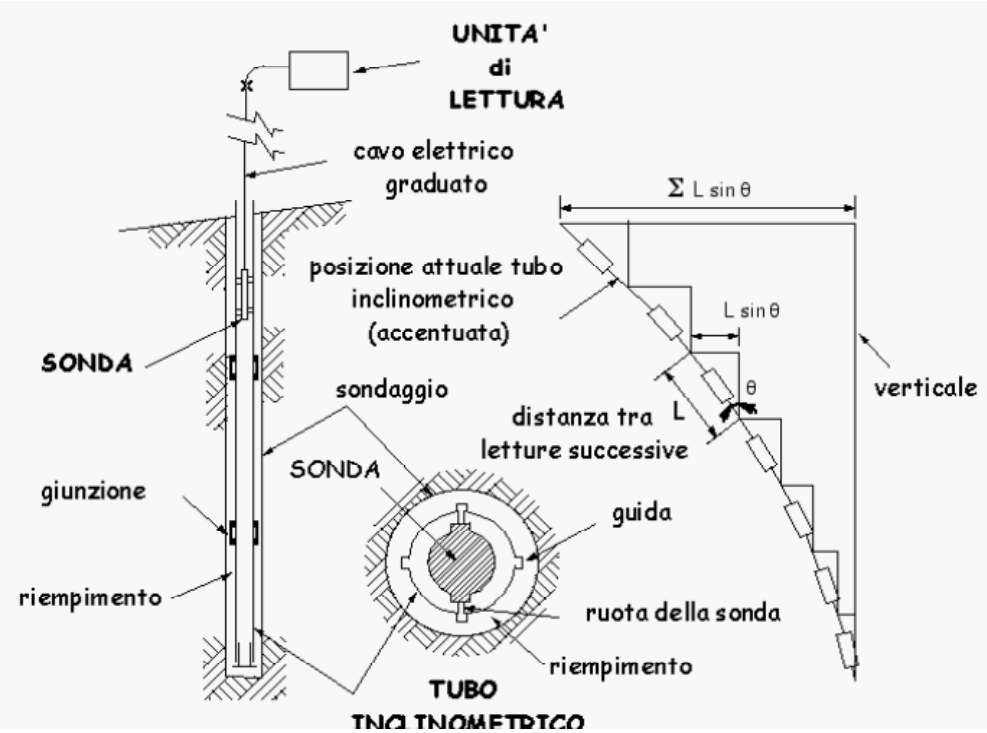
La lettura avverrà attraverso una sonda galvanometrica calata nel tubo fisso. Questa consiste in due conduttori collegati ad un'estremità agli elettrodi di una batteria a sua volta ricaricata attraverso un pannello fotovoltaico, ed all'altra ciascuno con un cilindro di acciaio inox diviso in due parti da un isolante di plastica. Quando il cilindro tocca l'acqua il circuito si chiude attivando un avvisatore acustico o visivo. Misurando la lunghezza del cavo calato nel tubo si trova la quota dell'acqua. Nel piezometro a tubo fisso si possono inserire trasduttori di pressione: pneumatici, a corda vibrante o a resistenza elettrica, appesi al di sotto del più basso livello piezometrico possibile. I trasduttori possono essere lasciati in sito e recuperati in occasione delle tarature periodiche, ciò consente di effettuare letture anche da postazioni lontane.

Inclinometro:

Gli inclinometri sono strumenti per il monitoraggio delle deformazioni ortogonali all'asse di un tubo per mezzo di una sonda che scorre nel tubo stesso. La sonda contiene un trasduttore che misura l'inclinazione del tubo rispetto alla verticale. I tubi inclinometrici possono essere installati sia in sondaggio che all'interno di materiale di riempimento, le loro applicazioni tipiche sono:

- La determinazione della superficie di scivolamento di una frana;
- Il monitoraggio dei movimenti orizzontali terra;
- Il monitoraggio delle deviazioni dalla verticale di paratie, pali di fondazione o muri di sostegno.

Gli strumenti inclinometrici sono costituiti da un tubo, installato permanentemente, generalmente in plastica o lega d'alluminio, la cui sezione non è esattamente circolare, ma presenta delle scanalature simmetriche, disposte a 90° l'una dall'altra, che guidano la sonda. Lo schema di funzionamento degli inclinometri è riportato nella figura seguente.



Schema del funzionamento degli inclinometri

Elementi degli inclinometri:

1 Tubi inclinometrici

I tubi in plastica devono essere accoppiati sigillando perfettamente la giuntura con collanti.

Il sondaggio per l'installazione dei tubi inclinometrici dovrà scendere di almeno 3-6 m al disotto della presunta quota della zona di deformazione attiva, ed essere quanto più possibile verticali.

Per il calcolo delle deformazioni assolute, occorre fissare la base del tubo in modo che non sia interessata dal movimento, per questo il sondaggio deve scendere fino ad incontrare un livello che possa considerare fisso rispetto alla parte soprastante a cui ancorare la base del tubo. Quando vi è il rischio di un collasso delle pareti del sondaggio durante l'installazione, si deve utilizzare un tubo di rivestimento per il sondaggio che viene ritirato via via che si procede al riempimento dell'intercapedine tra tubo inclinometrico e pareti del sondaggio. Tale riempimento deve essere eseguito con malta sabbia o ghiaietto, quello con malta è più adatto di quelli granulari ma non può essere utilizzato qualora la malta tenda a disperdersi nel terreno circostante. Quando viene inserita la malta, prima che questa solidifichi, si deve fare attenzione che il tubo inclinometrico non tenda e risalire per la spinta di Archimede o che non assuma curvature indesiderate.

2 Sonda inclinometrica

La sonda portatile contenente un trasduttore di inclinazione, collegata con un cavo elettrico graduato, ad un'unità di lettura, anch'essa portatile, la sonda è munita di ruote, che devono essere inserite in una coppia di scanalature del tubo affinché rimanga parallela al tratto di tubo che sta attraversando ed effettui le misure in un piano ben definito.
Effettuando due serie di misure, nei due piani ortogonali individuati dalle due coppie di scanalature, si possono determinare le componenti del movimento orizzontale di una qualunque sezione.
Dopo l'installazione del tubo, si effettua una prima serie di misure per determinare l'inclinazione del tubo. Per confronto con le misure inclinometriche successive, si determinano le variazioni dell'inclinazione. Assicurandosi che una delle estremità del tubo non possa traslare, o misurando la traslazione con altri mezzi, si possono determinare le deformazioni orizzontali assolute di ogni punto lungo il tubo.

3 Unità di lettura

I principali fattori che influenzano la precisione dei dati inclinometrici sono:

- La precisione intrinseca del trasduttore.

- Le piccole oscillazioni della sonda quando è inserita nelle guide del tubo che ne modificano l'inclinazione. Per minimizzare le oscillazioni le ruote devono essere progettate in modo da avere il minimo gioco laterale, da adattarsi bene al profilo delle guide, devono essere sostituite quando cominciano ad usurarsi, ed anche le guide del tubo devono essere realizzate con precisione e mantenute ben pulite (sia da eventuali infiltrazioni di materiale in corrispondenza dei giunti, sia da eventuali prodotti di ossidazione nel caso di tubi in metallo), i tubi di diametro maggiore riducono l'errore dovuto alle oscillazioni.

- L'orientazione delle scanalature del tubo non è detto che sia la stessa in profondità ed in superficie, l'effetto spirale produce una variazione del piano in cui viene misura l'inclinazione. L'effetto spirale può essere dell'ordine di 1° per 3m di lunghezza, il problema riguarda sia i tubi in plastica che quelli in

alluminio, nel caso di tubi in plastica l'esposizione al sole prima della messa in opera può causare o accentuare l'effetto, lo stesso vale nel caso l'installazione non sia eseguita con cura. Quando è possibile si devono assemblare elementi di tubo i cui effetti spirale si annullino a vicenda. L'entità della deviazione deve essere misurata prima dell'installazione per ogni segmento di tubo per poterne tenere conto;

• Le deformazioni cui va soggetto il tubo nel tempo, a causa del movimento del terreno, possono raggiungere un'entità tale da rompere il tubo e renderlo quindi inutilizzabile, o comunque possono causare delle curvature tali che la sonda non riesce più a passare nel tubo. Quando si prevedono forti deformazioni è necessario utilizzare tubi di diametro maggiore, in quanto un diametro maggiore, a parità di deformazione, può consentire il passaggio della sonda; e comunque si può anche ricorrere a sonde di dimensioni ridotte. In ogni caso se la distanza tra i punti di misura è maggiore di quella tra le ruote della sonda e la curvatura del tubo è significativa possono sorgere degli errori.

• La temperatura può influire sui trasduttori e sulle unità di lettura che devono essere adeguatamente protette, ai trasduttori si deve dare il tempo di stabilizzarsi alla temperatura di esercizio prima di effettuare le misure.

La prima elaborazione dei dati dovrebbe essere fatta direttamente sul campo man mano che si effettuano le misure, essa consiste nel check sums, un test per valutare l'attendibilità dei dati che consiste nel calcolare la somma algebrica delle misure rilevate alla stessa quota nel tubo, ma con la seconda misura effettuata ruotando la sonda di 180° intorno al suo asse. Tale somma dovrebbe essere uguale a due volte il bias, cioè il valore indicato dallo strumento quando si trova perfettamente in verticale. Il bias, che teoricamente dovrebbe essere zero, ha generalmente valori piccoli ma diversi da zero secondo il tipo di strumento.

Questa elaborazione dei dati consente di minimizzare gli errori sistematici dello strumento e quelli causati dall'irregolarità del tubo. Il check sums teoricamente dovrebbe rimanere costante per tutti gli intervalli di profondità, in realtà esso varia intorno ad un valore medio secondo le condizioni del tubo, le prestazioni dello strumento e la tecnica dell'operatore.

Piccole variazioni non sono generalmente indicative di problemi, ma se diventano più grandi allora possono essere dovute ad irregolarità nel tubo (es. sporcizia o deformazione delle guide), nel funzionamento della sonda (sia nella parte elettrica che in quella meccanica: es. usura delle ruote) o nella tecnica dell'operatore (es. scarsa precisione nella misura della profondità).

L'elaborazione dei dati continua con il calcolo delle differenze tra le letture effettuate alla stessa profondità ruotando la sonda di 180°; e quindi con il calcolo delle variazioni d'inclinazione ad ogni quota, sottraendo dal valore rilevato il corrispondente valore delle differenze tra le letture effettuate ruotando la sonda di 180°, calcolato al punto precedente. Il trasduttore di inclinazione contenuto nella sonda fornisce l'angolo zenitale, θ, quest'ultimo, nota la distanza tra le letture, L, ci permette di determinare la deviazione dalla verticale del punto di misura, $L\sin\theta$.

4 Elaborazione dei dati

Si effettua il calcolo delle variazioni cumulate sommando i dati delle variazioni dal fondo verso l'alto e la conversione delle variazioni cumulative in unità di deformazione in quanto le variazioni di inclinazione vengono riportate secondo l'unità di misura dello strumento.

Qualora l'effetto spirale sia significativo e ne sia stato eseguito un rilevamento per conoscerne l'entità ad ogni quota, questi dati possono essere utilizzati per conoscere la vera direzione delle deformazioni, o la deformazione in una direzione data.

Queste elaborazioni, data la mole di dati, vengono generalmente eseguite con l'ausilio di un calcolatore. Il grafico delle variazioni in funzione della quota serve per evidenziare le zone di deformazione, quello delle variazioni cumulate serve per avere una visione d'insieme del modello di deformazione. Un terzo grafico, della deformazione in funzione del tempo ad una quota fissata è particolarmente utile per studiare l'evoluzione delle deformazioni e fare previsioni attendibili.

Estensimetri

da utilizzare per il monitoraggio delle variazioni di distanza tra due o più punti lungo un asse comune, non necessariamente verticale. Sono strumenti che consentono di verificare le variazioni dell'apertura delle discontinuità. Permettono di ricavare, oltre all'apertura di fessure anche il valore delle tensioni.

Estensimetri ad asta e a filo: sono adatti a controllare i micromovimenti profondi della roccia o del terreno. In particolare essi misurano le variazioni relative della distanza tra un riscontro esterno e uno o più punti di ancoraggio distribuiti a profondità diverse entro un foro. Entrambi sono muniti o di misuratori meccanici (con comparatore centesimale) o di misuratori elettrici (con trasduttori lineari di spostamento).

Misuratori di giunti: trovano impiego nel monitoraggio di crepe. Il sistema di ancoraggio è autoallineante, per adattarsi a movimenti non lineari. La facilità di montaggio lo rende particolarmente adatto al monitoraggio di crepe in posizioni scomode. Le misure si possono effettuare con centraline di acquisizione dati (monocanale o a più canali). Devono essere dotati di sensore di temperatura e di trasmettitori per acquisizione dei dati da località remote.

Descrizione della Rete strumentale

La rete strumentale, comprende:

1. Rilievo topografico

n. 80 mire fisse per i rilevi topografici

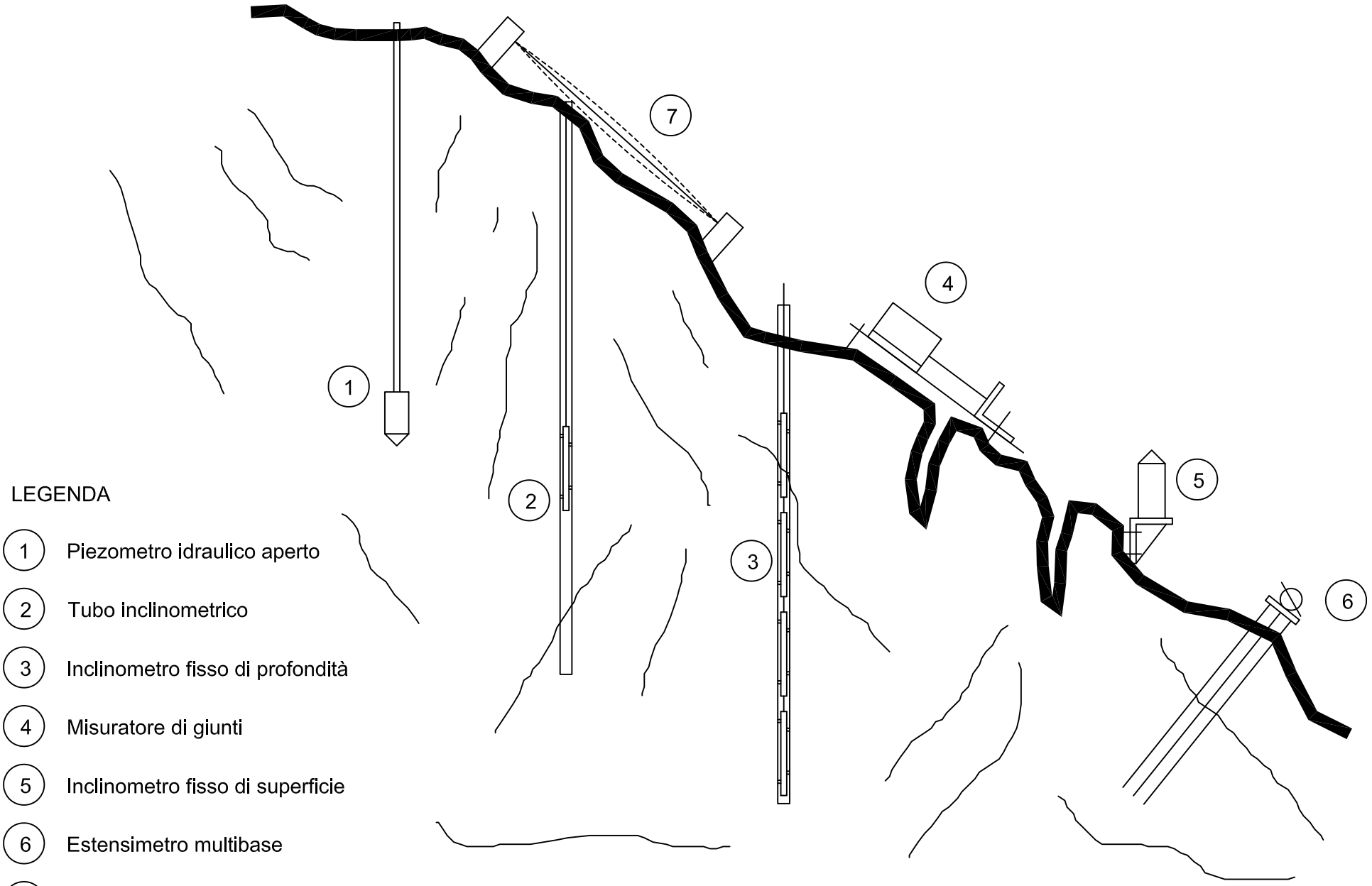
2. Rete di controllo deformazioni
n. 30 Misuratori di giunti a corda vibrante
n. 20 Trasduttori di spostamento lineari a corda vibrante installati sulle teste di relativi estensimetri;
n. 10 estensimetri a filo
n. 6 estensimetro multibase
n. 6 tubi inclinometrici
n. 6 inclinometri fissi di profondità

3. Rete di controllo piezometrico
n. 2 Piezometri idraulici a corda vibrante

n. 1 centralina metereologica

4. Rete di controllo della verticalità degli speroni
n. 8 inclinometri fissi di superficie

5 Centralina di acquisizione dati, Personal Computer con software dedicato;



LEGENDA

1. Piezometro idraulico aperto
2. Tubo inclinometrico
3. Inclinometro fisso di profondità
4. Misuratore di giunti
5. Inclinometro fisso di superficie
6. Estensimetro multibase
7. Estensimetro a filo